

خلاصه کتاب راهنمای جوش ویرایش ۱۳۹۰ - مدرس: سعید جمالی
@SDjamali

خلاصه کتاب راهنمای جوش ویرایش ۱۳۹۰

(بدون حذف مطالب کتاب)

ویژه آزمون های تطارت و اجرا

مدرس: سعید جمالی

معرفی جوشکاری ساختمانی

۱

۱-۱ تعریف جوشکاری

جوشکاری عبارت است از اتصال و یکپارچه کردن قطعات فلزی به‌طور عام و فولادی به‌طور خاص به‌کمک حرارت، فشار و یا ترکیبی از حرارت و فشار. در پای تاریخی جوشکاری را باید در جوش سندان‌ی دنبال کرد. در این شیوه دو قطعه فولادی گداخته شده با ضربات چکش و یا سنبه با یکدیگر یکپارچه می‌شدند. منبع ایجاد گرما می‌تواند شعله یا منبع الکتریکی باشد. منظور از فلز پایه قطعات فلزی است که باید با یکدیگر یکپارچه شوند. فلز پُرکننده نیز فلزی است که در فرآیند جوشکاری ذوب‌شده و درز بین دو قطعه فلز پایه را پُر می‌کند. جوشکاری می‌تواند با و یا بدون فلز پُرکننده باشد.

۱-۲ جوش قوس الکتریکی

جوش قوس الکتریکی، یکی از روش‌های جوشکاری است که کاربرد بسیار وسیعی در جوشکاری ساختمانی دارد. در این روش اتصال بین قطعات فلز مادر با ذوب کردن لبه‌های درز و سخت شدن بعدی آنها صورت می‌گیرد. در حین ذوب، فلز پایه و فلز جوش (پُرکننده) با یکدیگر ممزوج شده و پس از سخت شدن، اتصال قطعات تأمین می‌گردد. حرارت لازم برای ذوب مصالح، به‌وسیله قوس الکتریکی تأمین می‌شود. قوس الکتریکی بین مفتول فولادی که

الکتروود نامیده می‌شود و فلز پایه تشکیل می‌شود. با نزدیک کردن الکتروود به درز جوش، قوس ایجاد شده و حرارتی معادل ۳۶۰۰ درجه سلسیوس در قوس ایجاد می‌شود. این حرارت زیاد، باعث ذوب فلز پایه و نوک الکتروود می‌شود و یک حوضچه مذاب از هر دو فلز در نوک الکتروود به وجود می‌آورد. با حرکت الکتروود، حوضچه مذاب به سمت جلو حرکت کرده و حوضچه‌های مذاب پشتی سرد و منجمد شده و باعث امتزاج و یکپارچگی دو فلز در محل درز می‌شوند.

قوس الکتریکی

با نزدیک کردن نوک الکتروود به فلز پایه، در فاصله‌ای حدود قطر الکتروود، هوا یونیزه شده و قابلیت هدایت الکتریکی پیدا می‌کند. لیکن به علت بالا بودن مقاومت الکتریکی در طول قوس، انرژی الکتریکی تبدیل به انرژی حرارتی می‌شود. قوس الکتریکی در میدان مغناطیسی منحرف می‌شود، با کوتاه کردن طول قوس و تغییر زاویه الکتروود می‌توان از میزان انحراف قوس کاست.

۳-۱ مدار جوشکاری قوس الکتریکی

این مدار شامل موارد زیر می‌باشد:

الف) ماشین جوشکاری که می‌تواند ترانس، رکتیفایر، و یا موتور - مولد (دینام یا دیزل ژنراتور) باشد. در این مورد در فصل دوم بحث کامل‌تری ارائه می‌شود.

ب) اتصال به فلز پایه

پ) اتصال به انبر و الکتروود

ت) قوس الکتریکی

اگر نوک الکتروود به قطعه فلز پایه بچسبد، اصطلاحاً اتصال کوتاه حاصل شده و جریان زیادی در مدار برقرار می‌گردد که مورد نظر نمی‌باشد.

اما اگر الکتروود در فاصله معینی از فلز پایه قرار گیرد، حرکت الکترون‌ها باعث یونیزه شدن هوا و ایجاد قوس الکتریکی می‌شود. مقاومت الکتریکی زیاد قوس، تولید حرارت فوق‌العاده‌ای می‌نماید که باعث ذوب الکتروود و لبه‌های دو قطعه فلز پایه در داخل حوضچه مذاب که در واقع کوره ذوب بسیار کوچکی می‌باشد، می‌گردد (شکل ۱-۱ - ب).

در داخل حوضچه، فلز پایه و فلز جوش با هم آمیخته شده و با حرکت الکتروود به سمت جلو، حوضچه‌های پشتی سرد و منجمد گشته و نوار جوش به وجود می‌آید.

۱-۴ عوامل مهم جوشکاری

این چهار عامل متغیر عبارتند از:

۱. شدت جریان

۲. طول قوس یا ولتاژ قوس

۳. سرعت پیشروی

۴. زاویه الکتروود

شدت جریان قوس متناسب با قطر الکتروود مصرفی روی ماشین جوشکاری میزان می‌شود. هرچه قطر الکتروود بیشتر باشد، جریان مصرفی بیشتر است. همیشه میزان آمپری که سازنده الکتروود توصیه کرده است، مورد توجه قرار گیرد. ولتاژ قابلیت تشکیل و تداوم قوس الکتریکی را معین کرده و میزان پایداری، یا دوام آن را مشخص می‌کند. اگر ولتاژ زیاد باشد، طول قوس بلند بوده و ممکن است موجب انحراف قوس گردد. اگر میزان ولتاژ خیلی کم باشد، طول قوس خیلی کوچک بوده و برقراری قوس بسیار مشکل است.

۱-۴-۱ تعیین شدت جریان

وقتی قوس برقرار شد و جوشکاری آغاز گردید مقدار آمپری که از مدار جوشکاری عبور می‌کند به شدت جریان جوشکاری موسوم است. *جریان قوس متناسب با قطر الکتروود مصرفی روی ماشین جوشکاری میزان می‌شود.

۱-۴-۲ طول قوس

طول قوس عبارت است از فاصله بین سر الکتروود تا سطح قطعه مورد جوشکاری به هنگام برقراری قوس؛ طول قوس در کیفیت جوشکاری تأثیر زیادی دارد. طول قوس با ولتاژ دو سر قوس رابطه مستقیم دارد یعنی برای اینکه طول قوس سه برابر شود، نیاز به ولتاژ سه برابر خواهد داشت. عملاً برای جوشکاری اندازه‌گیری دقیق طول قوس هنگام جوشکاری مقدور نیست ولی جوشکار می‌تواند با گوش دادن به صدای قوس و یا تمرین، طول قوس مناسب را برقرار سازد.

۱-۴-۳ سرعت پیشروی

سرعت پیشروی قوس با ضخامت فلز مورد جوشکاری، مقدار جریان و اندازه، شکل یا گرده دلخواه جوش تغییر خواهد کرد. مطابق یک قاعده کلی سرعت پیشروی مناسب عبارتست از سرعتی که در اجرای یک جوش تک پاسه ساده با طول قوس ثابت، حوضچه مذاب تشکیل شده دو برابر قطر الکتروود باشد.

۱-۴-۴ زاویه الکتروود

در جوشکاری ورق حالت مسطح (حالت تخت)، الکتروود بایستی عمود بر ورق باشد و در حالت‌های دیگر بهتر است الکتروود زاویه موجود جوشکاری را نصف نماید.

معمولاً انحراف تا ۱۵ درجه از آنچه گفته شد اشکالی ندارد. محدوده زوایای مناسب جوشکاری در وضعیت‌های مختلف جوشکاری در آیین‌نامه جوشکاری ساختمانی ایران آمده است.

۱-۵ فرآیندهای جوشکاری^۴

فرآیندهای جوشکاری در سه رده عمومی قرار می‌گیرند:

۱. جوشکاری دستی

۲. جوشکاری نیمه‌خودکار

۳. جوشکاری خودکار

اختلاف سه فرآیند فوق در موارد زیر می‌باشد:

الف) هدایت انبر که در جوشکاری دستی و نیمه‌خودکار توسط کارگر انجام می‌شود.

ب) نوع الکتروود که در جوشکاری دستی از الکتروود روکش‌دار با طول محدود^۵ استفاده می‌شود و در جوشکاری نیمه‌خودکار و خودکار از الکتروود لخت (بدون روکش) با طول پیوسته که دور قرقره پیچیده شده، استفاده می‌شود.

پ) نحوه محافظت از نوار جوش مذاب در حال سخت شدن.

در جوشکاری نیمه‌خودکار، هدایت انبر توسط جوشکار انجام می‌شود، لیکن طول الکتروود نامحدود است. فرآیندهای جوشکاری خودکار و نیمه‌خودکار به‌قرار زیر است:

۱. جوش زیرپودری

۲. جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود فلزی

۳. جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود تنگستن

۴. جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود توپودری

۵. جوش گاز الکتریکی

۶. جوش سرباره الکتریکی

1. Polarity

2. DCEN or DCSP

3. DCEP or DCRP

۱. معرفی جوشکاری ساختمانی

تمایز قابل توجه در فرآیندهای فوق، نحوه محافظت از نوار جوش در حالت سخت شدن است. در جوشکاری دستی این کار توسط روکش الکتروده که در حین ذوب الکتروده با آن ذوب شده و به صورت لایه سخت در روی جوش خود را می‌بندد، انجام می‌شود. در سایر روش‌ها چون از الکتروده لخت استفاده می‌شود، محافظت به سبک دیگری تأمین می‌گردد که در زمان مناسب مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱-۶ جوشکاری دستی با الکتروده روکش دار (SMAW)

جوشکاری دستی متداول‌ترین فرآیند جوشکاری در کارگاه‌های ساختمانی است که در تمام حالات تخت، افقی، سربالا و سقفی قابل اجرا می‌باشد. وسایل مورد نیاز آن شامل مولد، مدار، انبر، ماسک، الکتروده روکش دار و جوشکار ماهر می‌باشد. کیفیت جوش حاصل بستگی به مهارت جوشکار، نوع الکتروده و روکش آن و سایر تجهیزات جوشکاری دارد. صدا البته مهارت جوشکار و نحوه آموزش جوشکار، اهمیت اول را دارد. سایر تجهیزات لازم برای جوشکاری دستی شامل چکش گیلزن، برس، گرم‌کن الکتروده و لوله دمیدن هوا برای زدودن گرد و غبار درز جوش است. عیب عمده این روش سرعت کم و هزینه دستمزد و وقت‌گیر بودن عملیات و گیل‌برداری بین عبورهای پی در پی نوار جوش است.

روکش الکتروده به طور مستقیم در فرآیند جوش دخالت ندارد، لیکن نقش بسیار عمده‌ای در افزایش سهولت و کیفیت جوشکاری دارد. در فصل سوم این موضوع به طور کامل مورد توجه قرار خواهد گرفت، لیکن در حدی که برای ادامه بحث لازم است، باید توضیحاتی ارائه گردد. روکش در حین جوشکاری به همراه الکتروده ذوب شده و پس از سرد شدن به صورت لایه‌ای روی نوار جوش می‌بندد. وجود این لایه، از اکسیداسیون نوار جوش، و سرد شدن سریع آن جلوگیری کرده و باعث افزایش کیفیت جوشکاری می‌شود. در سایر فرآیندهای جوشکاری این روکش باید به نحو دیگری تأمین گردد.

۱-۷ جوش زیرپودری (SAW)

جوش زیرپودری یک روش خودکار است. در جوشکاری به روش زیرپودری، ماده حفاظت‌کننده جوش، به صورت پودر روی درز ریخته می‌شود. به فاصله کمی پشت نازل پودر، قوس الکتریکی توسط الکتروده لخت و در زیر این پودر برقرار می‌گردد. در حین جوشکاری، قوس زیرپودر برقرار شده و جرقه جوشکاری مشاهده نمی‌شود و نیازی به استفاده از ماسک برای اپراتور نیست و تنها عینک محافظ صنعتی کفایت می‌کند.

الکتروده فلزی لخت که در این نوع جوشکاری از آن استفاده می‌شود، به مصرف پُر کردن درز می‌رسد. نوار جوش توسط گیل جوشکاری که از پودرهای ذوب شده ایجاد شده و روی آن لایه دیگری از پودر ذوب نشده به صورت دانه‌ای قرار دارد، حفاظت می‌شود. پودر ذوب نشده قابل بازیابی است.

پودر که عامل مشخصه این روش جوشکاری است روکشی ایجاد می‌کند که اجازه می‌دهد عمل جوشکاری بدون پاشیدگی، جرقه زدن و یا ایجاد دود انجام پذیرد. پودر دانه‌ای معمولاً به‌طور خودکار روی خط جوش و در پیشاپیش الکتروود که در حال حرکت به جلو می‌باشد، ریخته می‌شود. این ماده حوضچه مذاب را در مقابل گازهای هوا محافظت نموده و به تمیزی فلز جوش کمک می‌کند و در ضمن خواص شیمیایی فلز جوش را نیز بهبود می‌بخشد. جوشکاری به‌روش قوس زیرپودری اغلب به‌صورت تخت برای جوشکاری کارخانه‌ای در حالت خودکار و یا نیمه‌خودکار مورد استفاده قرار می‌گیرد

۸-۱ جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود مصرفی^۶

جوش تحت حفاظت گاز فرآیندی است قوسی که در آن الکتروود مصرفی، که تحت پوشش گاز محافظ قرار دارد، به‌صورت خودکار تغذیه می‌گردد. از آنجا که خصوصیات الکتروود قوس و سرعت رسوب، به‌صورت خودکار تنظیم می‌شوند، تنها سرعت انتقال، هدایت و تنظیم مکان انبر مخصوص جوشکاری^۷ است که به‌صورت دستی و توسط جوشکار انجام می‌گیرد.

در این روش الکتروود مفتول لخت و پیوسته‌ای است که از میان گیره الکتروود گذشته و با یک قرقره تغذیه می‌شود (شکل ۱ - ۹). حفاظت در این روش با سپری از گاز غیرفعال (نظیر آرگون) و یا فعال (نظیر CO_2) صورت می‌گیرد.

بعضی از خصوصیات این روش جوشکاری به‌قرار زیر می‌باشند:

۱. حرارت ایجادشده نسبت به سایر روش‌ها کمتر است، در نتیجه اعوجاج جوشکاری کمتر است.
۲. تغذیه پیوسته سیم جوش
۳. نرخ ترسیب زیاد در نوار جوش
۴. عدم وجود سرباره و در نتیجه عدم نیاز به تمیزکاری جوش
۵. عدم نفوذ هیدروژن در نوار جوش
۶. جوشکاری تحت حفاظت گاز باید در محیط‌های بسته و کارخانه‌ای و بدون وزش باد انجام گیرد، لیکن در وضعیت‌های مختلف به‌صورت نیمه‌خودکار قابل استفاده است.

خصوصیات جوش تحت حفاظت گاز را می‌توان توسط چهار مدل اصلی انتقال فلز به‌خوبی توضیح داد:

انتقال اسپری محوری، انتقال قطره‌ای، انتقال پالسی و انتقال کوتاه.

منظور از مدل انتقال فلز، نحوه جدا شدن قطرات مذاب از نوک الکتروود و انتقال آنها به حوضچه مذاب می‌باشد.

هر کدام از مدل‌های انتقال فلز مشخصات متفاوتی دارند به‌طوری‌که می‌توان هر یک از آنها را به‌عنوان یک فرآیند

جوشکاری متفاوت تلقی نمود. مدل انتقال فلز به فاکتورهایی از قبیل میزان ولتاژ و شدت جریان، نوع گاز محافظ مورد استفاده و مشخصات منبع قدرت بستگی دارد.

یکی از وجوه تمایز بین مدل‌های فوق، اختلاف در میزان حرارت ورودی به قطعه کار می‌باشد. حالت اسپری بیشترین حرارت ورودی را ایجاد می‌کند، پس از آن حالت پالسی، حالت قطره‌ای و در نهایت حالت قوس کوتاه می‌باشد. بنابراین انتخاب مدل اسپری جهت جوشکاری مقاطع ضخیم با سرعت بالا مناسب‌ترین انتخاب می‌باشد، اگرچه با این قوس امکان جوشکاری فقط در وضعیت تخت میسر می‌باشد. امکان جوشکاری در حالت اتصال کوتاه در تمام وضعیت‌ها وجود دارد، ولی جهت جوشکاری مقاطع ضخیم به دلیل کم بودن میزان انرژی قوس، احتمال بروز ذوب ناقص زیاد می‌باشد.

۱-۹ جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود توپودری

این فرآیند شبیه جوشکاری تحت حفاظت گاز است، با این تفاوت که الکتروود ممتد آن لوله‌ای شکل بوده، و در مغزه خود مقدار محدودی پودر دارد. این ماده همان نقشی را به عهده دارد که روکش در روش جوشکاری دستی با الکتروود روکش‌دار و یا پودر در روش جوش زیرپودری به عهده داشتند. در الکتروودهای ممتد قرقره پیچ، حفظ روکش بر روی سیم امکان ندارد. به این جهت پودر در مغز الکتروود جاسازی می‌شود. در این حالت حفاظت هم به وسیله گاز و هم پودر داخل الکتروود انجام می‌شود (شکل ۱-۱۱).

در جوشکاری قوسی با الکتروودهای توپودری^۸، حرارت جوشکاری از طریق ایجاد قوس الکتریکی بین الکتروود پرکننده پیوسته و قطعه کار تأمین می‌شود. خصوصیت منحصر به فرد این فرآیند، استفاده از الکتروودهای توپودری می‌باشد. جوشکاری قوسی با الکتروود توپودری دو حالت مختلف دارد. در فرآیند FCAW با حفاظت گازی (شکل ۱-۱۲ الف)، از یک گاز خارجی برای حفاظت قوس در برابر نیتروژن و اکسیژن موجود در اتمسفر استفاده می‌شود. به طور کلی قسمت‌های تشکیل دهنده مرکز الکتروودهای مورد استفاده در این روش، حاوی تشکیل دهنده‌های سرباره، اکسیژن‌زداها، پایدارکننده‌های قوس و عناصر آلیاژی می‌باشند.

در فرآیند FCAW با الکتروودهای خودمحافظ^۹ (شکل ۱-۱۲ ب)، اجزای هسته الکتروود، فلز جوش را بدون حفاظت خارجی، از اتمسفر محافظت می‌کنند. در برخی الکتروودهای خودمحافظ، گاز حفاظتی از طریق تجزیه اجزای پودر درون الکتروود ایجاد می‌شود. در برخی موارد دیگر، حفاظت از طریق سرباره صورت می‌گیرد و قطره‌های فلز مذاب از قوس عبور می‌کنند و حوضچه جوش توسط پوشش سرباره در مقابل اتمسفر محافظت می‌شود. در بسیاری از الکتروودهای خودمحافظ، مقادیری از مواد اکسیژن‌زدا و نیتروژن‌زدا نیز وجود دارد که به ایجاد فلز جوش بدون عیب کمک می‌کند. الکتروودهای خود محافظ می‌توانند حاوی پایدارکننده قوس و عناصر آلیاژی نیز باشند.

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

- سرعت رسوب بالا برای جوشکاری در همه وضعیت‌ها
- نیاز به مهارت کمتر جوشکاری نسبت به فرآیند GMAW
- ساده‌تر بودن نسبت به جوشکاری قوسی زیرپودری (SAW)
- ایجاد نفوذ عمیق‌تر نسبت به فرآیند جوشکاری قوسی با الکتروود دستی (SMAW)
- حساسیت کمتر به آلودگی و زنگ زدن، نسبت به فرآیند جوشکاری قوسی با حفاظت گاز (GMAW) ✱

۱-۱۰ جوشکاری گاز الکتریکی و سرباره الکتریکی

۱-۱۰-۱ جوش گاز الکتریکی* (EGW)

جوشکاری گاز الکتریکی، روش ماشینی خودکار برای جوشکاری درزها در وضعیت قائم است. در این روش هم از الکتروود ممتد لخت و هم از الکتروود توپودری می‌توان استفاده نمود. این روش قادر به پُر کردن درز جوش ورق‌های ضخیم با یک بار عبور می‌باشد. شیار جوش از دو طرف توسط دو کفشک که توسط جریان آب خنک نگه داشته می‌شود، احاطه می‌شود. کفشک همراه با پیشرفت جوشکاری، به سمت بالا حرکت می‌کند. در نتیجه حوضچه مذاب از دو طرف به‌طور کامل محصور شده و از ریزش آن جلوگیری می‌شود. جوش را می‌توان با دمیدن گاز و یا استفاده از الکتروود توپودری محافظت نمود.

۱-۱۰-۲ جوشکاری سرباره الکتریکی (ESW)

همان‌طور که شکل ۱-۱۴ نشان می‌دهد، جوشکاری سرباره الکتریکی مشابه جوشکاری گاز الکتریکی است. با این تفاوت که جوشکاری به کمک حرارت حاصل از مقاومت سرباره جوش در مقابل جریان الکتریکی صورت می‌گیرد و سرباره مذاب باعث محافظت جوش شده و از طرف دیگر باعث ذوب مفتول و لبه‌های ورق می‌شود. با این روش می‌توان درز با هر ضخامتی را با یک بار عبور جوش نمود. به‌طور اصولی جوشکاری گاز الکتریکی و سرباره الکتریکی برای درزها با ضخامت زیاد توجیه اقتصادی دارند. به‌واسطه سرعت کم پیشروی جوشکاری، نوار جوش حاصل دارای بافت درشتی بوده و در نتیجه طاقت نمونه زخم‌دار آن کم خواهد بود.

۱۱-۱۱ جوش خمیری

جوش خمیری در صنعت ساختمان اغلب برای جوشکاری میلگردها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش دوسر میلگرد که هرکدام به قطبی از مولد متصل شده‌اند، به یکدیگر نزدیک می‌شوند. با برقراری قوس الکتریکی، دوسر میلگردها داغ و سرخ می‌شوند. در این لحظه دو سر میلگرد به هم فشرده می‌شوند تا امتزاج کامل حاصل گردد.

۱-۱۲ جوشکاری گل میخ

فرآیند جوشکاری قوسی گل میخ از رایج‌ترین فرآیندهای جوشکاری گل میخ‌های فلزی به‌فلز پایه می‌باشد، که از لحاظ ساختاری مشابه روش SMAW است. در این فرآیند گل میخ فلزی به‌عنوان الکترود عمل نموده و قوس الکتریکی بین نوک گل میخ و سطح ورق ایجاد می‌شود که منجر به ذوب و ممزوج شدن گل میخ با ورق فولادی می‌گردد. گل میخ در داخل یک انبر تپانچه‌ای شکل قرار گرفته و جهت محافظت منطقه جوش از یک قطعه حلقوی سرامیکی استفاده می‌شود. پس از برقراری قوس در یک زمان مشخص انبر تپانچه‌ای شکل، گل میخ را به سمت حوضچه مذاب فشار داده و فرآیند جوشکاری به اتمام می‌رسد. در این فرآیند علاوه بر ذوب کل مقطع گل میخ، یک جوش گوشه ظریف هم اطراف گل میخ ایجاد می‌شود. مدت زمان کل فرآیند کمتر از یک ثانیه می‌باشد.

۱-۱۳ وضعیت‌های جوشکاری

برحسب وضعیت قطعه مورد جوش و الکترود نسبت به هم چهار وضعیت جوشکاری وجود دارد:

وضعیت تخت یا کفی (با علامت 1F در جوش گوشه و 1G در جوش شیاری)؛

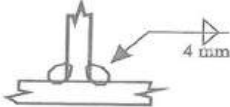
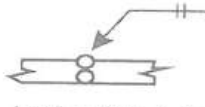
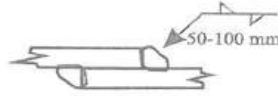
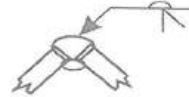
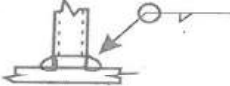
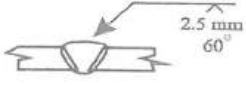
وضعیت افقی (با علامت 2F در جوش گوشه و 2G در جوش شیاری)؛

وضعیت سربالا (با علامت 3F در جوش گوشه و 3G در جوش شیاری)؛

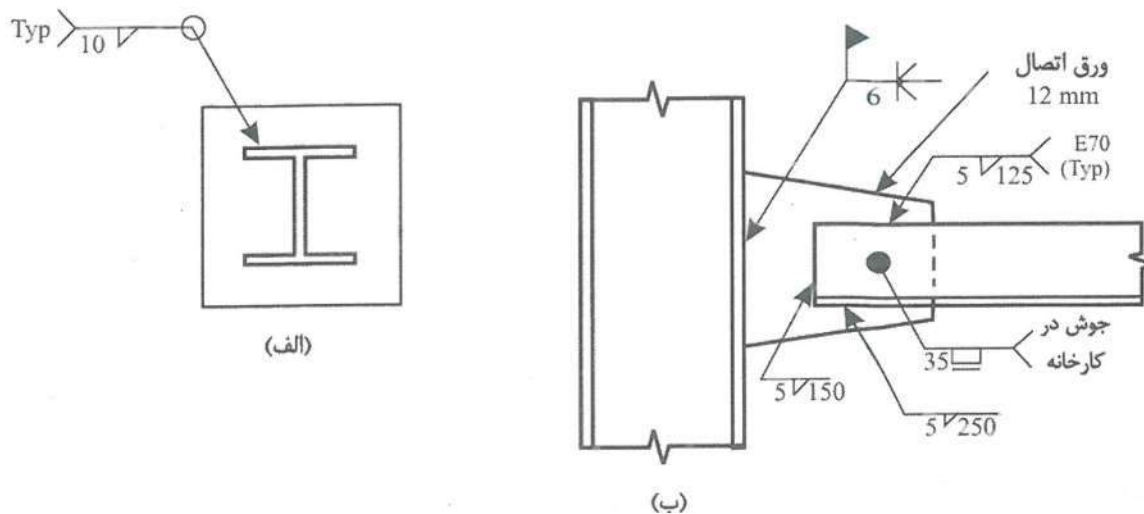
وضعیت سقفی (با علامت 4F در جوش گوشه و 4G در جوش شیاری)؛

جوشکاری در وضعیت تخت ساده‌ترین و در وضعیت سقفی، مشکل‌ترین می‌باشد.

علائم اصلی جوش									
نیم جناغ گرد	جناغی گرد	نیم لاله ای	لاله ای	نیم جناغی	جناغی	ساده	کام یا انگشتانه	گوشه	جوش پشت یا پشت بند
علائم تکمیلی جوش									
جوش یکسره	شکل سطح جوش		جوش در محل (موقع نصب)	جوش دور تا دور	برای دیگر علائم اساسی به کتاب علائم قراردادی اتصالات در ساختمان‌های فلزی یا مشربیات AWS مراجعه کنید				
	محدب	تخت							
محل قراردادی جاگیری علامت‌های جوشکاری									

جوش‌های گوشه	جوش‌های شیار	جوش‌های شیار مخصوص
 عدد نماینده اندازه ساق جوش، وقتی جوش‌های دو طرف یکی باشد تنها در یک طرف گذارده می‌شود	 جوش لب به لب ساده با جوشکاری از دو طرف	 اتصال گونیا با جوش شیار
 نشان‌دهنده این است که جوش‌ها منقطع و یکی درمیان بوده، طول جوش ۵ سانتی‌متر بوده و به فاصله مرکز به مرکز ۱۰ سانتی‌متری قرار دارند.	 جوش نیم‌جناغی با شکاف ریشه ۳ میلی‌متر با پخ ۴۵ درجه در قطعه بالایی و استفاده از جوش پشت بند	 اتصال گونیا با جوش شیار با خط جوش داخلی
 جوش دورتادور	 نیم‌جناغی دوطرفه	 اتصال گونیا با جوش نفوذی کامل - ترکیب جوش گوشه و جوش شیار مورد استفاده در اتصالات تحت بارهای ضربه‌ای یا در معرض خستگی

شکل ۱- ۲۵ کاربرد علائم جوشکاری.



شکل ۱- ۲۶ استفاده از علائم جوش.

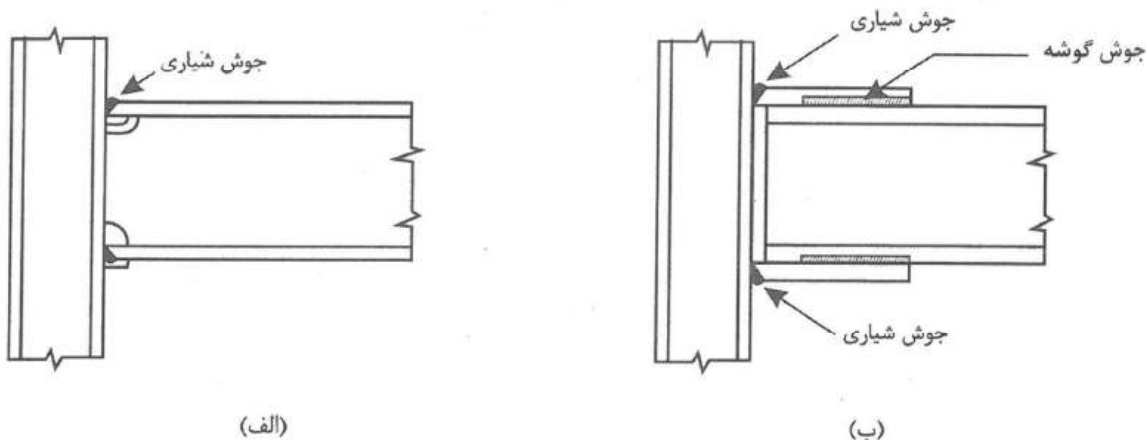
۱-۱۷ کاربرد انواع جوش در ساختمان

جوش گوشه بیشترین کاربرد را در ساختمان دارد. اغلب اتصالات شامل اتصالات نبشی‌ها، مهاربندها، ورق‌های مهاربندی توسط جوش گوشه انجام می‌شود.

اصولاً جوش گوشه باید طوری آرایش داده شود که تحت تنش برشی قرار داده شود. جوش گوشه نباید تحت تنش‌های قائم قرار گیرد.

از جوش شیاری برای یکسره کردن ورق‌ها برای ساخت تیرورق‌ها و ستون‌های ورق‌ی و همچنین در اتصالات صلب تیر به ستون برای اتصال ورق‌های زیرسری و روسری به ستون استفاده می‌شود.

از جوش‌های شیاری در مواقعی که جوش تحت تنش‌های قائم قرار دارد، استفاده می‌شود



۱-۱۸ جوش‌پذیری

اکثر فولادهای ساختمانی را می‌توان با روش جوش قوس الکتریکی با درزهای سالم و قوی، جوش داد. جوش‌پذیری فولاد به صورت قابلیت سهولت در حصول جوش سالم و بدون ترک تعریف می‌شود. یک نوع فولاد وقتی قابل جوش نامیده می‌شود که بدون مخارج اضافی و مشکلات جانبی، آن را بتوان به صورت متعارف جوش نمود.

آلیاژهای غیرآهنی موجود در فولاد، عوامل عمده مؤثر بر جوش‌پذیری آن می‌باشند. در جدول ۱-۲ حدود متعارف این آلیاژها برای حصول حداکثر سرعت جوشکاری و اقتصاد مناسب کار ارایه شده است. فولادهایی که آلیاژهای آنها بیشتر از مقادیر مندرج در این جدول است، احتیاج به الکترودها و دستورالعمل‌های خاص جوشکاری دارند. همچنین به بند ۶-۱۰-۴ نیز مراجعه شود.

جدول ۱-۲ حدود مناسب آلیاژهای فولاد برای حصول قابلیت جوشکاری مناسب

عنصر	دامنه مناسب (درصد)	در صورتی که مقدار هر یک از عناصر از مقادیر زیر تجاوز نماید، روش‌ها و تدابیر خاص در هنگام جوشکاری لازم است.
C کربن	۰/۲۵ تا ۰/۰۶	۰/۳۵
Mn منگنز	۰/۸ تا ۰/۳۵	۱/۴
Si سیلیسیم	۰/۱ (حداکثر)	۰/۳
S سولفور	۰/۰۳۵ (حداکثر)	۰/۰۵
P فسفر	۰/۰۳ (حداکثر)	۰/۰۴

در هنگام جوشکاری ورق‌های ضخیم و یا فولادهای پرمقاومت و آلیاژدار، نیاز به دستورالعمل‌های خاص جوشکاری برای جلوگیری از وقوع ترک می‌باشد. این دستورالعمل‌ها دربرگیرنده یک و یا تمام عوامل مذکور در زیر می‌باشند:

- ۱ - شکل و هندسه درز جوش؛

- ۲ - حداقل نفوذ به منظور جلوگیری از رقیق‌شدگی^{۱۱} فلز جوش با عناصر آلیاژ ورق؛

- ۳ - پیش‌گرمایش، دمای کنترل‌شده برای عبورهای (پاس‌های) میانی و کنترل حرارت القایی از عمل جوشکاری به منظور به تأخیر انداختن سرعت سرد شدن و کاهش تنش‌های انقباضی.

۱-۱۹ پیش‌گرمایش

پیش‌گرمایش که از عوامل مهم جلوگیری از ایجاد ترک در جوش می‌باشد، در عمل به یکی از دلایل زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- ۱ - به منظور کاهش تنش‌های انقباضی در جوش و فلز پایه مجاور آن، به خصوص در درزهایی که درجه گیرداری آنها زیاد است.

- ۲ - برای کاهش سرعت انجماد در گذر از محدوده دمای بحرانی (۷۲۰ تا ۹۹۰ درجه سلسیوس) به منظور جلوگیری از تردی و افزایش شکل‌پذیری نوار جوش و ناحیه تفتیده در فلز پایه.

- ۳ - برای کاهش سرعت سرد شدن در محدوده ۲۰۰ درجه سلسیوس برای اجازه دادن به خروج هرگونه هیدروژن جذب‌شده توسط مصالح جوش و ناحیه تفتیده در فلز پایه.

- ۴ - برای افزایش سرعت بحرانی مجاز سرد شدن در زیر دمایی که خطر ترک‌خوردگی در زیر نوار جوش از بین رفته است.

- ۵ - به منظور افزایش طاقت زخم^{۱۲} در ناحیه جوش.

- ۶ - کاهش دمای انتقال در فلز پایه اطراف آن.

در صورت استفاده از الکتروده کم‌هیدروژن، پیش‌گرمایش را می‌توان به حداقل رسانید. در وضعیت‌هایی نظیر جوشکاری ورق‌های خیلی ضخیم یا پُر آلیاژ و یا درزه‌ای با درجه گیرداری بالا، نیاز به پیش‌گرمایش بیشتری است. هرچند که پیش‌گرمایش فواید زیادی در بر دارد، لیکن به علت افزایش مخارج استفاده از آن، در مواردی تو می‌شود که به آن نیاز است.

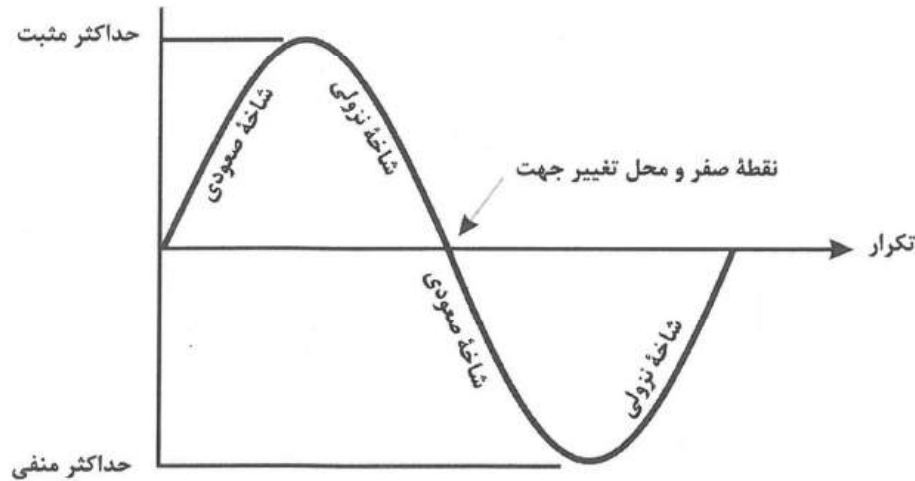
۲-۲ قابلیت‌های جوشکاری قوس الکتریکی

الکتروده‌های روکش‌دار در جوش قوس الکتریکی از لحاظ خواص و مقاومت، قابل سازگاری با بسیاری از فلزات پایه می‌باشند. جوشکاری فولاد کم‌آلیاژ و کم‌کربن، فولاد زنگ‌نزن و فولاد اصلاح‌شده با این روش بسیار آسان می‌باشد و جوشکاری چدن و فولاد پرمقاومت با اجرای تهمیدات خاص در مورد پیش‌گرمایش و پس‌گرمایش، با این روش امکان‌پذیر است. همچنین جوشکاری آلیاژهای مس و نیکل با این شیوه امکان‌پذیر بوده ولی جوشکاری تحت حفاظت گاز با الکتروده تنگستن^۲، در این موارد ارجح است.

روش الکتروده روکش‌دار برای فلزات نرم نظیر روی، برنج و قلع که نقطه جوش و نقطه ذوب پایینی دارند، کاربرد ندارد.

۱. معرفی جوشکاری ساختمانی

جوشکاری قوس الکتریک به شدت جریان الکتریکی کافی (برحسب آمپر) برای ذوب فلز پایه و الکتروود، و ولتاژ مناسب (برحسب ولت) برای تولید قوس نیاز دارد. الکتروودها بسته به نوع و اندازه شان به ولتاژی حدود ۱۷ تا ۴۵ ولت و جریان تقریبی بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ آمپر نیاز دارند.



شکل ۲-۳ یک چرخه از جریان متناوب.

اختلاف پتانسیل و شدت جریان (ولتاژ و آمپراژ)

اگر ولتاژ زیاد باشد، طول قوس بلند بوده و ممکن است مه‌ح انحراف قوس گردد. اگر میزان ولتاژ خیلی کم باشد، طول قوس خیلی کوچک بوده و برقراری قوس بسیار مشکل است. در حالتی که جوشکاری غیرذوبی باشد، یعنی الکتروود ذوب نشود، مثل روش‌های جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود تنگستن و یا اینکه طول الکتروود محدود باشد، مثل جوشکاری دستی، از مشخصه آمپر ثابت استفاده می‌گردد. در روش‌های جوشکاری که با دست انجام می‌شود و به دلیل دستی بودن آن طول قوس تغییر کرده و ولتاژ نیز به دلیل داشتن رابطه مستقیم با تغییرات طول قوس، تغییر نماید، اگر طراحی دستگاه نیز به گونه‌ای باشد که باعث تغییرات زیاد در شدت جریان گردد، جوش مناسبی به دست نمی‌آید، در نتیجه جهت جبران اشتباه در حرکت دست جوشکار، مشخصه ولت آمپر این گونه دستگاه‌ها باید آمپر ثابت باشد. هر نوع روش جوشکاری قوس الکتریکی به خواص V-I مشخصی نیاز دارد:

- جوشکاری تحت حفاظت گاز با الکتروود تنگستن^۶ و جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار نیاز به شیب خروجی تند از یک منبع انرژی با جریان ثابت دارند. شدت جریان الکتریکی ثابت جهت کنترل پایداری و تثبیت قوس الکتریکی ضروری است.
- جوشکاری تحت حفاظت گاز با الکتروود فلزی، نیاز به شیب خروجی نسبتاً افقی دارد و جهت تثبیت قوس الکتریکی این شیب خروجی باید از منبع انرژی با ولتاژ ثابت به دست آید.

• جوشکاری زیرپودری بسته به نوع کاربرد و کنترل دقیق تجهیزات، قابل سازگاری با شیب‌های خروجی مختلف است.

بعضی از ماشین‌های جوشکاری جریان مستقیم ممکن است دو نوع اصلی از شیب خروجی را در یک واحد منفرد ترکیب کنند. در این حالت می‌توان با زدن کلید انتخاب‌کننده، یک شیب تند (با جریان ثابت) یا یک شیب تخت (با ولتاژ ثابت) تولید کرد.

۲-۶-۱ ماشین‌های جوشکاری موتور - مولد^۷

موتور - مولدها (موتور - ژنراتورها) معمولاً تنها جریان یکسو تولید می‌کنند، هر چند که می‌توانند برای تولید جریان متناوب نیز طراحی و ساخته شوند. اکثر موتور - مولدها از نوع جریان ثابت بوده و به‌ویژه برای الکترودهای روکش‌دار و جوشکاری تحت حفاظت گاز با الکتروود تنگستن مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک مدل از این ماشین‌ها در شکل ۲ - ۷ نشان داده شده است.

موتور - مولدهای برقی (دینام‌ها)، شامل یک موتور با جریان متناوب سه فاز، یک مولد جریان یکسو یا متناوب و یک مولد میدان مغناطیسی مستقر بر روی یک شفت می‌باشند. جریان متناوب سه فاز، موتور الکتریکی را به کار انداخته و این موتور مولدی را به کار می‌اندازد که جریان لازم برای جوشکاری را تولید می‌کند. این قسمت‌ها در شکل ۲ - ۸ نشان داده شده است.

در بعضی از کارهای ساختمانی و کارهای تعمیری استفاده از منبع انرژی الکتریکی مقرون به‌صرفه نبوده، همچنین در بعضی موارد انرژی الکتریکی قابل دسترسی نیست. بنابراین استفاده از موتورهای بنزینی و دیزلی به‌عنوان منبع انرژی جهت راه‌اندازی مولد جوشکاری ضروری است. کنترل جوشکاری توسط این ماشین‌ها مشابه موتور - مولدهای برقی (دینام) است. واحدهای مختلف دستگاه بر روی یک شاسی ساخته می‌شود که در زیر آن چرخ‌های لاستیکی مشابه لاستیک اتومبیل وجود دارد که باعث سهولت حرکت آن در قسمت‌های مختلف کارگاه می‌گردد.

سوخت موتورها معمولاً بنزین و گازوییل می‌باشد. موتور - مولدهای جریان یکسو و متناوب و موتورهای درونسوز دارای خصوصیات مطلوب برای جوشکاران جوش قوس الکتریکی می‌باشند.

۲-۶-۲ ماشین جوشکاری مبدل - یکسوکننده D.C (رکتیفایرها)

مبدل - یکسوکننده‌ها (رکتیفایرها) که نمونه‌ای از آن در شکل ۲ - ۱۰ نشان داده شده، دارای طرح‌های متعدد برای مقاصد مختلف می‌باشند. انعطاف‌پذیری، یکی از دلایل پذیرش گسترده این ماشین در صنعت جوشکاری است. این ماشین‌ها قادر به تحویل جریان با قطبیت منفی یا مثبت می‌باشند، همچنین ممکن است برای جوشکاری دستی با الکتروود، جوشکاری تحت حفاظت گاز، جوشکاری زیرپودری و جوشکاری گل‌میخ‌ها مورد استفاده قرار گیرند و امکان سرویس‌دهی همزمان چندین کاربر را دارا می‌باشند.

همه ماشین‌های مبدل - یکسوکننده دارای دو قسمت اصلی هستند:

۱. معرفی جوشکاری ساختمانی

(۱) مبدل (ترانسفورماتور) جهت تنظیم شدت جریان متناوب ورودی به ماشین؛

(۲) یکسوکننده که جریان متناوب را به جریان مستقیم تبدیل می کند.

مهمترین قسمت دیگر این ماشین ها یک پروانه تهویه است. این پروانه از افزایش حرارت یکسوکننده در حین کار و در نتیجه کاهش طول عمر مفید آن جلوگیری می کند. مشابه موتور - مولدهای یکسو، کنترل جریان پیوسته در یک دامنه وسیع امکان پذیر است.

مبدل - یکسوکننده ها دارای قسمت های گردنده نیستند، بنابراین در هنگام عدم استفاده و یا کارکرد آهسته انرژی کمتری مصرف می کنند. این ماشین ها به نگهداری و مراقبت کمتری نیاز دارند.



شکل ۲-۱۰ ماشین جوشکاری یکسوکننده (رکتیفایر).

ماشین های جوشکاری مبدل - یکسوکننده AC-DC

ماشین های AC-DC به کاربر اجازه می دهند که نوع جریان را به صورت مستقیم یا متناوب و نوع قطبیت را به صورت مستقیم یا معکوس انتخاب کند. این ماشین ها در اصل یک مبدل - یکسوکننده جریان A.C. هستند. یک کلید به کاربر اجازه می دهد تا فقط از قسمت مبدل برای جریان متناوب استفاده کند. با زدن یک کلید یا چرخاندن یک صفحه، جریان خروجی به داخل یکسوکننده فرستاده می شود و این دستگاه جریان را به جریان مستقیم جوشکاری تبدیل می کند. مدار یکسوکننده این ماشین مشابه سایر ماشین های مبدل - یکسوکننده می باشد

ماشین‌های جوشکاری مبدل - یکسوکننده AC-DC

ماشین‌های AC-DC به کاربر اجازه می‌دهند که نوع جریان را به صورت مستقیم یا متناوب و نوع قطبیت را به صورت مستقیم یا معکوس انتخاب کند. این ماشین‌ها در اصل یک مبدل - یکسوکننده جریان A.C. هستند. یک کلید به کاربر اجازه می‌دهد تا فقط از قسمت مبدل برای جریان متناوب استفاده کند. با زدن یک کلید یا چرخاندن یک صفحه، جریان خروجی به داخل یکسوکننده فرستاده می‌شود و این دستگاه جریان را به جریان مستقیم جوشکاری تبدیل می‌کند. مدار یکسوکننده این ماشین مشابه سایر ماشین‌های مبدل - یکسوکننده می‌باشد

۲-۶-۳ ماشین‌های جوشکاری جریان متناوب (A.C.) - مبدل‌های جریان متناوب (ترانس‌ها)

انحراف قوس باعث پاشیدگی شده و در ترکیب جوش ایجاد تداخل می‌کند.

هر چند که تشکیل قوس با جریان متناوب نسبت به حالت استفاده از جریان یکسو، تا اندازه‌ای مشکل است لیکن عدم وجود انحراف قوس و ولتاژ زیاد، باعث دوام و پایداری قوس می‌شود. این شرایط همچنین اجازه استفاده از الکترودهای بزرگ را داده و باعث افزایش سرعت کار در جوشکاری فلزات سنگین و ضخیم می‌گردد. دیگر مزایای ماشین‌های جریان متناوب، قیمت پایین، کاهش مصرف انرژی، بازده بالای تولید جریان، عملکرد بی صدا و کاهش نیاز به مراقبت و نگهداری نسبت به انواع دیگر است.

ماشین جوشکاری جریان متناوب مخصوصاً مناسب برای جوشکاری شیارها و پُر کردن درزهای ورق‌های ضخیم در موقعیت جوشکاری تخت می‌باشد.

مبدل‌های A.C. یا ترانس‌ها، رایج‌ترین ماشین‌های جوشکاری جریان متناوب می‌باشند (شکل ۲ - ۱۱). عملکرد مبدل، کاهش ولتاژ ورودی و افزایش آمپراژ می‌باشد. زیرا همان‌طور که ذکر شد، در جوشکاری معمولاً به ولتاژی پایین‌تر از ولتاژ برق شهر نیاز است.

۲-۷-۲ کابل و وسایل اتصال

۲-۷-۱ کابل برق

محل نصب و استقرار ماشین جوشکاری در کارگاه بسیار مهم است چون در صورت از بین رفتن عایق کابل‌های برق یا لایه‌های عایق بدنه ماشین جوشکاری امکان برقراری شوک (ضربه) الکتریکی به منظور تشکیل قوس از بین خواهد رفت.

کابل الکترود و کابل اتصال به زمین

کابل‌های مورد استفاده، عموماً کابل‌های رشته‌ای از جنس مس با پوشش لاستیکی مطابق شکل ۲ - ۱۲ هستند که مشخصاً برای جوشکاری طراحی و ساخته می‌شوند. استفاده از کابل‌های از جنس رشته‌های آلومینیوم نیز در حال گسترش است. کابل، به‌ویژه کابل الکترود باید کاملاً انعطاف‌پذیر باشد تا موجب خستگی و یا مزاحمت جوشکار در حین کار نگردد.

۱. معرفی جوشکاری ساختمانی

جوشکاری قائم و سقفی که در آنها جوشکار باید الکتروود و انبر جوشکاری را بالای سر نگه دارد، وضعیت دشواری را برای وی ایجاد می‌کند. کابل الکتروود با انعطاف‌پذیری کم، دشواری کار را بیشتر کرده و باعث خستگی بیشتر جوشکار خواهد شد. بنابراین، در چنین حالتی حفظ سرعت و کیفیت جوش توسط جوشکار بسیار مشکل و یا غیرممکن است.

انعطاف‌پذیری زیاد در کابل الکتروود ناشی از ساختمان مغزه آن می‌باشد. مغزه کابل الکتروود از هزاران رشته مویی و ریز مسی تشکیل شده است و هر چقدر تعداد این رشته‌های باریک در یک کابل برای یک شماره مشخص بیشتر باشد، انعطاف‌پذیری کابل بالاتر است. شکل ۲ - ۱۲ ساختمان داخلی یک کابل مسی با روکش لاستیکی را نشان می‌دهد.

کابل‌های الکتروود آلومینیومی نیز به‌صورت رشته‌ای هستند. لیکن، تعداد این رشته‌ها در یک کابل آلومینیومی نسبت به کابل مسی هم‌شماره، بیشتر می‌باشد. بنابراین برای یک شرایط مفروض شماره بزرگتری از یک کابل آلومینیومی (نسبت به کابل مسی) باید انتخاب شود. علیرغم اندازه بزرگتر، وزن کابل آلومینیومی و روکش آن تقریباً نصف وزن کابل مسی می‌باشد.

انتخاب شماره (اندازه) کابل

میزان آمپراژ ماشین جوشکاری و فاصله ماشین از محل کار دو عامل مهم در انتخاب کابل جوشکاری مناسب می‌باشند. جدول ۲ - ۱ این موضوع را نشان می‌دهد.

جدول ۲ - ۱ انتخاب اندازه مناسب کابل جوشکاری

انتخاب شماره مناسب کابل جوشکاری برای یک ماشین عاملی مهم در به‌دست آوردن یک جوش سالم می‌باشد. برای مثال یک کابل نمرة ۴/۰ به‌طول ۳۰ متر در جریانی معادل ۵۰۰ آمپر افقی معادل ۴ ولت خواهد داشت. در یک ولتاژ خروجی معادل ۴۰ ولت، افت انرژی حدود ۱۰٪ خواهد بود. در این حالت جریان باید به میزان ۱۰٪ برای جبران این افت افزایش یابد.							
حداکثر طول کابل مورد استفاده (متر)							
شدت جریان (برحسب آمپر)	۱۵	۲۲/۵	۳۰	۳۷/۵	۴۵	۵۲/۵	۶۰
۱۰۰	۲	۲	۲	۲	۱	۱.۰	۱.۰
۱۵۰	۲	۲	۱	۱.۰	۲.۰	۲.۰	۳.۰
۲۰۰	۲	۱	۱.۰	۲.۰	۳.۰	۴.۰	۴.۰
۲۵۰	۲	۱.۰	۲.۰	۳.۰	۴.۰		
۳۰۰	۱.۰	۲.۰	۳.۰	۴.۰			
۳۵۰	۱.۰	۳.۰	۴.۰				
۴۰۰	۱.۰	۳.۰	۴.۰				
۴۵۰	۲.۰	۳.۰					
۵۰۰	۳.۰	۴.۰					

مشخصات کابل‌های ارائه شده در جدول فوق به قرار زیر است:

شماره AWG	قطر خارجی (mm)	ضخامت Sheath (mm)	Single wire ® max	سطح مقطع هادی کابل (mm ²)
4	10.1-12.7	2.0	0.21	1*25
2	11.4-14.2	2.0	0.21	1*35
1	13.2-16.5	2.2	0.21	1*50
2/0	15.3-19.2	2.4	0.21	1*70
3/0	17.1-21.4	2.6	0.21	1*95
4/0	19.2-24.0	2.8	0.21	1*120

هر قدر شدت جریان (آمپراژ) و فاصله ماشین جوشکاری از محل کار بیشتر باشد، کابلی با اندازه بزرگتر باید انتخاب گردد. با کاهش قطر کابل، مقاومت آن افزایش می‌یابد، ولی اگر کابل خیلی کوچک (نازک) باشد، بیش از حد گرم‌شده و اثر سوء روی عمل جوشکاری خواهد داشت. افزایش طول کابل نیز موجب افزایش مقاومت خواهد شد، بنابراین ماشین جوشکاری باید حتی‌المقدور در نزدیکی محل جوشکاری مستقر گردد. کابل‌های جوشکاری با طول زیاد ممکن است باعث افت ولتاژ قابل ملاحظه‌ای در طول خود گردند که این موضوع اثرات مهمی روی جریان الکتریکی و تشکیل قوس خواهد داشت.

کفشک کابل و گیره اتصال

کفشک‌های مناسب طبق شکل ۲ - ۱۳ جهت اتصال کابل الکتروود و کابل زمین (کابل اتصال) به ماشین جوشکاری مورد نیاز می‌باشند. این کفشک‌ها باید با لحیم یا اتصال مکانیکی مناسب به کابل‌های مورد نظر وصل شوند. اتصال این کفشک‌ها به محل خروجی ماشین جوشکاری باید کاملاً سفت و محکم باشد. لق شدن این اتصال باعث گرم شدن کفشک و ذوب شدن لحیم اتصال کابل به کفشک می‌گردد، سپس محل اتصال و کفشک‌ها سوخته و موجب اختلال در جریان جوشکاری خواهد شد.

۲-۸ تجهیزات حفاظتی

۲-۸-۱ ماسک دستی^۹ و ماسک کلاهی^{۱۰}

نور درخشان حاصل از قوس الکتریکی دارای دو نوع پرتو نامرئی می‌باشد که برای چشم‌ها و پوست بدون محافظ مضر است. یکی از پرتوها اشعه فرابنفش و دیگری اشعه مادون قرمز است. تکرار مشاهده این نور خواه به صورت مستقیم یا غیرمستقیم باعث درد چشم می‌شود که البته درد آن دایمی نیست. جوشکاران این نوع درد را «ریگ داغ در چشم» می‌گویند. این پرتوها گاه سوزشی مشابه آفتاب سوختگی و گاهی تولید عفونت می‌کنند. آنها در فواصل کمتر از ۱۵ متر بر روی چشم و در فاصله‌ای کمتر از ۶ متر بر روی پوست اثر می‌گذارند.

پوشش‌های حفاظتی تنها برای مقابله با پرتوهای زیان‌آور نبوده بلکه جهت حفاظت جوشکار در مقابل قطره‌های فلز مذاب نیز هستند که بخصوص در جوشکاری‌های قائم و سقفی به جوشکار صدمه می‌زند. ماسک دستی، طبق شکل ۲-۱۷ دارای دسته‌ای است که شخص با استفاده از آن ماسک را جلو صورت خود نگه می‌دارد. بازرسین و ناظرین جوشکاری از این نوع ماسک استفاده می‌کنند. این نوع ماسک برای جوشکاری مناسب نیست چرا که در هنگام استفاده از آن جوشکار تنها با یک دست قادر به کار کردن می‌باشد و کنترل الکترود و انجام همزمان یک عمل ضروری دیگر با یک دست امکان‌پذیر نیست.

ماسک کلاهی، طبق شکل ۲-۱۸ که گاهی کلاه ایمنی^{۱۱} یا سربند^{۱۲} نیز خوانده می‌شود، مانند یک کلاه استفاده می‌شود. این ماسک به یک نوار روی سر^{۱۳} قابل تنظیم لولا می‌شود که به آن اجازه حرکت به سمت بالا یا پایین را به دلخواه می‌دهد. در هنگام استفاده از این ماسک هر دو دست جهت گرفتن انبر الکترود و شرکت در اعمال دیگر آزاد هستند.

وسایل ایمنی مذکور برای قسمت فوقانی سر تهیه شده‌اند، ولی جوشکاران باید یک نوع کلاه چرمی^{۱۴} جهت حفاظت کامل‌تر بپوشند. این پوشش باید صاف بوده و فاقد جیب یا لبه‌های گردشده باشد تا قطرات فلز مذاب را در خود نگه ندارد.

هر دو نوع ماسک دستی و کلاهی از مواد فیبری فشرده عایق و مقاوم به حرارت ساخته شده‌اند. این ماسک‌ها به‌طور کامل ناحیه سر و گردن را از ذرات فلز، دود، جرقه و پرتوهای خطرناک محافظت می‌کنند. جهت کاهش انعکاس نور معمولاً به‌رنگ سیاه می‌باشند. این ماسک‌ها دارای یک قاب پنجره‌ای برای نگه داشتن شیشه رنگی محافظ^{۱۵} هستند که اجازه می‌دهد جوشکار با ایمنی کامل عملیات را زیر نظر داشته باشد. اندازه این شیشه ۵×۱۱/۲۵ سانتی‌متر می‌باشد و رنگی است، به‌گونه‌ای که مانعی در مقابل اشعه فرابنفش و مادون قرمز و بسیاری از اشعه‌های مرئی ناشی از قوس الکتریکی می‌باشد. رنگ‌های مختلفی جهت تیره کردن شیشه محافظ ممکن است به کار رود. چگالی رنگ انتخاب‌شده بستگی به میزان درخشش قوس دارد که این درخشش براساس نوع الکترود و میزان جریان متغیر است. برای جوشکاری قوسی با الکترود فلزی با شدت جریان تا ۳۰۰ آمپر، درجه تیرگی ۱۰ و برای شدت جریان بیش از ۳۰۰ آمپر و برای جوش قوسی با گاز، درجه ۱۲ توصیه می‌شود. شیشه‌های تیره با کیفیت خوب، جذب ۹۹/۵ درصد یا بیشتر از اشعه مادون قرمز و جذب ۹۹/۷۵ درصد یا بیشتر از اشعه فرابنفش را تضمین می‌کنند. استفاده از شیشه‌های با صافی ضعیف توصیه نمی‌شود.

وجهی از شیشه محافظ که رو به جوش قرار دارد (وجه بیرونی) توسط یک شیشه شفاف^{۱۶} محافظت می‌شود. این روکش به‌خاطر حفاظت شیشه تیره اصلی (که معمولاً گران‌قیمت است) از پاشیدگی فلز مذاب و شکستگی است.

شیشه روکش نسبتاً ارزان‌قیمت بوده و ممکن است با یا بدون پوشش شفاف^{۱۷} تولید شود. روکش‌هایی که تحت عملیات شیمیایی خاص قرار می‌گیرند دوام بیشتری نسبت به انواع دیگر دارند. هنگامی که شیشه روکش بر اثر دود و بخار و ترشحات جرقه جوشکاری کثیف می‌شود، باید تعویض گردد. جوشکاری با شیشه لکه‌دار برای دید مضر بوده و موجب التهاب چشم می‌گردد. بعضی از جوشکاران محافظت هر دو طرف شیشه رنگی را با استفاده از روکش شفاف ترجیح می‌دهند.

نوع دیگری از ماسک کلاهی در شکل ۲ - ۱۹ نشان داده شده است. این نوع به‌خاطر مجهز بودن به یک عینک (یا نقاب) بازشو متمایز از انواع دیگر است. گیره‌ای که شیشه محافظ اصلی و روکش شفاف را نگه می‌دارد، با اشاره انگشت بالا زده می‌شود. یک روکش شیشه‌ای شفاف که در جای خود ثابت است چشم‌ها را از پوسته داغ در هنگام بازرسی جوش گرم و همچنین از ذرات گل و فلز پخش‌شده در هوا هنگام تمیز کردن و برس زدن جوش محافظت می‌کند. این نوع مخصوصاً در هنگام کار در فواصل نزدیک به هم و محیط بسته که در آوردن کل ماسک مشکل می‌باشد، مورد استفاده است.

ماسک‌های ویژه

ماسک‌های کلاهی زیر برای شرایط ویژه طراحی شده‌اند:

- شیشه‌های با حوزه دید وسیع برای دید بهتر ممکن است در ماسک‌های استاندارد معمولی قرار داده شوند. اندازه این شیشه‌ها $۱۱/۲۵ \times ۱۳/۱۲۵$ سانتی‌متر است.
- ماسک‌های کلاهی چرمی^{۱۸}، در مکان‌های صعب‌الورود که فضای کافی برای ماسک‌های معمولی وجود ندارد استفاده می‌شود. این نوع دارای یک دریچه تهویه گرد و کوچک در قسمت فوقانی خود می‌باشد.
- ماسک‌های از جنس فیبر فلزی با کلاهک ایمنی که استفاده از آن جهت حفاظت در مقابل خطر سقوط اجسام و یا برخورد با اشیاء آویزان در کارگاه پیشنهاد می‌شود.
- ماسک کلاهی با تهویه مطبوع^{۱۹} دارای یک مخزن هوای تازه به‌همراه شلنگ تغذیه است که مستقیماً به سمت ناحیه تنفس هدایت می‌شود. این نوع ماسک، سر و صدا را کاهش داده و جهت عبور هوا هیچ مزاحمتی برای چشم ندارد. این نوع در کار تعمیر و نگهداری و مواقعی که وجود گرما و دود و بخار ایجاد مشکل می‌کند، مورد استفاده است.
- لوله‌های تنفس که از دو جهت برای جوشکاری اطمینان و ایمنی ایجاد می‌کند. اول آنکه هوای تمیز و خنک که در مقابل بخارات سمی محافظت شده را فراهم می‌کنند. دوم، آنکه این لوله‌ها دارای یک شیر تنفس مخصوص هستند که بخارات را از داخل ماسک خارج کرده و دید واضح برای جوشکار فراهم می‌کنند.

۱. معرفی جوشکاری ساختمانی

شیشه روکش نسبتاً ارزان قیمت بوده و ممکن است با یا بدون پوشش شفاف^{۱۷} تولید شود. روکش‌هایی که تحت عملیات شیمیایی خاص قرار می‌گیرند دوام بیشتری نسبت به انواع دیگر دارند. هنگامی که شیشه روکش بر اثر دود و بخار و ترشحات جرقه جوشکاری کثیف می‌شود، باید تعویض گردد. جوشکاری با شیشه لکه‌دار برای دید مضر بوده و موجب التهاب چشم می‌گردد. بعضی از جوشکاران محافظت هر دو طرف شیشه رنگی را با استفاده از روکش شفاف ترجیح می‌دهند.

نوع دیگری از ماسک کلاهی در شکل ۲ - ۱۹ نشان داده شده است. این نوع به‌خاطر مجهز بودن به یک عینک (یا نقاب) بازشو متمایز از انواع دیگر است. گیره‌ای که شیشه محافظ اصلی و روکش شفاف را نگه می‌دارد، با اشاره انگشت بالا زده می‌شود. یک روکش شیشه‌ای شفاف که در جای خود ثابت است چشم‌ها را از پوسته داغ در هنگام بازرسی جوش گرم و همچنین از ذرات گل و فلز پخش‌شده در هوا هنگام تمیز کردن و برس زدن جوش محافظت می‌کند. این نوع مخصوصاً در هنگام کار در فواصل نزدیک به هم و محیط بسته که در آوردن کل ماسک مشکل می‌باشد، مورد استفاده است.

ماسک‌های ویژه

ماسک‌های کلاهی زیر برای شرایط ویژه طراحی شده‌اند:

- شیشه‌های با حوزه دید وسیع برای دید بهتر ممکن است در ماسک‌های استاندارد معمولی قرار داده شوند. اندازه این شیشه‌ها $۱۱/۲۵ \times ۱۳/۱۲۵$ سانتی‌متر است.
- ماسک‌های کلاهی چرمی^{۱۸}، در مکان‌های صعب‌الورود که فضای کافی برای ماسک‌های معمولی وجود ندارد استفاده می‌شود. این نوع دارای یک دریچه تهویه گرد و کوچک در قسمت فوقانی خود می‌باشد.
- ماسک‌های از جنس فیبر فلزی با کلاهک ایمنی که استفاده از آن جهت حفاظت در مقابل خطر سقوط اجسام و یا برخورد با اشیا آویزان در کارگاه پیشنهاد می‌شود.
- ماسک کلاهی با تهویه مطبوع^{۱۹} دارای یک مخزن هوای تازه به‌همراه شلنگ تغذیه است که مستقیماً به سمت ناحیه تنفس هدایت می‌شود. این نوع ماسک، سر و صدا را کاهش داده و جهت عبور هوا هیچ مزاحمتی برای چشم ندارد. این نوع در کار تعمیر و نگهداری و مواقعی که وجود گرما و دود و بخار ایجاد مشکل می‌کند، مورد استفاده است.
- لوله‌های تنفس که از دو جهت برای جوشکاری اطمینان و ایمنی ایجاد می‌کند. اول آنکه هوای تمیز و خنک که در مقابل بخارات سمی محافظت شده را فراهم می‌کنند. دوم، آنکه این لوله‌ها دارای یک شیر تنفس مخصوص هستند که بخارات را از داخل ماسک خارج کرده و دید واضح برای جوشکار فراهم می‌کنند.

۲-۸-۲ عینک ایمنی^{۲۰}

استفاده از عینک در پشت ماسک ایمنی یک نیاز ضروری است (شکل ۲ - ۲۰). به‌خصوص در کارگاه‌هایی که کارگران جوشکار نزدیک یکدیگر کار می‌کنند. تحت این شرایط حفاظت چشم‌ها در مقابل درخشش قوس بدون عینک امکان‌پذیر نیست. این عینک‌ها همچنین چشم جوشکاران را در هنگام نظارت جوش تکمیل شده، هنگام تمیز کردن

گِل جوش و سنگ‌زنی جوش معیوب محافظت می‌کنند و توسط دستیاران جوشکاری، ناظرین، بازرسین و دیگر افرادی که با جوش سر و کار دارند استفاده می‌شود. عینک باید سبک وزن، دارای تهویه مناسب به منظور جلوگیری از عرق کردن شیشه داخلی و راحت باشد. جهت حفاظت چشم از نور شدید، اطراف این عینک‌ها باید دارای چشم‌بند، یا سایه‌بان بوده و شیشه‌های آنها رنگی (با درجه تیرگی کم) باشد.

همیشه پوشیدن لباس‌های محافظ به طور کامل که در بالا شرح داده شد برای همه نوع جوشکاری و در همه موقعیت‌ها لازم نیست. جوشکار می‌تواند بهترین قاضی در مورد لباس محافظ براساس نوع کار خود باشد. استفاده از دستکش جوشکاری همواره جهت حفاظت دست‌ها لازم است. دستکش‌ها را از چرم، پنبه نسوز و دیگر مواد مقاوم حرارتی می‌سازند.

آستین‌های چرمی، شانه‌بند و پیش‌بند، لباس و بدن جوشکار را از آسیب حرارت و جرقه محفوظ می‌دارد (شکل ۲-۲۳). این لباس‌ها هنگامی که جوشکاری در موقعیت قائم و یا بالای سر است، کاملاً مورد نیاز می‌باشد. هنگامی که قسمت اعظم کار در موقعیت نشسته انجام می‌شود، جوشکار باید از یک لباس گشاد یا پیش‌بند چاک‌دار استفاده کند، زیرا پیش‌بند کامل (بدون درز) به دور خود می‌پیچد و برای جوشکار ایجاد مزاحمت می‌کند. ممکن است این نوع لباس گشاد از جنس چرم به همراه یک ژاکت چرمی پوشیده شود در جوشکاری باید از کفش‌های تخت ساق بلند استفاده شود. پا و ساق پا می‌توانند توسط ساق‌بند و مچ‌بند بیشتر محافظت شوند. سوختگی در پا بسیار دردناک بوده و به سرعت عفونی می‌شود و به کندی التیام می‌یابد. به همین جهت حفاظت پا و استفاده از کفش‌های ایمنی در کارگاه جوشکاری بسیار مهم است. لبه‌های گرد شده آستین پیراهن و یا پاچه‌های برگشته شلوار مکان مناسبی برای قرار گرفتن قطرات و جرقه‌های فلز مذاب و داغ می‌باشند و به همین جهت از قرار دادن آنها در لباس باید خودداری کرد.

۲-۱۳ ابزارهای نشانه‌گذاری

از این ابزارها برای رسم خط برش، بر طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده، استفاده می‌شود. هنگام کار با مشعل برشکاری، به خط نشانه‌ای نیاز می‌باشد که بر اثر شعله محو نشود. ابزارهای نشانه‌گذاری عبارتند از سوزن خط کشی و سنبه‌نشان. به کمک سنبه‌نشان می‌توان نشانه‌های لازم جهت تعیین محل سوراخ‌کاری‌ها را روی قطعات مشخص نمود. روش دیگری برای نشانه‌گذاری فلز به منظور برشکاری با مشعل استفاده از سنگ صابون است. اثر این سنگ مانند اثر گچ است، اما در دمای بالای برشکاری نمی‌سوزد. بنابراین مناسب است همیشه چند قطعه سنگ صابون در جعبه ابزار موجود باشد.

برای رسم کمان یا دایره از پرگار فلزی استفاده می‌شود؛ این وسیله نوعی سوزن خط کشی شبیه پرگار است، اما دو نوک فولادی تیز دارد. لازم به ذکر است از سوزن خط کشی فقط باید برای رسم خط برش استفاده شود. این نکته به ویژه در هنگام خط کشی ورق صادق است، زیرا این خط تمرکز تنش ایجاد می‌کند و بسیار احتمال می‌رود که ترک یا پارگی از محل خط کشی آغاز شود.

۲-۱۵-۴ رگلاتورهای گاز محافظ

برای نگه داشتن سرعت جریان و فشار گاز محافظ در طول جوشکاری به یک سیستم تنظیم کننده نیاز است. رگلاتور، فشار مخزن گاز را تا رسیدن به یک فشار ثابت کاهش می دهد. رگلاتورها دوا مرحله ای یا تک مرحله ای می باشند و می توان جریان سنج را روی خود رگلاتور نصب نمود. فشار در رگلاتورهای دوا مرحله ای، ثابت بیشتری نسبت به رگلاتورهای تک مرحله ای دارد (شکل ۲ - ۳۳).

۲-۱۵-۵ منبع تغذیه

منبع تغذیه، انرژی الکتریکی را برای ایجاد قوس بین سیم جوش و قطعه کار تأمین می کند. در اکثریت قریب به اتفاق کاربردهای GMAW، از جریان مستقیم - قطبیت مثبت استفاده می شود. بنابراین کابل مثبت به آنبر و کابل منفی به قطعه کار متصل می شود.

انواع اصلی منابع تغذیه جریان مستقیم عبارتند از:

۱ - موتور - ژنراتور (چرخشی)

۲ - ترانسفورماتور - رکتیفایر (استاتیک)

معمولاً در کاربردهای کارگاهی که منبع انرژی الکتریکی در دسترس قرار دارد، ترانسفورماتور - رکتیفایر ترجیح داده می شود، در حالی که از موتور - ژنراتور در کاربردهایی استفاده می شود که منبع الکتریکی در دسترس نمی باشد. با افزایش کاربردهای GMAW، این نکته روشن شده که ماشین های ولتاژ ثابت دارای عملکرد بهتری، مخصوصاً در مورد مواد آهنی می باشند.

استفاده از منبع تغذیه ولتاژ ثابت، به همراه یک تغذیه سیم جوش سرعت ثابت باعث ایجاد ولتاژ ثابت در طول جوشکاری می شود. دلیل اصلی انتخاب منابع ولتاژ ثابت، به علت خودکار بودن تنظیم طول قوس در سیستم می باشد.

۲-۱۶ تجهیزات جوشکاری قوسی زیرپودری

تجهیزات مورد نیاز در روش جوشکاری قوس زیرپودری عبارتند از:

۱ - منبع نیرو؛

۴ - سیستم تنظیم حرکت؛

۲ - سیستم تغذیه الکتروود؛

۵ - سیستم کنترل فرآیند.

۳ - سیستم توزیع پودر؛

سیستم بازیابی پودر ذوب نشده نیز می تواند به عنوان یکی از تجهیزات جانبی مورد استفاده قرار گیرد

۲-۱۶-۱ منبع تغذیه

منبع تغذیه مورد استفاده در جوشکاری قوسی زیرپودری، نقش مهمی را ایفا می کند. انواع مختلفی از منابع تغذیه

طریق آن تغذیه شود. با توجه به سائز سیم جوش و مواد جوشکاری، سائز مناسب مجرای اتصال انتخاب می‌شود. مجرای اتصال باید در جای خود کاملاً محکم و دقیقاً در مرکز نازل گاز محافظ قرار گرفته باشد.

نازل گاز، ستونی است که یک جریان یکنواخت از گاز محافظ را به منطقه جوش هدایت می‌کند، این جریان یکنواخت اهمیت بسیاری در ایجاد محافظت کافی از فلز جوش مذاب در مقابل آلودگی هوا دارد.

در تغذیه‌کننده‌های مختلف معمولاً سرعت بین ۱/۹ تا ۲/۵ متر در دقیقه می‌باشد

۲-۱۵-۳ کنترل جوشکاری

در فرآیندهای نیمه خودکار، کنترل جوشکاری و موتور تغذیه سیم جوش در یک جعبه واحد قرار دارند (شکل ۲-۳۲). وظیفه اصلی کنترل جوشکاری تنظیم سرعت موتور تغذیه سیم جوش از طریق استفاده از سیستم کنترل الکترونیکی می‌باشد. سرعت موتور به صورت دستی قابل تنظیم است و می‌توان آن را در سرعت‌های متنوعی قرار داد که با یک منبع تغذیه ولتاژ ثابت منجر به ایجاد جریان‌های الکتریکی متفاوت می‌شوند. با استفاده از سلنئوئیدها، جریان گاز و آب نیز همزمان با آغاز و پایان جوشکاری تنظیم می‌شود. کنترل همچنین می‌تواند ضمن تنظیم توان آغاز و پایان جریان، جهت حفاظت از حوضچه جوش مذاب، مقدار کمی گاز به عنوان گاز بعد از جریان اعمال نماید.

برای کاربرد در روش جوشکاری قوس زیرپودری مناسب هستند. منبع نیروی جریان مستقیم می‌تواند یک ترانسفورماتور - رکتیفایر یا یک موتور ژنراتور با ولتاژ ثابت یا جریان ثابت و یا خروجی انتخابی باشد. منابع نیروی جریان متناوب معمولاً از نوع ترانسفورماتور هستند و قادر به ایجاد موج خروجی جریان ثابت یا ولتاژ ثابت می‌باشند. از آنجا که جوشکاری قوس زیرپودری، به طور کلی فرآیندی با جریان بالا و چرخه کارکرد بالا است، استفاده از منبع نیرو با توانایی ایجاد شدت جریان بالا در ۱۰٪ چرخه کارکرد پیشنهاد می‌شود.

۲-۱۶-۲ سیستم کنترل

سیستم‌های کنترلی که در روش جوشکاری قوس زیرپودی نیمه خودکار به کار می‌روند، کنترل‌کننده‌های ساده سرعت تغذیه سیم جوش می‌باشند. کنترل‌کننده‌های به کار رفته در منابع نیروی ولتاژ ثابت، سرعت تغذیه سیم را ثابت نگاه می‌دارند و کنترل‌کننده‌های به کار رفته در منابع جریان ثابت، ولتاژ قوس را بررسی می‌کنند و سرعت تغذیه سیم را برای نگهداشتن ولتاژ تغییر می‌دهند.

۲-۱۶-۳ سری و انبر جوشکاری

سری جوش^{۲۲} در جوشکاری قوس زیرپودری از قسمت‌های مختلف شامل موتور تغذیه سیم جوش، مجموعه کلاف تغذیه، مجموعه مشعل، نوک اتصال‌دهنده جریان^{۲۳} و تجهیزاتی برای نصب و نگهداری سری تشکیل شده است. یک نازل پودر بر روی سری جوش تعبیه می‌شود تا پودر را در قسمت مورد نیاز بریزد.

موتورهای تغذیه سیم جوش، معمولاً موتورهای با طول عمر بالا^{۲۴} از نوع مغناطیسی به همراه جعبه دنده هستند که سرعت تغذیه سیم توسط آنها ۲۳۵ - ۸ mm/s می‌باشد. در برخی موارد که سیم جوش از طریق یک لوله وارد می‌شود، با استفاده از غلتک‌هایی با شیار ۷ شکل بر روی آن، تغذیه یکنواخت‌تری ایجاد می‌کند. طرح‌های مشعل بسیار متنوع هستند، اما نقش آنها همواره یکسان می‌باشد. مشعل سیم جوش را به قسمت اتصال در محل جوش هدایت می‌کند و جریان الکتریکی را به سیم جوش انتقال می‌دهد.

۱. معرفی جوشکاری ساختمانی

واحدهای بازیابی پودر

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

- ۱ - حذف پودر مصرف نشده و سرباره تشکیل شده بر روی درز جوش.
- ۲ - جدا کردن سرباره ذوب شده و سایر مواد با اندازه بزرگ از پودر ذوب نشده.
- ۳ - حذف ذرات مغناطیسی.
- ۴ - حذف ذرات ریز.
- ۵ - برگرداندن پودر به قیف برای مصرف مجدد.
- ۶ - گرم کردن پودر در قیف برای خشک نگه داشتن آن.

تغذیه پودر به صورت بادی (پنوماتیک)، معمولاً در روش جوشکاری قوس زیرپودری نیمه خودکار و گاهی خودکار به کار می آید.

الكتروود

2

۲-۳ تعاریف عمومی

الکترو د جوشکاری قوسی: فلز پُرکننده به شکل مفتول با روکش یا بدون روکش که جریان الکتریکی توسط آن بین انبر الکترو د قوس الکتریکی منتقل می‌شود.

الکترومدوم: الکترومد لخت پیوسته که به دور قرقره پیچیده شده و در جوشکاری خودکار یا نیمه خودکار زیرپودری یا تحت حفاظت گاز مورد استفاده قرار می گیرد.

الکتروُد مغزه‌دار: یک نوع الکتروُد مداوم (پیوسته) که پودر جوشکاری در مغزه آن قرار دارد و در جوشکاری خودکار و نیمه‌خودکار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

الکترودروکش‌دار: الکترودرولزی با طول محدود (استیک) و روکش نسبتاً ضخیمی از موادی که دو هدف را برآورده می‌کند: (۱) تثبیت قوس الکتریکی ؛ (۲) بهبود خواص فلز جوش.

الکترودها در پنج گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند:

- ۱ - الکترو د فولاد نرمه
- ۲ - الکترو د فولاد پُرکربن
- ۳ - الکترو د فولادهای آلیاژی خاص
- ۴ - الکترو د چدن
- ۵ - انواع الکترو د های غیر آهنی

۳-۳ الکتروود روکش دار

وجود روکش در روی مفتول فولادی الکتروود، قوس الکتریکی و فلز جوش را در حین عملیات جوشکاری از مرحله ذوب تا انجماد از هوای اطراف محافظت می‌کند. حاصل این محافظت، فلز جوشی است که دارای خواص قابل مقایسه با فلز پایه می‌باشد.

۳-۴ روکش الکتروود

۳-۴-۱ جایگزینی یا بهبود فلز پایه

روکش الکتروود در حد وسیعی ترکیب فلز جوش را تنظیم می‌کند، خواه از طریق حفظ ترکیب اصلی مفتول الکتروود یا با اضافه کردن عناصر دیگر. در این روش عناصر آلیاژی به فلز جوش اضافه شده و یا عناصر قبلی اصلاح می‌شوند. یکی از شیوه‌های نسبتاً جدید، اضافه کردن پودر آهن به روکش الکتروود می‌باشد. در حرارت شدید قوس الکتریکی، پودر آهن به فولاد تبدیل شده و به ترسیب جوش روی فلز مبنا کمک می‌کند. با افزایش مقداری پودر آهن به مواد روکش، بازده جوشکاری افزایش یافته و ظاهر جوش بهبود می‌یابد. به الکتروودهایی که دارای پودر آهن هستند، الکتروودهای پر بازده می‌گویند. بازده جوش چنین الکتروودهایی زیاد بوده و معمولاً از آنها در حالت تخت استفاده می‌شود. ورود الکتروودهای کم‌هیدروژن به صنعت جوشکاری، اصلاح و بهبود خواص جوشکاری فولادهای پُرکربن، فولاد آلیاژی، فولاد پُرگوگرد و فولادهای فسفردار را به دنبال داشت. بعضی از فولادها تمایل به تخلخل و ترک در زیر نوار جوش را دارند که کاهش مقدار هیدروژن در جوشکاری، این خواص مضر را برطرف می‌کند.

۳-۴-۲ کنترل خصوصیات قوس الکتریکی

روکش الکتروود باعث سهولت تشکیل قوس در آغاز عملیات جوشکاری و حفظ پایداری و تثبیت قوس در حین پیشرفت عملیات جوشکاری می‌گردد. همچنین این روکش مانند عایق روی مفتول الکتروود عمل می‌کند. تمایل به امتزاج با فلز پایه در الکتروودهای روکش دار نسبت به الکتروودهای بدون روکش کمتر است و این الکتروودها اجازه رواداری بیشتری را در طول قوس می‌دهند. کنترل دقیق تر و بهتر قوس الکتریکی، اجازه استفاده از شدت جریان

۳-۴-۳ وظایف روکش الکتروود یا پودر در جوش زیرپودری

روکش الکتروود دارای عملکردهای زیر است:

- تأمین حفاظ گازی در مقابل ورود اکسیژن و ازت به حوضچه مذاب و ایجاد پوششی از سرباره مذاب روی فلز مذاب جوشکاری (شکل ۳-۱).
- مشابه یک نظافتچی در زدودن اکسیدها و آلودگی‌ها عمل می‌کند.
- نرخ سرد شدن فلز جوش را کاهش می‌دهد و به تبع از آن جوش با شکل‌پذیری زیاد ایجاد می‌کند.
- باعث سهولت شروع عملیات جوشکاری، تثبیت قوس و کاهش میزان پاشیدگی جوش می‌گردد.

۱. معرفی جوشکاری ساختمانی

- باعث نفوذ بهتر و ذوب کامل تر فلز مبنا می گردد.
- شکل ظاهری نوار جوش را کنترل می کند.
- سرعت جوشکاری را افزایش می دهد.

۳-۴-۴ مواد تشکیل دهنده روکش الکتروده

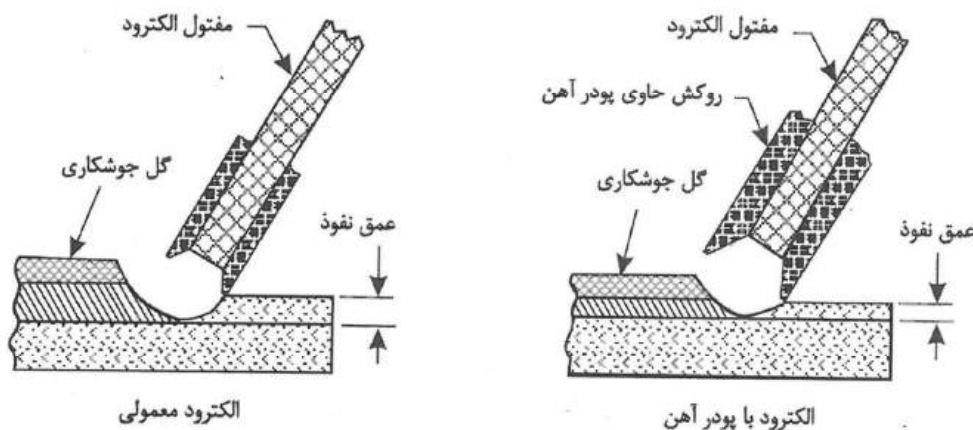
نوع روکش الکتروده، روی طول قوس و ولتاژ جوشکاری و همچنین موقعیت جوشکاری که این الکتروده برای آن شرایط قابل استفاده است، مؤثر می باشد. جنس و ترکیب داخلی روکش بسیار مهم بوده و عامل تفاوت میان الکترودهاست.

در روکش الکتروده سیلیکات سدیم و پتاسیم عموماً به عنوان حامل (ملات) به کار می روند. بعضی از چسب های گیاهی نیز دارای کاربردهای محدودی در این زمینه هستند. آلیاژها و فلزات خالص به عنوان عناصر احیا کننده و عناصر

آلیاژی به کار می روند. فلزات قلیایی خاکی بهترین تثبیت کننده قوس الکتریکی هستند. خاکاره، خمیر چوب، سلولز، کتان، نشاسته، شکر و مواد گیاهی دیگر حفاظی در مقابل گازهای اتمسفر و آلودگی هوا ایجاد می کنند. عناصر گدازآور و سرباره ساز شامل سیلیکا، آلومینا، رس، سنگ معدن آهن، روتیل، سنگ آهک، مگنیزیت، پنبه نسوز و میکا و بسیاری مواد معدنی دیگر می باشند. در ضمن بعضی از مواد مصنوعی مانند تیتانات پتاسیم و دی اکسید تیتانیوم نیز عملکردی مشابه مواد معدنی فوق الذکر را دارند.

پودر آهن

پودر آهن به روکش بسیاری از انواع الکترودها اضافه می شود. در حرارت شدید قوس الکتریکی، پودر آن به فولاد تبدیل شده و بر فلز جوش می افزاید. هنگامی که پودر آهن به مقدار نسبتاً زیادی (حدود ۳۰ درصد یا بیشتر) به ترکیب روکش الکتروده اضافه می شود، سرعت جوشکاری به طور محسوسی افزایش یافته، قوس تثبیت شده و پاشیدگی جوش کاهش می یابد و گِل جوش به راحتی جدا می شود (شکل ۳ - ۲). سطح جوش انجام شده با این الکترودها بسیار صاف است (جوش های H و I در شکل ۳ - ۴).



شکل ۳-۲ روکش ضخیم تر حاوی پودر آهن، اثر بوته ای در انتهای الکتروده ایجاد می کند که موجب افزایش بازده انرژی حاصل از قوس الکتریکی می گردد.

روکش‌های کم‌هیدروژن

الکترودهای کم‌هیدروژن نتیجه تحقیقات در خلال جنگ دوم جهانی می‌باشند. موضوع این تحقیقات یافتن الکترودی برای جوشکاری ورق‌های ضخیم زرهی (موزد استفاده در زره‌پوش‌ها یا تانک‌ها) بود. این نام‌گذاری از آنجا ریشه می‌گیرد که ترکیب اجزای روکش این الکترود فاقد مواد مصرفی و هیدروژن می‌باشد. فقدان هیدروژن خاصیت مهمی است، زیرا هیدروژن باعث ایجاد ترک مجاور نوار جوش در فولادهای کربن‌دار و فولاد آلیاژی می‌گردد. با حذف هیدروژن، از ایجاد ترک‌های زیر و مجاور نوار جوش جلوگیری شده و فولادهای ضخیم و سخت می‌توانند بدون عملیات پیش‌گرمایش و یا با پیش‌گرمایش کم جوش داده شوند. به‌علاوه، این الکترودها در فولادهای پُرگوگرد تولید نوار جوش غیرمتخلخل کرده و از ایجاد انقباض‌های بعد از جوش در فولاد فسفردار جلوگیری می‌کنند. اضافه کردن پودر آهن به‌روکش الکترود، نرخ ترسیب جوش مذاب را افزایش می‌دهد.

در عمل، این الکترودها نباید در هوای مرطوب قرار گیرند زیرا تمایل به جذب مقدار قابل ملاحظه‌ای از رطوبت هوا را داشته و جذب این رطوبت روی خواص آنها تأثیرگذار است.

تأمین محدوده وسیعی از خواص موردنظر جوشکاری با اضافه کردن تعدادی عناصر آلیاژی نظیر کلئید کربن، منگنز، کروم، نیکل، مولیبدنیم و وانادیم به ترکیب ساختمانی روکش این نوع الکترود امکان‌پذیر است. قوس ایجادشده با این نوع الکترود تند و شدید نبوده و دارای نفوذ متوسطی است. گل ایجادشده ضخیم و تُرد بوده و به راحتی تمیز می‌شود. در جوشکاری با این نوع الکترود باید از قوس کوتاه استفاده کرد. قوس بلند باعث مکش هیدروژن (افزایش رطوبت) شده که موجب تخلخل و دخول سرباره در نوار جوش می‌شود. با استفاده از تکنیک‌های صحیح جوشکاری، تأمین جوشی با کیفیت خوب و جوابگوی آزمایش رادیوگرافی امکان‌پذیر است.

۳-۴-۵ تأثیر روکش بر قطبیت^۲

ترکیب روکش در انتخاب قطبیت در جوشکاری با جریان یکسو، نقش اساسی دارد. بعضی از روکش‌ها با قطبیت مستقیم (الکترود منفی) بازده بیشتری داشته و روکش‌های دیگر بازده الکترود را با قطبیت معکوس (الکترود مثبت) افزایش می‌دهند. هر دو نوع روکش‌های فوق مزایایی دارند که آنها را برای کاربرد مشخصی قابل استفاده می‌سازد. امروزه ساخت روکش‌هایی در حال توسعه است که عملکرد آنها در مقابل هر دو نوع قطبیت مستقیم و معکوس یکسان بوده و در جریان متناوب نیز قابل استفاده هستند.

جدول ۳-۱ تأثیر وجود روکش را بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی فلز جوش شرح می‌دهد.

خواص مختلف الکترودها را که در جدول ۳-۲ ارائه شده با دقت مطالعه کنید. از جدول ۳-۳ نیز شدت جریان متناسب با هر الکترود استخراج می‌شود.

جدول ۳-۱ مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی فلز جوش حاصل از الکتروکدروکس دار و بدون روکش

فلز پایه	فلز جوش با الکتروکدروکس دار	فلز جوش با الکتروکدروکس لخت	
۳۸۰۰ - ۴۹۰۰	۴۲۰۰ - ۵۲۵۰	۳۵۰۰ - ۴۲۰۰	مقاومت نهایی $f_u (kg/cm^2)$
۲۱۰۰ - ۲۲۴۰	۳۱۵۰ - ۴۲۰۰	۲۶۶۰ - ۳۱۵۰	تنش تسلیم $f_y (kg/cm^2)$
۳۰ - ۴۰	۲۰ - ۴۰	۵ - ۱۰	افزایش طول در ۵ سانتی متر (درصد)
—	۳۵ - ۶۰	۱۰ - ۲۰	افزایش طول در خم آزاد (درصد)
۶۰ - ۷۰	۳۵ - ۶۵	۸ - ۲۰	کاهش سطح مقطع (درصد)
۷/۸۵	۷/۸۰ - ۷/۸۵	۷/۵ - ۷/۷	چگالی
۱۸۲۰ - ۲۱۰۰	۱۸۲۰ - ۲۱۰۰	۸۴۰ - ۱۲۶۰	مقاومت خستگی (حد دوام) kg/cm^2
۳۵ - ۵۶	۲۸ - ۴۹	۳/۵ - ۱۰/۵	آزمایش ضربه ایزود (kg/m)

۳-۵ طبقه بندی و شماره گذاری الکتروکدها طبق AWS

الکتروکدها برحسب خواص مکانیکی مفتول فولادی، نوع پوشش، و وضعیت جوشکاری طبقه بندی و برای شناسایی شماره گذاری می شوند.

سیستم شماره گذاری براساس AWS، یک عدد چهار یا پنج رقمی می باشد که به دنبال حرف E قرار می گیرند. حرف E مخفف کلمه الکتروکد است. اولین دو رقم سمت چپ (یا سه رقم اول در سیستم پنج رقمی) حداقل مقاومت کششی مفتول الکتروکد را برحسب کیلوپوند (هزار پوند) بر اینچ مربع نشان می دهد (اگر این عدد در ۷۰ ضرب شود، مقاومت برحسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع به دست می آید). برای مثال مقاومت کششی الکتروکد E6010، مساوی $(۴۲۰۰ kg/cm^2)$ ۶۰۰۰۰ Psi و الکتروکد E7010 مساوی $(۴۹۰۰ kg/cm^2)$ ۷۰۰۰۰ Psi و الکتروکد E10010 مساوی $(۷۰۰۰ kg/cm^2)$ ۱۰۰۰۰۰ Psi است. رقم سوم موقعیت جوشکاری را توصیف می کند. برای مثال عدد یک در E6010 نشان می دهد جوشکاری با این نوع الکتروکد در همه موقعیت ها اعم از تخت، افقی، سربالا و سقفی می تواند انجام شود. عدد ۲ از E7020 نشان می دهد که این الکتروکد تنها در جوشکاری درزهای تخت و افقی به کار می رود. عدد ۳ نشان می دهد که الکتروکد باید تنها در موقعیت جوشکاری تخت به کار رود. آخرین رقم نوع جریان و نوع روکش الکتروکد را تعیین می کند. توضیح بیشتر در مورد این سیستم طبقه بندی شماره ای در جدول های ۳-۴ و ۳-۵ آمده است. شکل ۳-۳ محل مهر زدن یا چک کردن شماره طبقه بندی الکتروکد بر روی پوشش آن را نشان می دهد.

جدول ۳-۴ سیستم طبقه بندی الکتروکدها به روش AWS

مثال	مفهوم	رقم
E - 60XX = 4200 kg/cm^2 E - 110XX = 7700 kg/cm^2	حداقل مقاومت کششی	۲ یا ۳ رقم اول
E - XX1X = تمام وضعیت ها E - XX2X = تخت و افقی E - XX3X = تخت	وضعیت جوشکاری	رقم بعدی
به جدول ۳-۵ مراجعه شود	نوع جریان، نوع سرباره، نوع قوس، عمق نفوذ، وجود پودر آهن و هیدروژن در روکش	رقم آخر

جدول ۳-۵ مفهوم رقم آخر در نام‌گذاری الکتروود به روش AWS

نوع پوشش	نوع قوس	جریان	رقم آخر
آلی	قوس نفوذی	فقط DCRP	0
آلی	قوس نفوذی	DCRP یا A.C.	1
روتیلی (اکسید تیتان)	قوس متوسط	DCRP یا A.C.	2
روتیل	قوس نرم	A.C. یا D.C. قطب آزاد	3
روتیل با پودر آهن (حدود ۳۰٪)	قوس نرم	A.C. یا D.C. قطب آزاد	4
کم هیدروژن	—	فقط DCRP	5
کم هیدروژن	قوس متوسط	DCRP یا A.C.	6
پودر آهن	—	A.C. یا D.C.	7
کم هیدروژن - قوس آهن	—	DCRP یا A.C.	8

علامت شناسایی الکتروود

● DCSP = جریان یکسو - قطبیت مستقیم ● DCRP = جریان یکسو - قطبیت معکوس ● A.C. = جریان متناوب

۳-۶ انتخاب نوع و قطر الکتروود

خواص فلز جوش ترسیب‌شده در درز و مناسب بودن آن به‌عنوان مصالح اتصال‌دهنده قطعاتی که به‌هم جوش می‌شوند، به‌انتخاب صحیح الکتروود بستگی دارد. باید توجه داشت که بسیاری از الکترودهایی که در رده‌های مختلف قرار دارند، از نظر مفتول فولادی یکسان هستند. تفاوت در مشخصه‌های کاربردی و خصوصیات شیمیایی و مکانیکی فلز جوش رسوبی، غالباً توسط مواد تشکیل‌دهنده روکش الکتروود تعیین می‌شود.

با توجه به‌مطالب ارائه‌شده، اهمیت شناخت کامل مشخصه‌های الکترودهای پایه، روشن است. شناخت کامل از رده‌های الکترودها، نه تنها در انتخاب صحیح الکتروود برای یک کار خاص به‌شما کمک می‌کند، بلکه در به‌دست آوردن مهارت فنی لازم جهت عملیات جوشکاری نیز مؤثر است.

انتخاب اندازه صحیح الکتروود برای استفاده در یک کار مشخص، دارای اهمیتی به‌اندازه انتخاب رده مناسب الکتروود است. نکات زیر در هنگام انتخاب الکتروود باید مورد توجه قرار گیرد:

● **هندسه درز:** جوش گوشه می‌تواند با الکتروود بزرگتری نسبت به‌آنچه که در جوش لب به‌لب مورد نیاز است، انجام شود.

● **ضخامت فلز پایه:** واضح است که با افزایش ضخامت فلز مورد جوش، الکتروود با قطر بزرگتری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

● **ضخامت لایه جوش:** ضخامت قطعات مورد جوشکاری و همچنین موقعیت انجام جوشکاری دو عامل دخیل در این مورد هستند. در جوشکاری تخت و افقی، ضخامت فلز جوش رسوب کرده، نسبت به‌جوشکاری سربالا یا سقفی بیشتر است.

۱. معرفی جوشکاری ساختمانی

- **موقعیت جوشکاری:** در جوشکاری تخت و افقی می‌توان از الکتروود با قطر بزرگتری نسبت به موقعیت سربالا یا سقفی استفاده کرد.
- **نوع و شدت جریان:** با افزایش شدت جریان جوشکاری، الکتروود بزرگتری مورد نیاز است.
- **مهارت جوشکار:** بعضی از جوشکاران دارای مهارت فنی زیادی بوده، بنابراین می‌توانند از الکتروودهای بزرگتری در جوشکاری سربالا یا سقفی استفاده کنند.
- **شرایط بهره‌برداری:** مقاومت کششی، شکل‌پذیری، مقاومت خستگی و مقاومت در مقابل خوردگی خصوصیات مهم جوش هستند که توجه به آن‌ها به انتخاب صحیح الکتروود کمک می‌کند.

۳-۷ مشخصه‌های کاربردی الکتروودها

جنس مواد مصرفی در روکش یک الکتروود نه تنها مشخصات مکانیکی و شیمیایی فلز جوش را تعیین می‌کند، بلکه ویژگی‌های کاربردی الکتروود را نیز مشخص می‌کند. استفاده از الکتروودهای مختلف مستلزم استفاده از تکنیک‌های مختلف جوشکاری است. بنابراین الکتروودها با توجه به ویژگی‌های کاربردی و نوع درز اتصال به سه گروه تقسیم می‌شوند: الکتروودهای پُر جوش^۳ (پُر بازده)، الکتروودهای زود جوش^۴ (نفوذی)، و الکتروودهای پُر و زود جوش^۵ (زودرو).

۳-۷-۱ الکتروودهای پُر بازده (پُر جوش)

الکتروود پُر بازده، درز را زود پُر می‌کند. این خاصیت نقطه مقابل الکتروودهای نفوذی است. الکتروودهای پُر بازده، دارای روکش ضخیم محتوی پودر آهن می‌باشند که کاربرد وسیعی در جوشکاری گوشه و جوش شیاری عمیق دارد. در این نوع الکتروود، میزان رسوب زیاد بوده و پاک کردن سرباره آن به راحتی انجام می‌شود. بریدگی لبه درز جوش نیز کم می‌باشد. این نوع الکتروود با قوس سبک و ملایم می‌سوزد و عمق نفوذ آن زیاد نیست و در نتیجه امتزاج فلز جوش و فلز پایه کم است. ظاهر جوش بسیار صاف و سطح جوش تخت تا کمی محدب می‌باشد و در اطراف آن مقداری ترشح جوش وجود دارد (جوش‌های H و I در شکل ۳-۴).

در رده الکتروودهای پُر بازده، الکتروودهای EXX14، EXX24، EXX27 و EXX28 در جوش‌های شیاری در وضعیت تخت و افقی به کار می‌روند (شکل ۳-۴ - F). در این حالت اگر در دستورالعمل جوشکاری، جریان یکسو ذکر شده باشد، استفاده از جریان متناوب امکان‌پذیر است، که باعث کاهش پدیده انحراف قوس می‌شود.

۳-۷-۲ الکتروودهای نفوذی (زود جوش)

الکتروودهای نفوذی دارای قابلیت انجماد سریع فلز جوش می‌باشند. این خاصیت در مواردی که پاشیدگی گل جوش و یا فلز جوشکاری به خارج از درز جوش وجود دارد و یا در جوشکاری‌های سربالا و سقفی، بسیار مهم است. این الکتروودها دارای قوسی قوی و نفوذی بوده و عموماً با جریان یکسو با قطبیت معکوس به کار می‌روند، هرچند

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

ممکن است با جریان متناوب نیز به کار روند. الکترودهای نفوذی دارای سرباره کمی بوده و خط جوش تخت تولید می‌کنند (شکل ۳ - ۴ جوش‌های B و C). با گذشت از موارد استثنا، خط جوش حاصل، جوابگوی آزمون پرتونگاری بوده و مورد استفاده آنها در جوشکاری لوله‌ها و مخازن تحت فشار است. این الکترودها به‌طور وسیعی برای همه موقعیت‌های جوشکاری و در هر نوع عملیات ساخت کارخانه‌ای و کارهای تعمیراتی مورد استفاده می‌باشند. الکترودهای E6010 با جریان مستقیم و E6011 با جریان متناوب، مثال‌هایی از این نوع الکترودها می‌باشند.

۳-۷-۳ الکترودهای ترکیبی

در بعضی درزها، نیاز به هر دو خصوصیت پُر بازدهی و نفوذی بودن است. هنگامی که الکترودهای نفوذی مورد نیاز است، بهترین انتخاب رده EXX10 و EXX11 می‌باشد. الکترودهای که دارای هر دو خاصیت پُر بازدهی و نفوذی بودن است، الکترودهای EXX14 با روکش حاوی پودر آهن می‌باشد که در همه وضعیت‌ها قابل استفاده است (تمام وضعیت). این الکترودهای خاصیت زود پُرکنندگی به‌میزان نوع EXX24 نبوده و سرعت انجماد آن نیز به‌اندازه EXX10 نمی‌باشد، ولیکن خواص آن در حد واسطه این رده می‌باشد.

۳-۷-۴ الکترودهای کم‌هیدروژن^۶

الکترودهای کم‌هیدروژن دارای پوششی هستند که عملاً فاقد هیدروژن می‌باشد. این الکترودها، جوشی عاری از ترک،

زیرترک^۷ و ریزترک^۸ تولید می‌کنند و جوش حاصل دارای شکل‌پذیری استثنایی است (جوش F و K در شکل ۳ - ۴). زیرترک غالباً دارای علایم خاصی نیست و در منطقه تفتیده^۹ (HAZ) در فلز پایه به‌وجود می‌آید و عامل آن نفوذ هیدروژن از فلز جوش یا سرد شدن سریع است.

این الکترودها تخلخل حاصل از جوشکاری فولادهای گوگرددار را برطرف کرده و جوش حاصل جوابگوی آزمایش پرتونگاری می‌باشد. به‌علت کاهش نیاز به عملیات پیش‌گرمایش با این نوع الکترودها، کاربرد ویژه آنها در جوشکاری فولادهای سخت‌جوش و فولادهای آلیاژدار پُر مقاومت می‌باشد. مثال‌هایی از این نوع الکترودها EXX18 و EXX28 می‌باشد. این نوع الکترودها ممکن است با جریان مستقیم با قطبیت معکوس (DCRP) یا جریان متناوب به کار روند.

۳-۸ فلز پایه

جنس مصالح پایه که به‌یکدیگر جوش می‌شوند، در درجه اول اهمیت قرار دارد. اگر فلز جوش، کیفیت و خواص فیزیکی و شیمیایی مشابه با فلز پایه مورد جوش را نداشته باشد، جوش رضایت‌بخش ایجاد نمی‌گردد. الکترودهای مصرفی باید با فلز پایه سازگار^{۱۰} باشد، یعنی علاوه بر خواص شیمیایی هم ارز با فلز پایه، باید مقاومت نهایی فلز الکترودها بیش از مقاومت نهایی فلز پایه باشد.

۳-۹ جریان جوشکاری

دستگاه‌های جوشکاری دو نوع جریان تولید می‌کنند. جریان یکسو و جریان متناوب. جریان یکسو دارای دو نوع قطبیت می‌باشد؛ قطبیت مستقیم و قطبیت معکوس. نوع جریان جوشکاری قابل دسترسی بر روی انتخاب نوع الکتروده مصرفی تأثیرگذار است. بعضی از الکترودها با جریان یکسو و بعضی با جریان متناوب دارای عملکرد بهتری می‌باشند.

۳-۱۰ ضخامت و شکل فلزات مورد جوشکاری

ضخامت فلز مورد جوشکاری خواه ضخیم و یا نازک، تعیین‌کننده اندازه الکتروده مصرفی است. طبق یک قانون عمومی، هرگز از الکترودی که قطر آن بزرگتر از ضخامت فلز مورد جوشکاری است، استفاده نمی‌شود.

۳-۱۱ وضعیت جوشکاری

وضعیت جوشکاری، عامل بسیار مهم در انتخاب الکتروده مصرفی است. بعضی از الکترودها تنها در وضعیت جوشکاری

۳-۱۲ معرفی الکترودهای متعارف و کاربرد آنها

E6010: الکتروده همه وضعیت با جریان یکسو و قطبیت مثبت (از نوع الکترودهای نفوذی)

این الکترودها یکی از بهترین انواع الکتروده روکش دار جهت جوشکاری‌های قائم و سقفی هستند. به همین دلیل دارای بیشترین کاربرد در جوشکاری سازه‌های فلزی با موقعیت غیرتخت و جوشکاری قائم و سقفی با پاس‌های متعدد می‌باشند. با اینکه اکثر کاربرد این نوع الکتروده در جوشکاری فولاد نرمه است، لیکن می‌توانند در جوشکاری ورق‌های گالوانیزه یا بعضی از فولادهای کم‌آلیاژ به کار روند. در جوشکاری فولاد گالوانیزه، قوس قوی موجب خراشیدن رویه نیستند و انتخاب الکتروده مصرفی باید از میان الکترودهای باقیمانده صورت گیرد. حرکت و کنترل EXX16 و EXX18 که در طبقه الکترودهای قابل استفاده برای همه موقعیت‌ها قرار دارند، در جوشکاری‌های قائم و سقفی قدری مشکل است.

به‌طور کلی جوشکاران دریافته‌اند که الکترودهای قرار گرفته در طبقه 28، 27، 24، 20، 13، EXX12 دارای کنترل آسان در موقعیت‌های افقی و تخت می‌باشند و جوشکاری قائم و سقفی با الکترودهای EXX10، EXX11، EXX16 آسان‌تر است. خصوصاً سهولت استفاده از الکترودهای EXX12 و EXX13 در جوشکاری قائم رو به پایین بیشتر است.

۳-۱۲ معرفی الکترودهای متعارف و کاربرد آنها

E6010: الکتروده همه وضعیت با جریان یکسو و قطبیت مثبت (از نوع الکترودهای نفوذی)

این الکترودها یکی از بهترین انواع الکتروده روکش دار جهت جوشکاری‌های قائم و سقفی هستند. به همین دلیل دارای بیشترین کاربرد در جوشکاری سازه‌های فلزی با موقعیت غیرتخت و جوشکاری قائم و سقفی با پاس‌های متعدد می‌باشند. با اینکه اکثر کاربرد این نوع الکتروده در جوشکاری فولاد نرمه است، لیکن می‌توانند در جوشکاری ورق‌های

گالوانیزه یا بعضی از فولادهای کم‌آلیاژ به کار روند. در جوشکاری فولاد گالوانیزه، قوس قوی موجب خراشیدن رویه گالوانیزه شده و گِل سبک آن، کاهش حباب‌زایی^{۱۱} و کاهش تخلخل جوش را به دنبال خواهد داشت. کاربردهای مختلف این نوع الکتروود در جوشکاری بدنه کشتی، جوشکاری ساختمان‌ها و پل‌ها، مخازن ذخیره، لوله‌ها و مخازن معمولی و تحت فشار بخصوص در پاس (عبور) ریشه می‌باشد. به خاطر خشک بودن حوضچه، اجرای جوش با این الکتروود نیاز به مهارت بیشتری دارد. (جوش B شکل ۳ - ۴).

- قوس قوی و نفوذی؛
 - انجماد مناسب و یک‌دست فلز جوش؛
 - گِل کم‌ضخامت با چگالی و درجه ذوب پایین؛
 - ایجاد پوشش گازی جهت حفاظت فلز مذاب حوضچه جوشکاری در حین عملیات جوشکاری.
- الکتروود E6010 به خاطر وجود سلولز در ترکیب روکش خود، در رده الکتروودهای سلولزی قرار می‌گیرد.

E6011: الکتروود همه وضعیت با جریان متناوب و یکسو با قطبیت مثبت (از نوع نفوذی)

ویژگی‌های عملی، خواص مکانیکی و موارد کاربرد الکتروود E6011 مشابه E6010 می‌باشد، با این اختلاف که الکتروود E6011 با جریان متناوب هم استفاده می‌شود، هرچند ممکن است با جریان یکسو و قطبیت معکوس نیز به کار رود ولی در این صورت بسیاری از ویژگی‌های مفید خود را از دست می‌دهد.

E6012: الکتروود همه وضعیت با جریان متناوب و یکسو با قطبیت منفی (از نوع نفوذی و پُر بازده)

الکتروود E6012 می‌تواند با جریان یکسو و قطبیت مستقیم و یا جریان متناوب به کار رود. این نوع اغلب برای درزهایی که به طور مناسب جفت نشده‌اند به کار می‌رود و این به خاطر قابلیت پل‌زنی این نوع الکتروود در درزهای عریض است. این نوع الکتروود سازگاری مناسبی برای جوشکاری صفحات تک با جوش گوشه افقی دارد. E6012 به خاطر اقتصادی بودن، سهولت کاربرد و سرعت بالای جوشکاری کاربرد وسیعی در کارهای فلزی کارخانه‌ای دارد. شکل‌پذیری فلز جوش ترسیب شده حاصل از الکتروود E6012 نسبت به E6010 و E6011 کمتر بوده و مقاومت تسلیم آن بیشتر است. این الکتروود مناسب برای کاربرد با جریان یکسو و قطبیت مستقیم (الکتروود منفی) و یا قطبیت معکوس (الکتروود مثبت) و همچنین جریان متناوب می‌باشد. در این مورد استفاده از قطبیت مستقیم به خاطر تشکیل قوس مستقیم پایدار ارجح است. در صورت استفاده از الکتروودهای با قطر بزرگتر، جریان متناوب به خاطر عاری بودن از پدیده انحراف قوس ارجح است.

الکتروود E6012 نفوذ کافی تا انتهای ریشه جوش گوشه و سایر درزها را ایجاد می‌کند ولی عمق نفوذ آن به میزان الکتروود E6010 نیست. الکتروودهای با قطر کوچک (۲ میلی‌متر و کمتر) دارای خصوصیات مناسب جوشکاری ورق‌های نازک می‌باشند چرا که موجب سوختگی ورق نمی‌گردند.

۱. معرفی جوشکاری ساختمانی

گل حاصل از این جوش خیلی زیاد است و قسمت بیشتری از فلز مذاب را نسبت به الکتروود E6010 می پوشاند. ولیکن سرباره تولیدشده به روانی سرباره حاصل از الکتروودهای E6020 و E6030 نمی باشد. گل حاصل از الکتروود E6012 بسیار سریع و در دمایی پایین تر از نقطه انجماد فلز می بندد. گل جوشکاری سخت بوده و اغلب به نوار جوش می چسبد.

فلز مذاب حاصل از این نوع الکتروود دارای روانی بیشتری نسبت به الکتروود E6010 می باشد ولی نه در حدی که قابلیت استفاده از آن را در همه وضعیت ها از بین ببرد. ترکیب فلز مذاب و گل مذاب شکل جوش ترسیب شده را کنترل می کند (جوش D، شکل ۳ - ۴). بنابراین E6012 خصوصاً مناسب جوشکاری گوشه در حالت افقی می باشد به گونه ای که یک جوش تخت با تحدب کم و بدون بریدگی کناره جوش ایجاد می کند. الکتروودهای E6012 مناسب جوشکاری قائم رو به پایین هستند، هرچند در بعضی موارد میزان و ضخامت گلوگاه مورد نظر تأمین نمی شود.

E6013: الکتروود همه وضعیت با جریان یکسو و متناوب و با قطبیت مستقیم (از نوع نفوذی و پُر بازده)

این نوع به طور تقریبی مشابه الکتروود E6012 می باشد ولی در چند مورد مهم با هم اختلاف دارند. تمیز کردن گل (گل زنی) راحت تر و تثبیت قوس با سهولت بیشتری انجام می شود. این مورد خصوصاً در مورد الکتروودهای با قطر کم (۱/۵ تا ۲/۵ میلی متر) صحت دارد. در نتیجه امکان انجام جوشکاری با ولتاژ کمتری فراهم می شود. عموماً این الکتروودها برای جوشکاری صفحات نازک و جوشکاری های قائم رو به پایین طراحی شده اند. اندازه های بزرگتر این نوع الکتروود برای کلیه کاربردهایی که در توصیف E6012 ذکر شد، مورد استفاده است. رده های E6012 و E6013 از لحاظ عملکرد و ظاهر فلز جوش در یک طبقه هستند (جوش E در شکل ۳ - ۴). در جوشکاری با الکتروود E6013، عمل قوس آرام تر و سطح جوش صاف با موج های (فلس) ریز و ملایم است. این الکتروودها برای جوشکاری گوشه و جوش لب با ظاهر تخت تا کمی محدب مناسب هستند. این الکتروودها در رده الکتروودهای روتیلی قرار دارد.

E7015: الکتروود همه وضعیت، جریان یکسو با قطبیت مثبت (از نوع کم هیدروژن)

مقدار کلسیم موجود در ترکیب روکش این الکتروود زیاد و مقدار هیدروژن، کربن، منگنز، گوگرد و فسفر آن پایین است. این نوع روکش دارای مقداری سیلیکون نیز می باشد. این الکتروود به نام الکتروود کم هیدروژن سدیم دار معروف است، زیرا قشری از سیلیکات سدیم بر روی روکش این الکتروود به کار می رود.

میزان نفوذ آن متوسط و گل آن ضخیم و تَرْد بوده و به راحتی پاک می شود. نوار جوش تخت بوده و در بعضی موارد ممکن است محدب باشد. جوشکاری با قوس کوتاه جهت افزایش کیفیت فلز جوش در الکتروودهای کم هیدروژن ضروری است. با استفاده از الکتروودهای تا قطر ۴ میلی متر جوشکاری در همه وضعیت ها امکان پذیر است. الکتروودهای بزرگتر می توانند در موقعیت های افقی و تخت مورد استفاده قرار گیرند. این الکتروود برای جوشکاری فولاد آلیاژی، فولاد پرکربن، فولاد گوگرد دار، آهن چکش خوار، فولادهای لعاب دار، فولاد فنری و جوشکاری صفحات روکش شده با فولاد نرمه توصیه شده است. در بسیاری از موارد استفاده از این نوع الکتروود نیاز به عملیات پیش گرمایش و پس گرمایش را منتفی می سازد.

E7016: الکتروده همه وضعیت، جریان متناوب یا یکسو با قطبیت مثبت (از نوع کم‌هیدروژن)

الکتروده E7016 حاوی کلیه ویژگی‌های الکتروده E7015 می‌باشد. مزیت اضافی، امکان کاربرد آن با جریان جوشکاری یکسو یا متناوب می‌باشد. سیم داخلی و ترکیب روکش آن نیز مشابه الکتروده E7015 می‌باشد. جز اینکه این نوع دارای مقداری سیلیکات پتاسیم و یا نمک‌های دیگر پتاسیم می‌باشد، اضافه کردن نمک‌های پتاسیم، این الکتروده را برای جریان متناوب قابل استفاده می‌سازد. یک نوع از جوش انجام‌شده با این الکتروده در شکل ۳ - ۴، جوش J، نشان داده شده است.

E7018: الکتروده همه وضعیت با جریان متناوب و یکسو با قطبیت مثبت (از نوع کم‌هیدروژن)

روکش این الکتروده حاوی درصد زیادی پودر آهن (بین ۲۵ تا ۴۰ درصد) در ترکیب با مقدار کمی هیدروژن می‌باشد. روکش الکتروده E7018 دقیقاً مشابه ترکیب الکتروده E7015 و E7016 ولی ضخیم‌تر از آنها می‌باشد. گل حاصل ضخیم و تَرده بوده و پاک کردن آن راحت است. نوار جوش تخت بوده و ظاهر آن نسبت به جوش حاصل از E7015 بهتر است (جوش K در شکل ۳ - ۴). نوار جوش ممکن است در جوش‌های گوشه و یا شیار کمی تحذب داشته باشد. جوش حاصل جوابگوی آزمایش پرتونگاری خواهد بود. این نوع الکتروده در جوشکاری لوله‌ها، مخازن و کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با استفاده از الکترودهای تا قطر ۴ میلی‌متر امکان جوشکاری در همه وضعیت‌ها وجود دارد. قطرهای بزرگتر برای جوش گوشه و شیار در موقعیت افقی و یا تخت به کار می‌روند. در تمام مدت جوشکاری، باید قوس کوتاه اعمال شود. در جوشکاری قائم رو به بالا باید دقت خاصی مبذول داشت تا پوشش الکتروده در تماس دائم با حوضچه مذاب جوشکاری باشد. در ضمن قوس بلند باعث ایجاد تخلخل در نوار جوش خواهد شد. نرخ رسوب جوش در E7018 در بعضی موارد بالاتر از الکترودهای E7015 می‌باشد.

اصلاح و بهبود خواص فلز ترسیب با اضافه کردن آلیاژهای معینی به ترکیب روکش الکتروده و یا تعویض و تغییر در جنس سیم مغزه الکتروده امکان‌پذیر است. اضافه کردن عناصر آلیاژی به روکش الکتروده راه اقتصادی‌تری بوده و کنترل آن راحت‌تر است. این الکترودها در طبقه E8018 تا E12018 قرار می‌گیرند (مقاومت کششی آنها بین kg/cm^2 ۵۶۰۰ تا ۸۴۰۰ می‌باشد).

E7028: قابل استفاده در وضعیت افقی و تخت، با جریان متناوب و یکسو با قطبیت مثبت (از نوع کم‌هیدروژن و حاوی پودر آهن)

این الکتروده مشابه الکترودهای E7018 با کمی اختلاف است. الکتروده E7028 تنها مناسب جوشکاری در موقعیت افقی و تخت می‌باشد در حالی که E7018 قابل استفاده در همه وضعیت‌هاست. روکش این نوع الکتروده حاوی درصد زیادتری از پودر آهن (معادل ۵۰ درصد) نسبت به E7018 می‌باشد که باعث افزایش ضخامت و وزن آن شده است. همچنین نرخ رسوب جوش در E7028 نسبت به E7018 بالاتر است.

نفوذ جوش زیاد نیست و ظاهر جوش، تخت تا کمی مقعر با فلش‌های ریز و صاف می‌باشد (جوش F در شکل ۳ - ۴). گل حاصل ضخیم بوده و به راحتی پاک می‌شود. این الکتروده دارای ویژگی الکترودهای پر جوش می‌باشد.

E7024: برای جوشکاری گوشه در موقعیت افقی و تخت جریان متناوب و یکسو با هر دو نوع قطبیت (روکش آن از جنس تیتانیوم و پودر آهن)

الکتروود E7024 دارای روکشی با درصد زیاد پودر آهن (حدود ۵۰ درصد وزن روکش الکتروود) می‌باشد. الکتروود E7024 در مواردی که برای کاربرد الکتروودهای E6012 و E6013 ذکر شد، ممکن است به کار رود. E7024 گاهی به نام الکتروودهای تماسی نیز خوانده می‌شود، چرا که الکتروود ممکن است در هنگام جوشکاری کاملاً بر روی سطوح درز اتصال قرار گیرد. در خلال جوشکاری واقعی، الکتروود بر روی قطعه کشیده می‌شود که نتیجه آن ایجاد یک پوشش حفاظتی مؤثر بر روی فلز مذاب در مقابل آلودگی اتمسفر است. بسیاری از جوشکاران استفاده از قوس کوتاه را ترجیح می‌دهند.

علاوه بر ذوب مفتول الکتروود و فلز پایه، حرارت حاصل از قوس، گردآهن موجود در ترکیب روکش الکتروود را ذوب می‌کند تا ترسیب بیشتری حاصل شود. بنابراین افزایش سرعت جوشکاری ممکن می‌گردد. براساس محاسبات انجام شده $\frac{1}{3}$ فلز جوش رسوب کرده، حاصل از روکش الکتروود است.

الکتروودهای E7024 جوشی با پاشیدگی کم، مقدار نیتروژن پایین، بدون نقص و با ظاهری صاف تولید می‌کنند. این الکتروودها برای جوشکاری گوشه فولاد نرمه مناسب می‌باشند. جوش تولید شده دارای تحدب کمی در مقطع عرضی می‌باشد. جوش حاصل دارای سطحی بسیار صاف با فلس‌های ریز و ملایم می‌باشد به گونه‌ای که تقریباً معادل سطح جوش‌های ماشینی است. این الکتروود با قوسی ملایم، نفوذ کم و یک جوش عاری از عیب و نقص توصیف می‌شود. این نوع می‌تواند با سرعت عمودی زیادی مورد استفاده قرار گیرد. اغلب، برای جوشکاری فولاد کم‌آلیاژ و فولاد با کربن متوسط تا زیاد به کار می‌رود. این نوع الکتروودها با هر دو نوع جریان متناوب و یکسو و با هر دو نوع قطبیت به کار می‌روند، هرچند در عمل جریان متناوب ترجیح داده می‌شود.

۳-۱۳ نگهداری الکتروودهای روکش دار

نگهداری صحیح از الکتروودهای روکش دار نه تنها سبب بهبود کیفیت جوش و افزایش بازدهی آن می‌گردد، بلکه کاهش هزینه‌های ناشی از دور ریز الکتروود و تأخیرات مربوط به آن را نیز به همراه دارد. بنابراین توجه به توصیه‌های مهم برای انبارداری و نگهداری الکتروودها، بسیار ضروری است.

نگهداری الکتروودهای روکش دار به دلیل وجود رطوبت موجود در هوا، عناصر موجود در روکش و جذب رطوبت توسط آنها، همواره یک عامل مشکل ساز به شمار می‌رود. به طور کلی، معایب زیر همواره الکتروودهای روکش دار را تهدید می‌نماید.

۳-۱۳-۱ خسارت مکانیکی

هر چند روکش الکتروودها به میزان قابل توجهی در برابر عوامل تخریب مکانیکی خارجی مقاوم هستند، اما نباید فراموش کرد که الکتروودهایی که با بی احتیاطی جابه‌جا می‌شوند، همیشه در معرض عوامل مخرب مکانیکی ناشی از ضربه، سایش، خراش و غیره می‌باشند. پوشش الکتروودها از انعطاف پذیری بالایی برخوردار نبوده و مقاومت به ضربه پایینی دارند. از این رو در هنگام بارگیری، تخلیه و تغییر مکان، جعبه‌های الکتروود را نباید با ضربه جابه‌جا کرد و یا

به‌اطراف پرتاب کرد. همچنین باید از قرار دادن تعداد زیادی جعبه روی هم خودداری گردد. روکش برخی از الکترودهای خاص مانند الکترودهای قلیایی خشک، در مقایسه با الکترودهای معمولی، بسیار شکننده‌تر بوده که در جابه‌جایی، و حمل و نقل مستلزم دقت بیشتری هستند.

۳-۱۳-۲ جذب رطوبت

جذب رطوبت با درصد بالا، در پوشش الکترودها بسیار خطرناک است. مشکل بیشتر از آنجا ناشی می‌گردد، که مقدار رطوبت تا پیش از انجام جوشکاری قابل تشخیص نبوده و فقط پس از بازرسی‌های چشمی یا آزمایش‌های غیرمخرب با ملاحظه تخلخل‌ها و سایر نقایص مشخص می‌شود.

توجه به‌این نکته ضروری است که، با وجود اینکه اغلب الکترودها هنگامی که مقدار رطوبت روکش آنها حداقل باشد، بهترین عملکرد جوشکاری را نشان می‌دهند، اما این موضوع در مورد الکترودهای سلولزی مصداق ندارد و رطوبت در روکش این نوع الکترودها عملکرد جوشکاری را بهبود می‌بخشد. به‌همین دلیل، الکترودهای سلولزی را در قوطی‌های فلزی در بسته، نگهداری کرده، و چنانچه درب قوطی باز شود نباید مدت طولانی بدون استفاده باقی بماند، زیرا روکش آنها خشک می‌شود.

به‌طور کلی الکترودها در هر شرایطی آمادگی جذب رطوبت را دارند. در رطوبت نسبی ۹۰ درصد محیط، روکش الکترودها به‌سرعت رطوبت هوا را جذب کرده و در کمتر از یک روز غیرقابل استفاده می‌شوند. در رطوبت نسبی ۷۰ درصد، روکش الکترودها حداکثر یک هفته مقاومت می‌نمایند و پس از آن جوش حاصل کاملاً معیوب خواهد شد. تنها در شرایطی که مقدراً رطوبت نسبی محیط، کمتر از ۴۰ درصد باشد، می‌توان الکترودها را برای مدت نسبتاً طولانی در مجاورت هوا و در خارج از بسته‌بندی نگهداری کرد.

مقدار رطوبت موجود در روکش انواع الکترودها (به‌جز الکترودهای قلیایی کم هیدروژن) را می‌توان با توزین حدود ۱ گرم از نمونه روکش قبل و بعد از خشک کردن در کوره به‌مدت یک ساعت در درجه حرارت 100°C تعیین کرد. کاهش وزن نمونه، معرف درصد حضور رطوبت در روکش الکترودها خواهد بود.

مقدار رطوبت روکش الکترودهای قلیایی کم هیدروژن معمولاً در دمای $90-100^{\circ}\text{C}$ با وسایل خاصی تعیین می‌شود. هر چند تشخیص مقدار رطوبت، بدون امکانات آزمایشگاهی کار چندان ساده‌ای نیست، اما می‌توان از روش‌های ساده‌ای برای تشخیص مرطوب بودن الکترودها استفاده کرد.

یکی از این روش‌ها این است که یکی از بسته‌های الکترودها که ۵ یا ۶ شاخه از الکترودهای آن را برداشته‌اید، بین شست و چهار انگشت هر دو دست نگه داشته و به‌آرامی بلرزانید. اگر الکترودها خشک و یا مقدار رطوبت مجاز باشند، صدای واضح و تیز فلزی به‌گوش می‌رسد، و اگر مرطوب باشند صدای خفه و بم تولید خواهند کرد. برای آشنا شدن با نوع این دو صدا، می‌توان آزمایش را ابتدا بین دو بسته الکترودی که به‌خشک و مرطوب بودن هر یک اطمینان هست انجام داد.

یکی دیگر از راه‌های تشخیص الکترودها مرطوب، جوشکاری با آنها است. وقتی با یک الکترودها مرطوب جوشکاری شده و پس از استفاده از نیمی از طول الکترودها، جوشکاری متوقف گردد، اولاً روی پوشش الکترودها شعله‌ای که از نوک

الکتروود باقی مانده و به طرف بالا زبانه می کشد دیده خواهد شد، ثانیاً ترک‌هایی طولی در روکش الکتروود (از سمت نوک به طرف بالا) مشاهده می گردد.

بنابراین باید الکتروودها را همواره از مرطوب شدن محافظت کرد. این ضرورت، به طور معمول از طریق بسته بندی رعایت می شود. الکتروودهای قلیایی که به طور مخصوص خشک شده اند، در جعبه های مقاوم در برابر رطوبت یا در

پاکت های ضخیم پلاستیکی عرضه می شوند. تا هنگامی که از الکتروودها استفاده نمی گردد، نباید پوشش پلاستیکی آنها باز شود و حتی پس از باز کردن و برداشتن الکتروود، تا حد امکان باید آن را دوباره به شکلی بست که کوچکترین منفذ عبور هوا در آن وجود نداشته باشد.

الکتروودهای اسیدی چندان حساسیتی به جذب رطوبت ندارند و الکتروودهای روتیلی می توانند بالاترین درصد رطوبت را تحمل نمایند.

باید توجه داشت که نه تنها جذب رطوبت از هوا به الکتروود خسارت می زند، بلکه تبدیل این رطوبت در اثر تقطیر نیز با تولید آب، موجب تخریب روکش الکتروود خواهد شد. با توجه به وجود اختلاف دمای بین روز و شب، همان طور که مشخص است در طی روز دمای محیط به سرعت بالا می رود اما مغزی الکتروود که در کارتن های مقوایی عایق قرار دارد، به آرامی گرم می شود؛ با کاهش دما در شب، بخشی از رطوبت جذب روکش الکتروودها می شود. مسأله ایجاد قطرات شبنم به ویژه در زمان های قبل از تخلیه کانتینرهای حمل بار که در محل های سرد نگهداری می شوند، باید مورد توجه قرار گیرد.

بنابراین باید بسته های الکتروود، پیش از استفاده، به مدت کافی در محلی نگهداری شوند تا به دمای محیط برسند، هر چند که جذب رطوبت ممکن است در مدتی کوتاه صورت گرفته باشد.

۳-۱۳-۳ فاسد شدن روکش الکتروود

روی سطح الکتروودهایی که تاریخ مصرف آنها گذشته باشد، کریستال ها یا پوسته های سفیدی (Fur) دیده می شود که ناشی از خروج سیلیکات سدیم از پوشش الکتروود بوده و هر چند خود برای جوشکاری مضر نیستند، اما به خوبی نشان می دهند که عمر مفید الکتروود به پایان رسیده و نباید در کارهای حساس از آن استفاده کرد.

الکتروودهایی که در ترکیب روکش خود مقادیر زیادی پودر آهن دارند، اگر برای مدتی بدون محافظ در معرض رطوبت قرار گیرند، روی پوشش آنها آثار اکسید شدن مشاهده می شود. این امر، به طور معمول بسبب افزایش اکسیژن جذب شده در جوش و در نهایت افزایش مقدار هیدروژن جذب شده در جوش می گردد، بنابراین چنین الکتروودهایی باید کاملاً دور ریخته شوند زیرا اصلاً قابلیت استفاده و دوباره خشک کردن را ندارند. در برخی مواقع زنگ آهن حتی تا مغزی الکتروود نیز نفوذ می کند.

توجه به این نکته ضروری است که استفاده از الکتروودهای معیوب می تواند معایبی را در جوش باعث شود که مهمترین آنها از این قرار است:

- | | |
|--|---|
| ۱ - ایجاد قوس الکتریکی شعله ور | ۴ - پودر شدن پوشش الکتروود |
| ۲ - افزایش مقدار و مسافت پاشش جرقه های جوش | ۵ - تاول زدن پوشش الکتروود |
| ۳ - ایجاد آخال و حفرات در فلز جوش | ۶ - احتیاج به ولتاژ بالا برای انجام جوشکاری |

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

۷ - افزایش احتمال ورود هیدروژن به فلز جوش به‌ویژه در فولادهای سختی‌پذیر و افزایش سختی و تردی فلز جوش

- ۸ - ایجاد کریستال سفید رنگ (Fur) روی پوشش الکتروود فاسد
۹ - عدم پایداری قوس و خاموش و روشن شدن آن
۱۰ - ظاهر نامناسب مهره‌های جوش و کاهش اندازه و ابعاد آنها
۱۱ - بروز سوختگی‌های (بریدگی) کناره جوش
۱۲ - باقی ماندن سرباره در داخل فلز جوش
۱۳ - ترک‌های زیاد در منطقه HAZ

۳-۱۴ خشک‌کن الکتروود^{۱۲}

سازندگان الکتروود استفاده از انبارهای خشک‌کن را برای حفظ و نگهداری کیفیت اولیه الکتروودها توصیه می‌کنند. استفاده از خشک‌کن تنها یک توصیه نیست و خصوصاً برای الکتروودهای کم‌هیدروژن، و سایر الکتروودهای خاصی که دارای عناصر زیر هستند، اجباری است:

- | | | |
|---------------|-------------|--------|
| ● پودر آهن | ● آلومینیوم | ● مونل |
| ● فولاد ضدزنگ | ● اینکل | ● برنج |
| | | ● برنز |

خشک‌کن‌های الکتروود دارای ظرفیتی بین ۱۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم می‌باشند و درجه حرارت آنها تا ۴۵۰ درجه سلسیوس قابل تنظیم است. خشک‌کن‌های کوچکتر قابل حمل و نقل و جابه‌جایی هستند که این امر آنها را برای کارگاه‌های کوچک و جوشکاری روی زمین مناسب می‌سازد. خشک‌کن‌های بزرگتر ممکن است برای انبار مرکزی و گرم کردن (پختن) الکتروودهای کل کارگاه مورد استفاده قرار گیرند.

افزایش استفاده از فرآیند جوشکاری زیرپودری مشکل رطوبت پودر جوشکاری را در پی دارد. پودرهای جوشکاری که حفاظت نشده‌اند، رطوبت محیط را به‌خود می‌گیرند که موجب ورود هیدروژن به‌داخل جوش می‌گردد. شکل ۳ - ۵ یک نوع از خشک‌کن‌های قابل حمل را نشان می‌دهد که می‌تواند جهت نگهداری پودر جوشکاری و یا مفتول روکش‌شده با این مواد، به‌کار رود.

بعضی جوشکاران الکتروودهای خود را در داخل یک کیسه چرمی که آن را با استفاده از بند یا تسمه به‌کمر خود می‌بندند، نگهداری و محافظت می‌کنند. این کیسه‌های چرمی محافظ ضعیفی در مقابل رطوبت می‌باشند و به‌هیچ‌وجه برای الکتروودهای حساس به رطوبت، مناسب نیستند.

۳-۱۵ بسته‌بندی الکتروودها ۳-۱۵-۱ اندازه (قطر) و طول استاندارد

طول و قطر استاندارد برای الکتروودها در جدول ۳ - ۶ نشان داده شده است. در بعضی شرایط خاص الکتروودهایی با طول ۹۰۰ میلی‌متر نیز در دسترس هستند. در همه حالات، منظور از قطر (اندازه) استاندارد الکتروود، قطر مفتول داخلی است که محصور در روکش الکتروود می‌باشد.

در طول‌های مختلف الکتروود، طول گیر انتهای الکتروود (در داخل فک انبر الکتروود) برای همه طول‌ها استاندارد

است.

۳- ۱۵- ۲ بسته‌بندی و دسته‌بندی

به‌منظور جلوگیری از صدمه رسیدن به‌الکتروود در حین حمل و نقل، توصیه می‌شود وزن دسته و بسته‌های الکتروود در حدود زیر باشد:

- وزن بسته‌های الکتروود حدود ۴ کیلوگرم
- وزن جعبه‌ها حدود ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم
- وزن خالص حلقه و قرقره به‌طور تقریب بین ۶۵ تا ۹۰ کیلوگرم

جدول ۳- ۶ قطر و طول الکتروود

طول استاندارد (mm)	قطر استاندارد مفتول الکتروود (mm)
۲۲۵	۱/۵
۲۲۵ - ۳۰۰	۲
۳۰۰	۲
۳۵۰	۳
۳۵۰	۴
۳۵۰	۴/۵
۳۳۰ - ۴۵	۵/۵
۴۵۰	۶
۴۵۰	۸
۴۵۰	۱۰

۳- ۱۶ ضوابط بازرسی ظاهری الکتروودها

الکتروودهایی که داری نوع و قطر یکسان بوده و روش ساخت واحدی داشته و یک جا عرضه می‌شوند «پارتی» نام دارند. برای الکتروودهای مخصوص جوشکاری فولادهای ساختمانی حداکثر وزن پارتی ۲۰ تن و برای الکتروودهای جوشکاری فولادهای ویژه حداکثر وزن هر پارتی ۵ تن می‌باشد.

- بازدید ظاهری و اندازه‌گیری باید با برداشتن تا ۵٪ درصد الکتروودها از محل‌های مختلف هر پارتی (که از ۱۰ عدد الکتروود کمتر نباشد) و بررسی آنها صورت پذیرد.
- بازدید ظاهری الکتروودها بدون استفاده از وسایل بزرگ‌نما انجام می‌شود.

- از هر تن الکتروود حداقل ۳ الکتروود برای هر یک از موارد کنترل ظاهری (استحکام روکش - وضعیت ظاهری، مقاومت در مقابل رطوبت و هم‌مرکز نبودن) انتخاب می‌شود.
- برای کنترل کیفیت جوشکاری و آزمایش‌های مکانیکی و غیره به تعداد لازم نسبت به قطر الکتروود و حجم آزمایش نمونه‌گیری انجام می‌شود.

۳-۱۶-۱ بازدید ظاهری روکش

- روکش الکتروود باید محکم، بادوام، بدون ترک و یکنواخت باشد.
- در بازدید ظاهری موارد ذیل مورد توجه قرار می‌گیرد:
- الف: لخت بودن الکتروود روکش‌دار تا قطر ۶ میلی‌متر، حداکثر تا نصف قطر و برای الکتروود بزرگتر، حداکثر ۳ میلی‌متر از سر الکتروود مجاز است.
- ب: برجستگی‌ها و سوراخ‌های تکی به اندازه حداکثر یک چهارم ضخامت روکش مجاز است.
- پ: فرورفتگی ناحیه‌ای نباید تعدادشان بیش از سه و طول‌شان بیش از ۲ میلی‌متر و عمق‌شان بیش از نصف ضخامت روکش باشد.
- ت: منفذها نباید تعدادشان بیش از سه عدد در هر ۱۰ میلی‌متر طول روکش بوده و قطر هر منفذ بیش از ۲ میلی‌متر و عمق آن از نصف ضخامت روکش بیشتر باشد.
- ث: روکش نباید بیش از ۲ ترک مویی و به طول بیشتر از ۱۲ میلی‌متر داشته باشد.

۳-۱۶-۲ استحکام روکش

- طبق استاندارد روسیه برای پی بردن به استحکام الکتروود آزمایش زیر را انجام می‌دهند:
- الف: الکتروودهای تا قطر ۳ میلی‌متر را از فاصله یک متری آزادانه و به‌طور افقی بر روی صفحه فولادی رها می‌کنند.
- ب: الکتروودهای با قطر بزرگتر از ۳ میلی‌متر را از نیم متری آزادانه و به‌طور افقی بر روی صفحه فولادی رها می‌کنند.
- روکش این الکتروود نباید در این سقوط آسیب ببیند.

۳-۱۶-۳ مقاومت روکش در مقابل رطوبت

- روکش الکتروود باید در مقابل رطوبت مقاومت کند و پس از آنکه به مدت ۲۴ ساعت در آب ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت علامت خرابی در آن پدیدار نگردد و چسبندگی خود را از دست ندهد.

۳-۱۶-۴ هم‌مرکز بودن روکش

- روکش الکتروود باید با میله الکتروود هم‌مرکز باشد و به‌طور یکنواخت میله را پوشانده باشد.

اختلاف ضخامت روکش $e = S_1 - S_0$ بسته به قطر میله الکتروود نباید از مندرجات جدول ۳ - ۷ تجاوز نماید. برای تعیین یکنواختی ضخامت روکش باید در سه محل که نسبت به هم تحت زاویه ۱۲۰ درجه قرار داده شده و به فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ میلی متر از هم باشند، ضخامت روکش اندازه گیری شود (شکل ۳ - ۶). ضخامت روکش باید با میکرومتر و با دقت ۰/۰۱ میلی متر کنترل شود. کنترل ضخامت هم مرکز بودن روکش را می توان با دستگاه های مخصوص (مغناطیسی و غیره) بدون تخریب روکش انجام داد.

جدول ۳ - ۷ اختلاف ضخامت مجاز

اختلاف مجاز ضخامت روکش (میلی متر) $e = S_1 - S_0$	قطر میله الکتروود (میلی متر)
۰/۰۵	۱/۶
۰/۰۸	۲
۰/۱۰	۲/۵
۰/۱۵	۳
۰/۲۰	۴
۰/۲۵	۵
۰/۳۰	۶

۳ - ۱۶ - ۵ کیفیت اجرای جوشکاری

جوشکاری الکتروود باید خصوصیات ذیل را داشته باشد:

الف: قوس باید به آسانی روشن شده و پایدار باشد. نوع جریان برق و شدت جریان جوشکاری طبق توصیه سازنده الکتروود انتخاب می شود.

ب: روکش باید به طور مناسب با میله مغزه ذوب شده تا در انتهای الکتروود، روکش به صورت لوله یا شاخک باقی نمانده و مانع ذوب مداوم الکتروود نشود.

پ: روی گرده جوش باید سرباره محافظ تشکیل شود که پس از سرد شدن به راحتی برداشته شود.

ت: فلز درز جوش و فلز مبنا نباید حاوی ترک باشد.

ث: سطح مقطع شکست جوش گوشه از لحاظ وجود تخلخل، ترک و نفوذ مورد ارزیابی چشمی قرار گیرد

۴-۵ دهانه یا بازشدگی ریشه (R)

در شکل ۴-۶ دهانه ریشه (R) که همان فاصله بین دو لبه در محل ریشه درز می‌باشد، نشان داده شده است. دهانه ریشه برای این منظور به کار می‌رود که الکتروود بتواند به ریشه جوش برسد. هر قدر که زاویه پخی لبه‌ها کم باشد، برای اینکه یک ریشه خوب به دست آید، باید دهانه ریشه (R) را بیشتر در نظر گرفت. اگر دهانه ریشه خیلی کوچک باشد جوش ریشه خیلی مشکل خواهد بود و باید از الکتروودهای نازک استفاده شود و استفاده از الکتروودهای نازک باعث کندی کار خواهد شد.

دهانه ریشه خیلی بزرگ بر کیفیت جوش اثری ندارد، ولی مصرف مصالح جوش را افزایش می‌دهد که نتیجه آن افزایش هزینه جوشکاری و اعوجاج حاصل از جوشکاری است.

شکل ۴-۷ نشان می‌دهد که چگونه وقتی زاویه پخی لبه کم می‌شود، دهانه ریشه باید افزایش یابد. وقتی که دهانه ریشه زیاد می‌گردد، باید از تسمه پشت‌بند استفاده شود. هر سه وضعیت نشان داده شده در شکل ۴-۷ قابل قبول هستند و هر سه برای یک جوشکاری خوب مساعد می‌باشند. ترجیح یکی بر دو تای دیگر فقط بر مبنای مقایسه اقتصادی خواهد بود.

آماده کردن لبه‌ها برای جوشکاری و دهانه ریشه هر دو تأثیر مستقیم بر هزینه جوشکاری (میزان مصرف مصالح) دارند. منظور از آماده کردن لبه جوش، پخ زدن لبه‌ها به شکل دلخواه قبل از جوشکاری می‌باشد.

شکل ۴-۸ الف، حالتی را نشان می‌دهد که فاصله لبه دو قطعه و همچنین زاویه پخی لبه‌ها کم می‌باشد. این حالت برای جوشکاری خوب نیست، زیرا جوش بین دو لبه پل زده، تفاله و خاکستر جوشکاری پس از انجام عملیات جوشکاری در محل ریشه اتصال باقی می‌ماند و حذف آنها از روی جوش برای جوش طرف دوم وقت‌گیر خواهد بود.

شکل ۴-۸ ب، نشان‌دهنده فرم صحیح لبه‌ها قبل از شروع به جوشکاری می‌باشد. این جوش باعث امتزاج و ترکیب خوب مصالح در ریشه خواهد شد. تولید خاکستر جوشکاری در این حالت به حداقل مقدار خود خواهد رسید.

شکل ۴-۸ پ، نشان می‌دهد که چگونه فاصله زیاد لبه‌ها در هنگام جوشکاری باعث ریزش جوش از زیر آن می‌گردد. در کارخانه‌ها برای اینکه از ریزش جوش جلوگیری کنند از تسمه‌های فاصله‌دهنده با اندازه معین استفاده می‌کنند.

۴-۶ تسمه‌های پشت‌بند

وقتی که جوشکاری از یک طرف بوده و فاصله لبه‌ها نیز زیاد باشد، از تسمه‌های پشت‌بند استفاده می‌شود. تسمه‌های پشت‌بند در شکل‌های ۴-۹ الف، ب و پ نشان داده شده‌اند. این تسمه‌ها پس از انجام عملیات جوشکاری در جای خود باقی می‌مانند و جزیی از اتصال می‌شوند.

تسمه‌های فاصله‌دهنده اغلب در درزهای جناغی دورو (X) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این حالت قبل از جوشکاری طرف دوم، نیاز به سنگ زدن ریشه می‌باشد.

جنس تسمه‌های پشت‌بند باید با مصالح اصلی سازگار باشد. برای تثبیت این تسمه‌ها، قبل از انجام عمل جوشکاری از خال‌جوش‌های متناوب استفاده می‌شود. این خال‌جوش‌ها در هر دو طرف تسمه پشت‌بند به‌صورت چپ و راست داده می‌شوند تا ایجاد تنش‌های اضافی نکنند. در ضمن، این خال‌جوش‌ها نباید درست مقابل یکدیگر قرار گیرند

تسمه‌های پشت‌بند باید کاملاً به‌زیر ورق بچسبند و گرنه باعث به‌وجود آمدن تفاله جوشکاری در ناحیه ریشه جوش می‌شوند (شکل ۴ - ۱۱). جوش ریشه (پاس اول) باید بتواند امتزاج کامل در محل ریشه به‌وجود آورد.

۴ - ۷ گرده جوش^{۱۲}

در درزهای لب به‌لب، تحدب اسمی (تقریباً ۱/۵ میلی‌متر بالای سطح تراز) لازم است مقدار زیاد این تحدب فایده‌ای ندارد و باعث افزایش تمرکز تنش و هزینه جوشکاری می‌شود (شکل ۴ - ۱۲ - الف). باید دقت شود که هم ارتفاع و هم پهنای گرده حداقل گردد.

۴ - ۸ ضخامت ریشه (پیشانی)

برای اینکه از سوختن ریشه جوش و همچنین از ریزش جوش جلوگیری شود، به‌جای اینکه لبه جوش در محل ریشه به‌صورت تیز باشد، ضخامتی برای آن قائل می‌شوند که آن را ضخامت ریشه یا پیشانی می‌نامند (شکل ۴ - ۱۳). اگر لبه درز در محل ریشه تیز باشد، برای سوختن و ریزش خیلی مستعد است، مخصوصاً اگر فاصله لبه نیز مقداری زیاد باشد

اجرای پیشانی ریشه در عمل وقت‌گیر و پُرکار است و به‌دو برش و یا یک برش و یا سنگ زدن نیاز دارد. وقتی منظور به‌دست آوردن جوش صددرصد (تمام قدرت) بوده و لبه نیز دارای پیشانی ریشه باشد، قبل از جوش روی دوم (پشت کار) احتیاج به‌سنگ زدن ریشه است.

وقتی که از تسمه‌های پشت‌بند استفاده می‌شود، دیگر نباید ضخامتی برای ریشه در نظر گرفت (شکل ۴ - ۱۵). زیرا در این حالت یک فضای خالی پیدا می‌شود که در هنگام جوشکاری درون آن پُر از گاز می‌گردد.

فلسفه اصلی پخ زدن لبه، ایجاد دسترسی برای جوشکاری در تمام ضخامت و همچنین مطمئن شدن از ذوب و امتزاج کامل در تمام سطح مقطع می‌باشد. دسترسی خوب، با افزایش زاویه پخی، و افزایش دهانه ریشه به‌دست می‌آید که همیشه ترکیبی از آنها یک راه‌حل خوب به‌دست می‌دهد (شکل ۴ - ۱۶).

زاویه پخی بستگی به‌محل کار و زاویه‌ای که الکترود در محل کار می‌تواند داشته باشد، دارد (شکل ۴ - ۱۷). همان‌طوری که در شکل ۴ - ۱۷ نشان داده شده، زاویه پخی حداقل برابر با ۴۵ درجه توصیه می‌شود.

درزهای لاله‌ای (U) و نیم‌لاله‌ای (J)

درزهای لاله‌ای و نیم‌لاله‌ای برای جوشکاری بسیار عالی هستند ولی هزینه ساخت آنها گران تمام می‌شود (شکل ۴ - ۱۸). این شکل‌ها نیز احتیاج به ضخامت ریشه و در نتیجه سنگ زدن ریشه از پشت دارند.

۴ - ۹ سنگ زدن ریشه از پشت (شیارزنی پشت)

برای دستیابی به ذوب و امتزاج کامل در تمام مقطع جوش و در نتیجه یک جوش صددرصد (تمام قدرت) لازم است در تمام انواع درزها طرف دوم یا پشت کار نیز جوش شود. قبل از جوش پشت کار باید ریشه جوش برداشته شود، این کار به وسیله الکتروود گوج یا سنگ زدن صورت می‌گیرد. بدون سنگ زدن ریشه جوش، جوش طرف دوم نفوذ کامل نخواهد داشت (شکل ۴ - ۱۹).

میزان سنگ زدن ریشه آنقدر باید عمیق باشد تا مصالح اصلی جوش طرف اول ظاهر گردند. شکل شیار پشت باید طوری باشد که الکتروود برای جوشکاری بتواند داخل آن گردد.

۵ - ۱ عیب‌های اصلی جوش

هر جوشکار باید با معایب اصلی جوشکاری که به گسیختگی اتصال جوش شده کمک می‌کند، آشنا باشد. این آشنایی در تولید جوشی با کیفیت مقبول کمک کرده و مدت زمان بازرسی جوش را کاهش می‌دهد. این کار اغلب مشکلات موجود در هنگام بازبینی نهایی کار توسط ناظر و یا بازرس جوش را منتفی می‌سازد. مصالحی که به یکدیگر جوش می‌شوند (ورق یا لوله) باید از لحاظ وجود معایب سطحی با دقت بازرسی شوند.

در صورتی که روش‌ها و فنون صحیح جوشکاری به کار گرفته نشود، ممکن است معایبی در سطح یا داخل فلز جوش به وجود آید. بعضی از این معایب رایج عبارتند از:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| - ذوب ناقص (Lack of Fusion-LOF) | - گرده اضافی در جوش (Excess Weld) |
| - نفوذ ناقص (Lack of Penetration-LOP) | - لکه قوس (Arc Strike) |
| - تخلخل (Porosity) | - انواع ترک‌ها (Cracks) |
| - بریدگی کناره جوش (Undercut) | - عدم پرشدگی شیار (Under fill) |
| - ناخالصی‌های حبس شده (Slag Inclusion) | - جرقه و پاشش (Spatter) |
| - سر رفتن جوش روی فلز پایه، لوچه (Overlap) | |

۵ - ۱ - ۱ ذوب ناقص

ذوب ناقص عبارت است از عدم امتزاج کامل فلز پایه و فلز جوش مجاور آن. این عیب ممکن است در اثر تمیز نبودن سطوحی که باید به یکدیگر متصل گردند و پوشیده بودن آنها از گرد و خاک، گل جوش، زنگ‌زدگی یا هر عامل خارجی دیگری اتفاق بیفتد.

دلایل امتزاج ناقص به شرح زیر است:

- کافی نبودن حرارت ورودی
- انتخاب نادرست قطبیت جریان و گاز محافظ
- سطح آلوده ورق
- نوع یا اندازه نامناسب الکتروود
- تنظیم نادرست جریان و سرعت جوشکاری
- طرح اتصال نامناسب

۵-۱-۲ نفوذ ناقص

نفوذ ناکافی بدین معنی است که فلز جوش تا عمق کمتری از آنچه در طراحی در نظر گرفته شده است در داخل درز یا شیار نفوذ می نماید. نفوذ ناقص تنها هنگامی که در دستورالعمل ها چنین مشخص گردیده، مورد قبول است (شکل ۵-۳).

این عیب که عمدتاً به جوش های شیار ی نفوذی مربوط می گردد، تحت شرایط زیر اتفاق می افتد:

- ضخامت پیشانی ریشه بیش از نیاز دهانه ریشه است.
- دهانه ریشه خیلی کوچک است.
- زوایه پخی شیار ۷ شکل خیلی کوچک است.
- اندازه الکتروود خیلی بزرگ است.
- سرعت حرکت الکتروود خیلی زیاد است.
- شدت جریان جوشکاری خیلی پایین است.

۵-۱-۳ تخلخل

تخلخل در صورت ایجاد حفره های خالی یا محبوس شدن گازها در فلز جوش هنگام سرد شدن آن اتفاق می افتد. این عیب در صورت استفاده از شدت جریان های خیلی زیاد یا طول قوس خیلی بلند ایجاد می شود. تخلخل ممکن است به طور یکنواخت در طول جوش پراکنده گردد یا ممکن است به صورت یک حفره بزرگ در ریشه جوش گوشه یا ریشه جوش شیار ی در مجاورت تسمه پشت بند متمرکز گردد. حالت اخیر به دلیل روش جوشکاری نامناسب و استفاده غیر صحیح از تسمه های پشت بند اتفاق می افتد. وجود رطوبت، وزش باد در سطح جوش و کاربرد الکتروود نامرغوب از دلایل ایجاد تخلخل در جوش می باشد

تخلخل سطحی، تأثیر مستقیم و مضر ی در مقاومت خستگی فلز جوش دارد. حفرات سطحی بسیار خطرناک تر از حفراتی با همان اندازه در عمق جوش هستند. با توجه به موارد زیر می توان از بروز تخلخل به خوبی جلوگیری کرد:

- خشک کردن الکتروود در خشک کن قبل از مصرف
- تنظیم طول قوس
- تنظیم شدت جریان جوشکاری
- عدم جوشکاری در شرایط جوی نامناسب

۵-۱-۴ بریدگی کناره جوش

بریدگی یا سوختگی به معنای شیار ذوب شده ای در فلز مبنا می باشد که در انتهای ساق جوش قرار گرفته و به وسیله فلز جوش پر نشده است. استفاده از جریان قوی یا طول قوس زیاد ممکن است فلز مبنا را بسوزاند یا قسمتی از آن را از جای خود جدا کرده و شیار ی به جای گذارد. این عیب به راحتی با چشم قابل تشخیص است و می توان آن را با جوشکاری مجدد ناحیه بریدگی، با الکتروود های نمره پایین تر از فلز جوش پُر نمود

در جوش‌های شیار، سوختگی کنار جوش ممکن است هم روی سطح و هم در ریشه اتصال ایجاد شود. دلایل بروز سوختگی کنار جوش عبارت است از: تکنیک جوشکاری نامناسب، سرعت جوشکاری زیاد و استفاده از شدت جریان بیش از اندازه و طول قوس بلند

با روش مناسب جوشکاری بریدگی کنار جوش حذف می‌شود و نیازی به تعمیر مجدد ندارد. بنابراین چنانچه بریدگی ایجاد شد، این سؤال مطرح می‌شود که آیا این بریدگی مضر است و نیاز به تعمیر دارد یا

۵-۱-۵ حبس سرbare

گل‌جوش در حین عملیات جوشکاری در نتیجه ذوب روکش الکتروود تشکیل می‌گردد و مخلوطی از اکسید فلزات و ترکیبات دیگر می‌باشد. به دلیل وزن مخصوص کمتر، گل جوشکاری اغلب به سطح حوضچه مذاب می‌آید و وقتی جوش سرد شد به راحتی توسط چکش جوش کنده می‌شود. سرد شدن سریع جوش ممکن است گل‌جوش را قبل از رسیدن به سطح، به دام بیندازد. جوش‌های سقفی بیشتر در معرض تداخل گل‌جوش قرار دارند و باید به دقت بازرسی شوند. وقتی که برای تأمین اندازه جوش مشخص احتیاج به چند بار عبور (pass) الکتروود باشد، باید بین هر دو عبور، جوشکار گل‌جوش مرحله قبل را بردارد. عدم دقت در انجام صحیح این عمل یکی از دلایل عمده تداخل گل جوشکاری است.

۵-۱-۶ سر رفتن جوش روی فلز پایه، (لوچه)

یکی دیگر از ناپیوستگی‌های سطحی که مربوط به بکارگیری تکنیک نامناسب جوشکاری است، سر رفتن مذاب یا لوچه نام دارد. لوچه، عبارت است از جاری شدن فلز جوش روی فلز پایه، بدون ذوب نمودن کامل آن (شکل ۵ - ۱۰). سر رفتگی به عنوان یک ناپیوستگی خطرناک محسوب می‌شود؛ زیرا باعث ایجاد یک شیار تیز روی سطح قطعه می‌گردد. این شیار به عنوان محل تمرکز تنش می‌تواند باعث ایجاد و رشد ترک شود.

علت اصلی سر رفتگی، تکنیک نامناسب جوشکاری می‌باشد. زمانی که سرعت جوشکاری خیلی آهسته باشد، مقدار فلز پُرکننده فراتر از حد نیاز جهت پُر کردن اتصال بوده و اضافی آن روی فلز پایه جاری می‌گردد؛ به دلیل سرد بودن فلز پایه، ذوب کافی در محل جاری شدن ایجاد نمی‌گردد. در بعضی از الکتروودها به دلیل سیال بودن مذاب، حساسیت به این ناپیوستگی بیشتر می‌باشد و از این الکتروودها فقط در وضعیت تخت استفاده می‌گردد. سر رفتگی مذاب، به دلیل تأثیر نیروی ثقل، اغلب در وضعیت افقی رخ می‌دهد.

۵-۱-۷ گرده اضافی در جوش

گرده اضافی، عبارت است از فلز جوش اضافه بر مقدار مورد نیاز جهت پُر کردن اتصال. مشکل اصلی گرده جوش، احتمال ایجاد گوشه‌های تیز در نواحی پنجه جوش می‌باشد. با افزایش ارتفاع گرده جوش، حساسیت بیشتری در این نواحی ایجاد می‌شود. گرده اضافی می‌تواند در پاس ریشه و یا پاس نهایی اتفاق بیفتد

۵-۱-۸ لکه قوس

لکه قوس در اثر روشن کردن قوس روی سطح فلز پایه، خارج از درز اتصال به وجود می آید که در اثر آن، مناطق کوچکی روی سطح فلز پایه به طور سطحی ذوب شده و سریعاً سرد می گردد. لکه قوس قابل پذیرش نیست و وجود آن باعث ترک در فلز پایه می گردد

۵-۱-۹ ترکها

ترکها، شکستگی های فلز جوش می باشند که در اثر تنش های داخلی در امتداد خط جوش و یا عمود بر آن به وجود می آیند. ترکها همچنین ممکن است از فلز جوش به فلز مبنا امتداد پیدا کنند و یا کاملاً در فلز مبنا و در مجاورت خط جوش باشند. ترکها زیان بارترین معایب جوش هستند.

ترک خوردگی فلزات به سه رده اصلی تقسیم می شوند: ترک خوردگی گرم، ترک خوردگی سرد و ترک های مویی، که انواع ترک را در شکل ۵ - ۱۴ مشاهده می کنید.

● **ترک خوردگی گرم:** در درجه حرارت زیاد و در خلال سرد شدن ناگهانی جوش پس از آنکه فلز جوش رسوب و شروع به انجماد نماید، اتفاق می افتد. اکثر ترک های جوشکاری، ترک خوردگی گرم هستند.

● **ترک خوردگی سرد:** به ترک هایی اطلاق می شود که در دمای معمولی اتفاق یا درجه حرارتی نزدیک به آن اتفاق می افتند. این ترکها ممکن است ساعت ها و یا روزها پس از سرد شدن جوش حادث شوند. وقوع ترک خوردگی سرد در فولاد در مقایسه با سایر فلزات، بیشتر است.

● **ترک های مویی:** ممکن است از نوع ترک های گرم یا سرد باشند. این ترکها به قدری ریز هستند که با چشم غیر مسلح قابل دیدن نمی باشند و برای اینکه قابل رؤیت باشند، حداقل به ۱۰ مرتبه بزرگ نمایی نیاز دارند، این ترکها معمولاً عمق مفید سازه ها، معمولاً (تحت اثر باها، استا)، کاهش نم دهند.

با توجه به اهمیت ترک، بحث کاملی در بخش ۵ - ۴ ارایه شده است که توصیه می شود مورد مطالعه قرار گیرد.

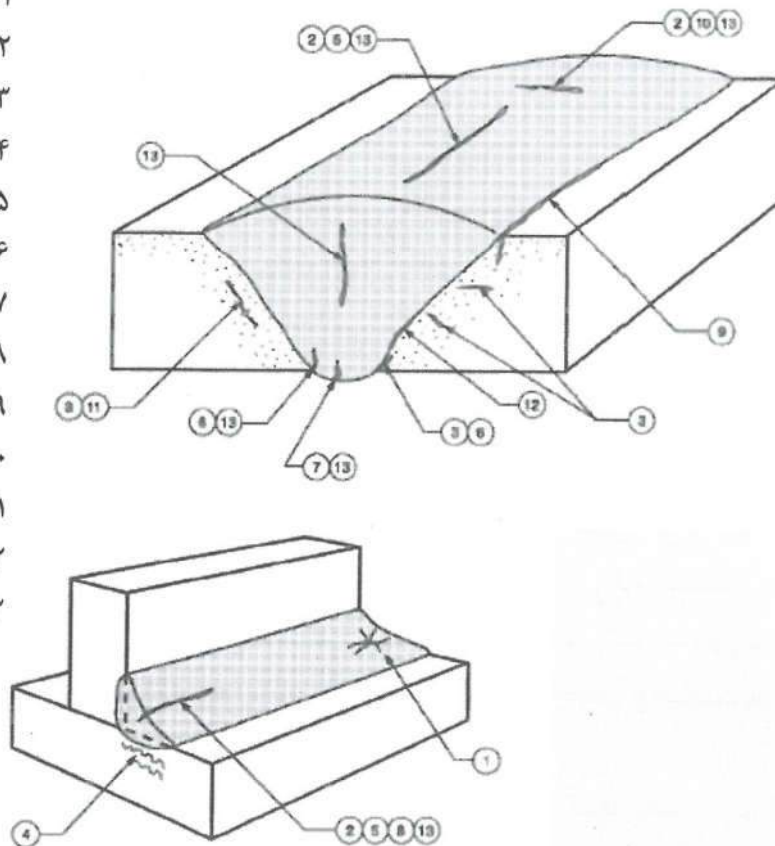
● **لکه قوس:** (لکه هایی که از برخورد تصادفی الکتروود با سطح کار به وجود می آید، حالتی آبله گونه روی سطح کار ایجاد می کند) ممکن است ترک های ریزی ایجاد کنند.

● اگر جوشکاری از لبه ورق شروع شده و روند آن به سمت داخل ورق باشد، یک ترک در طول لبه جوش در قسمت پنجه اتفاق خواهد افتاد. ترکها ممکن است در نتیجه پدیده بریدگی جوش نیز اتفاق بیفتند.

استفاده از الکترودهای کم هیدروژن همراه با پیش گرمایش مناسب، از ایجاد ترک‌های «سرد» پیشگیری می‌کند. به‌طور کلی علل عمده ایجاد ترک در جوش و نواحی اطراف آن عبارتند از:

۱. نفوذ هیدروژن
۲. نسبت عمق به عرض زیاد
۳. تقعر سطح جوش
۴. عدم پیش گرمایش مناسب درز جوش
۵. وجود چاله انتهای جوش پرنشده
۶. وجود رطوبت در الکتروده یا درز جوش
۷. طرح نامناسب درز جوش

- ۱- ترک چاله جوشی
- ۲- ترک سطحی
- ۳- ترک در ناحیه تفتیده
- ۴- پارگی لایه‌ای
- ۵- ترک طولی
- ۶- ترک در پاس ریشه
- ۷- ترک در سطح پاس ریشه
- ۸- ترک گلوبی جوش
- ۹- ترک پنجه
- ۱۰- ترک عرضی
- ۱۱- ترک زیر سطح جوش
- ۱۲- ترک فصل مشترک جوش
- ۱۳- ترک فلز جوش



شکل ۵- ۱۴ انواع ترک در جوش.

۵-۱-۱۰ عدم پُرشدگی شیار

این عیب سطحی در اثر کمبود رسوب فلز جوش در مقطع جوش شیار رخ می‌دهد؛ به عبارتی عدم پُرشدگی شیار، زمانی ایجاد می‌شود که فلز پُرکننده رسوب داده شده جهت پُر کردن شیار، کافی نباشد

۵-۱-۱۱ جرقه و پاشش

جرقه و پاشش عبارت است از ذرات فلزی که در حین جوشکاری ذوبی به اطراف پرتاب شده و به عنوان بخشی از فلز جوش محسوب نمی شوند

جرقه و پاشش، اغلب از اهمیت و حساسیت کمی در بین معایب جوشکاری برخوردار است، ولی به هر حال در صورتی که پاشش به صورت یک قطره بزرگ باشد، گرمای کافی جهت ایجاد حساسیت به ترک را ایجاد خواهد کرد.

۵-۲ عیوب جوش در جوشکاری تحت حفاظت گاز

۵-۲-۱ ترک

عواملی که می تواند موجب بروز ترک در فلز جوش شود عبارتند از:

- بالا بودن نسبت عمق به عرض مقطع جوش که با افزایش ولتاژ یا کاهش شدت جریان می توان گرده جوش را پهن تر و کم عمق تر نمود.
- مقطع جوش خیلی کوچک باشد، به ویژه در مورد جوش گوشه یا پاس ریشه در جوش شیاری در ورق های ضخیم، که با کاهش سرعت جوشکاری می توان جوش بزرگتری ایجاد کرد.
- سرد شدن سریع چاله انتهایی جوش، که با کاهش سرعت سرد شدن و کنترل جهت حرکت انبر در انتهای نوار جوش می توان از ایجاد چاله انتهایی جلوگیری کرد.

۵-۲-۲ ذرات محبوس شده (آخال)

ذرات محبوس شده (آخال)^۱ در جوش می تواند به یک یا چند دلیل زیر به وجود آید:

- استفاده از جوش چند پاسی و یا اتصال کوتاه قوس ضمن عملیات جوشکاری که با تمیز کردن هرگونه ناخالصی بر روی جوش قبل از انجام پاس بعدی می توان این عیب را تا حدودی کاهش داد.
- سرعت پیشرفت بالا نیز می تواند باعث محبوس شدن ذرات به صورت لایه ای در جوش شود که با انتخاب سرعت پیشرفت کمتر و سیم جوشی با مقدار مواد اکسیژن زدای بیشتر و افزایش ولتاژ، می توان میزان ذرات محبوس شده را تقلیل داد.
- در جریان های بالا، در حالت انتقال به صورت اسپری، ضرورتی برای رفع سرباره وجود ندارد. اما در انتقال اتصال کوتاه در جریان های کم بهتر است تجمع سرباره توسط برس سیمی از بین رود تا از تشکیل آخال ناشی از سرباره جلوگیری شود.

۵-۲-۳ خلل و فرج (مک)

در زمان سرد شدن، حلالیت گازها در فلز جوش کاهش می یابد. هنگامی که فلز جوش در حال منجمد شدن است، گازهای محلول از حوضچه خارج می شوند. اما گازهایی که نمی توانند خارج شوند و در فلز جوش باقی می مانند موجب جوانه زنی و تشکیل حفره های گازی می شوند. اگر سرعت سرد شدن بالا باشد حفرات داخل فلز منجمد شده حبس می شوند (شکل ۵-۱۸). گازهایی که معمولاً موجب تشکیل تخلخل می شوند، نیتروژن، هیدروژن و دی اکسید کربن

می‌باشند. در این میان نیتروژن از هوای اطراف، هیدروژن از طریق اکسیدهای سطحی (زنگ) و ترکیبات هیدروژن‌دار مانند رنگ، روغن و گریس و دی‌اکسیدکربن نیز به‌دلیل واکنش کربن با اکسیژن در فولاد می‌تواند تولید تخلخل در جوش نماید.

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

- کافی نبودن منطقه تحت پوشش گاز محافظ؛ که با افزایش نرخ عبور گاز یا کاهش آن در صورت وقوع تلاطم، تمیز کردن جرقه از اطراف دهانه نازل، کاهش دادن وزش و جریان هوا و کاهش فاصله نازل تا سطح کار می‌توان این عیب را رفع کرد.

- وجود ناخالصی‌ها در الکتروود

- کثیفی سطح کار؛ تمیز کردن هرگونه آلودگی (روغن، رنگ، رطوبت و...) برای جلوگیری از این عیب ضروری است.

- ولتاژ زیاد قوس و فاصله زیاد نازل تا سطح کار؛ که می‌تواند سبب ورود اکسیژن و ازت هوا به‌حوضچه جوش مذاب شود. در این مورد کاهش ولتاژ و کاهش فاصله نازل تا سطح کار کمک به کاهش این عیب می‌کند.

۵-۲-۴ ذوب ناقص

ذوب ناقص در بسیاری از مواقع به‌خصوص در جوشکاری قوس کوتاه با جریان کم در قطعات ضخیم و در وضعیت بالای سر و افقی ایجاد می‌شود. همچنین در جوشکاری در وضعیت تخت، زمانی که فلز جوش جلوتر از قوس حرکت می‌کند احتمال وجود این عیب زیاد است که با تغییر زاویه انبر و مستقیم نگهداشتن آن نسبت به‌حوضچه می‌توان از بروز این نقص جلوگیری کرد.

ولتاژ کم، زیاد بودن طول مؤثر الکتروود که موجب حرارت ورودی نامناسب و غیرمتناسب با مقدار مواد پُرکننده می‌شود، عدم تمیزی، شکل هندسی یا زاویه نامناسب اتصال و بزرگی حوضچه جوش از عوامل به‌وجود آورنده این عیب می‌باشد. برای جبران و کاهش این علل به‌ترتیب باید سطح مسیر اتصال، از هرگونه پوسته و لایه زنگ‌زده و آلودگی‌های دیگر تمیز شود. نرخ تغذیه سیم جوش و ولتاژ باید افزایش یابد یا سرعت جوشکاری کاهش پیدا کند

طرز قرارگیری انبر جوشکاری نسبت به حوضچه جوش نیز از عوامل تأثیرگذار بر ذوب ناقص می‌باشد

۵-۲-۵ نفوذ ناقص

نفوذ ناقص جوش، دلایلی مشابه با ذوب ناقص دارد. بدین ترتیب در این جا هم عواملی چون زاویه انبر تأثیرگذار است. حداکثر نفوذ، زمانی حاصل می‌شود که انبر به‌صورت عمود بر سطح قطعه کار نگه داشته شود. از آنجایی که میزان جریان به‌عنوان مهمترین تعیین‌کننده نفوذ است، پارامترهای تأثیرگذار بر جریان نیز بر الگوی نفوذ مؤثر می‌باشند.

۵-۲-۶ سوختگی کناره جوش

با کاهش سرعت جوشکاری می‌توان از به‌وجود آمدن این عیب جلوگیری کرد. همچنین کاهش سرعت تغذیه سیم جوش و تغییر زاویه انبر نیز در جلوگیری از به‌وجود آمدن این نقص مؤثر می‌باشند.

۵-۲-۷ پاشش

پاشش عاملی است که می‌تواند موجب تشکیل حفره، نفوذ ناکافی و اختلال در سیکل‌های جوشکاری شود. پاشش ذرات بزرگ که معمولاً بر روی قطعه کار شکل می‌گیرد، به دلیل کم بودن شدت جریان نسبت به قطر سیم جوش یا طول قوس بسیار زیاد (ولتاژ بسیار بالا) رخ می‌دهد که موجب می‌شود قطرات در یک محور مستقیم منتقل نشوند.

۵-۳ عیوب جوش در فرآیند جوشکاری با قوس زیرپودری

۵-۳-۱ تخلخل

فلز رسوب کرده در فرآیند زیرپودری معمولاً تمیز و بدون تخلخل‌های مضر است زیرا بستر سرپاره مذاب حفاظت مناسبی از حوضچه مذاب فراهم می‌کند. تنها در سطح منطقه جوش یا لایه زیرین سطوح صاف ممکن است تخلخل ایجاد شود (شکل ۵ - ۲۱). عوامل متعددی ممکن است باعث ایجاد تخلخل شوند که عبارتند از:

- ۱ - وجود آلودگی در اتصال
- ۲ - وجود آلودگی در سیم جوش
- ۳ - کافی نبودن میزان پوشش‌دهی پودر
- ۴ - وجود آلودگی در پودر
- ۵ - گیر افتادن پودر در زیر اتصال
- ۶ - جدایی ذرات تشکیل‌دهنده فلز جوش
- ۷ - سرعت حرکت زیاد
- ۸ - باقی ماندن سرپاره خال جوش‌های قبلی که با الکترودار روکش‌دار انجام شده است.

مانند دیگر روش‌های جوشکاری، در این روش نیز فلز پایه و الکتروود 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 راه‌حل‌های دیگری برای جلوگیری از هزینه اضافی نیز باید به کار گرفته شود.

9. Hand shield

10. Head shield

* اگر چشم در حین کار تحت تابش مستقیم قرار گیرد، هنگام خواب جرقه‌ها و نورهایی به خواب جوشکار می‌آید که به آن «چراغانی» در شب می‌گویند.

11. Helmet

12. Hood

13. Head band

۵-۳-۲ ترک

ترک در فلز جوش یا قسمت تفتیده^۲ ممکن است ناشی از نفوذ هیدروژن در فلز جوش باشد. هیدروژن ممکن است از منابعی نظیر پودر، چربی‌ها و آلودگی‌های روی سیم‌جوش یا فلز پایه، و هیدروژن موجود در سیم‌جوش یا فلز پایه به‌حوضه فلز مذاب وارد شود. ترک به‌علت 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. معمولاً این ترک‌ها چندین ساعت (حدود ۷۲ ساعت) بعد از سرد شدن قطعه تا دمای محیط رخ می‌دهد.

برای کم نگه داشتن مقدار هیدروژن موجود در فلز جوش می‌توان کارهای زیر را انجام داد:

- ۱ - حذف رطوبت از پودر با پختن آن در کوره (طبق توصیه‌های سازنده)
- ۲ - حذف روغن، چربی یا کثیفی از روی سیم‌جوش و فلز پایه
- ۳ - افزایش دمای کار برای خارج شدن هیدروژن در حین انجام عملیات جوشکاری. این کار را می‌توان با ادامه «پیش‌گرمایش» تا انتهای جوش یا «پس‌گرمایش» اتصال چند ساعت قبل از سرد شدن آن تا دمای محیط انجام داد.

عواملی که باعث وقوع ترک در نوار جوش می‌شوند (به‌صورت ظاهری یا داخلی)

- ۱ - گیرداری درز که باعث به‌وجود آمدن تنش‌های انقباضی زیاد در جوش می‌شود.
- ۲ - هندسه مقطع نوار جوش. با سرد شدن، جوش تمایل به انقباض پیدا می‌کند. جوش با سطح محدب در گلوی خود مصالح کافی برای مقابله با کشش‌های دو محوری را دارد. لیکن در نوار جوش با سطح مقعر، تنش‌های کششی عرضی قابل توجهی به‌وجود می‌آید که می‌تواند ترک طولی در نوار جوش به‌وجود آورد. در نوار جوش با نفوذ عمیق که عمق آن بیش از عرضش باشد، در صورت گیرداری درز، وقوع ترک‌های داخلی محتمل می‌باشد. در صورت زیاد بودن میزان سولفور یا فسفر در فلز پایه، وقوع هر دو ترک فوق به‌مقدار زیادی تشدید می‌گردد.
- ۳ - میزان کربن و آلیاژها در فلز پایه. هر چه میزان کربن و آلیاژ در فلز پایه زیاد باشد، شکل‌پذیری فلز جوش کاهش یافته و احتمال وقوع ترک بیشتر می‌شود.
- ۴ - وارد شدن حباب‌های هیدروژن از روکش الکتروود در نوار جوش.
- ۵ - وجود رطوبت در سطح شیار جوش در فلز پایه و آلودگی سطح مذکور.
- ۶ - سرد شدن سریع جوش که موارد ۳ و ۴ را افزایش می‌دهد.

عواملی که باعث وقوع ترک در نوار جوش می‌شوند (به‌صورت ظاهری یا داخلی)

- ۱ - گیرداری درز که باعث به‌وجود آمدن تنش‌های انقباضی زیاد در جوش می‌شود.
- ۲ - هندسه مقطع نوار جوش. با سرد شدن، جوش تمایل به انقباض پیدا می‌کند. جوش با سطح محدب در گلوی خود مصالح کافی برای مقابله با کشش‌های دو محوری را دارد. لیکن در نوار جوش با سطح مقعر، تنش‌های کششی عرضی قابل توجهی به‌وجود می‌آید که می‌تواند ترک طولی در نوار جوش به‌وجود آورد. در نوار جوش با نفوذ عمیق که عمق آن بیش از عرضش باشد، در صورت گیرداری درز، وقوع ترک‌های داخلی محتمل می‌باشد. در صورت زیاد بودن میزان سولفور یا فسفر در فلز پایه، وقوع هر دو ترک فوق به‌مقدار زیادی تشدید می‌گردد.

- ۳ - میزان کربن و آلیاژها در فلز پایه. هر چه میزان کربن و آلیاژ در فلز پایه زیاد باشد، شکل پذیری فلز جوش کاهش یافته و احتمال وقوع ترک بیشتر می شود.
- ۴ - وارد شدن حباب های هیدروژن از روکش الکتروود در نوار جوش.
- ۵ - وجود رطوبت در سطح شیار جوش در فلز پایه و آلودگی سطح مذکور.
- ۶ - سرد شدن سریع جوش که موارد ۳ و ۴ را افزایش می دهد.

عواملی که باعث وقوع ترک در ناحیه تفتیده در فلز پایه می شوند (ترک در زیر نوار جوش)

- ۱ - میزان کربن یا آلیاژ زیاد که باعث افزایش سختی پذیری و کاهش شکل پذیری ناحیه تفتیده می شوند. (در فولادی که سختی پذیری ندارد، امکان وقوع ترک زیر نوار جوش وجود ندارد).
- ۲ - تردی هیدروژنی ناحیه ذوب شده به علت وارد شدن هیدروژن از فلز جوش.
- ۳ - سرعت سرد شدن که به هر یک از دو عامل ۱ و ۲ مؤثر است.

عواملی که باعث وقوع ترک در جوش در هنگام بهره برداری می شوند (ترک مقاومتی)

- تحت شرایط بهره برداری، جوش ترک نمی خورد، لیکن در صورتی که به خوبی طرح نشده باشد، وقوع ترک مقاومتی در آن امکان پذیر است. وقوع دونوع خرابی در جوش در هنگام بهره برداری محتمل است و باید توسط طراح مدنظر قرار گیرد:
- ۱ - تردی ناشی از زخم که باعث شکست جوش یا فلز پایه در ناحیه تفتیده، تحت بارهای ضربه ای بزرگ در درجه حرارت پایین می گردد.
 - ۲ - ترک خستگی به علت اثر زخم ناشی از هندسه نامناسب درز. این نوع شکست تحت بارهای متناوب با تکرار و دامنه بزرگ به وجود می آید.

عواملی که باید کنترل گردند

- ۱. **هندسه نوار:** سطح نوار جوش باید قدری محدب بوده و دارای نسبت عرض به عمق مناسب باشد. این مسئله باید در جوش های یک پایه و جوش ریشه در جوش های چند پایه و یا حتی پاس های میانی مورد توجه قرار گیرد.

۲. **گیرداری درز:** در هنگام طراحی و اجرا باید گیرداری درز را به حداقل رساند.

۳. **میزان کربن و آلیاژها:** در هنگام انتخاب نوع فولاد باید دقت گردد که موازنه‌ای بین هزینه فولاد و هزینه جوش برقرار گردد. انتخاب فولادهای پُرمقاومت هر چند که باعث کاهش هزینه فولاد می‌گردد، لیکن به‌علت وجود میزان کربن زیاد و یا آلیاژها، و به‌خصوص عناصری مثل سولفور یا فسفر، که تأثیر منفی بر کیفیت جوش دارند، افزایش قابل توجهی در هزینه جوشکاری وجود خواهد داشت. این دو هزینه باید قابل موازنه باشند.

۴. **وارد شدن هیدروژن:** برای جلوگیری از ورود حباب‌های هیدروژن باید از الکترودهای کم‌هیدروژن استفاده گردد.

۵. **حرارت ورودی:** باید کل حرارت ورودی کنترل گردد. این حرارت شامل پیش‌گرمایش، حرارت القایی به‌واسطه جوشکاری، گرمایش در حد فاصل پاس‌های مختلف و پس‌گرمایش به‌منظور جلوگیری از سرد شدن سریع می‌باشد. حرارت القایی کمتر، باعث کاهش تنش‌های انقباضی و کاهش سرعت سرد شدن (که از تردی زیاد ناحیه تفتیده می‌کاهد) می‌گردد. این دو از عوامل مهم بروز ترک در جوش می‌باشند.

۵-۴-۲ ترک در خال جوش

آیین‌نامه AWS مقرر می‌دارد هر خال جوشی که بعداً جزیی از جوش اصلی می‌شود، باید با همان کیفیت جوش اصلی (شامل هر نوع پیش‌گرمایش) اجرا گردد (شکل ۵ - ۲۲).

در صورتی که خال جوش هنگام جوش اصلی کاملاً ذوب گردد، لزومی به‌منظور کردن تدابیر خاص در هنگام خال جوش نیست، مگر اینکه ضخامت ورق‌ها زیاد بوده و احتمالاً ترک‌خوردگی در آن وجود داشته باشد (شکل ۵ - ۲۲). در صورت شکست خال جوش، همان تدابیری که برای حفظ سلامت جوش اصلی در قبل گفته شد، باید در هنگام خال جوش رعایت گردد (از جمله پیش‌گرمایش و شکل نوار جوش). توصیه می‌گردد که برای خال جوش ورق‌های ضخیم‌تر از ۲۵ میلی‌متر، از الکترودهای کم‌هیدروژن استفاده گردد.

۵-۴-۳ ورق‌های نازک

جوش‌هایی که ورق‌هایی نازک را متصل می‌کنند، به‌ندرت تمایل به ترک از خود نشان می‌دهند. حرارتی که در هنگام جوشکاری به‌ورق انتقال داده می‌شود و جرم کم ورق، سرعت سرد شدن را کاهش می‌دهد. این موضوع به‌علاوه تنش‌های داخلی کاهش‌یافته ناشی از نسبت مناسب بعد گلو به‌ضخامت ورق، و انعطاف‌پذیری خوب ورق نازک در مقابل انقباض، از شدت تأثیر عوامل ایجاد ترک می‌کاهد. در جوشکاری ورق‌های نازک، ترک‌خوردگی تقریباً هیچ‌وقت مشکل مهمی نمی‌باشد، مگر اینکه میزان کربن و آلیاژ فولاد به‌طور غیرمعمولی زیاد باشد.

۵-۴-۴ ورق‌های ضخیم

در کارخانه‌های نورد فولاد، تمام ورق‌ها و نیمرخ‌های فولادی، بعد از نورد در درجه حرارت سرخ، با سرعت نسبتاً کمی سرد می‌شوند. در ورق‌های ضخیم به‌علت جرم بیشتر، این سرعت به‌مراتب کمتر است. برای یک میزان معلوم کربن و آلیاژ، سرعت سرد شدن کمتر، باعث کاهش مقاومت می‌گردد.

برای ضخامت‌های معمول، کارخانه‌های نورد مشکلی برای برآورده کردن مشخصات مقاومتی ندارند، لیکن برای تولیدات با ضخامت زیاد، به‌خاطر سرعت سرد شدن کمتر، لازم است میزان کربن یا آلیاژها به‌منظور دستیابی مقاومت مورد نظر، افزایش داده شوند.

از آنجایی که جوش در ورق ضخیم، زودتر از ورق نازک سرد می‌شود و همچنین ورق ضخیم احتمالاً دارای کربن یا آلیاژ بیشتری است، جوش در ورق ضخیم دارای مقاومت بیشتر و شکل‌پذیری کمتری خواهد بود. برای اتصال ورق‌های ضخیم روش‌های جوشکاری خاص مورد نیاز خواهد بود (مخصوصاً برای پاس اول یا پاس ریشه) و احتمالاً پیش‌گرمایش نیز لازم می‌گردد. هدف از این روش‌ها، کاهش سرعت سرد شدن جوش و افزایش شکل‌پذیری آن است. علاوه بر افزایش شکل‌پذیری، پیش‌گرمایش ورق‌های ضخیم، باعث کاهش تنش‌های انقباضی که در اثر گیرداری درز ایجاد می‌گردد، می‌شود.

به‌علت هزینه بالا، پیش‌گرمایش باید به‌خوبی تعریف شده باشد. برای مثال، برای جوش گوشه ورق نازک جان به‌ورق ضخیم بال، پیش‌گرمایشی به‌اندازه پیش‌گرمایش جوش لب به‌لب دو ورق ضخیم با درجه گیرداری زیاد، لازم نیست. مطابق شکل ۵-۲۳، برای کاهش تنش‌های انقباضی در جوشکاری ورق‌های ضخیم، لازم است فاصله‌ای حدود ۱ تا ۲ میلی‌متر، بین دو ورق ایجاد گردد. این فاصله را می‌توان به‌کمک مفتول نرمه ایجاد نمود. برش مضرس لبه‌ها با دندانه‌هایی در همین حدود، می‌تواند تأمین‌کننده این فاصله باشد.

۵-۴-۵ جوش گوشه

در شکل ۵-۲۴ مراحل سرد شدن نوار مذاب جوش گوشه از سمت دو ساق به‌گلوی جوش نشان داده شده است. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، گلوی جوش گوشه آخرین منطقه‌ای است که سرد و جامد می‌گردد.

حال به‌مقایسه دو نوار جوش محدب و مقعر مطابق شکل ۵-۲۵ می‌پردازیم. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، مقایسه ظاهری، اندازه جوش مقعر را بزرگتر نشان می‌دهد. لیکن بررسی مقطع دو جوش نشان می‌دهد که جوش محدب دارای ضخامت گلوی بزرگتری می‌باشد. بنابراین جوش محدب با مصرف مصالح جوش کمتر، مقاومت بزرگتری دارا می‌باشد.

این احساس در اغلب طراحان وجود دارد که جوش گوشه مقعر، مسیر یکنواخت‌تری برای جریان تنش به وجود می‌آورد. لیکن تجارب عملی مبین این است که جوش‌های گوشه یک پاسه مقعر تمایل بیشتری برای ترک خوردگی دارند. بخصوص در فولادهایی که به‌روشنای خاص جوشکاری نیاز دارند. این عیب مزیت توزیع یکنواخت تنش را جبران می‌کند.

وقتی که جوش مقعر خنک و منقبض می‌شود، سطح خارجی آن به‌کشش می‌افتد (شکل ۵ - ۲۶ - الف). این کشش می‌تواند در جوش ایجاد ترک نماید. با استفاده از جوش محدب می‌توان از این ترک جلوگیری نمود. همان‌طور که شکل ۵ - ۲۶ - ب، نشان می‌دهد جوش محدب می‌تواند بدون ایجاد کشش سطحی، سرد و منقبض گردد. در جوش‌های گوشه چند پاسه، فقط پاس اول (جوش ریشه) لازم است به‌صورت محدب اجرا گردد. به‌همین علت اگر در طراحی برای جریان یکنواخت‌تر تنش لازم باشد از جوش مقعر استفاده گردد، باید جوش به‌صورت چند پاسه اجرا شود که پاس اول باید دارای قدری تحدب باشد.

۵-۴-۶ جوش‌های شیاری

در ورق‌های ضخیم، پاس اول (جوش ریشه)، احتیاج به‌تمهیدات خاصی دارد. این مسئله در درزهای جناغی دوطرفه (X) برای جوش ریشه طرف دوم اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، چون در هنگام اجرای این جوش، به‌علت اجرای جوش طرف اول، گیرداری بیشتری در درز وجود دارد. جوش در هنگام سرد شدن، تمایل به‌انقباض همه‌جانبه دارد که قیود موجود در ورق از این انقباض جلوگیری می‌کند و در نتیجه در جوش تنش‌های کششی انقباضی به‌وجود آمده و حتی جوش در نقاط متعددی به‌حد تسلیم می‌رسد.

شکل ۵ - ۲۷ می‌تواند ایده‌ای از تنش‌های کششی محبوس و تسلیم جوش به‌دست دهد. فرض کنید که طول ورق‌ها کوچک بوده و اجازه انقباض آزاد به‌جوش داده شود. وضعیت انقباض یافته با خط‌چین نشان داده شده است. حال اگر بخواهیم ورق‌ها را به‌وضعیت اولیه برگردانیم، وضعیتی که در صورت وجود قید وجود خواهد داشت، نیاز به‌ایجاد کشش عرضی در درز داریم که ایجاد تنش کششی عرضی در جوش می‌نماید. در عمل به‌علت عدم امکان حرکت در ورق و کم بودن ضخامت جوش در مقابل ورق، کشیدگی (اتساع) یا تسلیم فقط در جوش به‌وجود می‌آید که قسمت اعظم آن در زمانی رخ می‌دهد که جوش داغ بوده و مقاومت و شکل‌پذیری کمتری دارد. اگر در این حالت، تنش داخلی از مشخصات مکانیکی جوش تجاوز نماید، یک ترک در امتداد نوار جوش به‌وجود می‌آید.

از آنجایی که پاس اول (جوش ریشه) کربن یا آلیاژ بیشتری از فلز پایه کسب می‌نماید، شکل‌پذیری آن کمتر از سایر پاس‌ها می‌باشد. مطابق شکل ۵ - ۲۸، اگر این جوش به‌صورت مقعر اجرا گردد، امکان ترک خوردگی در آن بیشتر خواهد شد.

افزایش ضخامت گلوی پاس اول (جوش ریشه)، احتمال وقوع ترک در آن را کاهش می‌دهد. استفاده از مصالح جوش کم‌هیدروژن نیز عامل مهمی در کاهش احتمال ترک است، در نهایت استفاده از پیش‌گرمایش نیز می‌تواند مقرر شود.

اگر پاس‌های میانی جوش به‌طور قابل توجهی عریض یا مقعر باشد، احتمال وقوع ترک در امتداد آنها نیز وجود دارد. مطابق شکل ۵ - ۲۹، در این حالت به‌جای استفاده از نوارهای عریض و مقعر، پاس‌های جوش بهتر است به‌صورت نوارهای پهلوی به‌پهلوی با عرض کمتر و تحدب بیشتر اجرا گردد.

۵ - ۴ - ۷. ترک‌های داخلی در نوار جوش و نسبت عرض به‌عمق نوار جوش

وقتی که به‌علت گیرداری درز یا شیمی مصالح یا هر دو عامل، تمایل به ترک‌خوردگی در جوش وجود داشته باشد، ترک در سطح جوش ظاهر می‌شود. گاهی مواقع ممکن است ترک داخلی بدون هرگونه عمق زیاد جوش یا طرح غلط درز ایجاد گردد. سرد شدن (انجماد) جوش شیارهای مشابه جوش گوشه است. انجماد از سطح تماس جوش با سطح فلز پایه شروع شده و در محور مرکزی جوش به‌تمام می‌رسد. اگر عمق ذوب خیلی بزرگتر از عرض نوار جوش باشد، سطح جوش ممکن است زودتر از مرکز آن منجمد شود. در این حالت تنش‌های انقباضی می‌توانند در هسته داغ جوش، ترک داخلی بدون بروز سطحی به‌وجود آورند (شکل ۵ - ۳۰ - الف).

ترک‌های داخلی می‌توانند به‌علت عدم طراحی دقیق درز و آماده‌سازی لبه‌ها نیز به‌وجود آیند. شکل ۵ - ۳۰ - ب، نتایج ترکیب ورق ضخیم، نفوذ عمیق و زاویه لبه ۴۵ درجه را نشان می‌دهد.

شکل ۵ - ۳۰ - پ، یک جوش جناغی دوطرفه (X) را نشان می‌دهد که برای جوش طرف دوم شیار کم عرض و عمیقی سنگ‌خورده است. جوشکاری در این شیار باعث به‌وجود آمدن ترک داخلی خواهد شد.

شکل ۵ - ۳۰ - ت، ایجاد ترک داخلی را در جوش گوشه‌ای نشان می‌دهد که عمق ذوب آن نسبت به‌عرضش زیاد است. ترک‌های داخلی از این نظر که توسط بازرسی‌های چشمی قابل مشاهده نیستند، جدی‌تر هستند. راه جلوگیری از وقوع این ترک‌ها، کنترل نسبت عمق به‌عرض، طرح مناسب درز جوش، استفاده از سرعت و آمپر مناسب برای کنترل حجم مصالح جوش مصرفی می‌باشد.

در میان عوامل فوق نسبت عرض به‌عمق درز جوش، مهمترین است. تجربه نشان می‌دهد که نسبت عرض به‌عمق مذاب جوش، از مقدار حداقل ۱ به ۱ تا حداکثر ۱/۴ به ۱ مناسب می‌باشد:

$$\frac{\text{عرض جوش}}{\text{عمق ذوب}} = 1/4 \text{ تا } 1$$

۵ - ۴ - ۸. ترک در زیر نوار جوش

این نوع ترک، ترکی است که در زیر نوار جوش در ناحیه تفتیده فلز پایه به‌وجود می‌آید. در فولادهای نرمه کم‌کربن تقریباً وقوع چنین ترکی مشاهده نمی‌شود. با افزایش میزان کربن و آلیاژها و ضخامت ورق، امکان وقوع آن افزایش می‌یابد. در فولادهایی با حد تسلیم ۷۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع حتی با وجود اعمال پیش‌گرمایش، باز باید انتظار وقوع این ترک‌ها را داشت.

یکی از روش‌های جلوگیری از این نوع ترک، استفاده از مصالح جوش کم‌هیدروژن است، چون نفوذ هیدروژن باعث تردی ناحیه تفتیده فلز پایه می‌گردد. هیدروژن می‌تواند از طریق روکش الکتروود و یا رطوبت موجود در سطوح مورد جوش وارد فلز پایه گردد. نوار جوش و ناحیه تفتیده فلز پایه، به‌علت درجه حرارت زیاد قدرت جذب هیدروژن

بالایی دارند. خوشبختانه اکثر هیدروژن از حد فاصل درز جوش خارج شده و فقط قسمت ناچیزی از آن جذب نوار جوش و فلز پایه می‌گردد. با توجه به کاهش قابلیت جذب هیدروژن به علت کاهش دما، با دور شدن از ناحیه تفتیده، قدرت جذب هیدروژن نیز توسط فلز پایه از بین می‌رود. در شکل ۵ - ۳۱ نواحی نفوذ هیدروژن در نوار جوش و فلز پایه نشان داده شده است. در واقع ناحیه خارج از ناحیه تفتیده مانند حصاری در اطراف حوزه تأثیر حرارت، از نقطه نظر جذب هیدروژن عمل می‌نماید و در شکل فریت باقی می‌ماند.

با کاهش دما، ناحیه تفتیده به شکل قبلی خود یعنی فریت بدون قدرت جذب هیدروژن برمی‌گردد. هیدروژن‌های جذب شده از فلز جدا شده و به صورت حفراتی در حد فاصل کریستال‌ها محبوس می‌شوند و باعث افزایش فشار بین کریستالی می‌گردند. این فشار اضافی در ترکیب با تنش‌های انقباضی و اثر تردشدگی این ناحیه، باعث بروز ترک می‌شود. چون کربن فولاد جوش کمتر از کربن فلز پایه است، این پدیده اکثراً در ناحیه تفتیده از فلز پایه رخ می‌دهد (شکل ۵ - ۳۲). به این نوع ترک، ترک در زیر نوار یا زنجیره جوش می‌گویند. در صورتی که این ترک‌ها در فلز پایه در مجاورت نوار جوش ظاهر شوند، به آنها ترک پنجه^۵ می‌گویند. کاهش سرعت انجماد، کاهش سرعت جوشکاری و پیش‌گرمایش، به هیدروژن جذب شده فرصت خروج می‌دهند و از شدت بروز این نوع ترک کاسته می‌شود.

استفاده از الکتروود کم‌هیدروژن، منبع اصلی تولید هیدروژن را از بین برده و باعث حذف ترک در زیر نوار جوش می‌شود.

۵ - ۴ - ۹ جمع‌بندی مطالب ارائه شده در مورد ترک

مهمترین مشخصه درز جوش، عاری بودن آن از هرگونه ترک است. ترک می‌تواند در نوار جوش (مصالح جوش) و ناحیه تفتیده در فلز پایه به وجود آید. اکثر فولادها در ضخامت‌های متوسط را می‌توان بدون نگرانی از وقوع ترک جوش نمود. با افزایش ضخامت ورق، میزان کربن و آلیاژها، ترک در نوار جوش و ترک در زیر نوار جوش به صورت یک مشکل در می‌آید و برای جلوگیری از وقوع آن به تمهیدات خاصی نیاز است.

برای جلوگیری از وقوع ترک روش‌های پیشگیرانه زیر ایجاب می‌شود:

الف) انتخاب دستورالعمل جوشکاری مناسب به همراه مقطع مناسب برای درز و نوار جوش و کنترل مواد مضاف.

ب) کاهش گیرداری درز با تعبیه فاصله بین دو لبه ورق.

پ) استفاده از مصالح جوش کم‌هیدروژن.

ت) کنترل سرعت انجماد با کاهش شدت جریان الکتریسیته، کاهش سرعت جوشکاری و در صورت نیاز استفاده از

پیش‌گرمایش و کنترل دما در پاس‌های میانی.

۶-۱ عوامل مؤثر در تغییر شکل های ناشی از جوشکاری

در عملیات جوشکاری، چرخه گرم و سرد شدن، باعث انقباض در فلز پایه و جوش می شود که این انقباض باعث اعوجاج در قطعه مورد جوش می گردد. به منظور حصول اهداف اقتصادی کامل در ساخت و ساز جوشی، مهندسان طراح و اجرا باید تخمین درستی از میزان انقباض و روش های کنترل آن در ذهن داشته باشند. روش های پیشنهادی برای اصلاح و یا حذف انقباض، بر پایه تحلیل های نظری و تجارب عملی در کارخانه های ساخت قرار دارند. اختلافات شدید حرارتی در ناحیه نوار جوش، توزیع خواص غیریکنواختی در قطعات به وجود می آورد. با افزایش دما، خواصی نظیر تنش تسلیم، ضریب الاستیسیته، و هدایت حرارتی، کاهش و ضریب انبساط حرارتی و گرمای ویژه افزایش می یابد (شکل ۶-۱). در نتیجه تخمین اعوجاج و تغییر شکل مصالح به کمک تحلیل حرارتی بسیار مشکل می شود.

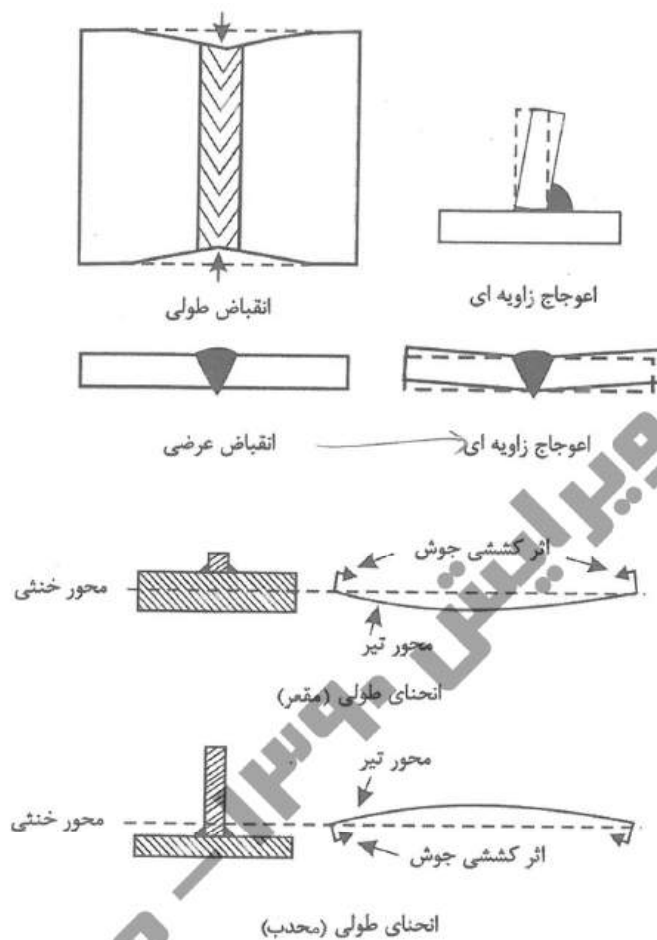
۶-۲ عوامل اعوجاج

مطابق شکل ۶-۲، تغییر شکل ناشی از جوش را می توان به انقباض طولی و انقباض عرضی تقسیم نمود. اگر انقباض عرضی در ضخامت جوش یکنواخت نباشد، اعوجاج زاویه ای نیز رخ می دهد. اگر انقباض طولی در امتداد محوری غیرمنطبق بر محور خنثای عضو رخ دهد، باعث انحنای طولی (شمشیری شدن) عضو خواهد شد. انحنای طولی وقتی رخ می دهد که شرایط انبساط و یا انقباض غیریکنواخت به وجود آید. با برآوردی از عوامل زیر می توان مقدار انحنای طولی را تخمین زد:

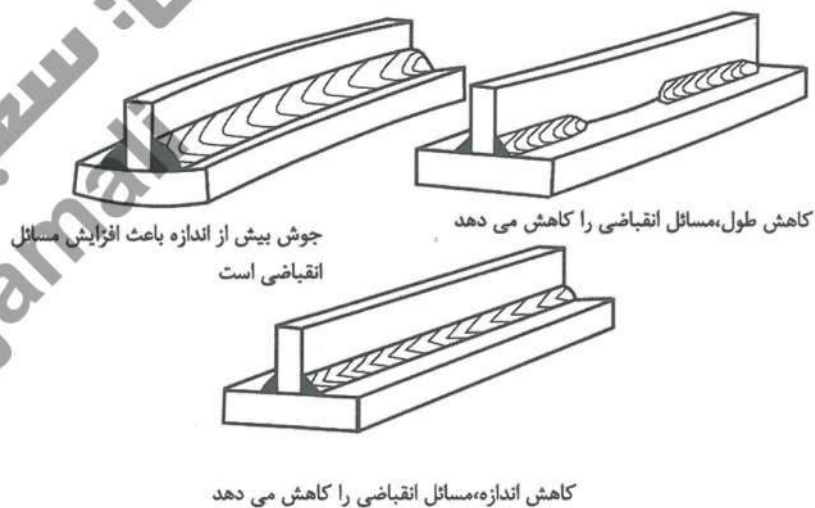
- ۱- جوش به همراه قسمتی از فلز اطراف، در هنگام سرد شدن منقبض شده و تولید نیروی انقباضی F را می نماید. این نیرو همانند نیروی پیش تنیدگی می باشد.
- ۲- نیروی انقباضی حدوداً در امتداد مرکز جوش عمل می کند. فاصله بین مرکز سطح مقطع جوش و محور خنثای عضو، با بازوی لنگر d نمایش داده می شود.
- ۳- ممان اینرسی مقطع (I) ، در مقابل این انقباض مقاومت می کند. باید توجه نمود در صورتی که لازم باشد عضو به حال مستقیم درآید، ممان اینرسی I با این عمل نیز مقابله می نماید.

۶-۳ تأثیرات نامطلوب جوش بیش از حد

اضافه جوش، نیروی انقباضی F و تمایل به انقباض را افزایش می دهد. هر عاملی که مقدار جوش را کاهش دهد، نظیر کاهش اندازه ساق، کاهش طول، یا استفاده از جوش منقطع (شکل ۶-۳)، تمایل به انقباض را کاهش خواهد داد. اضافه جوش می تواند با دست به هم دادن یک سلسله اتفاقات، به طور غیرعمدی رخ دهد. طراح ممکن است با منظور کردن قدری اطمینان، اندازه جوش را یک نمره بزرگتر انتخاب نماید. در کارخانه ساخت، سرپرست جوشکاری نیز ممکن است جهت اطمینان را گرفته و اندازه جوش را یک نمره بزرگتر دستور دهد. جوشکار نیز از ترس اینکه جوشش زیر اندازه به دست آید، ممکن است جوش را کمی ضخیم تر اجرا نماید. در نتیجه جوش ۶ میلی متر تبدیل به ۱۲ میلی متر می شود. با توجه به اینکه افزایش مقدار مصالح جوش متناسب با توان دوم اندازه جوش است، این امر باعث می شود مقدار مصالح جوش، مخارج و نیروی انقباض چهار برابر گردد.



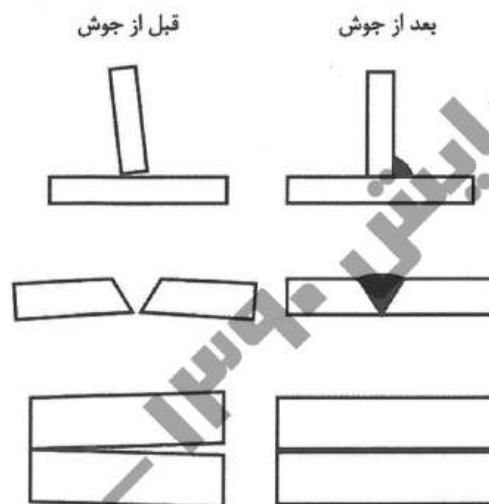
شکل ۶-۲ نیروی نامتعادل حاصل از انقباض نوار جوش باعث اعوجاج زاویه ای و یا انحنای طولی (شمشیری شدن) می شود.



شکل ۶-۳ جوش بیش از اندازه، عاملی برای افزایش انقباض است.

۴-۶ کنترل انقباض جوش

یکی از روش‌های مقابله با آثار انقباضی جوش، پیش‌خمش و پیش‌تنظیم اعضا و تنظیم درزها برای خنثی‌سازی آثار انقباضی است. در این حالت مطابق شکل ۴-۶، انقباض جوش باعث می‌شود که اعضا به‌وضعیت اولیه درآیند. در صورت امکان، جوش باید حول تار خنثای مقطع عضو متعادل گردد. در این حالت بازوی نیروی برون‌محور مساوی صفر می‌گردد، به‌طوری که اگر نیروی انقباضی F وجود داشته باشد، لنگر انقباضی Fd مساوی صفر می‌شود (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۶ تنظیم اولیه درزها باعث می‌شود که انقباض آنها را به‌وضعیت صحیح مورد نظر درآورد.

در صورتی که محور خنثای مقطع مطابق شکل ۴-۶ پایین‌تر از مرکز ثقل جوش‌ها قرار گیرد، با استفاده از جوش زیرپودری که تولید جوش عمیق از مشخصه‌های آن است، مرکز ثقل نوار جوش‌ها پایین افتاده و بازوی لنگر و در نتیجه لنگر انقباضی کاهش می‌یابد.

تأثیر فلز پایه در مجاورت نوار جوش

انقباض فلز جوش به‌تنهایی، اغلب نمی‌تواند مقادیر انقباض‌های واقعی را توجیه نماید. به‌این حقیقت باید توجه داشت که فلز پایه مجاور نوار جوش نیز سهمی در انقباض دارد. حرارت جوشکاری باعث می‌شود که فلز پایه مجاور منبسط شود. این ناحیه از فلز پایه، توسط قسمت‌های خنک‌تر احاطه و مقید شده است. در نتیجه تمام انبساط حجمی باید در ضخامت ورق رخ دهد. در هنگام سرد شدن، ناحیه گرم‌شده تحت انقباض حجمی قرار گرفته و تنش‌های انقباضی در امتداد طولی و عرضی به‌وجود می‌آید. در نتیجه، این ناحیه از فلز پایه به‌همراه فلز جوش منقبض می‌شود.

تأثیر سرعت جوشکاری

حجم فلز پایه‌ای که در اعوجاج شرکت می‌کند، می‌تواند توسط دستورالعمل جوشکاری مناسب کنترل گردد. افزایش

سرعت جوشکاری می‌تواند حجم فلز پایه تحت تأثیر حرارت را کاهش داده و در نتیجه انقباض و اعوجاج‌های ناشی از

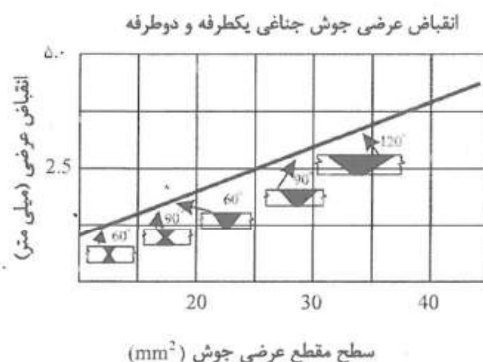
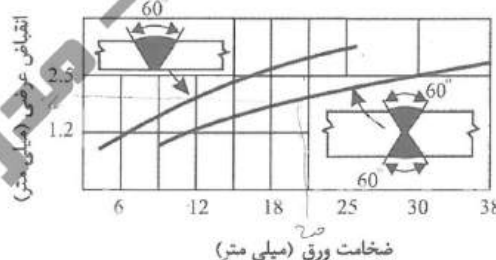
آن را کاهش دهد. سرعت زیاد را می‌توان با روش‌های جوش خودکار و نیمه‌خودکار و یا استفاده از الکترودهای خاص در جوشکاری دستی به‌دست آورد.

این پدیده پاسخی به‌این سؤال است که چرا جوش‌ها با عبورهای (پاس‌های) بیشتر، انقباض عرضی بزرگتری نسبت به جوش‌ها با عبور کمتر به‌وجود می‌آورند. با استفاده از تعداد عبور کمتر، انقباض عرضی کمتر می‌شود. استفاده از الکترودهای ضخیم‌تر، باعث کاهش بیشتر انقباض عرضی می‌گردد.

در شکل ۶-۷، ت، ملاحظه می‌شود که عرض بزرگتری از فلز پایه در ناحیه تفتیده قرار گرفته است. این مسئله به‌همراه انعطاف‌پذیری بیشتر ورق نازکتر، باعث اعوجاج بیشتری شده است. اصولاً ورق‌های نازکتر، از نظر مسائل اعوجاجی و حرارتی مشکل‌سازتر از ورق‌های ضخیم هستند.

۵-۶ انقباض عرضی

در صورتی که اثر خالص انقباض جداگانه جوش‌ها قابل تجمع باشد، انقباض عرضی تبدیل به‌عامل مهمی خواهد شد. نمودارهای شکل ۶-۸، دیدی از مسئله انقباض به‌وجود می‌آورد. نمودار پایینی نشان می‌دهد که میزان انقباض در یک ورق با ضخامت مشخص، متناسب با سطح مقطع جوش می‌باشد. زاویه پخی باز نشان داده شده فقط به‌منظور نشان دادن سطح مقطع بزرگتر جوش است و لزوماً پخی واقعی را نشان نمی‌دهد. نمودار بالا اثر جوش یکطرفه و دوطرفه را نشان می‌دهد. در هر دو نمودار فرض شده است که ورق‌ها هیچ‌گونه گیرداری در لبه‌ها ندارند.



شکل ۶-۸ انقباض عرضی متناسب با سطح مقطع جوش می‌باشد.

محاسبات نشان می‌دهند که انقباض عرضی در حدود ۱۰ درصد عرض متوسط سطح مقطع جوش می‌باشد.

$$\Delta_{\text{عرضی}} = 0.10 \frac{A_{\text{weld}}}{t} = 0.10 \times (\text{عرض متوسط جوش}) \quad (۶-۱)$$

مثال ۶-۱

در شکل ۶-۹ سطح مقطع عرضی جوش جناغی دوطرفه برای درز جوش ورقی به ضخامت ۲۵ میلی متر نشان داده شده است. مطلوب است تعیین انقباض عرضی جوش.

حل:

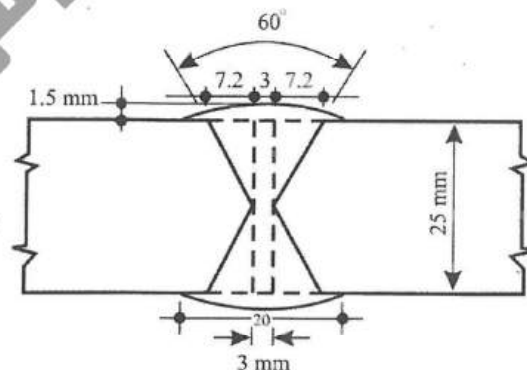
محاسبه سطح مقطع جوش

$$A_w = 3 \times 25 + 4 \times \frac{1}{2} (7.2 \times 12.5) + 2 \times \frac{2}{3} \times 20 \times 1.5 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\Delta_{\text{tran}} = 0.10 \frac{300}{25} = 1.2 \text{ mm}$$

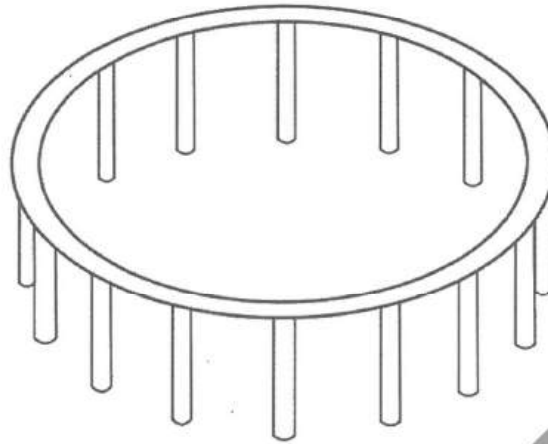
استفاده از الکترودها با پوشش حاوی پودر آهن از مقدار انقباض فوق کم می کند و استفاده از جوش خودکار زیرپودری کاهش بیشتری را به دنبال خواهد داشت. همچنین هرچه تعداد عبور جوش ها کمتر شود، مقدار انقباض کمتر خواهد شد.

اگر مثال فوق با استفاده از نمودار فوقانی شکل ۶-۸ حل شود، مقدار انقباض حدود ۲ میلی متر به دست می آید که اختلافی با نتیجه حاصل دارد. برای توجیه این تناقض این نکته باید یادآوری گردد که در نمودار شکل ۶-۸ دهانه ریشه ۶ میلی متر منظور شده است (به جای ۳ میلی متر). اگر با این دهانه ریشه و گرده بزرگتر، سطح مقطع جوش به دست آید، نتیجه حاصل به ۲ میلی متر نزدیک خواهد شد. این بررسی، قابل اطمینان بودن روش به کار رفته در مثال ۶-۱ را تأیید می کند.



مثال ۶-۲

یک حلقه فولادی از ورق ۱۲×۲۵۰ میلی متر، گنبدی به قطر ۴۱/۵ متر را تحمل می کند. این حلقه به روی ۲۴ ستون متکی است که در وجه هر ستون ورقی کار گذاشته شده و قرار است قطعات حلقه موردنظر، در حدفاصل دو ستون، به این ورق ها جوش شوند (شکل ۶-۱۰). جزییات جوش در شکل ۶-۱۱ نشان داده شده است. در هنگام ساخت هیچ گونه تدابیری برای انقباض اتخاذ نشده بود. بعد از اجرا فهمیده شد که محیط این حلقه کوتاه و باعث شده که بالای ستون ها به اندازه ۱۲/۵ میلی متر به سمت داخل کشیده شوند. آیا این جمع شدگی قطری به روش محاسباتی قابل پیش بینی بود یا نه.



شکل ۶-۱۰ مربوط به مثال ۶-۲.

سطح مقطع جوش (شکل ۶-۱۱)

$$A_w = 0.6 \times 1.2 + 0.5 \times 1.2^2 + \frac{2}{3} \times 2.5 \times 0.5 = 2.27 \text{ cm}^2$$

$$\text{عرض مؤثر جوش} = \frac{2.27}{1.7} = 1.34 \text{ cm}$$

$$\text{انقباض عرضی} = \Delta_{\text{trans}} = 0.1 \times 1.34 = 0.134 \text{ cm}$$

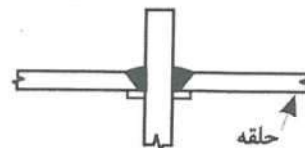
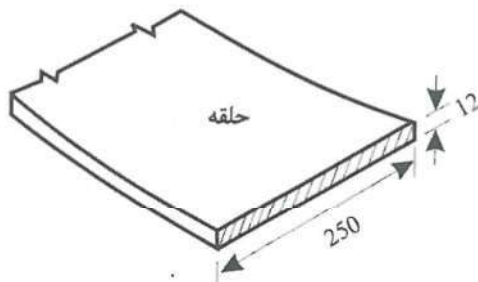
با توجه به وجود ۲۴ ستون، تعداد ۴۸ درز جوش شیاری وجود دارد.

$$\text{انقباض محیطی کل} \Delta_{\text{circ}} = 48(0.134) = 6.43 \text{ cm}$$

$$\text{انقباض قطری} = \frac{6.43}{2\pi} = 1.02 \text{ cm}$$

(با مقدار اندازه گیری شده، انطباق منطقی ای دارد)

هرگونه تنظیم غلط درز جوش و یا گرده اضافی، باعث افزایش سطح مقطع و در نتیجه افزایش انقباض می گردد.



مثال ۶-۳

مطابق شکل تیری با اتصال مستقیم به ستونی متصل می‌گردد. مقطع جوش شیاری بال تیر به جان ستون در شکل نشان داده شده است. مطلوب است تعیین میزان انقباض.

حل:

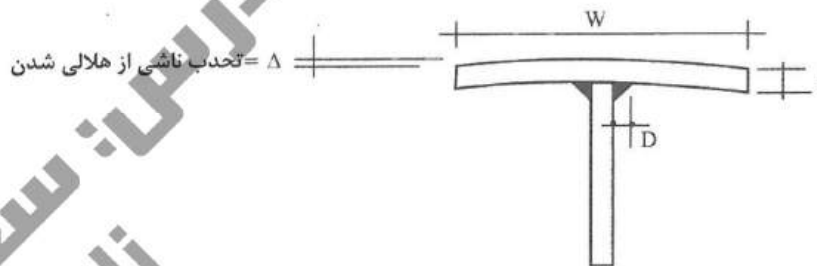
$$A_w = 0.6 \times 3.8 + \frac{1}{2} \times 3.8 \times 3.8 + \frac{2}{3} (3.8 + 0.6) \times 0.3 = 10.4 \text{ cm}^2$$

$$\Delta = 0.1 \frac{A_w}{t} = 0.1 \times \frac{10.4}{3.8} = 0.27 \approx 3 \text{ mm}$$

جوش ۱۰ میلی‌متر جان تیر تأثیر عمده‌ای بر انقباض نخواهد داشت. مقدار آن در حدود ده درصد انقباض جوش شیاری خواهد بود که این انقباض در گرد کردن منظور شده است. برای رفع انقباض فوق، باید فاصله خالص دو ستون از هر طرف به اندازه ۳ میلی‌متر باز گردد تا بعد از جوش به وضعیت اولیه برگردد.

۶-۶ هلالی شدن بال

انحنای عرضی بال را هلالی شدن و یا پرانتزی شدن گویند.



از رابطه زیر می‌توان برای تخمین تحدب بال استفاده نمود:

$$\Delta = \frac{0.038 W D^{1.3}}{t^2}$$

(۶-۲)

در رابطه فوق:

D = اندازه جوش (cm)

W = عرض بال (cm)

Δ = میزان تحدب عرضی (cm)

t = ضخامت بال (cm)

۶-۷ شمشیری شدن (انحنای طولی)

به علت انقباض جوش‌های طولی نامتعادل نسبت به تار خنثی، انحنای طولی یا شمشیری شدن رخ می‌دهد (شکل ۶-۱۳). مقدار خیز Δ به علت شمشیری شدن را می‌توان از رابطه زیر تعیین نمود:

$$\Delta = 0.005 \frac{A_w d L^2}{I} \quad (۶-۳)$$

در رابطه فوق:

A_w = سطح مقطع کلی جوش‌ها (cm^2)

d = فاصله بین مرکز ثقل مقطع گرده جوش تا تار خنثی (cm)

I = ممان اینرسی عضو (cm^4)

L = طول کلی عضو (با فرض جوش طولی کامل) (cm)

Δ = خیز حداکثر (cm)

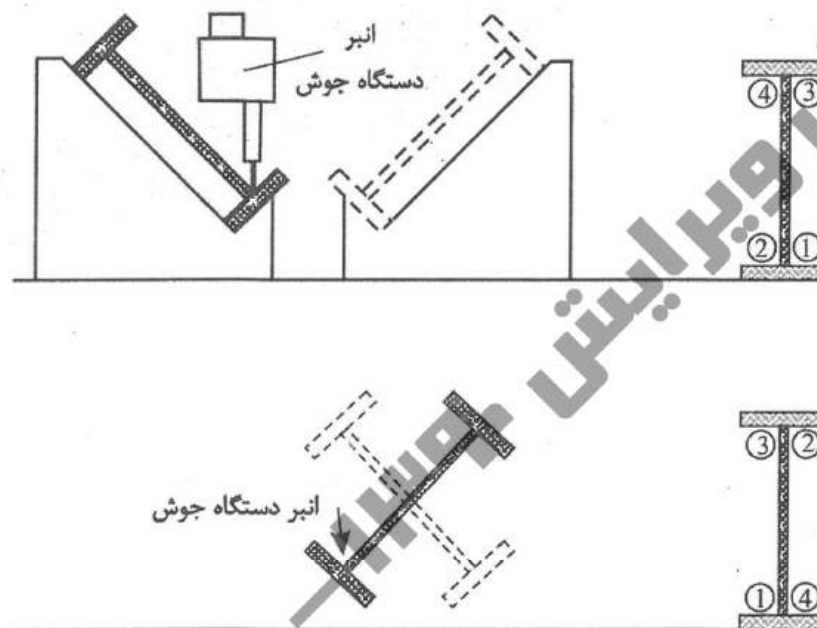
در شکل ۶-۱۳ انطباق خوب نتایج حاصل از رابطه با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داده شده است.

گاهی مواقع حتی با وجود تعادل جوش‌ها حول تار خنثی، پدیده شمشیری شدن در اعضای طولی رخ می‌دهد. این پدیده این‌طور توجیه می‌شود که در اطراف خط جوش اول تغییرشکل‌های خمیری رخ می‌دهد که این تغییرشکل‌ها به علت خط جوش قرینه، خنثی نمی‌شود. در صورتی که برای حصول جوش چند عبور لازم گردد، با انتخاب توالی مناسب برای انجام جوش، می‌توان از بروز تغییرشکل‌های ناخواسته جلوگیری نمود. به عنوان مثال به توالی انجام عبور جوش‌ها در شکل ۶-۵ توجه نمایید. در این درز جوش، ابتدا عبور ۱ انجام می‌شود. عبور ۲ در سمت مقابل ورق را نمی‌تواند کاملاً به وضعیت تخت درآورد، لیکن عبور ۳ که در سمت عبور ۲ انجام می‌شود، تغییرشکل اولیه را کاملاً خنثی نموده و مقداری تغییرشکل مخالف نیز به وجود می‌آورد. عبور ۴ در سمت مخالف کاملاً وضعیت اولیه را به وجود می‌آورد.

در صورتی که جوش‌ها در حول تار خنثی متعادل نباشد، ارجح است ابتدا جوش‌های نزدیک به تار خنثی اجرا گردند (شکل ۶-۱۴). حتی بهتر است که اندازه جوش نزدیک‌تر به تار خنثی، قدری بزرگتر انتخاب گردد. در شکل ۶-۱۴ فوقانی که اتصال یک ورق به بال تحتانی تیر IPE را نشان می‌دهد، ابتدا باید جوش a و بعد جوش b اجرا گردد. در صورتی که از جزییات شکل سمت راست استفاده گردد، هم تعادل جوش‌ها برقرار شده و هم هر دو جوش به صورت تخت و همزمان قابل اجرا هستند.

اغلب لازم می‌شود که برای حصول مقاومت لازم، دو یا چند نیم‌رخ جدار نازک به یکدیگر متصل شوند (شکل ۶-۱۵). در چنین حالتی کار درستی نیست که ابتدا جوش یک سمت را انجام داده و اجازه دهیم تا سرد شود، و سپس جوش سمت دیگر را انجام دهیم. در این حالت انجام جوش دوم نمی‌تواند انحنای ناشی از جوش اول را کاملاً خنثی نماید. این پدیده با توجه به شکل ۶-۱۵ بدین ترتیب توجیه می‌شود که جوش فوقانی باعث گرم شدن بال فوقانی و در نتیجه تحذب کل عضو می‌شود (شکل‌های الف و ب). اگر اجازه دهیم بال و جوش فوقانی به دمای محیط برسد، تحذب از بین رفته و به علت انقباض جوش، عضو به صورت مقعر در می‌آید (شکل پ). حال اگر در این حالت جوش سمت دیگر انجام شود، نمی‌تواند تمام این تقعر را خنثی نماید. چاره کار این است که بلافاصله بعد از اتمام جوش سمت اول و قبل از سرد شدن بال فوقانی، عضو را برگردانده و جوش سمت دیگر را انجام داد. این روش باعث افزایش انقباض جوش دوم و در نتیجه مستقیم شدن عضو می‌شود.

در شکل ۶-۱۶، روش انجام جوش خودکار اتصال بال به جان تیوروق بدون ایجاد اعوجاج نشان داده شده است. در صورتی که فقط از یک دستگاه جوش استفاده گردد، تیوروق تحت زاویه ۳۰ تا ۴۵ درجه قرار می‌گیرد، تا جوشکاری تقریباً در وضعیت تخت انجام شود. این وضعیت بسیار مطلوب بوده و موجب افزایش سرعت جوشکاری می‌گردد. همچنین شکل زنجیره جوش نیز بهتر شده و می‌توان اندازه دلخواه به آن داد.

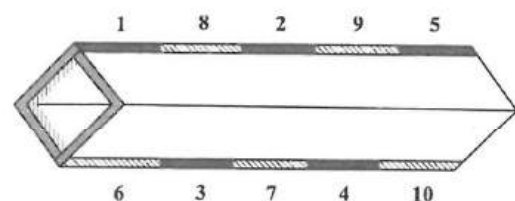
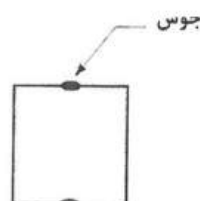
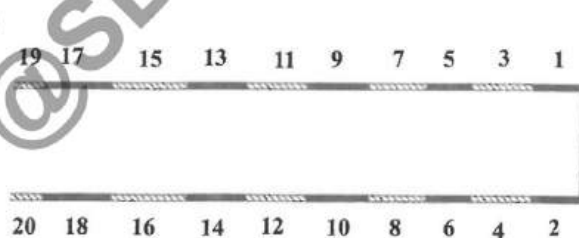


شکل ۶-۱۶ وضعیت و توالی جوشکاری در اتصال بال به جان تیوروق.

در هر سه مورد شکل ۶-۱۷، طول جوش به قسمت‌های ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متری (در جوش با الکتروود دستی) و ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر (در جوش با الکتروود ممتد) تقسیم می‌شود و به‌نوبت مطابق شماره‌ها توسط یک نفر جوشکار یا دو نفر جوشکار (به‌طور همزمان) جوشکاری می‌گردد.

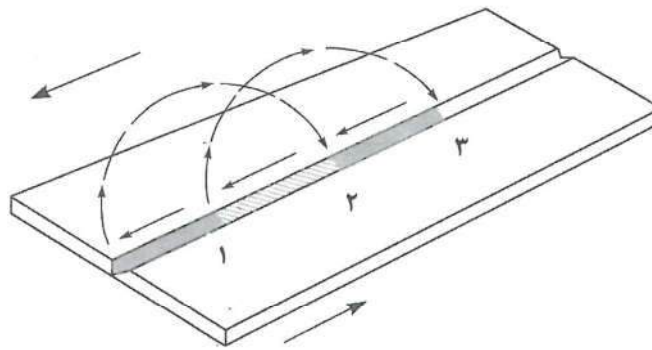
در هر دو مورد شکل ۶-۱۸، طول جوش به قسمت‌های ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر (در جوش با الکتروود دستی) و ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متری (در جوش با الکتروود ممتد) یا دو نفر جوشکار (به‌طور همزمان) جوشکاری می‌گردد.

در شکل ۶-۱۹، رواداری‌های مجاز ساخت و تغییر شکل‌های ناشی از جوشکاری، طبق آیین‌نامه AWS آرایه شده است.

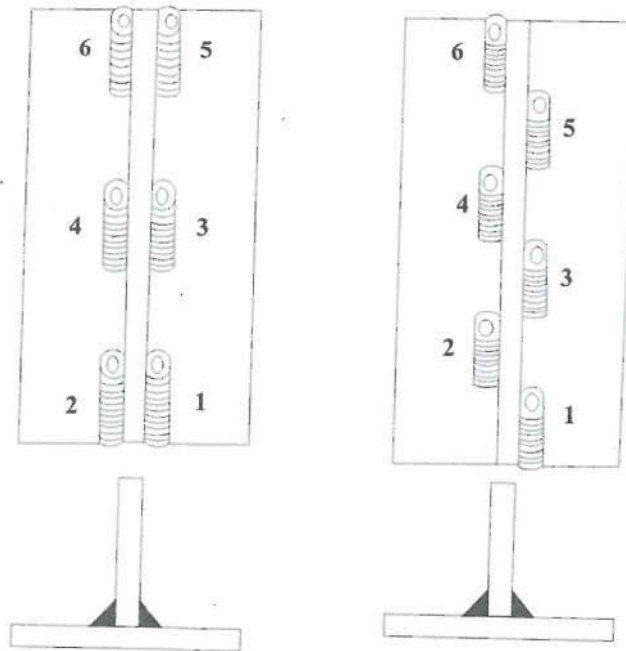


(ب) ترتیب و توالی جوشکاری ساخت قوطی از ناودانی

(لف) ترتیب و توالی جوشکاری ساخت قوطی از نبشی
(برگشت به عقب پرشی)



(پ) ترتیب و توالی جوشکاری برگشت به عقب، برای کنترل پیچیدگی طولی
شکل ۶- ۱۷ ترتیب و توالی جوشکاری برگشت به عقب، برای کنترل پیچیدگی.



روش شطرنجی

روش زنجیری

شکل ۶- ۱۸ ترتیب جوشکاری در اتصالات سپری جهت کنترل پیچیدگی.

۶- ۸ هم راستایی ورق ها

به منظور هم راستا نمودن ورق ها و حفظ هم راستایی آنها در حین جوشکاری، روش های مختلفی وجود دارد. یک روش ساده و متداول استفاده از گوه می باشد که در شکل ۶- ۲۰ نشان داده شده است. در حالت ساده، گیره هایی به لبه یکی از ورق ها جوش شده و با فرو راندن گوه ای در حد فاصل گیره و ورق دوم، دو لبه ورق مقابل یکدیگر قرار می گیرند. در قسمت تحتانی شکل ۶- ۲۰ روش دیگری برای هم راستا نمودن ورق ها به کمک گوه نشان داده شده است. این روش لبه های ورق را در عرض بزرگتری به صورت مستقیم حفظ نموده و از اعوجاج ورق ها در حین جوشکاری نیز کم می کند. در شکل ۶- ۲۱، در قسمت فوقانی از گوه و در قسمت تحتانی از فشار پیچ برای هم راستایی استفاده شده است.

۹-۶ استفاده از حرارت برای رفع انقباض‌های جوشکاری

استفاده از حرارت شعله مشعل، روش دیگری برای کاهش و یا از بین بردن آثار انقباضی جوش است. حرارت مشعل باعث انبساط نواحی حرارت دیده می‌گردد. این نواحی توسط نواحی خنکتر احاطه شده است، در نتیجه در هنگام سرد شدن، کوتاهتر شده و تحت تنش کششی قرار می‌گیرد. تکرار عمل حرارت دادن، نهایتاً باعث انقباض می‌گردد. برای بعضی کارهای دقیق، عملیات اصلاح حرارتی بعد از جوشکاری به عمل می‌آید. معایبی نظیر کماتش، شمشیری و ناگونیایی خارج از رواداری را می‌توان به روش حرارتی اصلاح نمود.

دمای گرم کردن قطعات برای اصلاح حرارتی حداکثر تا ۶۵۰ درجه سلسیوس مجاز بوده و فقط قطعاتی را می‌توان با استفاده از گرمایش اصلاح نمود که تحت بار نباشند. بعضی روش‌های مهم اصلاح حرارتی پیچیدگی‌ها در شکل‌های ۶-۲۲ و ۶-۲۳ نشان داده شده است. در شکل ۶-۲۲ با حرارت دادن نقطه‌ای در محل طبله جان از سمت تحدب اصلاح حرارتی انجام می‌شود.

روش گرم کردن مثلثی جهت اصلاح حرارتی ورق‌ها و مقاطع نشان داده شده است. در این روش در محل دماش قطعه در چند نقطه با فاصله‌های مساوی به صورت مثلثی حرارت داده می‌شود. در حین گرم کردن، طول به علت انبساط حرارتی افزایش می‌یابد ولی پس از سرد شدن، قطعه از وجه گرم شده منقبض می‌شود. تعداد نقاط به صورت تجربی انتخاب می‌شود.

۶-۱۰-۲ سرعت خنک شدن

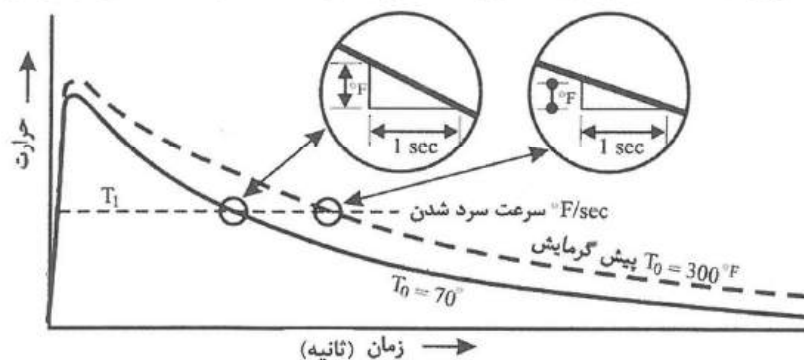
بعد از اتمام جوشکاری، جوش و ورق اطراف آن به سرعت خنک می‌شوند. سرعت خنک شدن بستگی به عوامل زیر دارد:
در اولویت اول:

- دمای اولیه ورق (T_0) (شامل اثر پیش گرمایش) ● دمای تولیدی در هنگام جوشکاری
- در اولویت دوم:**

- ظرفیت جذب حرارتی ورق بر حسب ضخامت آن و هندسه درز.

شکل ۶-۲۸ نشان‌دهنده نمودار کاهش دما بر حسب زمان در ناحیه تفتیده فلز پایه پس از اتمام جوشکاری می‌باشد. بر حسب شرایط موجود، شیب این منحنی می‌تواند متفاوت باشد.

بر حسب ترکیبات شیمیایی ورق، برای یک دمای مشخص مثل T_1 ، یک سرعت خنک شدن بحرانی R_{cr} وجود دارد که اگر سرعت واقعی بزرگتر از آن باشد، ترک در زیر نوار جوش به وجود می‌آید. حدود دمای T_1 بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سلسیوس می‌باشد. برای بحث حاضر درجه حرارت T_1 در حدود ۳۰۰ درجه سلسیوس فرض می‌گردد.



شکل ۶-۲۸ سرعت سرد شدن جوش

۴-۱۰-۶ کربن معادل

بر پایه تحقیقات انجام شده و با استفاده از معیار وقوع ترک در زیر نوار جوش، می توان تأثیر تمام عناصر شیمیایی موجود در فولاد را به اثر کربن تبدیل نمود. رابطه ای که برای این منظور به کار گرفته می شود، به رابطه کربن معادل معروف است. یکی از روابط پیشنهادی که قابل استفاده برای فولادهای کم کربن و کم آلیاژ در کارهای ساختمانی و ماشین سازی است، به صورت زیر می باشد:

$$C_{eq} = C\% + \frac{Mn\%}{6} + \frac{Ni\%}{20} + \frac{Cr\%}{10} + \frac{Mo\%}{50} + \frac{V\%}{10} + \frac{Cu\%}{40}$$

۵-۱۰-۶ سرعت خنک شدن و کربن معادل

برای هر ترکیبی از عناصر شیمیایی فولاد، سرعت خنک شدن حداکثری وجود دارد که باعث هیچ گونه ترک عمقی در زیر نوار جوش نمی شوند. هر چه درصد کربن معادل بزرگتر باشد، مقدار این سرعت حداکثر (مجاز) کمتر می شود. بنابراین نتیجه می شود هر چه درصد کربن معادل بزرگتر باشد، احتمال وقوع ترک های زیر نوار جوش (عمقی) بزرگتر شده و نیاز بیشتری به استفاده از الکترودهی در هیدروژن وجود دارد.

کوترل و براداستریت بر پایه روش آزمایشی ابداعی، منحنی شکل ۶-۳۷ را برای تعیین سرعت خنک شدن بحرانی (حداکثر) در مقابل درصد کربن معادل پیشنهاد نمودند. این منحنی را می توان به صورت رابطه زیر نشان داد:

$$R_{cr} = \frac{6.598}{C_{eq} - 0.3074} - 16.26 \quad (۶-۱۴)$$

رابطه فوق و منحنی شکل ۶-۳۷، سرعت خنک شدن بحرانی را در دمای $T_1 = 572$ درجه فارنهایت نشان می دهد.

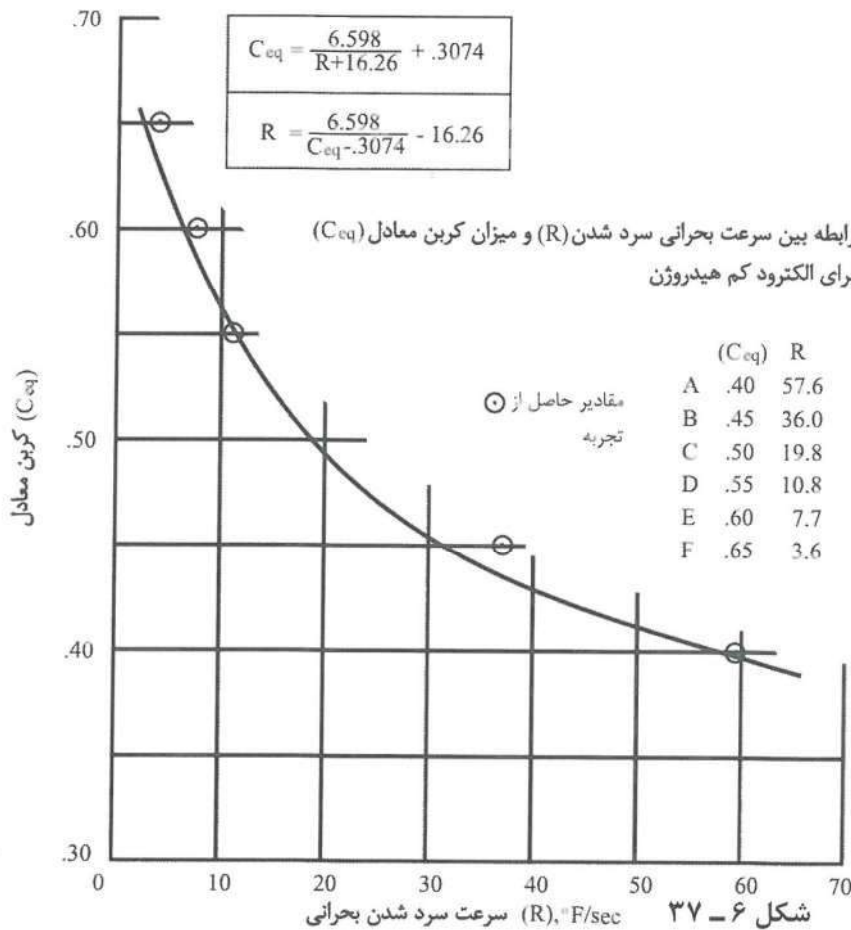
۶-۱۰-۶ تعیین دمای پیش گرمایش

به منظور تعیین دمای پیش گرمایش لازم (T_0) به طوری که برای حرارت تولیدی مشخص (J) و ضخامت ورق (t)، سرعت خنک شدن مورد نظر (R) را نتیجه دهد، روش ریاضی زیر پیشنهاد شده است:

- ۱- با استفاده از رابطه ۶-۱۲ مقدار $(T_1 - T_{0/me})$ را تعیین نمایید.
- ۲- با استفاده از رابطه ۶-۱۱ مقدار t_{me} را تعیین کنید.
- ۳- با استفاده از نتایج گام ۲ مقدار (t/t_{me}) را تعیین کنید.
- ۴- با استفاده از نمودار شکل ۶-۳۳ و استفاده از نتایج گام ۳، مقدار زیر را تعیین کنید.

$$\left(\frac{T_1 - T_{0/me}}{T_1 - T_0} \right)$$

- ۵- با استفاده از نتیجه گام ۴، و مقدار $(T_1 - T_{0/me})$ از گام ۱، دمای پیش گرمایش لازم (T_0) به دست می آید.



مثال ۶-۴

$$J = 20000 \frac{\text{watt} - \text{sec}}{\text{inch}} \quad R = 25^\circ \text{F/sec} (14^\circ \text{C/sec})$$

$$t = 1 \text{ inch} = 25 \text{ mm}$$

مطلوب است تعیین دمای پیش گرمایش (T_0)

گام ۱:

$$T_1 - T_{0/me} = \sqrt{\frac{RJ}{5.961}} = \sqrt{\frac{25 \times 20000}{5.961}} = 289.6^\circ \text{F}$$

گام ۲:

$$t_{me} = 0.42457 \sqrt[4]{\frac{J}{R}} = 0.42457 \sqrt[4]{\frac{20000}{25}} = 2.26''$$

گام ۳: تعیین ضخامت نسبی

$$\frac{t}{t_{me}} = \frac{1''}{2.26''} = 0.4428$$

گام ۴: به کمک شکل ۶-۳۳، دمای پیش گرمایش نسبی به دست می آید:

$$\frac{T_1 - T_{0/me}}{T_1 - T_0} = 0.73 \quad T_1 - T_0 = \frac{T_1 - T_{0/me}}{0.73} = \frac{289.6}{0.73} = 396.7$$

گام ۵: بنابراین

$$T_1 = 572^\circ \text{F} \quad 572 - T_0 = 396.7 \quad T_0 = 175.3^\circ \text{F} = 80^\circ \text{C}$$

۶-۱۰-۷ ملاحظات جنبی

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در ورق‌های نازک سرعت خنک شدن بیش از چیزی است که آزمایش نشان می‌دهد. این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که ورق‌های نازک سطح وسیع‌تری برای تبادل حرارت دارند. معمولاً در تحقیقات مربوط به جوش شیاری، آخرین عبور جوش که شیار را پر می‌کند (پاس سطحی)، بیشتر از جوش عبور اول (پاس ریشه) مورد توجه قرار می‌گیرد. این موضوع از آن جهت است که سرعت خنک شدن این جوش به‌علت مقطع بزرگتر، بیشتر از سرعت پاس ریشه است. نشانه‌هایی وجود دارد که سرعت خنک شدن جوش گوشه بزرگتر از جوشی است که در کارهای تحقیقاتی در روی ورق داده می‌شود. این مسئله به‌علت وجود دو ورق متعامد در محل درز جوش گوشه می‌باشد که سطح تبادل حرارت بزرگتری را به‌وجود می‌آورد. این موضوع در مورد جوش شیاری نیز صادق است.

۶-۱۱ جمع‌بندی مطالب فصل

انقباض عرضی

- ۱ - بستگی به درجه گیرداری دارد.
- ۲ - مقدار آن در حدود ۱۰ درصد متوسط درز جوش است.
- ۳ - مقدار آن با افزایش سطح مقطع جوشکاری، افزایش می‌یابد. ۴ - مقدار آن با افزایش دهانه ریشه و شیب پخی لبه، افزایش
- ۵ - مقدار آن متناسب با دمای القایی در هنگام جوش است.

انقباض زاویه‌ای می‌تواند با تدابیر زیر کاهش یابد

- ۱ - استفاده از جوش‌های جناغی (V) و لایه‌ای (U) دو طرفه. ۲ - انجام جوش‌های پشت و رو به‌صورت یک در میان.
- ۳ - پخ زدن لبه به‌منظور کاهش بازوی لنگر و در نتیجه کاهش اعوجاج.
- ۴ - استفاده از جوش‌های گوشه با اندازه کم. مقدار انحنای آن با توان $1/3$ اندازه جوش متناسب می‌باشد.
- ۵ - استفاده از ورق بال ضخیم‌تر. مقدار انحنای نسبت عکس با توان دوم ضخامت دارد.

انحنای طولی اعضا به‌علت نوارهای طولی جوش (شمشیری شدن)

- ۱ - متعادل کردن جوش‌ها در حول محور خنثای مقطع به‌دو روش زیر:
 - الف - هم‌اندازه کردن جوش‌های هم‌فاصله در دو طرف تار خنثی.
 - ب - در صورتی که جوش‌های دو طرف تار خنثی هم‌اندازه نباشند، اندازه جوش‌هایی که در فاصله نزدیکتری نسب به تار خنثی قرار دارند، باید افزایش داده شود.
- ۲ - اگر جوش‌ها نسبت به تار خنثی متقارن نباشند، می‌توان از تدابیر زیر استفاده نمود:
 - الف - پیش‌انحنای عضو (پیش‌خیز)
 - ب - تکیه دادن عضو در نواحی میانی و طره کردن دو انتهای آن، به‌طوری‌که عضو به‌صورت محدب درآمده و این تحدب در هنگام جوشکاری به‌صورت مستقیم درآید.
 - پ - تقسیم کردن عضو به مجموعه‌های کوچکتر، به‌طوری‌که که جوشکاری در مقطع در هر مجموعه به‌صورت متقارن باشد. اگر بال طولیل‌تر یک عضو خمیده، حرارت داده شود، به‌صورت مستقیم درمی‌آید.

۲-۷ زمان شروع نظارت و بازرسی

این تصمیم که نظارت و تأیید بعد از اتمام جوشکاری انجام شود، خطرناک است و روش مناسبی برای آگاهی از کیفیت جوش نیست. این کار نوش داروی بعد از مرگ است و مشابه عملکرد پلیس انتهای خیابان ورود ممنوع می‌باشد.

به‌طور کلی کیفیت نهایی هر کار به‌دو روش به کیفیت مطلوب نزدیک می‌گردد:

الف) از طریق برنامه‌های تضمین کیفیت (Q.A = Quality Assurance)

ب) از طریق برنامه‌های کنترل کیفیت (Q.C = Quality Control)

برنامه‌های تضمین کیفیت شامل بازرسی مواد اولیه، بررسی روش‌های جوشکاری، آزمون‌های ارزیابی صلاحیت جوشکاران، آزمون‌های ارزیابی دستورالعمل جوشکاری، سلامت وسایل کار و کنترل ابعادی قطعات و در نهایت شامل تمام کنترل‌های قبل از عملیات اجرایی هستند.

برنامه‌های کنترل کیفیت شامل کنترل مونتاژ، کنترل کیفیت جوش‌ها حین جوشکاری و کنترل کیفیت جوش‌ها بعد از جوشکاری، شامل بازرسی عینی و آزمایش‌های غیرمخرب و در نهایت کنترل ابعادی قطعات بعد از جوشکاری است.

۳-۷ پنج دستورالعمل برای حصول کیفیت در جوش ساختمانی

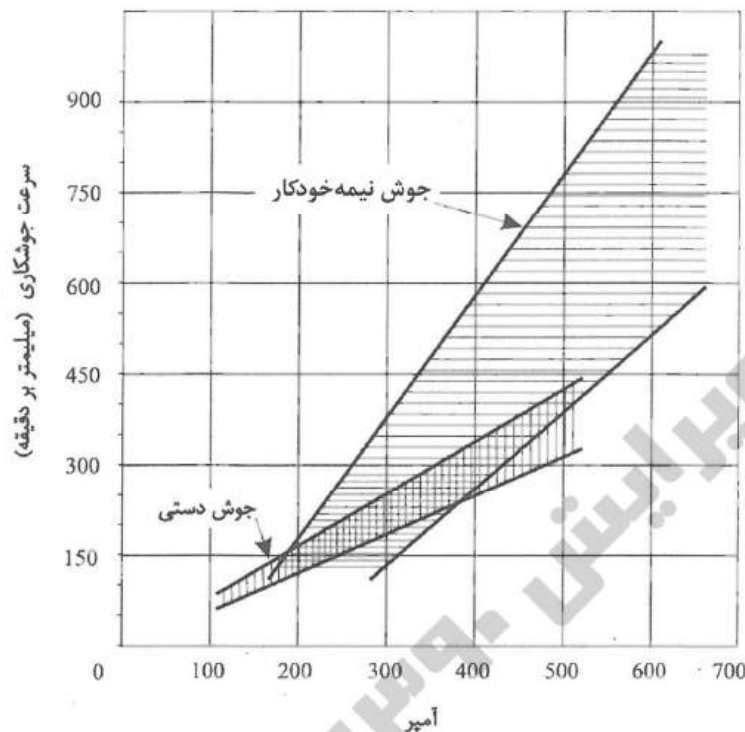
برای حصول جوش خوب باید پنج عامل زیر را برآورده نمود (قانون پنج P):

- | | |
|----------------------------------|---|
| { : بازرسی‌های تضمین کیفیت (Q/A) | ۱ - روش جوشکاری (Process Selection) |
| | ۲ - آماده‌سازی مناسب لبه‌ها (Preparation) |
| | ۳ - دستورالعمل جوشکاری (Procedure) |
| | ۴ - پرسنل (Personnel) |
| { : بازرسی‌های کنترل کیفیت (Q/C) | ۵ - بازرسی و تأیید جوش (Prove) |

چهار عامل اول در رده بازرسی‌های تضمین کیفیت و عامل پنجم در رده بازرسی‌های کنترل کیفیت می‌باشد.

روش جوشکاری (Process)

اولین گام، انتخاب روش مناسب برای جوشکاری است. در این گام مسئولین طراحی و اجرا، تصمیم می‌گیرند که از کدام یک از روش‌های جوش دستی، نیمه‌خودکار و یا تمام‌خودکار برای کار استفاده نمایند. این تصمیم‌گیری از نقطه‌نظر زمان و اقتصاد بسیار مهم و تأثیرگذار است. امروزه استفاده از جوشکاری نیمه و یا تمام خودکار باعث افزایش قابل توجه در سرعت و کاهش هزینه‌ها می‌گردد، که البته مستلزم سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر نیز می‌باشد. در شکل‌های ۲-۷ و ۳-۷، مقایسه‌ای بین سه روش جوشکاری به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین آنها انجام شده است.



شکل ۷-۲ استفاده از جوش‌های نیمه خودکار، باعث افزایش چشمگیر سرعت جوشکاری و در نتیجه کاهش هزینه آن می‌شود.

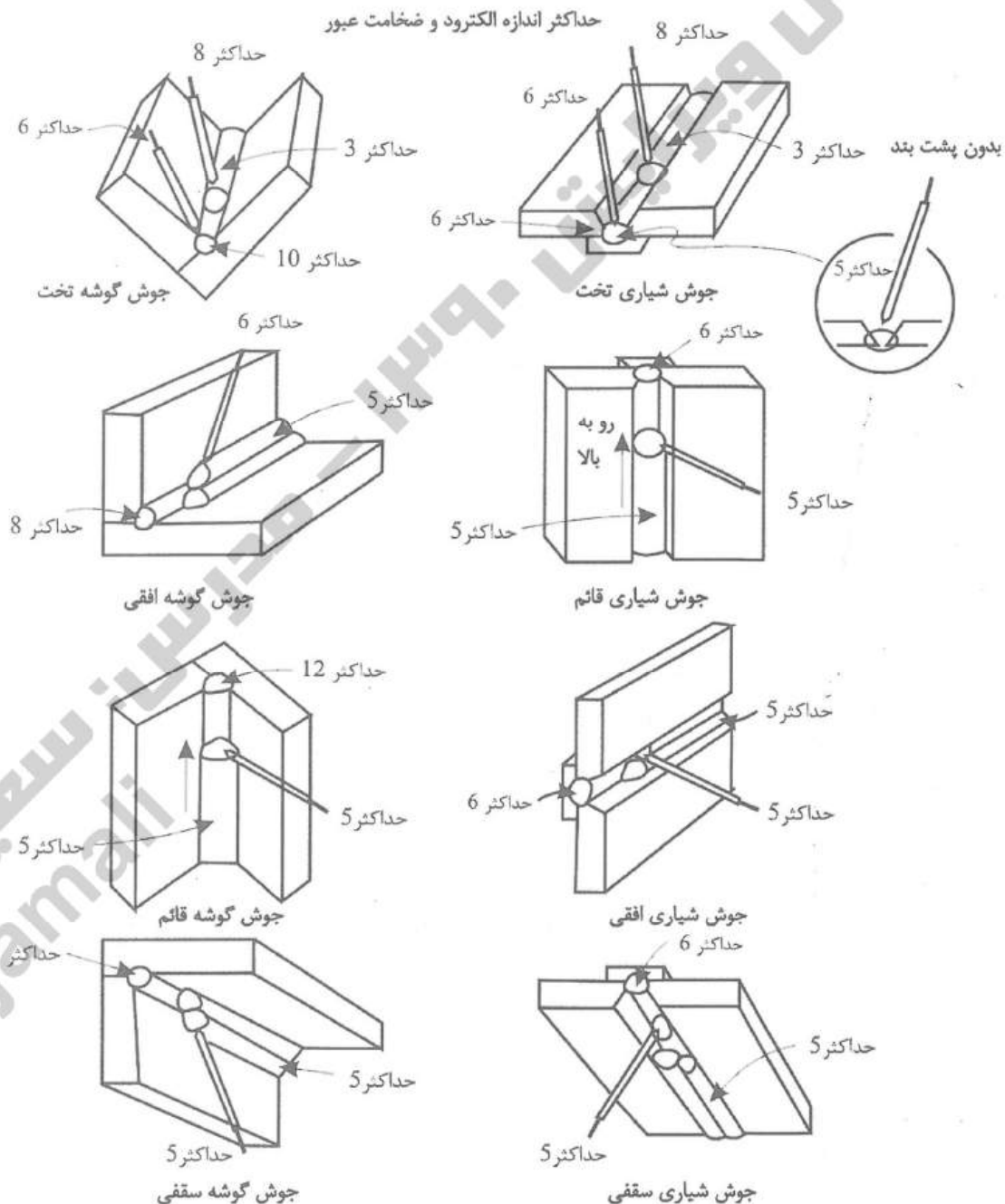
دستورالعمل جوشکاری (WPS)^۱

اتصالات مهم هر سازه نیاز به یک دستورالعمل جوشکاری که جزئیات آن به‌طور کامل مورد مطالعه قرار گرفته و طرح‌ریزی شده است، دارند.

بهترین روش برای تدوین دستورالعمل جوشکاری قابل اعتماد، استفاده از نمونه‌های آزمایشی است. دستورالعمل جوشکاری کامل، باید شامل اطلاعات زیر باشد:

- ۱ - جزئیات اتصال
- ۲ - هندسه و رواداری‌های درز
- ۳ - روش جوشکاری
- ۴ - نوع و اندازه الکتروود
- ۵ - نوع پودر و یا گاز محافظ
- ۶ - شدت جریان و ولتاژ (و تغییرات آنها در پاس‌های مختلف) و قطبیت

- ۷ - پیش گرمایش و درجه حرارت عبورهای میانی
- ۸ - توالی عبورها (همراه با یک طرح)
- ۹ - نوع بازرسی مورد نیاز
- ۱۰ - هر اطلاعات دیگر از قبیل زاویه الکتروود، قرارگیری نوار جوش و یا تکنیک‌های خاصی که کمکی برای حصول جوش خوب توسط جوشکار باشد.



(تمام اندازه‌ها برحسب میلی‌متر می باشند)

پرسنل

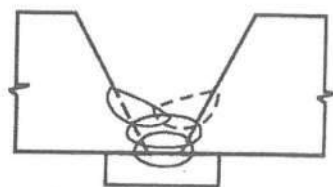
این یک واقعیت است که در جوشکاری با دست، کیفیت جوش نمی‌تواند بهتر از مهارت جوشکار باشد. بنابراین قبل از شروع کار، مهارت جوشکار باید مورد ارزیابی قرار گیرد. روش عملی برای ارزیابی صلاحیت جوشکاران، انجام آزمایش تشخیص صلاحیت جوشکار می‌باشد.

انجام این آزمایش برای تشخیص صلاحیت کافی است. لیکن اغلب این سؤال پیش می‌آید که آیا این آزمایش قابلیت جوشکار را برای انجام جوش واقعی در کارگاه نشان می‌دهد یا نه. غالباً با انجام یک آزمایش در کارگاه، فرآیند تشخیص صلاحیت تمام می‌شود. همچنین اگر در مشخصات فنی انجام آزمایش پرتونگاری لازم باشد، بهتر است این آزمایش نیز در تشخیص صلاحیت جوشکار گنجانده شود. در ضمن ممکن است مهندس کارگاه بر حسب نیاز، انجام آزمایش‌های خاصی را نیز در برنامه تشخیص صلاحیت و ارزیابی جوشکار بگنجانند.

در جوشکاری نیمه و تمام‌خودکار، ممکن است صلاحیت جوشکار خیلی مهم نباشد، لیکن باید جوشکار برای کار با دستگاه مورد آزمایش قرار گیرد.

نام شرکت		شماره تجدیدنظر		تاریخ		توسط	
شماره دستورالعمل		تأییدکننده		تاریخ			
روش جوشکاری		☐ دستی		☐ نیمه‌خودکار		☐ خودکار	
نوع درز		وضعیت					
نوع: ☐ یک‌رو ☐ دورو		جوش شیار					
پشت‌بند: ☐ پله ☐ خیر		جوشکاری قائم: ☐ سربالا ☐ سرپایین					
مصلح پشت‌بند		خواص الکتریکی					
بازشدگی ریشه		نوع انتقال (GXAW):					
زاویه شیار		مدار کوتاه ☐ قطره‌ای ☐ پاشیدنی ☐					
شیارزنی پشت: ☐ پله ☐ خیر ☐ روش		جریان: AC ☐ DCEP ☐ DCEN ☐ ضربه‌ای ☐					
فلز پایه		غیره					
مشخصات فنی		الکتروود تنگستن (GTAW):					
نوع یا رده		اندازه					
ضخامت		نوع					
مصلح الکتروود		تکنیک جوشکاری					
مشخصات فنی AWS		زنجیری ☐ زیگ‌زاگ ☐					
رده طبق AWS		یک‌پاسه ☐ چندپاسه ☐					
پوشش		تعداد الکتروود					
نوع پودر		فواصل الکتروود: طولی					
ترکیب		عرضی					
نوع روکش الکتروود		زاویه					
		فاصله با قطعه کار					
		تمیزی میان پاس					
پیش‌گرمایش		عملیات پس‌گرمایش					
دمای پیش‌گرمایش، حداقل		درجه حرارت					
دمای میان پاس، حداقل		زمان					
هندسه درز		جریان		الکتروود		روش جوشکاری	
سرعت حرکت mm/min		ولتاژ		نوع و قطبیت		قطر	
آمپراژ		رده		عبور			
۱							
۲							
۳							

اگر از موارد استثنا بگذریم، یک جوشکار با وجدان حرفه‌ای با بازرسی عینی می‌تواند بگوید که آیا ذوب خوب حاصل شده یا نه (شکل ۷-۷). این کار شامل مشاهدات او در حین جوشکاری و اتمام نوار جوش می‌باشد. هندسه بد خطوط تراز نوار جوش و لبه‌های ناصاف، دلایلی برای ذوب ناکافی می‌باشند.



(الف) هیچ مشکلی برای پاس بعدی برای
ذوب لبه ورق و پاسهای قبلی وجود ندارد



(ب) عرض ریشه برای پاس بعدی در
حد فاصل لبه ورق و نوار جوش وجود
ندارد و احتمال ذوب ناکافی موجود
می‌باشد

شکل ۷-۷ یک جوشکار با وجدان حرفه‌ای به‌طور عینی هر نواری را که جوش می‌دهد، بازرسی می‌کند. او می‌داند که خطوط تراز ضرس و لبه‌های ناصاف، دلالت بر وجود مشکل در جوش دارند و سعی می‌کند آنها را در حین جوشکاری اصلاح نماید. علائم زیادی از بروز مشکل وجود دارد که جوشکار می‌تواند آنها را کشف نماید. در این زمان می‌توان عیب را با سنگ زدن رفع نمود و دستورالعمل جوشکاری را نیز اصلاح کرد. راه غلط این است که تصور نماییم عیب می‌تواند در پاس (عبور) بعدی از بین برود. ضررهای اقتصادی این تصور نادرست در هنگام مردود شدن جوش در بازرسی نهایی روشن می‌شود.

۷-۵ بازرسی عینی (V.I)

یکی از مؤثرترین روش‌های بازرسی جوش، بازرسی عینی عملیات جوشکاری توسط بازرسان و ناظران آموزش‌دیده است. طبق دستورالعمل آیین‌نامه جوشکاری ساختمانی، صد درصد جوش‌های انجام شده باید بازرسی عینی گردند. بازرسی عینی اگر به‌درستی انجام شود، از ارکان مهم بازرسی جوش می‌باشد. بازرسی‌های عینی غالباً در سه مرحله قبل از جوشکاری و در حین جوشکاری در برنامه تضمین کیفیت و بعد از جوشکاری در برنامه کنترل کیفیت انجام می‌شود.

در تمام موارد اعتقاد همگانی بر این قرار دارد که پیشگیری مقدم بر درمان (یا در ادبیات فنی، تعمیر) است. اصل مهم در برنامه بازرسی عینی، تنظیم برنامه‌های پیشگیرانه است که در طی آن تعداد جوش‌هایی که مورد ترمیم قرار می‌گیرند، کاهش یابند.

۷-۵-۱ اصول بازرسی چشمی (عینی) جوش

بازرسی عینی از کاربردی‌ترین روش‌های بازرسی جوش است. این روش سریع بوده و نیازی به تجهیزات گران‌قیمت ندارد. در هنگام بازرسی عینی استفاده از یک ذره‌بین (با بزرگ‌نمایی حدود ۱۰ برابر) توصیه می‌شود. زیرا با استفاده از ذره‌بین امکان مطالعه شرایط ظاهری جوشکاری در سطح بزرگتری وجود دارد.

در بسیاری از برنامه‌های کنترل کیفیت محصولات جوشی، از آزمون چشمی به‌عنوان اولین آزمایش و یا در بعضی موارد به‌عنوان تنها روش ارزیابی بازرسی، استفاده می‌شود. اگر آزمون چشمی به‌طور مناسب اعمال شود، ابزار ارزشمندی می‌تواند واقع گردد.

بازرسی چشمی روشی برای شناسایی نواقص و معایب سطحی می‌باشد. شناسایی و تعمیر این عیوب، کاهش هزینه قابل توجهی را در بر خواهد داشت. تأثیر بازرسی چشمی هنگامی بهینه می‌شود که دوره زمانی قبل، حین و بعد از جوشکاری و تمام مراحل فرآیند جوشکاری را پوشش دهد.

بازرسی عینی قبل از جوشکاری

اقداماتی که لازم است توسط بازرس جوش قبل از جوشکاری انجام شوند، عبارتند از:

- ۱ - کنترل نقشه‌ها و مشخصات فنی؛
- ۳ - ارزیابی جوشکاران؛
- ۲ - کنترل دستورالعمل‌های جوشکاری؛
- ۴ - تعیین نقاط کنترل؛

۸ - کنترل پیش‌گرمایش لازم؛

۵ - تنظیم برنامه ثبت نتایج؛

۹ - کنترل عملیات برشکاری و تضاریس ناشی از برشکاری؛

۶ - کنترل مصالح فلز پایه و فلز جوش؛

۷ - کنترل پخی، هندسه، هم‌راستایی و جفت و جوری درزها؛ ۱۰ - شرایط عمومی کارگاه جوشکاری.

بازرسی عینی در حین جوشکاری

اقداماتی که توسط بازرس جوش در حین جوشکاری انجام می‌شود، عبارتند از:

۱ - کنترل کیفیت نوار ریشه (پاس ریشه)؛

۴ - توالی جوش‌ها؛

۲ - کنترل هندسه درز جوش قبل از جوشکاری روی دیگر؛ ۵ - کنترل ظاهر جوش؛

۳ - دمای پیش‌گرمایش و دمای پاس‌های میانی؛

۶ - تمیزکاری جوش و گل جوش بین دو پاس متوالی؛

۸ - نوسان عرضی دست جوشکار

۷ - کنترل آمپراژ، ولتاژ و سرعت حرکت دست جوشکار؛

بازرسی عینی بعد از جوشکاری

اقداماتی که توسط بازرس جوش بعد از جوشکاری انجام می‌شود، عبارتند از:

۱ - ظاهر نهایی جوش؛

۴ - دقت‌های ابعادی؛

۲ - اندازه نهایی جوش؛

۵ - میزان اعوجاج؛

۳ - طول جوش؛

۶ - اصلاحات حرارتی؛

۷ - عیوب ظاهری شامل:

۷ - ۴ بریدگی پای جوش

۷ - ۱ تخلخل ظاهری (تخلخل سوزنی)

۷ - ۵ لوچه

۷ - ۲ عدم امتزاج کامل

۷ - ۶ ترک‌های سطحی

۷ - ۳ عدم نفوذ کامل جوش در فلز پایه

۷ - ۷ گرده بیش از حد جوش

۸ - عملیات تنش‌زدایی

۷-۵-۲ وظایف عمده بازرس جوش

عمده مسئولیت‌های بازرس جوش عبارتند از:

- ۱ - حضور دائم در محل کار و اشراف کامل به نقشه‌های سازه و مشخصات فنی
- ۲ - بررسی و تأیید صلاحیت پیمانکار و جوشکاران مشغول به کار
- ۳ - کنترل مواد ورودی مطابق با مشخصات فنی کار
- ۴ - کنترل مواد ورودی مطابق نقشه‌های تأیید شده
- ۵ - کنترل کامل تمام جوش‌های کارگاهی انجام شده
- ۶ - کنترل نحوه آماده‌سازی اتصالات، مونتاژکاری و رواداری‌های آن، نحوه انبارداری و استفاده از الکترودها و کنترل ولتاژ و آمپر دستگاه‌های جوشکاری مطابق دستورالعمل‌های مربوطه
- ۷ - نظارت مداوم بر اجرای جوشکاری مخصوص جوش‌های چند پاسی و اطمینان از نحوه آماده‌سازی، پیش‌گرمایش و دمای بین پاسی مطابق دستورالعمل‌ها و مشخصات فنی.
- ۸ - کنترل ابعاد جوشکاری مطابق نقشه‌ها
- ۹ - پیگیری رفع نقایص قبلی
- ۱۰ - استفاده از دستورالعمل‌های جوشکاری ساخت و نصب که توسط طراح تأیید شده باشد.
- ۱۱ - تهیه PQR برای جوش‌هایی که پیش‌پذیرفته نباشند.
- ۱۲ - تهیه گزارش‌های بازرسی چشمی، عدم تطابق‌ها، چک‌لیست‌های کنترل روزانه و پیگیری عیوب
- ۱۳ - تفسیر نقشه‌های جوشکاری و مشخصات
- ۱۴ - بررسی سفارش خرید به‌منظور حصول اطمینان از درستی تعیین مواد جوشکاری و مواد مصرفی
- ۱۵ - بررسی و شناسایی مواد دریافت شده طبق سفارش خرید
- ۱۶ - بررسی ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی از روی گزارش نورد طبق نیازمندی‌های معین شده
- ۱۷ - بررسی فلز مبنا از نظر عیوب و انحرافات مجاز
- ۱۸ - بررسی نحوه انبار کردن فلز پرکننده و دیگر عوامل مصرفی
- ۱۹ - بررسی تجهیزات مورد استفاده
- ۲۰ - بررسی آماده‌سازی اتصال جوش
- ۲۱ - بررسی ارزیابی صلاحیت جوشکاران و اپراتورهای جوشکاری
- ۲۲ - انتخاب نمونه‌های آزمایش تولیدی
- ۲۳ - ارزیابی نتایج آزمایشات
- ۲۴ - نگهداری سوابق

مسئولیت ایجاب می‌کند که بازرس جوش دارای شخصیت حرفه‌ای با توانایی و درک خوب باشد، بازرس جوش ممکن است با کارخانجات متعدد ساخت و کارگاه‌های متعددی سر و کار داشته باشد که بایستی در همه موارد ساعات کار و مقررات کاری سازمان‌های مربوطه را رعایت نماید. مراعات دقیق قواعد و مقررات کار خصوصاً در موارد پرسنلی، ایمنی و امنیتی الزامی است. هیچ‌گاه بازرس نباید خود را مستحق امتیازات ویژه بداند.

بازرس باید در مورد کارگاه ساخت بی طرف باشد، بی معطلی تصمیم بگیرد، بدون آنکه تحت تأثیر نظر دیگران واقع شود و با اتکا به حقایق تصمیم بگیرد و تحت تأثیر عقاید مختلف، تصمیم قبلی خود را به آسانی عوض نکند.

۷-۵-۳ وسایل بازرسی چشمی (عینی) جوش

وسایل گوناگونی برای بازرسی جوش وجود دارد. در این قسمت بعضی از وسایل که بیشتر در بازرسی چشمی مورد استفاده قرار می گیرند، به شرح زیر معرفی می شوند:

۱ - وسایل اندازه گیری خطی ۶ - چراغ ها و آینه های بازرسی

۲ - آمپر متر ۷ - متر نواری

۳ - دماسنج رنگی (گچ حرارتی) ۸ - کولیس

۴ - دماسنج سطحی ۹ - ذره بین با قدرت بزرگ نمایی ۲ تا ۱۰ برابر

۵ - گچ های جوش (گرده سنج جوش) ۱۰ - وسیله ای برای نشانه گذاری جوش

۱۱ - برای بازرسی چشمی جوش های با امکان دسترسی محدود، آینه ها، اندوسکوپ ها، بورواسکوپ ها، فیبرهای نوری و دوربین های تلویزیونی ممکن است استفاده شود.

۷-۵-۴ اندازه گیری جوش

اندازه نادرست جوش و هندسه غلط، معایبی هستند که با بازرسی های عینی و به کمک وسایل اندازه گیری جوش، آشکار می شوند. وسایل اندازه گیری جوش ابزاری هستند که جوشکار توسط آنها می تواند از قرارگیری ابعاد جوش تکمیل شده در محدوده مشخص طرح هندسی، اطمینان حاصل کند. شکل ۷-۱۲ سه نوع از این وسایل را نشان می دهد: (الف) دستگاه ترکیبی اندازه گیری جوش گوشه و یا شیار؛ (ب) دستگاه اندازه گیری جوش گوشه؛ (پ) نوع دومی از دستگاه اندازه گیری جوش گوشه که در کارگاه ساخته می شود.

جدول ۷-۱ روش های ارزیابی برای جوش های گوشه و شیار

بازرسی توصیه شده		
جوش شیار	جوش گوشه	نوع عیب
عینی	عینی ^۱	جوش با بعد کم
عینی	عینی	تخلخل سطحی
پرتونگاری	مخرب	تخلخل داخلی
عینی	عینی	بریدگی
ذرات مغناطیسی نفوذ ماده رنگی عینی فراصوتی پرتونگاری ^۳	ذرات مغناطیسی نفوذ ماده رنگی عینی مخرب ^۲	ترک
پرتونگاری فراصوتی	مخرب فراصوتی	نفوذ ناقص
پرتونگاری فراصوتی	مخرب فراصوتی	اختلاط

۱ - از ابزار اندازه گیری جوش گوشه استفاده کنید.

۲ - آزمایش های مخرب وجود ترک های داخلی را آشکار خواهد کرد.

۳ - آزمایش پرتونگاری نوع ترک های موجود در محدوده آزمایش را آشکار خواهد ساخت.

جدول ۷-۲ آزمایش‌های معایب فلز جوش و فلز پایه

معایب	روش‌های آزمایش
معایب هندسی اعوجاج فاصله نامناسب قطعات بعد جوش نادرست نیمرخ نامناسب جوش	بازرسی عینی با ابزار اندازه‌گیری دقیق بازرسی عینی با وسایل اندازه‌گیری دقیق بازرسی عینی با اندازه‌گیری تقریبی جوش بازرسی عینی با اندازه‌گیری تقریبی جوش
معایب متالورژی تخلخل حبس سرباره امتزاج ناقص ترک خوردگی بریدگی لبه جوش معایب سطحی نفوذ ناقص	پرتونگاری، شکست، میکروسکوپی، ماکروسکوپی، فراصوتی پرتونگاری، شکست، میکروسکوپی، ماکروسکوپی، فراصوتی پرتونگاری، شکست، میکروسکوپی، ماکروسکوپی، فراصوتی بازرسی عینی، آزمایش خمش، پرتونگاری، میکروسکوپی، ماکروسکوپی، ذرات مغناطیسی، فراصوتی بازرسی عینی، آزمایش خمش، پرتونگاری، فراصوتی، رنگ نافذ بازرسی عینی پرتونگاری، شکست، میکروسکوپی، ماکروسکوپی، فراصوتی
معایب مکانیکی مقاومت کششی کم مقاومت تسلیم کم شکل‌پذیری سختی نامناسب شکست ضربه‌ای ترکیب ساختمانی نامناسب مقاومت خوردگی کم	کلیه آزمایش‌های کشش فلز جوش، کشش عرضی، برش جوش گوشه، کشش فلز پایه کلیه آزمایش‌های کشش فلز جوش، کشش عرضی، کشش فلز پایه کلیه آزمایش‌های کشش فلز جوش، آزمایش خمش آزاد، خمش هدایت‌شده، کشش فلز پایه آزمایش سختی آزمایش ضربه تجزیه شیمیایی آزمایش خوردگی

ضوابط پذیرش در بازرسی عینی مطابق AWS

تمام جوش‌ها باید مورد بازرسی عینی قرار گیرند و در صورتی که شرایط زیر اقناع گردد، می‌توانند مورد پذیرش قرار گیرند (فقط بارهای استاتیکی):

- ۱ - جوش باید فاقد هر گونه ترک باشد.
- ۲ - بین لایه‌های جوش مجاور و بین لایه جوش و فلز پایه، باید امتزاج کامل برقرار باشد.
- ۳ - تمام چاله‌های انتهایی نوار جوش باید به‌اندازه سطح مقطع کامل جوش پُر شوند. این چاله‌ها می‌توانند حاوی ترک‌های ستاره‌ای باشند.
- ۴ - مقطع جوش باید مطابق شکل ۷ - ۱۶ باشد.
- ۵ - برای مصالحی با ضخامت ۲۵ میلی‌متر و کمتر، میزان بریدگی لبه جوش باید کمتر از ۱ میلی‌متر باشد، لیکن در طولی معادل ۵۰ میلی‌متر در هر ۳۰۰ میلی‌متر طول نوار، می‌توان بریدگی تا ۱/۵ میلی‌متر را پذیرفت.
- ۶ - در جوش‌های گوشه مجموع قطر تخلخل‌های سطحی با قطر ۱ میلی‌متر و بزرگتر، نباید از ۱۰ میلی‌متر در هر ۲۵ میلی‌متر طول جوش و از ۲۰ میلی‌متر در هر ۳۰۰ میلی‌متر طول جوش بیشتر باشد.
- ۷ - مجموعاً ۱۰ درصد از طول کل نوار جوش می‌تواند دارای اندازه‌ای به‌مقدار ۱/۵ میلی‌متر کوچکتر از اندازه نقشه باشد. در جوش گوشه متصل‌کننده بال به‌جان، در طولی معادل دو برابر عرض بال از انتهای تیر، هیچ‌گونه کمبود اندازه مجاز نیست.
- ۸ - در درزهای لب به‌لب با جوش شیاری تمام نفوذی که امتداد درز عمود بر امتداد تنش کششی است، نباید هیچ‌گونه تخلخل سطحی قابل ملاحظه باشد. در سایر موارد جوش‌های شیاری، مجموع قطر تخلخل‌های سوزنی با قطر ۱ میلی‌متر و بزرگتر، نباید از ۱۰ میلی‌متر در هر ۲۵ میلی‌متر طول جوش و ۲۰ میلی‌متر در هر ۳۰۰ میلی‌متر طول جوش بیشتر باشد.
- ۹ - بازرسی عینی جوش‌ها می‌تواند به‌محض خنک شدن جوش تا دمای محیط آغاز گردد. در فولادهای خیلی پُر مقاومت با تنش تسلیم بزرگتر از ۶۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، بازرسی‌های عینی باید ۴۸ ساعت بعد از تکمیل جوش انجام شود.

۷-۸ چک لیست بازرسی چشمی (عینی)

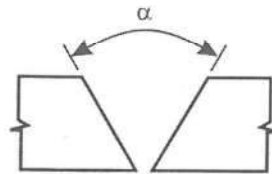
نکاتی که قبل، حین و بعد از جوشکاری باید مورد بازرسی عینی قرار گیرند:

●●● کنترل قبل از جوشکاری

●●● کنترل در حین جوشکاری

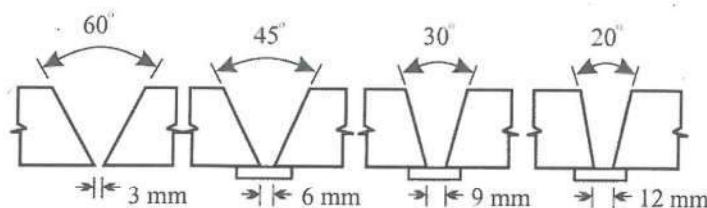
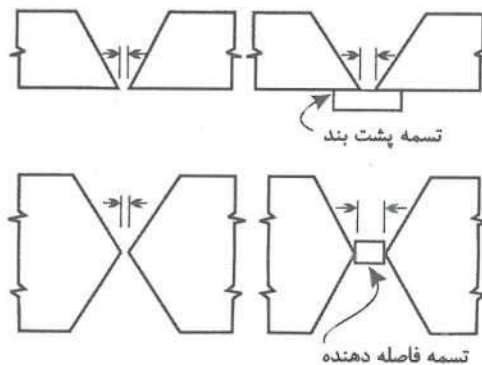
●●● کنترل بعد از جوشکاری

۱- زاویه پخی (Included angle) ●●●



زاویه پخی باید به اندازه‌ای باشد که الکتروده به راحتی به ریشه جوش برسد و در عبورهای متوالی، از ذوب کامل جداره‌ها اطمینان حاصل گردد. در حالت عمومی هر چه این زاویه بزرگتر باشد، مصرف مصالح جوش افزایش می‌یابد.

۲- دهانه ریشه (Root opening) ●●●



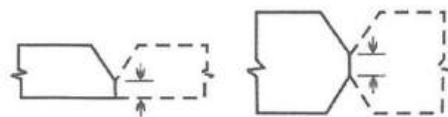
در صورت عدم استفاده از تسمه پشت‌بند، امکان سوختن ریشه در عبور (پاس) اول وجود دارد. در نتیجه، در این

حالت دهانه ریشه قدری کاهش داده می‌شود. در صورتی که امکان سنگ زدن ریشه از پشت کار وجود داشته باشد،

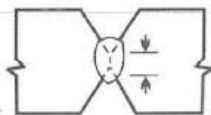
عدم ذوب کامل ریشه در عبور (پاس) اول خیلی جدی نیست. در صورت استفاده از تسمه پشت‌بند، دهانه ریشه افزایش داده می‌شود تا ذوب کامل ریشه و تسمه پشت‌بند امکان‌پذیر باشد. در این حالت نیازی به سنگ زدن ریشه از پشت کار نمی‌باشد و امکان سوختن ریشه نیز در میان نیست. در پخ دو طرفه، تسمه فاصله‌دهنده نقش ورق پشت را بازی می‌کند. لیکن قبل از جوش، پشت کار باید سنگ زده و کاملاً برداشته شود.

تذکر: برای دستیابی به ذوب کامل ریشه و لبه‌ها، زاویه پخی و دهانه ریشه، اثر عکس زوی یکدیگر دارند. یعنی هر چه زاویه پخی کم باشد، باید دهانه ریشه افزایش داده شود و هر چه دهانه ریشه کم باشد، باید زاویه پخی افزایش داده شود. در عمل باید به کمک آزمون و خطا، مطلوب‌ترین حالت تعیین شود.

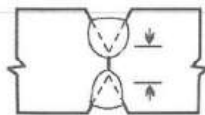
۳ - ضخامت ریشه (Root face) ○○○



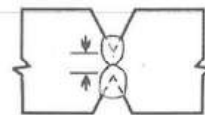
رعایت ضخامت ریشه به منظور جلوگیری از سوختن ریشه می‌باشد و معمولاً در جوش‌های خودکار زیرپودری مقرر می‌گردد. ضخامت ریشه دارای یک مقدار حداقل و یک مقدار حداکثر است و در صورت عدم رعایت مقدار حداقل، ریشه جوش می‌سوزد و در صورت عدم رعایت مقدار حداکثر، ذوب ریشه کامل نخواهد بود.



(پ) ضخامت ریشه مناسب
باعث نفوذ مناسب می‌شود

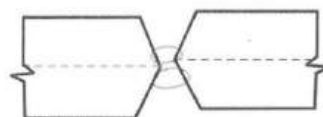


(ب) ضخامت ریشه زیاد باعث
عدم نفوذ کامل می‌شود



(الف) ضخامت ریشه کم باعث
سوختن ریشه می‌شود

۴ - هم‌محوری درز (Alignment) ○○○



عدم هم‌محوری صحیح باعث تشکیل قسمت‌هایی با نفوذ ناقص جوش می‌شود.

۵ - تمیزی درز (Cleanliness of Joint) ●●●

سطوح درز باید تمیز و عاری از هر گونه آلودگی، گرد و غبار و رطوبت باشند.

۶ - نوع و اندازه مناسب الکترود ((Proper type and size of electrode) ●●○

نوع و اندازه الکترود باید برای نوع فلز مورد جوش، وضعیت جوشکاری، وظیفه جوش، ضخامت ورق، اندازه درز و غیره مناسب باشد.

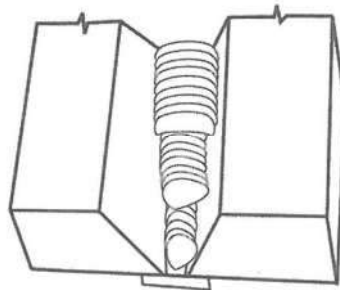
۷ - قطبیت و شدت جریان مناسب (Proper welding current and Polarity) ●●○

برحسب نوع و قطر الکترود، نوع درز و وضعیت جوشکاری باید شدت جریان و قطبیت جوشکاری مناسب انتخاب شود.

۸ - خال جوش مناسب (Proper tack weld) ●●○

خال جوش‌ها باید کوچک و بلند باشند، به‌طوری که با جوش اصلی تداخلی نداشته باشند. در ورق‌های ضخیم، برای اجرای خال جوش‌ها باید از الکترودهای کم‌هیدروژن استفاده نمود.

۹ - ذوب خوب (Good Fusion) ●●●



هر عبور (پاس) جوش باید به‌طور کامل با ورق پشت‌بند، عبور قبلی و فلز پایه هم‌جوش شده و امتزاج کامل به‌وجود آورد، به‌طوری که هیچ‌گونه حفره هوا در فصل مشترک به‌وجود نیاید.

۱۰ - پیش‌گرمایش و درجه حرارت پاس‌های میانی

●●○ (Proper Preheat and interpass temperature)

مقدار پیش‌گرمایش و درجه حرارت مناسب برای عبورهای میانی، بستگی به ضخامت ورق، نوع فولاد، روش جوشکاری و درجه حرارت محیط دارد. در صورتی که شرایط گفته شده، پیش‌گرمایش و درجه حرارت خاصی برای جوش‌های میانی لازم بدانند، در حین عملیات جوشکاری این موضوع باید به‌طور پیوسته مورد بررسی قرار گیرد.

۱۱ - توالی و ترتیب پاس‌های جوش (Proper sequencing of Passes) ○○○

ترتیب و توالی پاس‌ها باید طوری باشد که امکان وقوع حفرات هوا در حد فاصل عبورهای جوش وجود نداشته باشد.

۱۲ - سرعت مناسب حرکت نوک الکتروود (Proper travel speed) ○○○

اگر سرعت حرکت خیلی آهسته باشد، فلز جوش ذوب شده و گل جوشکاری، به سمت جلوی الکتروود فرار کرده و شروع به سرد شدن می‌نمایند. در نتیجه جوش اصلی که به‌روی این قسمت اجرا می‌گردد، شانس نفوذ کافی به‌ریشه را از دست می‌دهد.

اگر سرعت حرکت افزایش داده شود، امکان فرار مواد مذاب به‌جلوی الکتروود وجود نداشته و نفوذ کامل صورت می‌گیرد.

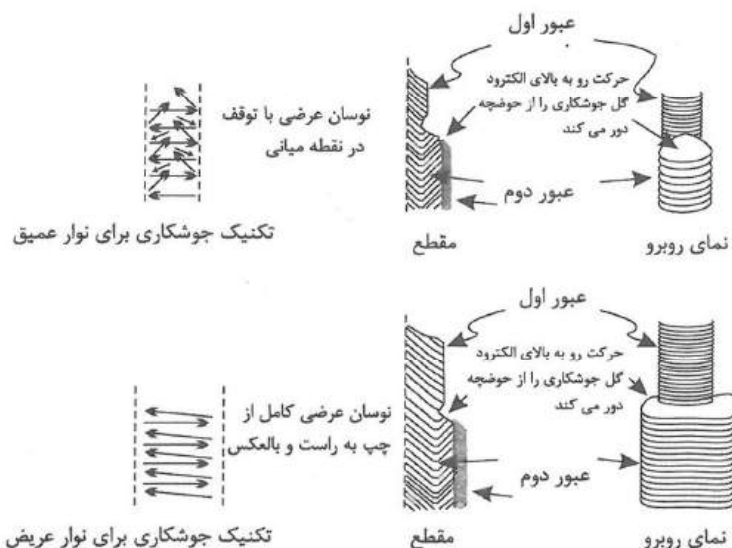
۱۳ - لوچه (شره) جوش (Over lap) ○○○

اگر سرعت نوک الکتروود خیلی آهسته باشد، هم مقادیر زیادی از فلز جوش در حال رسوب، از لبه‌های نوار جوش به سمت بیرون سرریز (شره) کرده و هم جوشی کامل به‌وجود نمی‌آید. عمل سرریز به‌سهولت در حین جوشکاری قابل مشاهده بوده و روش اصلاح آن افزایش سرعت جوشکاری است (شکل زیر).

۱۴ - غلتاندن حوضچه مذاب نوک الکتروود در جوش‌های سربالا (قائم) ○○○

○○○ (Tilt of crater in vertical welding)

در جوش‌های سربالا (قائم) با دادن حرکت زیگ‌زاگ به نوک الکتروود و غلتاندن حوضچه مذاب، گل جوشکاری را به‌طرف جلو رانده و از تداخل آن با جوش جلوگیری می‌شود.



۱۵- چاله انتهای جوش (Filled crater) ●●●

چاله دو انتهای جوش از دو نقطه نظر زیر ممکن است بحث برانگیز باشد:

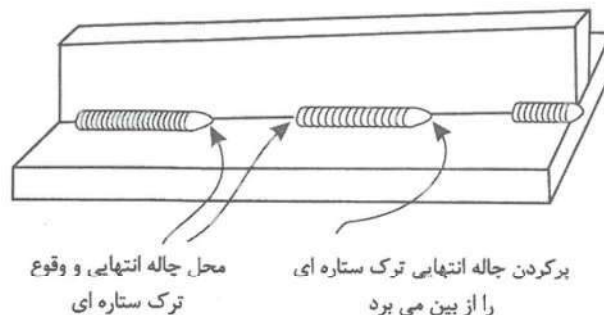
- ۱- ضخامت گلوی جوش کمتر از سایر قسمت‌های نوار جوش است.
 - ۲- با توجه به اینکه سطح مقعری دارند، امکان وقوع ترک ستاره‌ای در آنها در هنگام سرد شدن وجود دارد. در جوش‌های گوشه پیوسته، خطر چاله انتهای جوش وجود ندارد، زیرا جوشکار در هنگام تعویض الکترود، چاله انتهای جوش قبلی را با جوش پُر می‌کند.
- در جوش‌ها با طول محدود، لازم است انتهای جوش در محلی واقع گردد که میزان تنش کم است، در غیر این صورت باید دقت گردد که در انتهای جوش چاله کاملاً پُر شود.

مثال: در جوش گوشه ورق فوقانی اتصال صلب به پال تیر، در شروع و ختم جوش باید دقیق بود تا چاله ایجاد نشود.

مثال: در جوش نبشی نشیمن، جوش از پشت بال نبشی شروع شده و به لبه آن ختم می‌گردد، به طوری که چاله در این محل که تنش‌های کمتری دارد، ایجاد شود.



مثال: در جوش‌های منقطع، تشکیل چاله در دو انتهای هر قطعه، مشکل مهمی نیست، لیکن با روش کار مناسب نباید اجازه تشکیل آن را بدهیم. مکث جوشکار در انتها و کمی برگشت دست به عقب مشکل را حل می‌نماید.

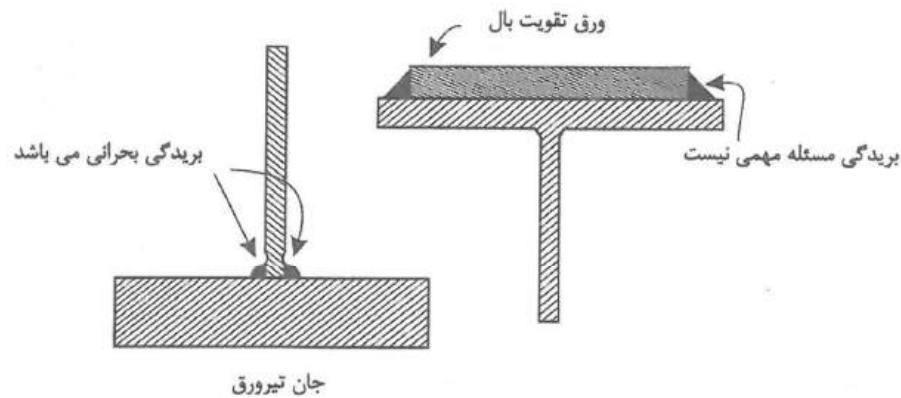


۱۶- بریدگی لبه‌های جوش (Under cut) ●●●

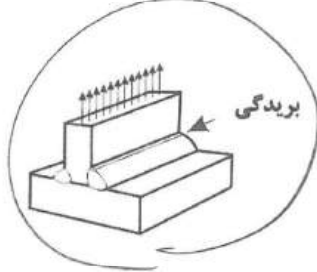
الف: قوس الکتریک قادر به ذوب قسمت‌هایی از فلز پایه می‌باشد.

ب: اگر طول قوس بلند باشد (فاصله نوک الکتروود تا سطح جوش)، مصالح جوش نمی‌تواند تمام فضای ذوب شده را پُر کند، در نتیجه در لبه جوش گودافتادگی یا بریدگی به وجود می‌آید.

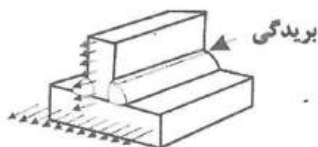
با توجه به اینکه بریدگی به راحتی با اصلاح دستورالعمل جوشکاری قابل اصلاح است، وقوع آن قابل پذیرش نیست. اما این سؤال پیش می‌آید که بریدگی در چه مواردی مضر بوده و باید اصلاح گردد.
۱- اگر بریدگی باعث کاهش عمده در ضخامت یا سطح مقطع گردد، وقوع آن مردود است.



۲- اگر تنش در امتداد عرضی اعمال گردد، بریدگی همانند یک زخم عمل کرده و زیان بار خواهد بود.

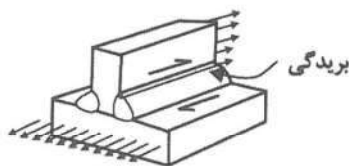


در شکل رو به رو بریدگی زیان بار است.

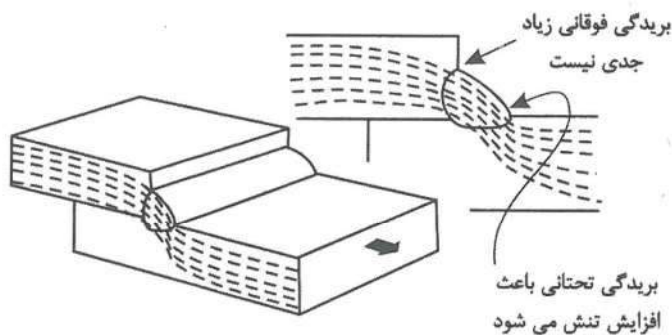


در شکل رو به رو بریدگی خیلی مضر نیست.

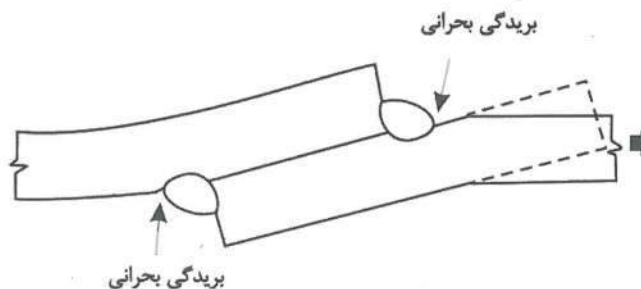
در شکل رو به رو نیز تنش برشی به موازات بریدگی عمل نموده و زیان بار نخواهد بود.



طبق آیین‌نامه AWS، در حالتی که نیرو به‌طور عرضی بر بریدگی اعمال می‌گردد، بریدگی تا عمق ۰/۲۵ میلی‌متر و در صورتی که نیرو به موازات بریدگی باشد، تا عمق ۰/۸ میلی‌متر قابل قبول است. به‌عنوان آخرین مطلب، توجه گردد که بریدگی تحتانی دارای تأثیر زیان‌بارتری نسبت به بریدگی فوقانی است.

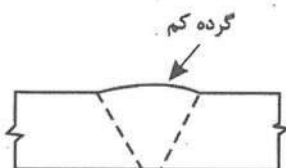


هر گونه برون‌محوری، باعث ایجاد تنش خمشی در بریدگی تحتانی می‌گردد.



۱۷ - گرده در جوش‌های شیاری (Slight Reinforcement on Groove Welds) ○○○

وجود گرده تا ۱/۵ میلی‌متر در جوش‌های شیاری قابل پذیرش است. مقادیر بیشتر باعث افزایش مخارج و کاهش مقاومت خستگی می‌گردد.



۱۸ - اندازه جوش گوشه (Full size of fillet weld) ○○○

با استفاده از اندازه گیری های مخصوص، اندازه جوش گوشه باید کنترل گردد.

۱۹ - وقوع ترک (Cracks) ○○○

وقوع هر گونه ترک به هر صورت (سطحی یا عمقی)، باعث مردود شدن جوش خواهد شد.

الف) آزمایش های ارزیابی شامل:

۱ - آزمایش های ارزیابی و تأیید صلاحیت دستورالعمل جوشکاری (W.P.S)

۲ - آزمایش های ارزیابی، تعیین صلاحیت و رده بندی جوشکاران

ب) آزمایش های تأیید شامل:

۳ - آزمایش های بازرسی و تأیید

آزمایش های ردیف ۱ و ۲ در قالب برنامه تضمین کیفیت بوده و در قالب آزمایش های مخرب و غیرمخرب انجام می شوند. به عنوان مثال، در آزمایش ارزیابی دستورالعمل جوشکاری (W.P.S)، یک قطعه با درز جوشی با طول محدود (حدود ۳۰ تا ۶۰ سانتی متر) مطابق با مشخصات و روش ارایه شده در دستورالعمل جوشکاری (که از طرف پیمانکار ارایه شده) توسط یک جوشکار با صلاحیت، جوشکاری می شود و پس از تأیید در آزمایش های غیرمخرب نمونه هایی از این قطعه اخذ شده و تحت آزمایش های مکانیکی نظیر کشش و یا خم که در قسمت های بعدی به طور کامل در مورد آنها بحث می گردد، قرار می گیرد. در صورت قابل پذیرش بودن نتایج، نوع الکتروود، شدت جریان، اختلاف پتانسیل، قطبیت، هندسه درز، تعداد پاس ها و تمام اطلاعاتی از این قبیل که در دستورالعمل جوشکاری معرفی شده است، قابل پذیرش خواهد بود. این آزمایش ها در برنامه QA قرار می گیرد.

آزمایش های بازرسی و تأیید اساساً با آزمایش های فوق متفاوت است و غالباً در رده آزمایش های غیرمخرب قرار می گیرند. هدف از انجام آزمایش های بازرسی و تأیید، اطمینان از کیفیت جوشی است که مقاومت آن در ارزیابی دستورالعمل جوشکاری به تأیید رسیده و توسط جوشکاری انجام می شود که صلاحیت آن نیز مورد تأیید است. آزمایش های بازرسی و تأیید از بازرسی عینی درز جوش و نحوه نگهداری الکتروودها آغاز شده و با بازرسی در حین عملیات جوشکاری ادامه می یابد و در نهایت به بازرسی عینی درز جوش شده و بالاخره با انجام آزمایش های تکمیلی نظیر پرتونگاری، فراصوت، نفوذ و پودر مغناطیسی به اتمام می رسد. نتیجه کار می تواند مبین بی عیبی و قابل پذیرش

۸ - ۳ آزمایش های مخرب

آزمایش های مخرب عبارتند از آزمایش های مکانیکی روی نمونه جوش شده جهت تعیین مقاومت و سایر خواص مکانیکی. روش های آزمایش از این نوع نسبتاً ارزان قیمت و بسیار کاربردی هستند، به همین جهت در سطح وسیعی جهت ارزیابی دستورالعمل جوشکاری و صلاحیت جوشکار به کار می روند. آزمایش مخرب معمولاً روی نمونه اخذ شده از

ورق یا لوله جوش شده انجام می‌شود که در حقیقت نمونه‌ای از مصالح و دستورالعمل‌های جوشکاری به کار رفته در کارگاه یا کارخانه می‌باشند. آزمایش‌های مخرب در برنامه تضمین کیفیت مورد توجه قرار می‌گیرند.

۸-۳-۱ مراحل انجام آزمایش‌های مخرب

در آمایش‌های مخرب، ابتدا جوش با مشخصات مورد نظر روی ورق یا قطعه آزمون^۱ در وضعیت مورد نظر توسط

جوشکار اجرا می شود.

در صورتی که هدف آزمایش مصالح و یا wps باشد، جوشکار باید دارای صلاحیت مربوطه باشد. سپس از این نمونه، آزمونه‌هایی^۲ با عرض مشخص بریده می‌شود و هر آزمونه تحت آزمایش خاصی قرار می‌گیرد. مطابق شکل‌های ۸-۱ تا ۸-۹، مراحل انجام آزمایش‌های غیرمخرب به شرح زیر است:

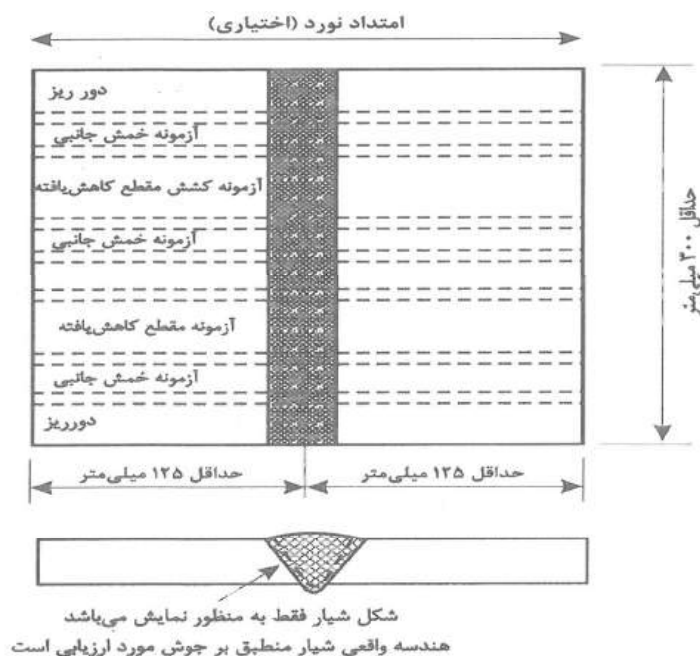
۱- تهیه تجهیزات لازم برای عملیات جوشکاری آزمایشی.

۲- تهیه نمونه آزمایشی که ورقی با ضخامت ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر و طول ۳۰۰ میلی‌متر و عرض ۲۵۰ میلی‌متر (شامل دو قطعه هر یک به عرض ۱۲۵ میلی‌متر می‌باشد).

۳- انجام جوش در وضعیت موردنظر توسط جوشکار (تخت، افقی، قائم و یا سقفی) در ورق آزمایشی.

۴- تهیه نمونه از نمونه آزمایشی با برش آن در عرضی حدود ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر.

۵- انجام آزمایش‌های لازم بر روی آزمون‌ها.



شکل شیار فقط به منظور نمایش می باشد

هندسه واقعی شیار منطبق بر جوش مورد ارزیابی است

۸-۳-۲ آماده‌سازی نمونه‌های آزمایشی

نکته قابل توجه برای کارآموزان جوشکاری و جوشکاران در ارتباط با جوشکاری قطعه آزمون این است که با وجودی که این آزمایش‌ها برای تعیین توانایی جوشکاران طرح شده است، بسیاری از آنها به‌دلایلی که ارتباطی به قابلیت‌شان در جوشکاری ندارد، در امتحانات قبول نمی‌شوند. علت این امر بی‌دقتی در کاربرد جوش و بی‌توجهی نسبت به آماده‌سازی قطعه آزمایش و نمونه‌های آزمایشی است.

انتخاب و آماده‌سازی ورق‌ها. در هنگام آزمون ضروری است که ورق و تسمه پشت‌بند، جوش‌پذیر، شکل‌پذیر و از جنس فولاد کم‌کربن باشند. آزمایش به‌گونه‌ای طراحی شده است که هم ورق و هم خط جوش تحت خمش و کشش قرار می‌گیرند. اگر مقاومت کششی ورق خیلی بیشتر از مقاومت فلز جوش باشد، در حین آزمایش از محدوده تغییرشکل‌های خطی فراتر نرفته و تمام تغییرشکل‌ها به جوش اعمال می‌شود و در نتیجه تغییرشکل جوش فراتر از نقطه تسلیم شده و موجب گسیختگی در منطقه فلز جوش می‌گردد.

جوشکاری ورق‌ها. انتخاب صحیح الکترو، اولین گام در تولید جوش سالم می‌باشد. با توجه به اینکه ورق‌ها عموماً در تمام وضعیت‌ها جوشکاری می‌شوند، الکترو مورد استفاده برای ورق‌ها باید مناسب برای تمام وضعیت‌ها بوده و شکل‌پذیری مناسبی داشته باشد، به‌همین جهت باید از طبقه E6010، E6011، E6017 یا E6018 باشند. از سیم جوش E70S در جوشکاری ورق‌ها با جوش قوسی تحت حفاظت گاز استفاده می‌شود.

مهمترین مرحله در اجرای جوش، پاس اول (یا پاس ریشه) در جوش شیاری و پاس ریشه در جوش گوشه می‌باشد. باید کوشش کافی از طرف جوشکار جهت نفوذ کافی، ذوب مناسب و سلامت فلز جوش در پاس ریشه انجام گیرد.

هیچ‌گونه عملیات اصلاحی توسط پیش‌گرمایش و پس‌گرمایش برای پذیرفتن آزمایش مجاز نیست. این امر باعث گرم شدن تدریجی ورق شده و باعث می‌گردد ورق بعد از تکمیل عملیات جوشکاری به‌ملايمت سرد شود. جوشکار تحت هیچ شرایطی مجاز نیست که قطعه جوش شده را در آب سرد قرار داده و یا از هر طریق دیگری سرد شدن قطعه را پس از جوشکاری تسريع کند.

عملیات پرداخت نمونه آزمایشی. توجه کافی به‌پرداخت سطحی نمونه آزمایش ضروری است و عدم دقت در انجام آن می‌تواند باعث مردود شدن جوش سالم شود. پس از پایان جوش، عملیات تراشکاری و سنگ‌زنی قطعه باید در امتداد طولی بر روی نمونه انجام شود. انجام این عمل در جهات دیگر موجب اثراتی خواهد شد که به‌شکست قطعه منجر می‌شود. هر قدر در عملیات پرداخت، سطح صاف‌تری ایجاد گردد، شانس پذیرفتن نمونه آزمایشی بیشتر است. حتی یک شکاف عرضی باریک ممکن است تحت شرایط سخت تنشی آزمایش باز شود.

هرگونه گرده جوش (پاس تقویتی) چه در سطح رویی و چه در جوش ریشه باید زدوده شود. همواری لبه‌های نمونه آزمایشی باید شعاعی معادل ۱/۵ میلی‌متر داشته باشد که با برش تأمین می‌شود. پس از سنگ‌زنی نمونه و

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

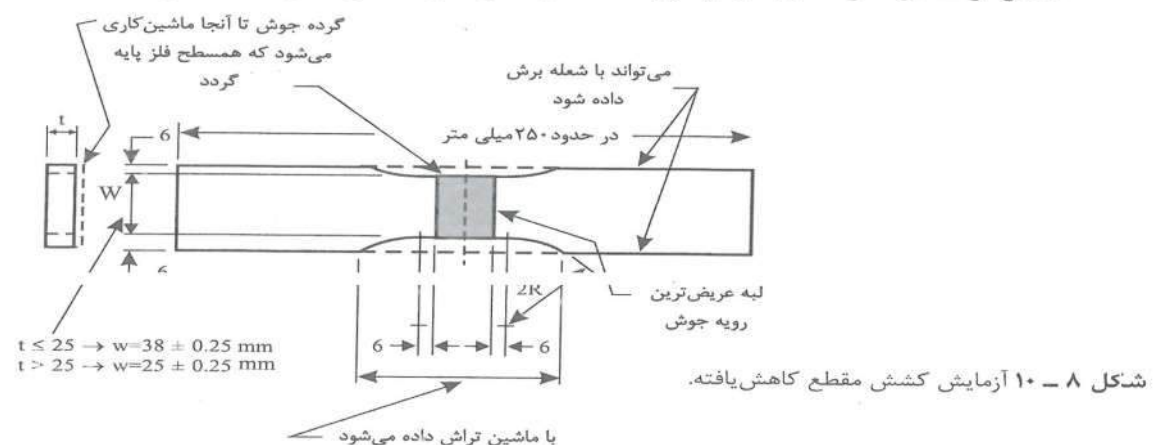
هنگامی که نمونه گرم است، هیچ‌گاه آن را در داخل آب قرار ندهید. این عمل موجب ایجاد ترک‌های ریز سطحی خواهد شد که تحت آزمایش خمش بزرگتر می‌شوند.

پس از آنکه نمونه آزمایشی تحت خمش قرار گرفت، سطح محدب نمونه باید از لحاظ ترک، شکست و دیگر معایب کنترل شود. هر نمونه‌ای که ترک و دیگر معایب (بازشدنی) آن ناشی از آزمایش خمش، بیش از ۳ میلی‌متر در هر جهت دلخواه اندازه‌گیری شود، قابل قبول نیست. البته ترک‌های ایجادشده در کنج‌های نمونه در حین انجام آزمایش شامل این مطلب نیست.

الف) آزمایش کشش مقطع کاهش‌یافته

این آزمایش برای تعیین مقاومت کششی جوش و تنها به منظور ارزیابی دستورالعمل جوشکاری به کار می‌رود. این آزمایش می‌تواند برای اتصالات لب به لب با جوش شیاری هم در ورق و هم در لوله‌ها به کار رود.

اندازه و شکل نمونه‌های آزمایشی. هندسه و شکل نمونه‌ها در شکل ۸ - ۱۰ ارایه شده است.



شکل ۸ - ۱۰ آزمایش کشش مقطع کاهش‌یافته.

نتایج مورد نیاز. نمونه آزمایشی باید دارای مقاومت کششی، برابر یا بزرگتر از موارد زیر باشد:

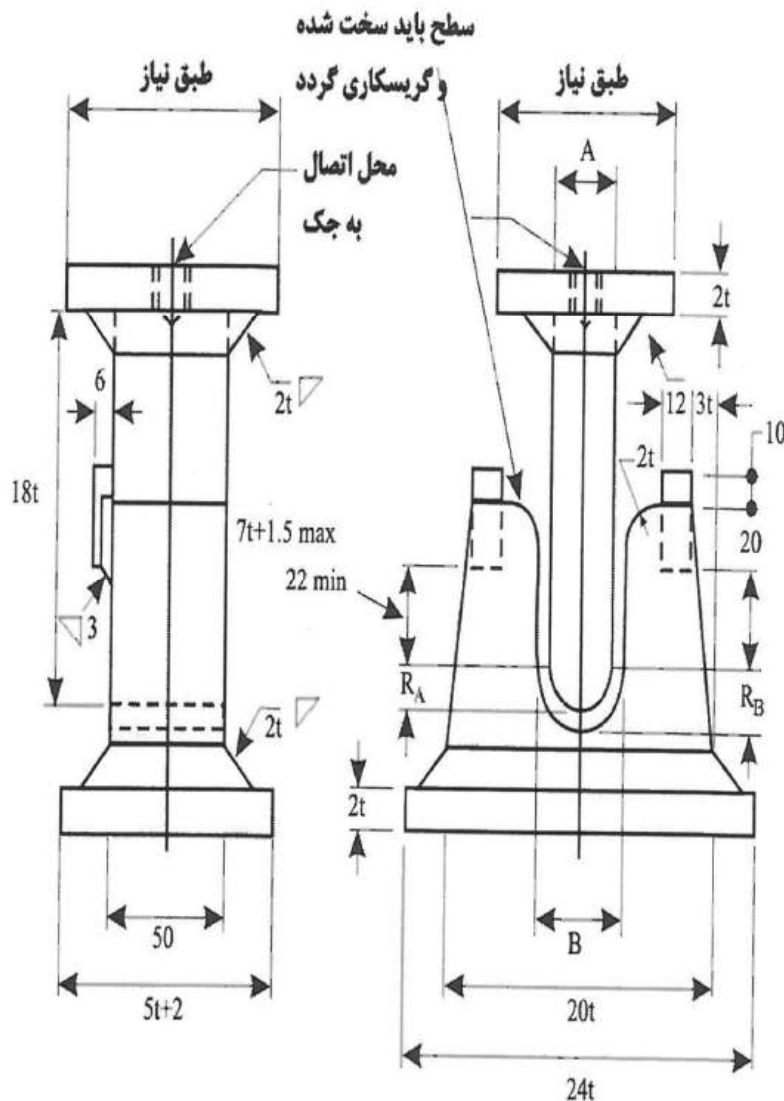
- حداقل مقاومت کششی فلز پایه
- پایین‌ترین مقاومت کششی از میان مصالح غیر هم‌جنس
- مقاومت کششی فلز جوش، اگر مقاومت فلز جوش کمتر از مقاومت فلز پایه باشد.
- ۵ درصد کمتر از حداقل مقاومت کششی فلز پایه در صورتی که در هنگام آزمایش، نمونه در قسمت فلز پایه و خارج از قسمت جوش شکسته شده باشد.

ب) آزمایش خمش هدایت‌شده

آزمایش‌های خمش ریشه، خمش رویه و خمش جانبی (خمش‌گونه)

این آزمایش‌ها با هدف آشکارسازی عدم سلامت جوش، عدم نفوذ و امتزاج فلز جوش انجام می‌شود و برای ارزیابی دستورالعمل جوشکاری و صلاحیت جوشکاران مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمایش در مورد جوش‌های شیاری در ورق‌ها و لوله اعمال می‌شود. آزمایش خمش رویه (خمش سطحی) کیفیت امتزاج فلز جوش در دیواره‌ها و سطح درز اتصال، تخلخل، حبس سرباره و حفره‌های گازی و دیگر معایب احتمالی را کنترل می‌کند. این آزمایش همچنین میزان شکل‌پذیری جوش را اندازه می‌گیرد. آزمایش خمش ریشه، میزان نفوذ و امتزاج فلز جوش را در داخل ریشه درز اتصال کنترل می‌کند. آزمایش خمش جانبی به منظور کنترل سلامت و میزان ذوب فلز جوش می‌باشد.

نمونه آزمایشی بر روی شکاف دستگاه طوری قرار داده شود که جوش در وسط دهانه قرار گیرد. نمونه‌های آزمایش خمش رویه طوری قرار می‌گیرند که سطح جوش به سمت شکاف، و نمونه‌های آزمایش خمش ریشه طوری قرار می‌گیرند که ریشه جوش به سمت شکاف، و نمونه‌های آزمایش خمش جانبی طوری قرار می‌گیرند که گونه دارای معایب و شکاف‌های بزرگتر (البته در صورت وجود) به سمت شکاف وسیله باشند. پس از قرارگیری نمونه در محل و جهت مناسب، سنبه به سمت قالب فشار داده می‌شود تا میزان انحنای نمونه به مقداری برسد که یک سیم به قطر 0.8 میلی‌متر از میان فضای انحنای تحتانی گیره و نمونه آزمایشی عبور نکند. سپس نمونه آزمایشی از داخل گیره خارج می‌شود.



شکل ۸-۱۴ دستگاه مورد استفاده در آزمایش خمش هدایت شده که برای ارزیابی صلاحیت جوشکاران در جوشکاری طبق ضوابط آیین‌نامه AWS و

API به کار می‌رود.

پذیرش نتایج. سطح محدب نمونه پس از انجام آزمایش از لحاظ ظهور ترک‌ها و شکاف‌های طولی و دیگر معایب بازرسی می‌شود. هر نمونه‌ای که طول ترک‌ها و دیگر معایب ایجادشده بر سطح آن پس از اعمال خمش در هر جهت دلخواه بیش از ۱/۵ تا ۳ میلی‌متر اندازه‌گیری شود، مردود اعلام می‌شود. ترک‌های ایجادشده در کنج نمونه مشمول محدودیت فوق نیستند مگر اینکه طول ترک بیش از ۳ میلی‌متر تا ۶ میلی‌متر باشد و مدرکی دال بر حبس سرباره یا معایب داخلی وجود داشته باشد.

شکل‌های ۸ - ۱۶ و ۸ - ۱۷ را برای تطابق و مقایسه نمونه‌های مناسب و معیوب مطالعه کنید.



شکل ۸ - ۱۶ نمونه‌های آزمایش خمش رویه. نمونه سمت راست به‌طور رضایت‌بخشی در آزمایش مقاومت کرد در حالی که نمونه سمت چپ قبل از خمش کامل ترک خورد و شکست.

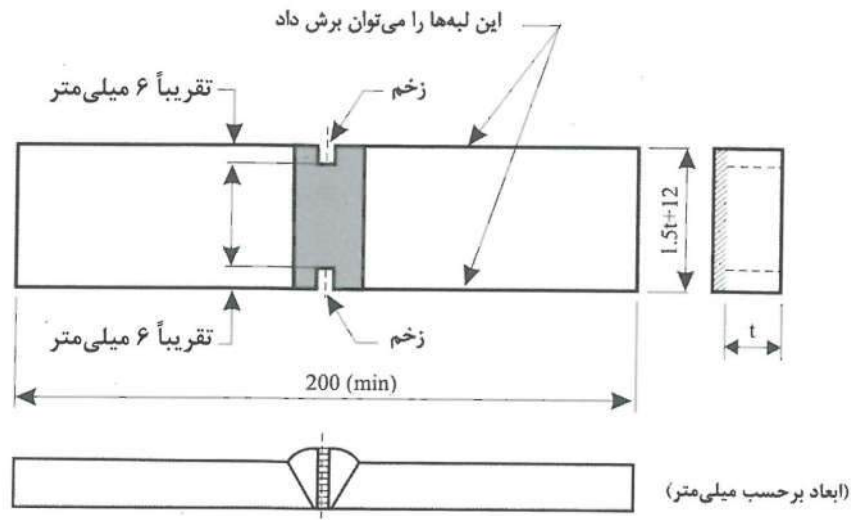


شکل ۸ - ۱۷ نمونه آزمایش خمش ریشه. نمونه سمت راست به‌طور رضایت‌بخشی در آزمایش مقاومت کرده در حالی که نمونه سمت چپ قبل از خمش کامل ترک خورده و شکسته شده است. به‌نفوذ کامل جوش در نمونه مورد قبول توجه کنید.

پ) آزمایش شکست نمونه زخم‌دار

آزمایش شکست بر روی نمونه زخم‌دار با هدف تعیین سلامت جوش انجام می‌شود. این آزمایش در یک دوره زمانی کاربرد نسبتاً وسیعی داشت، ولی امروزه تعداد افراد کمی هستند که صلاحیت ارزیابی ساختمان بلورین مقطع شکسته‌شده جوش را داشته باشند. بنابراین این آزمایش به‌رغم دیگر آزمایش‌ها چندان قابل اطمینان نیست.

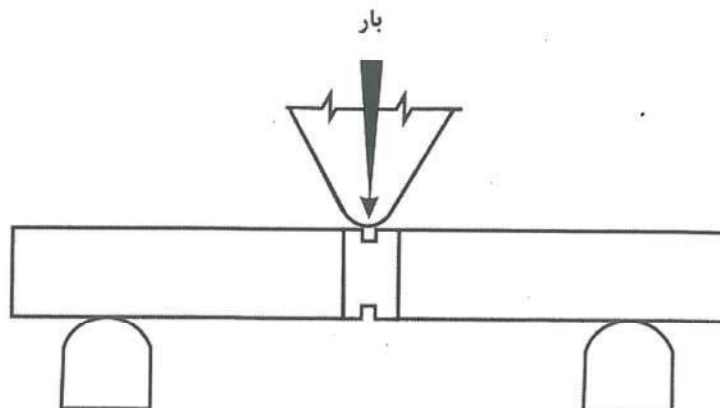
اندازه و شکل نمونه‌ها. مطابق شکل ۸ - ۱۸ می‌باشد.



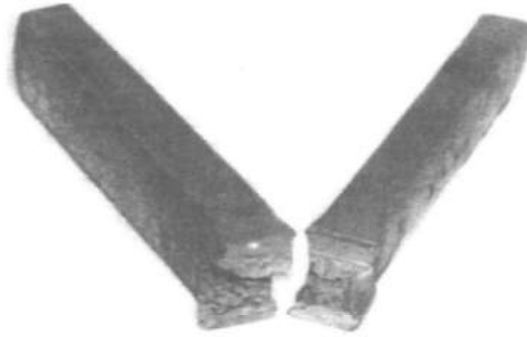
شکل ۸ - ۱۸ آزمون شکست نمونه زخم‌دار (ورق).

روش انجام آزمایش. گرده جوش از روی نمونه مورد آزمایش برداشته نمی‌شود. شکاری در هر دو وجه نمونه به کمک اهر ایجاد می‌گردد. سپس نمونه بر روی دو تکیه‌گاه ثابت قرار گرفته و با استفاده از چکش ضربه‌ای سریع و تیز مطابق شکل ۸ - ۱۹ به آن وارد می‌شود. این عمل باعث ایجاد شکست در قسمت زخم‌دار نمونه می‌گردد. فلز جوش از لحاظ معیابی نظیر حبس سرباره و اکسید، حفره‌های گازی و امتزاج ناقص فلز جوش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (شکل ۸ - ۲۰).

پذیرش نتایج. شرایط لازم برای پذیرش نمونه آزمایشی آن است که میزان تخلخل سطح شکسته شده نباید بیش از یک حفره گازی در هر سانتی‌متر مربع از سطح جوش باشد. حداکثر بعد هریک از حفره‌های فوق در هر امتداد نباید بزرگتر از ۱/۵ میلی‌متر باشد. همچنین مطالعه سطح شکسته باید امتزاج کامل فلز جوش و عاری بودن آن از اختلاط سرباره را نشان دهد.



شکل ۸ - ۱۹ روش شکستن نمونه زخم‌دار.



شکل ۸ - ۲۰ نمونه زخم‌دار بعد از شکست. مطالعه نشان می‌دهد جوش سالم و عاری از سرباره و اختلاط اکسید و سرباره و حفره‌های گازی بوده و میزان ذوب نیز کامل است.

ت) آزمایش کشش تمام مصالح

در این آزمایش مطابق شکل ۸ - ۲۱ نمونه‌ای از داخل جوش شیاری توسط عملیات ماشین‌کاری حاصل می‌گردد. این نمونه که جنس آن تماماً از مصالح جوش شده می‌باشد، تحت آزمایش کشش قرار گرفته و نمودار تنش - کرنش برای آن رسم می‌گردد. کرنش نظیر گسیختگی در این آزمایش بستگی به مصالح الکتروود دارد.

۸ - ۳ - ۴ آزمایش‌های مخرب جوش گوشه

آزمایش‌های مخرب جوش گوشه عبارتند از:

(الف) آزمایش کشش مستقیم برای برش طولی و برش عرضی (پ) آزمایش شکست نمونه کنج

(ب) آزمایش خمش هدایت‌شده جوش گوشه

الف) آزمایش کشش مستقیم برای برش طولی و برش عرضی

این آزمایش‌ها مقاومت برشی جوش گوشه را تعیین می‌کنند و معمولاً برای ارزیابی نحوه اجرای جوشکاری به کار می‌روند.

اندازه و شکل نمونه‌های آزمایشی. هندسه نمونه‌ها مطابق شکل‌های ۸ - ۲۲ تا ۸ - ۲۴ می‌باشد.

روش آزمایش. نمونه مورد نظر با کشیدن توسط دستگاه آزمایش کششی گسیخته می‌گردد. حداکثر بار وارده برحسب تن یا کیلونیوتن تعیین می‌شود.

الف - ۱) جوش عرضی. مقاومت برشی جوش برحسب kg/cm یا N/mm با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\text{حداکثر بار} \\ \text{عرض نمونه} \times 2 = (\text{نیرو بر واحد طول}) \text{ ظرفیت برشی جوش عرضی} \quad (۸ - ۱)$$

تنش مقاوم برشی جوش برحسب kg/cm^2 یا N/mm^2 با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{ظرفیت برشی جوش عرضی (نیرو بر واحد طول)} = \frac{\text{ظرفیت برشی جوش عرضی (نیرو بر واحد سطح)}}{\text{اندازه گروی جوش عرضی (واحد طول)}} \quad (۸ - ۲)$$

الف - ۲) جوش طولی. ظرفیت برشی جوش برحسب kg/cm یا N/mm از رابطه زیر به دست می‌آید:

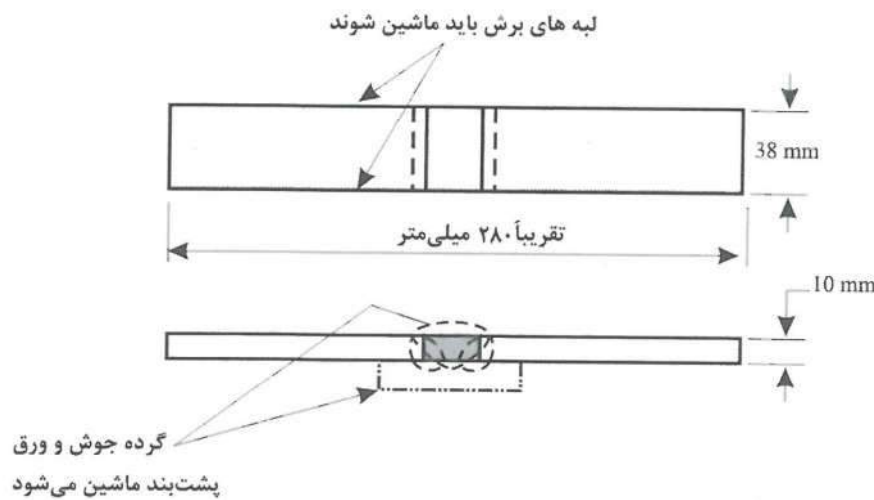
$$(۸ - ۳) \quad \text{ظرفیت برشی جوش طولی} = \frac{\text{حداکثر بار}}{\text{کل طول جوش}} = (\text{نیرو بر واحد طول}) \text{ ظرفیت برشی جوش طولی}$$

$$(۸ - ۴) \quad \text{ظرفیت برشی جوش طولی} = \frac{(\text{نیرو بر واحد طول}) \text{ تنش برشی نهایی جوش طولی}}{\text{اندازه گروی جوش طولی (واحد طول)}}$$

ب) آزمایش خمش هدایت شده جوش گوشه^۳

این آزمایش عدم سلامت فلز جوش در جوشکاری گوشه را مشخص می‌کند:

اندازه و شکل نمونه‌های آزمایش. هندسه نمونه مطابق شکل ۸ - ۲۵ می‌باشد.



شکل ۸ - ۲۵ نمونه آزمایش خمش هدایت شده جوش گوشه.

روش آزمایش. هر نمونه در قالبی که دارای سنبه و دیگر ملحقات نشان داده شده در شکل ۸ - ۱۴ می‌باشد، خمیده می‌شود. از هر وسیله مناسبی می‌توان جهت رانش سنبه به داخل قالب استفاده نمود. نمونه آزمایشی به گونه‌ای در روی دهانه قالب قرار می‌گیرد که جوش در وسط دهانه باشد. نمونه در جهتی قرار می‌گیرد که ریشه جوش رو به شکاف دستگاه باشد. پس از اعمال خمش، نمونه از داخل گیره خارج می‌شود.

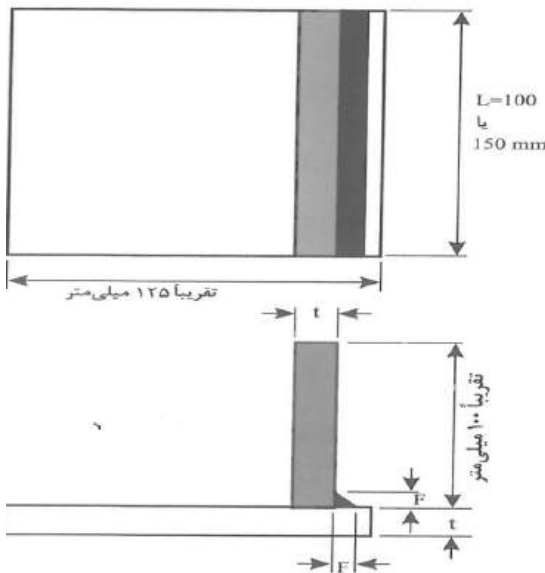
پندیرش نتایج. سطح محدب نمونه از لحاظ ظهور ترک‌های سطحی و دیگر معایب، بعد از آزمایش کنترل می‌شود. نمونه‌هایی که طول ترک ایجاد شده در آنها در هر جهت دلخواه بعد از انجام آزمایش خمش بیش از ۱/۵ تا ۳ میلی‌متر اندازه‌گیری شود، مردود می‌باشد. ترک‌های با طول کمتر از ۱/۵ میلی‌متر که در کنج‌های نمونه در حین آزمایش ایجاد می‌شود، شامل محدودیت فوق نیستند.

۴. طراحی درز جوش

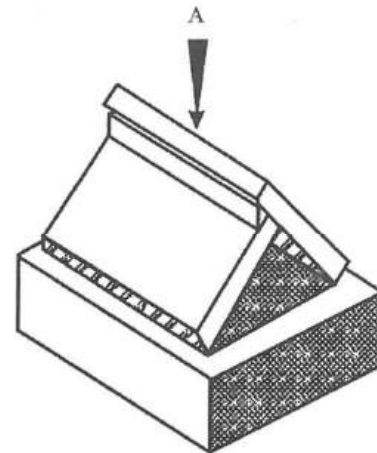
روش آزمایش. نمونه آزمایشی با اتصال یک ورق به ورق دیگر (تحت زاویه قائمه) مطابق شکل ۸ - ۲۶ توسط جوش گوشه ساخته می‌شود. سپس مطابق شکل ۸ - ۲۷ نمونه با اعمال فشار از طریق دستگاه آزمایش یا استفاده از چکش دستی شکسته می‌شود. با انجام این عمل جوش گوشه از ناحیه ریشه شکسته می‌شود (شکل ۸ - ۲۸).

فلز جوش شکسته از لحاظ معایبی نظیر حبس سرباره و اکسیدها در فلز جوش، وجود حفره‌های هوا، امتزاج ناقص، نفوذ ریشه و توزیع غیریکنواخت فلز جوش بررسی می‌شود.

پذیرش نتایج (روش AWS). جوش طبق شکل ۸ - ۲۸ باید در ناحیه گلو گسیخته شود. جوش انجام‌شده باید دارای نفوذ کامل در ریشه بوده و فاقد اثر حبس سرباره یا حفره گازی باشد.



شکل ۸ - ۲۶ نمونه آزمایش شکست جوش گوشه.



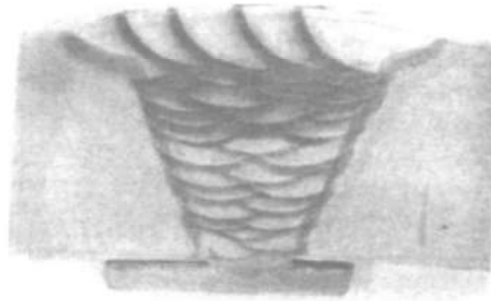
شکل ۸ - ۲۷ روش شکستن نمونه آزمایش شکست جوش گوشه.

۸-۳-۵-۱ آزمایش حک

اغلب باید مقطعی از جوش تهیه شده و پس از حک کاری برای عیب‌یابی مورد بررسی قرار گیرد. روش حک کاری میزان نفوذ فلز جوش و همچنین سلامت جوش را در مقطع مورد نظر مشخص می‌کند (شکل ۸ - ۲۹). بررسی جوش در مقطع مورد نظر با اهداف زیر دنبال می‌شود:

- تعیین سلامت جوش
- آشکار شدن مرزهای بین فلز جوش و فلز پایه و همچنین بین لایه‌های مختلف فلز جوش
- تعیین محل و عمق نفوذ جوش
- بررسی متالورژی ناحیه تفتیده (HAZ)

شکل ۸ - ۲۹ نمونه حک‌کاری شده فولاد کرم‌دار که جوش شیار
چند پاسه را در یک اتصال جناغی یکطرفه نشان
می‌دهد.



حک‌کاری عمیق، معایب بی‌ضرری نظیر ترک‌ها و تخلخل‌های کوچک را به‌طور اغراق‌آمیزی بزرگ نشان می‌دهد. بنابراین بازبینی سطحی باید به‌محض مشخص شدن واضح جوش انجام شود و حک‌کاری نباید به‌میزانی باشد که موجب تخریب حجم داخلی نمونه گردد. سطح مورد مطالعه ممکن است با استفاده از لایه نازکی از رنگ شفاف محافظت شود. در این صورت بازبینی سطح با استفاده از میکروسکوپ نوری بررسی شده یا با دوربین‌های مخصوص از ساختار داخلی آن عکس تهیه کرد.

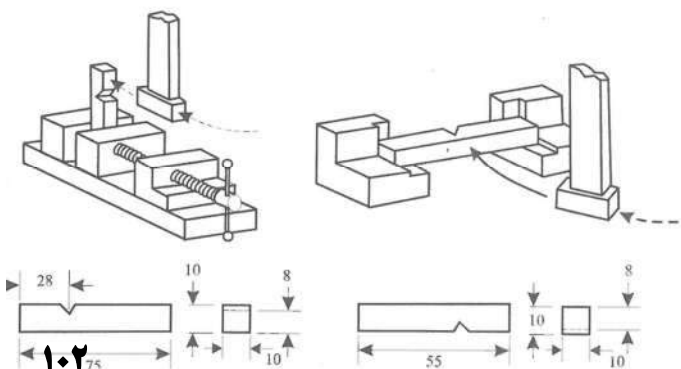
در این روش، یک مقطع عرضی از اتصال جوش‌شده جهت عملیات حک‌کاری بریده می‌شود. عمل برش درز اتصال با استفاده از یک اره دنده ریز انجام می‌شود. سطح فلز جوش و فلز پایه باید سوهان شود تا به یک سطح صاف تبدیل شده و سپس با سنباده ریز پرداخت شود. این سطح با یکی از انواع محلول‌های حک‌کاری پرداخت می‌شود که معروف‌ترین آنها اسیدنیتریک می‌باشد.

۸-۳-۵-۲ آزمایش ضربه

هدف از انجام آزمایش ضربه، تعیین مقاومت ضربه‌ای جوش و فلز پایه در یک سازه جوش‌شده می‌باشد. منظور از مقاومت ضربه‌ای، طاقت فلز در مقابل ضربه ناگهانی و سریع می‌باشد. این آزمایش اطلاعات لازم در مورد مقایسه طاقت ضربه‌ای فلز جوش و فلز پایه را فراهم می‌کند. یک جوش یا فلز ممکن است مقاومت کششی زیادی داشته و شکل‌پذیری بالایی در تنش‌های کششی از خود نشان دهد ولی تحت اثر ضربات ناگهانی و سریع دچار شکستگی شود که به‌خاطر فقدان طاقت ضربه‌ای مصالح است.

آزمون‌های شاری و ایزود

دو روش استاندارد برای آزمایش ضربه وجود دارد: آزمایش ایزود و آزمایش شاری. در این روش‌ها نمونه آزمایشی با یک ضربه می‌شکند و مقاومت ضربه‌ای نمونه برحسب واحد نیرو - طول که واحد کار و انرژی است، سنجیده می‌شود. (در فیزیک کار به‌صورت حاصل ضرب نیرو در جابه‌جایی نقطه اثر نیرو تعریف می‌شود) دو نوع نمونه آزمایشی مورد استفاده در این روش‌ها و در ضمن شیوه اعمال بار در مورد آنها در شکل ۸-۳۰ نشان داده شده است.



شکل ۸-۳۰ نمونه آزمایشی آزمون ضربه ایزود (شکل الف) و آزمون ضربه شاری (شکل ب) و روش اعمال بار در هر روش. نمونه‌های زخم‌دار (شیار V) مطابق شکل دارای زاویه پخی ۴۵ درجه و شعاع کف معادل ۰/۲۵ میلی‌متر در محل شیار می‌باشند.

۸ - ۴ آزمایش‌های غیرمخرب

آزمایش‌های غیرمخرب در برنامه کنترل کیفیت (QC) قرار می‌گیرند و از آن برای تأیید جوش تمام‌شده استفاده می‌شود. انواع آزمایش‌های غیرمخرب عبارتند از:

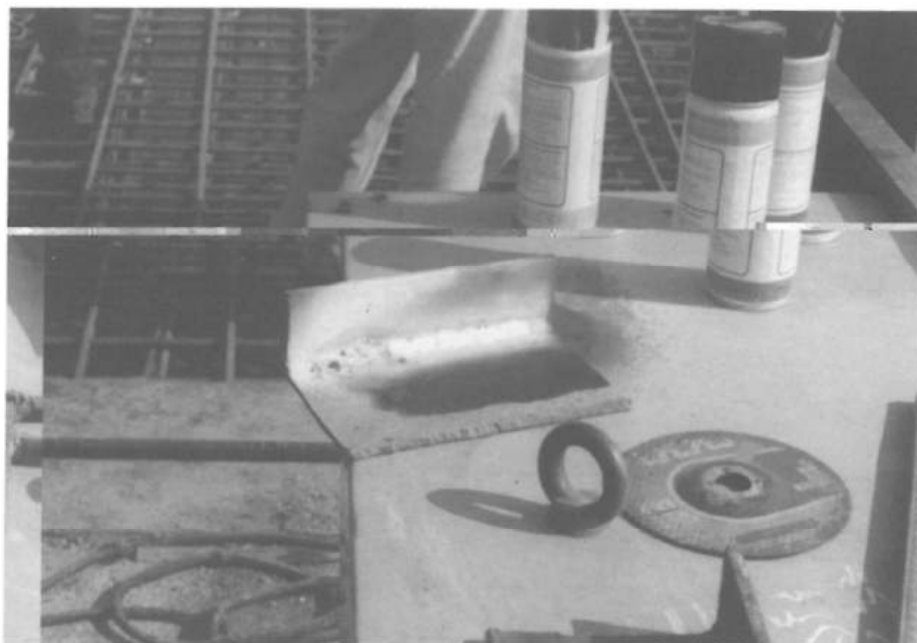
۸ - ۴ - ۱ بازرسی با مواد نافذ^۴ (PT)

بازرسی با مواد نافذ یکی از شیوه‌های غیرمخرب برای محلیابی معایب سطحی می‌باشد. مشابه روش پرتونگاری، این آزمایش برای فلزات غیرمغناطیسی نظیر فولاد ضدزنگ، آلومینیوم، منیزیم و تنگستن و پلاستیک‌ها نیز قابل کاربرد است. آزمایش با مواد نافذ جهت تشخیص عیوب داخلی قابل استفاده نمی‌باشد. محدودیت این آزمایش عدم امکان استفاده از آن برای مواد متخلخل (Porous) می‌باشد.

آزمایش با رنگ نافذ قرمز

سطح مورد بازرسی باید در ابتدا از لکه‌های روغن، گریس و مواد ناخالص و خارجی توسط ماده آماده‌ساز (پرایمر) تمیز شود. سپس ماده نافذ قرمز رنگی روی سطح پاشیده می‌شود که در داخل ترک‌ها و سایر ناهمواری‌ها نفوذ می‌کند. رنگ اضافی از روی سطح پاک‌شده و سپس یک مایع فوق‌العاده فرار حاوی ذرات ریز سفید رنگ بر روی سطح پاشیده می‌شود. این ماده به نام ماده ظهور (ظاهرکننده) خوانده می‌شود.

تبخیر مایع فرار باعث برجای ماندن گرد خشک سفید رنگ بر روی ماده قرمز نفوذ کرده در ترک‌ها می‌گردد و بر اثر عمل موینگی، ماده قرمز از ترک بیرون کشیده شده و پودر سفید کاملاً قرمز می‌شود. به همین جهت ترک مورد نظر به وضوح با این روش قابل شناسایی است (شکل ۸ - ۳۱).



شکل ۸ - ۳۱ آزمایش با رنگ نافذ در یک اتصال جوشی.

ضوابط پذیرش در آزمایش با رنگ نافذ، مطابق آیین‌نامه AWS، مانند ضوابط پذیرش بازرسی عینی می‌باشد.

۸-۴-۲ آزمون ذرات مغناطیسی^۵ (MT)

آزمون ذرات مغناطیسی یکی از آسان‌ترین آزمایش‌های غیرمخرب جوشکاری است. این آزمایش برای بررسی و بازبینی عیوب سطحی و نزدیک به سطح ورق‌ها قبل از جوشکاری و برای معایبی از قبیل ترک‌های سطحی، ذوب ناقص، تخلخل، بریدگی، نفوذ ناقص ریشه و اختلاط سرباره در نوار جوش به کار می‌روند. این روش محدود به مواد مغناطیسی‌شونده نظیر چدن، فولاد، نیکل و کروم بوده و برای مواد و فلزات غیرمغناطیسی مانند فولاد ضدزنگ، آلومینیوم و مس کاربرد ندارد. نام دیگر این آزمایش، روش پودر یا گرد مغناطیسی است.

این آزمایش که در شکل ۸-۳۲ نشان داده شده، محل ترک‌های داخلی و سطحی بسیار ریز را برای رؤیت با چشم غیرمسلح آشکار می‌کند. معایب موجود توسط این روش در عمقی معادل ۵ تا ۷ میلی‌متر زیر سطح جوش قابل تشخیص هستند. معایب عمیق‌تر با این روش قابل شناسایی نیستند.

قطعه مورد آزمایش با استفاده از جریان الکتریکی جهت ایجاد میدان مغناطیسی در داخل مصالح، مغناطیسی می‌گردد. سطح مغناطیسی‌شده قطعه، با لایه نازکی از یک گرد مغناطیسی نظیر اکسید آهن قرمز پوشیده می‌شود؛ این لایه گرد در صورت عدم وجود عیب در جوش یا فلز پایه به شکل میدان مغناطیسی و در راستای خطوط میدان می‌آید، ولی در صورت وجود هر گونه ناپیوستگی که موجب ایجاد نشت میدان گردد، با ایجاد دو قطبی جدید در محل عیب در آن نقطه تجمع پودر اتفاق می‌افتد که از این طریق ناپیوستگی مذکور آشکار می‌گردد.

ضوابط پذیرش در آزمایش ذرات مغناطیسی مطابق آیین‌نامه AWS، مانند ضوابط پذیرش بازرسی عینی است. مطابق استاندارد ASME، بازرسی آزمایشات PT و MT فقط مجاز به تعیین خطی یا کروی بودن عیب بوده و حد پذیرش و یا رد این عیوب نیز در استاندارد به شرح زیر می‌باشد:

۱ - کلیه نشانه‌ها (Indications) کوچکتر از ۱/۶ میلی‌متر قابل پذیرش می‌باشند.

۲ - کلیه عیوب خطی با ابعاد بزرگتر از ۱/۶ میلی‌متر غیرقابل پذیرش بوده و باید تعمیر گردد.

۳ - کلیه عیوب کروی با ابعاد بزرگتر از ۴/۸ میلی‌متر غیرقابل پذیرش بوده و باید تعمیر گردد.

لازم به ذکر است علایمی که طول آنها بزرگتر از سه برابر عرض آنها باشد به عنوان عیوب خطی ارزیابی می‌شوند.

۸-۴-۳ آزمون فراصوتی^۶

آزمون فراصوتی یکی از آزمایش‌های نسبتاً پیشرفته در رده آزمایش‌های غیرمخرب می‌باشد. این روش سریع بوده و قادر به تشخیص معایب داخلی بدون نیاز به قطعه جوش شده می‌باشد. چون این روش از نزدیک کنترل می‌شود، قابلیت ارایه اطلاعات دقیق و مورد نیاز قطعه جوش شده، بدون نیاز به یک سری عملیات پر کار را دارا می‌باشد. این روش هم معایب سطحی و هم نواقص داخلی فلز جوش و فلز پایه را مشخص، مکان‌یابی و اندازه‌گیری می‌کند.

آزمایش فراصوتی با انتشار امواج از یک فرستنده (بلور کوارتز تحت جریان متناوب)، که مشابه یک موج صوتی ولی با فرکانس بالاتری است، انجام می‌شود. موج‌های فراصوتی از داخل قطعه مورد آزمایش عبور داده می‌شوند و با هرگونه تغییر در تراکم داخلی قطعه، منعکس می‌شوند. امواج منعکس شده توسط گیرنده جذب شده و پس از تقویت، روی صفحه نمایشگر (اسیلوسکوپ) به صورت منحنی‌های ضربانی ظاهر می‌گردند. ارتفاع این منحنی‌های ضربانی نسبت به یک خط مبنا قابل تنظیم است.

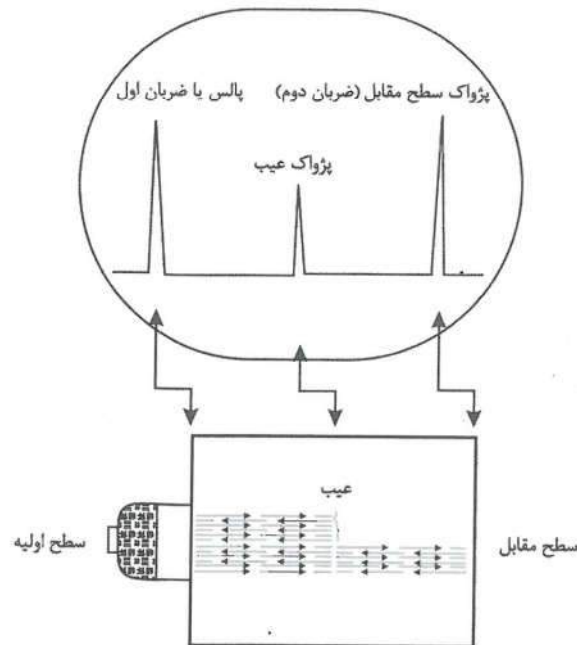


شکل ۸-۳۲ دستگاه آزمایش ذرات مغناطیسی.

هنگامی که واحد جستجوگر (پروب) روی مصالح مورد نظر قرار داده می‌شود (حداقل سطح پروب و سطح جسم باید به یک ماده روغنی به نام کوپلنت آغشته شود)، دو نوع پژواک بر روی صفحه نمایش ظاهر می‌شود. ضربان اول، انعکاس صدا از سطح رویی جسم که در تماس با دستگاه است و ضربان دوم مربوط به انعکاس موج از سطح مقابل است. فاصله بین این دو ضربان با دقت کالیبره می‌شود. این الگو نشان می‌دهد که مصالح در شرایط مناسبی از نظر معایب و نواقص داخلی قرار دارد. هنگامی که یک عیب یا ترک داخلی توسط واحد جستجو (پروب) پیدا شود، ضربان سومی بین ضربان اول و دوم بر روی صفحه نمایش ثبت می‌شود (شکل ۸-۳۳).

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

بنابراین مشخص می‌شود که محل این عیب بین سطوح بالا و پایین مصالح (در داخل جسم مصالح) می‌باشد. فاصله میان ضربان‌ها و ارتفاع نسبی آنها، محل و میزان سختی (تراکم) عیب مزبور را مشخص می‌کند. یک مورد از کاربرد روش آزمایش فراصوتی در شکل ۸ - ۳۴ برای بازرسی اتصال جوشی بال فوقانی تیر به ستون نشان داده شده است.



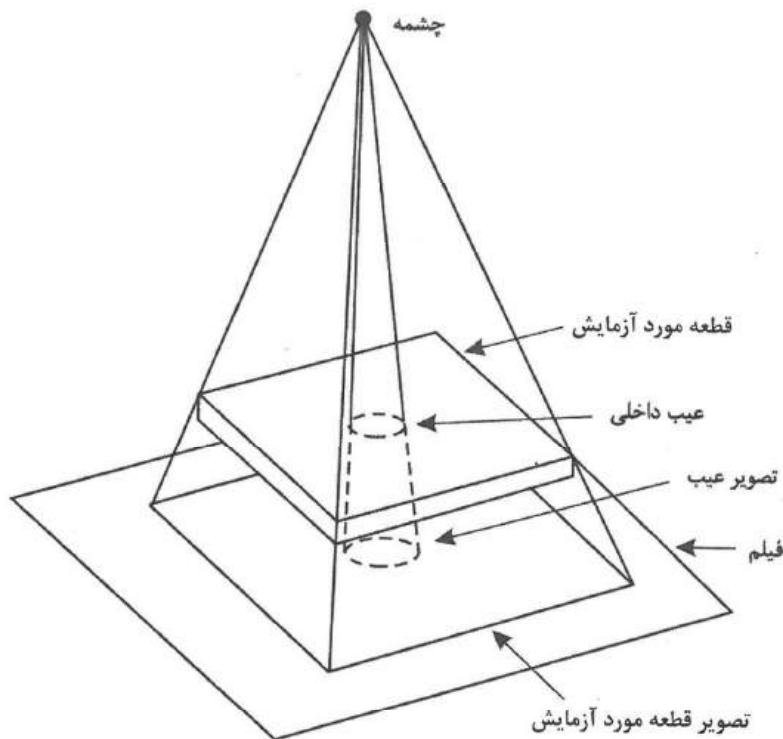
شکل ۸ - ۳۳ انعکاس امواج در برخورد با سطوح ورق و عیب، به صورت امواج ضربانی بر روی صفحه نمایش ظاهر می‌شوند.

۸-۴-۴ آزمون پرتونگاری^{۳۱} (RT)

پرتونگاری یکی از روش‌های آزمایش غیرمخرب می‌باشد که نوع و محل عیوب داخلی و بسیار ریز (میکروسکوپی) جوش را نشان می‌دهد. در این روش دو نوع پرتو X یا گاما مورد استفاده قرار می‌گیرد. اشعه گاما به خاطر طول موج کوتاه خود می‌تواند در ضخامت‌های نسبتاً زیادی از مواد نفوذ کند، در ضمن زمان تابش^{۳۲} اشعه به قطعه مورد پرتونگاری در مورد اشعه گاما نسبت به اشعه X بسیار طولانی‌تر می‌باشد. فیلم‌های به دست آمده از پرتونگاری با اشعه X به نام ایکس نگار و فیلم‌های به دست آمده از کاربرد اشعه گاما، به نام گامانگار خوانده می‌شوند. این دو نوع فیلم در حالت کلی به نام پرتونگار خوانده می‌شوند.

در آزمایش پرتونگاری یک عکس از وضعیت داخلی فلز جوش گرفته می‌شود. در حین عکس‌برداری، فیلم در یک طرف و منبع پرتوزا (X یا گاما) در سمت دیگر قطعه قرار می‌گیرد.

پرتو رادیویی در ضخامت فلز نفوذ کرده و پس از عبور از این ضخامت لکه‌ای بر روی صفحه فیلم ایجاد می‌کند. میزان جذب پرتوهای رادیویی توسط مواد مختلف متفاوت است. حبس سرباره، حفره گازی، ترک‌ها، بریدگی‌های کناره جوش و قسمت‌های نفوذ ناقص جوش، تراکم کمتری نسبت به فولاد سالم دارند. بنابراین در حوالی این قسمت‌ها پرتو بیشتری به سطح فیلم می‌رسد و عیوب فلز جوش، به صورت لکه‌های تاریکی بر روی فیلم ثبت می‌شوند. این شیوه پرتونگاری حضور معایب مختلف در فلز جوش و فلز پایه را مسجل کرده و اندازه، شکل و محل آنها را ثبت می‌کند (شکل‌های ۸ - ۶۱ و ۸ - ۶۲).



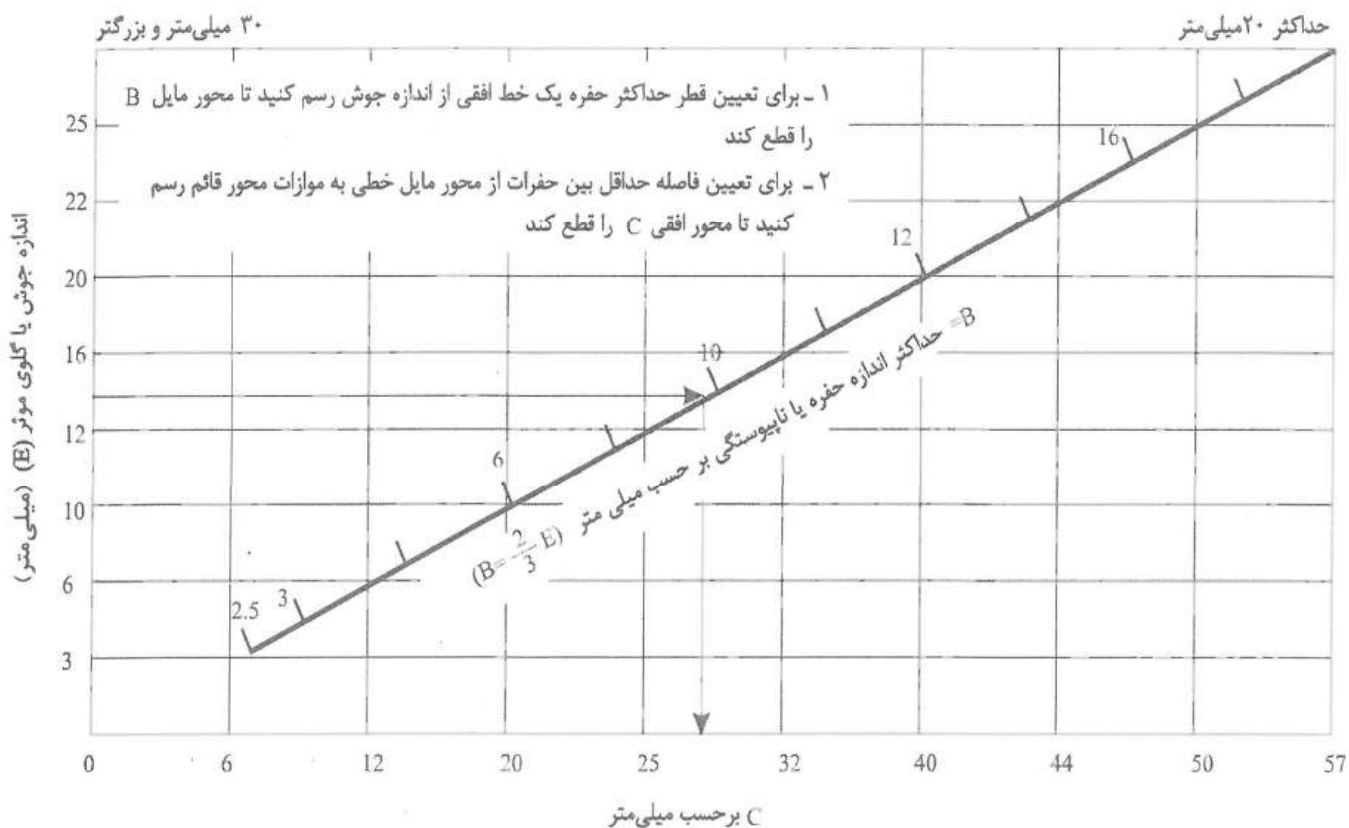
شکل ۸-۶۱ طرح شماتیک آزمایش پرتونگاری.

۸-۴-۱ ضوابط پذیرش بازرسی‌های پرتونگاری

در عکس‌های پرتونگاری، جوش نباید حاوی ترک باشد. شرایط پذیرش سایر ناپیوستگی‌ها (حفرات) بستگی به هندسه حفره دارد که آیا سوزنی است یا گرد. حفره سوزنی آن است که نسبت طول به عرضش بزرگتر از ۳ باشد. در حفره گرد، نسبت طول به عرض مساوی و یا کوچکتر از ۳ می‌باشد و از لحاظ شکل می‌تواند به صورت گرد یا نامنظم دمدار باشد. در صورتی که ابعاد حفرات آشکار شده در عکس‌های پرتونگاری بزرگتر از محدودیت‌های زیر باشد، غیرقابل پذیرش خواهند بود ($E =$ اندازه جوش).

- (۱) حفره سوزنی که اندازه آن بزرگتر از اندازه نشان داده شده در شکل ۸-۶۳ باشد.
- (۲) حفراتی که فاصله آنها کوچکتر از حداقل فاصله نشان داده شده در شکل ۸-۶۳ باشد.
- (۳) حفرات گرد با اندازه بزرگتر از $E/3$ یا ۶ میلی‌متر. در صورتی که ضخامت قطعه بزرگتر از ۵۰ میلی‌متر باشد، محدودیت ۶ میلی‌متر می‌تواند به ۱۰ میلی‌متر افزایش یابد. حداقل فاصله آزاد این نوع حفره با بعد بزرگتر از ۲ میلی‌متر، تا یک حفره سوزنی و یا گرد قابل پذیرش و یا تا لبه جوش تقاطعی، سه برابر بزرگترین بُعد حفره مورد نظر است.

(۴) خوشه حفرات گرد که مجموع بزرگترین بُعد آنها، بزرگتر از اندازه مجاز حفره تک طبق شکل ۸ - ۶۳ است. فاصله حداقل هر خوشه تا خوشه یا حفره تک بعدی یا انتها و یا لبه جوش متقاطع، مساوی مقدار C در شکل ۸ - ۶۳ می‌باشد.



C = حداقل فاصله آزاد بین لبه دو ناپوستگی در امتداد طولی

شکل ۸ - ۶۳ شرایط پذیرش ناپوستگی یا حفرات سوزنی آشکار شده در عکس‌های پرتونگاری برای جوش‌ها تحت بار استاتیکی.

- (۵) مجموع بُعد حفرات تک با بُعد حداکثر ۲ میلی‌متر، در هر ۲۵ میلی‌متر طول جوش، نباید بزرگتر از $2E/3$ یا ۱۰ میلی‌متر (هر کدام که کوچکتر است)، باشد. این محدودیت مستقل از بندهای ۱ و ۲ و ۳ می‌باشد.
- (۶) در حفرات سوزنی وقتی که مجموع بُعد بزرگتر حفرات، بزرگتر از E در هر 6E طول نوار جوش باشد. وقتی که کل نوار جوش کوچکتر از 6E باشد، مقدار مجاز مجموع حفرات، به تناسب کاهش می‌یابد.
- در شکل‌های ۸ - ۶۴ و ۸ - ۶۵ کاربرد بند ۴ - ۴ - ۱ به صورت تصویری نشان داده شده است.

۸-۴-۵ آزمایش جریان گردابی^{۳۳}

آزمایش جریان گردابی (یا جریان القایی: جریان الکتریکی که در داخل یک جسم فلزی بر اثر قرار گرفتن آن در داخل یک میدان مغناطیسی القا می‌شود) مشابه روش ذرات مغناطیسی، از انرژی الکترومغناطیسی جهت آشکارسازی معایب و نواقص در مصالح استفاده می‌کند.

این روش هم برای مصالح آهن‌دار و هم ترکیبات غیرآهنی مناسب بوده و به‌ویژه در بازرسی جوشکاری خطوط لوله کاربرد دارد. این شیوه عیوبی از قبیل تخلخل، نفوذ یا اختلال گل جوشکاری، ترک و ذوب ناقص فلز جوش را ظاهر می‌سازد.

۸-۴-۶ آزمایش نشت

آزمایش جوش در مقابل نشت یا تراوش مایعات با کاربرد فشار باد یا فشار هیدرولیکی انجام می‌شود. فشار وارد شده برابر یا بزرگتر از مقدار فشار مورد انتظار وارد بر سازه در شرایط بهره‌برداری است. اگر آزمایش فقط برای تعیین نشتی انجام می‌شود، اعمال فشاری بیش از فشار بهره‌برداری وارد بر جوش لازم نیست. ولی اگر گسیختگی قطعه جوش شده صدمات مالی و جانی بزرگی را در پی داشته باشد، فشاری اضافه بر شرایط بهره‌برداری اعمال خواهد شد. این روش معمولاً برای آزمایش جوشکاری مخازن تحت فشار و خطوط لوله به‌کار می‌رود. اگر آزمایش از نوع مخرب باشد، فشار تا حد ترکیدن (گسیختگی) قطعه مورد نظر وارد می‌شود (شکل ۸-۶۶).

در این آزمایش معمولاً از آب جهت تعیین محل نشت استفاده می‌شود ولی روزه‌های خیلی کوچک همیشه با آب قابل تشخیص نیستند. با استفاده از هوا یا روغن تحت فشار و چسبندگی کم، امکان شناسایی این موارد نیز وجود دارد.

۸-۴-۷ آزمایش سختی

اغلب آزمایش سختی فلز جوش و فلز پایه در محدوده جوشکاری علاوه بر بازرسی کیفی جوش، مهم می‌باشد. اطلاع از میزان سختی جوشی که ماشین‌کاری می‌شود یا در معرض ساییدگی قرار دارد، مهم و ضروری است. تعدادی آزمایش سختی به‌شیوه غیرمخرب وجود دارد که انتخاب هر نوع بستگی به نوع مصالح مورد آزمایش دارد.

۸-۴-۷ آزمایش سختی

اغلب آزمایش سختی فلز جوش و فلز پایه در محدوده جوشکاری علاوه بر بازرسی کیفی جوش، مهم می‌باشد. اطلاع از میزان سختی جوشی که ماشین‌کاری می‌شود یا در معرض ساییدگی قرار دارد، مهم و ضروری است. تعدادی آزمایش سختی به‌شیوه غیرمخرب وجود دارد که انتخاب هر نوع بستگی به نوع مصالح مورد آزمایش دارد.

۸-۴-۸ زمان انجام آزمایش پس از جوشکاری

به‌غیر از جوشکاری ورق‌ها با تنش تسلیم F_y بزرگتر از ۶۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، تمام بازرسی‌های غیرمخرب جوشکاری را می‌توان بلافاصله بعد از خنک شدن جوش انجام داد. در مورد جوشکاری فولادهای خیلی پُر مقاومت ($F_y > 6000 \text{ kg/cm}^2$)، بازرسی‌ها ۴۸ ساعت بعد از خنک شدن جوش آغاز می‌شود.

۹-۳ عملیات برشکاری و آماده‌سازی لبه‌ها

عملیات برشکاری برحسب ضخامت ورق می‌تواند به کمک برش حرارتی و یا برش گیوتینی انجام پذیرد. برای انجام عملیات برشکاری به روش حرارتی، ابتدا شاسی‌های مناسبی که ورق یا پروفیل را در وضعیت تخت و تراز قرار می‌دهند، ساخته می‌شوند. در شکل ۹-۲ تصویری از شاسی‌های برش نشان داده شده است.

بعد از استقرار ورق در روی شاسی و خط‌کشی آن، ریل‌گذاری انجام شده و دستگاه برش خودکار بر روی ریل مستقر می‌گردد (شکل ۹-۳). برحسب ضخامت ورق، اپراتور سرعت حرکت مناسبی برای دستگاه برش تنظیم می‌نماید و دستگاه با حرکت به سمت جلو عملیات برش را به صورت خودکار تحت نظارت اپراتور انجام می‌دهد. پس از انجام برش‌های اصلی، به دستگاه برش حرارتی زاویه داده می‌شود و این بار با انجام برش زاویه‌دار، پخی لازم به لبه‌ها جهت انجام جوش شیاری داده می‌شود (شکل ۹-۴). عملیات آماده‌سازی لبه‌ها برای ضخامت‌های کم را می‌توان به کمک دستگاه لبه‌زن انجام داد. با توجه به اینکه لبه‌زن، زاویه مورد نظر را با له کردن ورق ایجاد می‌نماید، لبه به وجود آمده از کیفیت مناسبی برخوردار نیست و پس از جوشکاری، ترک‌هایی در نواحی مجاور جوش به وجود می‌آید. به علت به وجود آمدن انقباض که در نتیجه برش هوا رخ می‌دهد، در صورتی که ورق از یک طرف بریده شود، به صورت شمشیری در می‌آید. به همین دلیل باید هر دو سمت ورق بال به صورت همزمان برش داده شوند. می‌توان این عملیات را با یک دستگاه برش که دارای چندین مشعل می‌باشد، به طور همزمان انجام داد (شکل ۹-۶ پ). در مورد تیرها و شاهتیرهایی که دارای انحنای افقی می‌باشند، ورق‌های بال با انحنای مشخصی به وسیله برش هوا بریده می‌شود.

عملیات سوراخ‌کاری

پس از عملیات برش، در صورت نیاز عملیات سوراخ‌کاری انجام می‌شود. انجام عملیات سوراخ‌کاری به دو روش ممکن است:

۱ - مته (شکل‌های ۹-۷ الف و ب)

۲ - دستگاه پانچ (ضربه‌زن) (شکل ۹-۷ ت)

سوراخ ایجاد شده توسط مته از کیفیت بسیار خوبی برخوردار است ولی عملیات مربوطه پرهزینه می‌باشد. عملیات مته‌کاری معمولاً توسط مته‌های رادیال انجام می‌شود (شکل ۹-۷ ب) که دارای بازده خوبی می‌باشد. در صورتی که ضخامت ورق در حد کم یا متوسط (تا حدود ۱۵ میلی‌متر) باشد، انجام سوراخ‌ها توسط دستگاه سوراخ‌زن (پانچ) انجام می‌شود. آزمایشات نشان می‌دهند که در پیرامون سوراخ‌های ایجاد شده توسط دستگاه سوراخ‌زن، ترک‌های میکروسکوپی وجود دارد که در محاسبات تأثیر این ترک را با افزودن قطر سوراخ به مقدار ۲ میلی‌متر منظور می‌نمایند. راه حل میانه این است که ابتدا سوراخی با قطر کوچکتر توسط دستگاه سوراخ‌زن ایجاد شود و سپس توسط مته‌کاری گشاد شده و به قطر مورد نظر افزایش یابد.

۹-۴ ساخت اعضا

روش ساخت اعضا برحسب اینکه از ورق ساخته شوند و یا پروفیل، متفاوت خواهد بود. در صورتی که اعضا از ورق ساخته شوند، مراحل کار به صورت زیر است:

۱- برشکاری

۲- تسمه سازی - یعنی یکسره کردن ورق ها و انجام جوش درزهای آنها در روی شاسی و بازرسی جوش درزها

۳- مونتاژ اولیه - یعنی مونتاژ بال و جان و خال جوش کردن آن در داخل قالب

۴- جوش اولیه - تکمیل جوشکاری بال و جان یا جوش سخت کننده های ستون های جعبه ای

۵- مونتاژ صفحه ستون یا فلنج تیر

۶- تابگیری

۷- مونتاژ سخت کننده ها و سایر الحاقیات هسته ستون یا مونتاژ وجه چهارم در ستون های جعبه ای

۸- جوش ثانویه - تکمیل جوش هسته ستون و یا تیر

۹- مونتاژ نهایی - ملحقات ستون (دستک، ورق زیرسری، ورق بادبند و...) ۱۰- جوش نهایی

در مواقعی تقدم و تأخر ردیف های ۲ و ۳ عوض می شود؛ یعنی ورق های بال و جان مونتاژ می شوند و سپس جوش درزها انجام می شود. این کار هر چند ممکن است از نظر کنترل تغییر شکل ها مفید باشد، لیکن به علت به وجود آمدن دو عیب عمده زیر غیرمجاز می باشد:

۱- ایجاد تنش های پسماند با توجه به قیدهای موجود در مقابل تغییر شکل های حرارتی جوش و فلز

جوش شده.

۲- دشواری اجرای جوش درزها به صورت پیوسته و بی عیب.

۹-۴-۱ تسمه سازی

تسمه سازی فقط در مورد اعضای ساخته شده از ورق به کار می رود. از آنجایی که ورق به صورت رول برش خورده و یا اغلب به طول ۶ متری برش خورده در بازار موجود می باشد و از طرفی اکثر دستگاه های برش گیوتین قابلیت برش ورق تا طول ۶ متر را دارا می باشند، جهت ساخت اعضای سازه نظیر ستون ها و یا حتی شاه تیرها که دارای طول بیش از ۶ متر می باشند تسمه سازی امری اجتناب ناپذیر می باشد.

در تسمه سازی باید از تسمه ورق های صاف و بدون پیچیدگی و یا شمشیری استفاده شود. مونتاژ و یا سر هم کردن صحیح تسمه ها و رعایت محل قرارگیری بندهای جوش در قطعه نهایی از نکات بسیار مهم در کیفیت نهایی و کارایی تیرورق ها می باشد.

در مرحله مونتاژ، تسمه ها روی یک شاسی مسطح در راستای یک سری صفحات عمودی کوچک (به صورت لچکی) که از قبل به صورت ریسمانی در یک راستا قرار گرفته اند، قرار می گیرند و درز جوش ها هم راستا شده و با خال جوش و ناودان کنار جوش به هم متصل می شوند.

قطعاتی که با جوش شیاری به صورت لب به لب به یکدیگر متصل می شوند، باید هم باد یکدیگر قرار گرفته و به وسیله پیچ، گیره، گوه، قید و یا خال جوش تا اتمام جوشکاری در وضعیت خود تثبیت شوند. در صورت امکان استفاده از قید و قالب، توصیه می شود آزادی های مناسب برای جمع شدگی و تابیدگی وجود داشته باشد.

۵. عیب‌های جوش

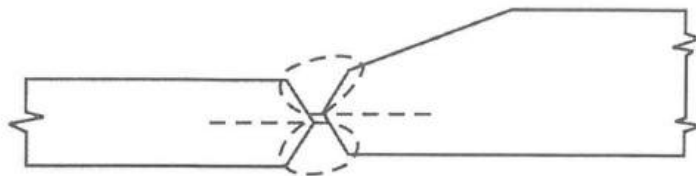
پل زده و پایین نمی‌ریزد. درز جناغی ممکن است به صورت یکطرفه (V) یا دوطرفه (X) باشد. در هر دو صورت، ریشه باید از سمت دیگر سنگ خورده و یک عبور جوش انجام شود. این امر سلامت درز جوش را تضمین می‌کند. در ورق‌های نازک، استفاده از جوش جناغی یکطرفه (V) کافی است، لیکن با افزایش ضخامت ورق، استفاده از درز جناغی دوطرفه ترجیح دارد. به‌خاطر داشته باشید که در درز V، تغییر شکل زاویه‌ای بیشتر است و با افزایش ضخامت ورق، به‌سرعت افزایش می‌یابد.

۹-۴-۱ هم‌راستا کردن ورق‌ها

هم‌راستا کردن جهت افزایش و بهبود عملیات جوشکاری ضروری است. قرارگیری درزهای لب به لب جان و بال در یک صفحه، تا حد زیادی هم‌راستا کردن ورق بال و جان را ساده می‌نماید.

شکل ۹-۸ یک درز لب به لب X غیر هم‌راستا را در بال یک شاتیر، در نقطه تغییر مقطع نشان می‌دهد. این عدم هم‌راستایی، حصول یک ریشه سالم و جوش بی‌عیب را مشکل می‌نماید.

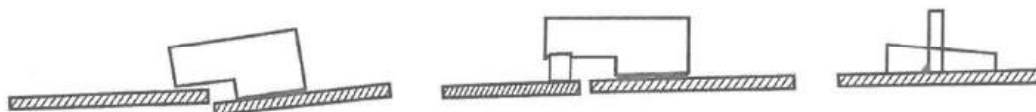
حتی در صورت هم‌راستایی کامل در ورق جان، ورق بال می‌تواند تحت غیر هم‌راستایی قرار گیرد. کج شدن ناگهانی بال‌ها در خلال ساخت، عدم دقت در جابه‌جایی به‌محل اجرا، یا حتی یک اختلاف در هلالی شدن در بال می‌تواند چنین شرایطی را ایجاد کند. مشکل هلالی شدن، با اندازه جوش گوشه جان به‌بال، افزایش پیدا کرده و با زیاد شدن ضخامت بال تیر کاهش می‌یابد.



شکل ۹-۸ هم‌راستا کردن ورق‌ها.

روش‌های مختلفی برای تصحیح این شرایط وجود دارد که شکل ۹-۹ یکی از این روش‌ها را نشان می‌دهد. زمانی که ورق‌ها زیاد ضخیم نیستند، می‌توان گیره‌های کوچکی به‌انتهای یکی از ورق‌ها جوش داد. راندن یک گوه فولادی بین هر گیره و ورق دیگر، لبه‌ها را هم‌راستا می‌نماید. جوش دادن گیره‌ها در یک سمت، تا حد زیادی برداشتن آنها را تسهیل می‌کند.

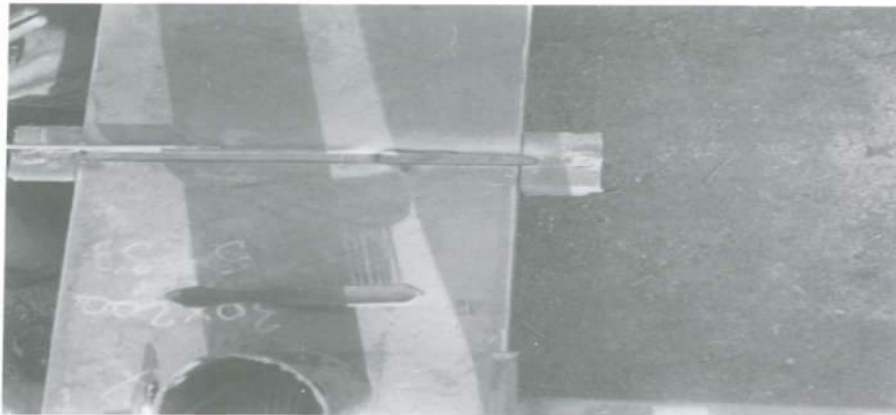
شکل ۹-۱۰ هم روش دیگری را که معمولاً در مورد بال‌های ضخیم‌تر، مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد.



شکل ۹-۹ گیره فقط در طول یک لبه جوش می‌شود، بنابراین می‌تواند به‌راحتی با یک چکش برداشته شود. گوه فولادی به‌منظور قرار دادن لبه‌های ورق در یک ردیف به‌زیر گیره رانده می‌شود.

۹-۴-۱ ریزش انتهای جوش

به علت ریزش مواد مذاب جوش، انتهای جوش درزهای لب به لب به صورت تمام ضخامت در نمی‌آید. برای رفع این عیب، غالباً در انتهای درز، به کمک تسمه، اضافه‌طولی برای درز ایجاد می‌شود که بعد از اتمام عملیات جوشکاری، این قطعه سنگ زده می‌شود (شکل‌های ۹-۱۱ و ۹-۱۲). تعبیه این جزییات در درزهای بال بسیار مهم‌تر می‌باشد. به این اضافه‌طول، ناودان گویند.



شکل ۹-۱۴ تکمیل جوش شیاری و ناودان انتهایی.

۹-۴-۲ مونتاژ ورق‌های بال و جان مقاطع I شکل

در ساخت تمام‌خودکار، ابتدا ورق بال و جان با خال جوش به هم متصل شده و سپس توسط جوش زیرپودری نوار جوش کامل می‌شود. تیروورق‌ها را می‌توان به وسیله یکی از روش‌های زیر مونتاژ نمود:

۱ - نخست یک بال بر روی زمین به صورت تخت قرار داده شده و محور آن توسط گچ علامت زده می‌شود. در این حالت گیره‌های قائم کوچکی در فواصل مشخصی نسبت به یکدیگر در طول بال، در نزدیکی خط میانی آن خال جوش می‌شوند (شکل ۹-۱۵). سپس جان تیروورق به صورت قائم بر روی بال قرار گرفته و به طور موقت با قطعات مهاری موقت که بین جان و بال جوش شده‌اند، نگه داشته می‌شود. گیره‌ها در طول بال، موقعیت جان را در طول خط میانی بال حفظ می‌کنند. حال می‌توان ورق بال فوقانی را در بالای جان نصب و خال جوش کرد. این روش در مورد تیرهای مستقیم با ارتفاع کم و متوسط به کار می‌رود.

می‌توان تیروورق را با خواباندن ورق جان بر روی قالب در موقعیت افقی مونتاژ نمود (شکل ۹-۱۶). در این روش بعد از خواباندن جان بر روی قالب، ورق‌های بال در موقعیت خودشان قرار گرفته و با وسایلی نظیر گوه^۱، پیچ^۲، جک^۳ و یا در بعضی شرایط هوای فشرده، به دو لبه جان محکم می‌شوند. قالب به صورت خودکار، بال را در موقعیت مشخص به صورت قائم نگه می‌دارد.

اگر جان لاغر و یا عمیق (با ارتفاع زیاد) باشد، باید احتیاط کرد که فشار زیادی بر روی بال‌ها وارد نشود، چرا که می‌تواند باعث کمانه کردن جان به سمت بالا شود (شکل ۹ - ۱۷). از آنجایی که بال‌ها به صورت قائم بر روی پایه نگه داشته می‌شوند، زمانی که فشار از روی آنها برداشته شده و جان به صورت اولیه درمی‌آید، امکان دارد که بال‌ها بچرخند و دیگر نسبت به هم موازی نباشند.

تیرهای ماهیچه‌ای به شکل شکم ماهی^۴، معمولاً با خواباندن جان به صورت افقی مشابه روش بال قائم مونتاژ می‌شوند. اما در عین حال برخی از این گونه تیرها که زیاد عمیق نیستند، به روش جان قائم مونتاژ می‌شوند (شکل ۹ - ۱۸). در این روش بال مستقیم فوقانی روی قالب قرار داده شده، و جان به صورت قائم در موقعیت خود قرار می‌گیرد، در این حالت بال تحتانی، روی قسمت فوقانی قرار داده شده و با کمی فشار و یا حرارت در مقابل لبه منحنی جان محکم می‌شود.

۹-۴-۳ مونتاژ مقاطع جعبه‌ای

ستون‌های جعبه‌ای داری دو بال و دو جان می‌باشند و در اکثر سازه‌های ساختمانی با اسکلت فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به عدم امکان دسترسی به داخل ستون پس از بسته شدن آن و در نتیجه عدم امکان جوشکاری سخت‌کننده‌های داخلی آن در مرحله مونتاژ اولیه، یک وجه از چهار وجه ستون نباید مونتاژ شود. ترتیب کار به این شکل است که مطابق مونتاژ I شکل ابتدا یک قالب یا فیکسچر مناسب در روی یک شاسی ساخته می‌شود. در اینجا مونتاژ بر روی یک بال انجام می‌شود، و دو جان ستون مطابق نقشه‌های کارگاهی با رعایت فاصله آنها از لبه بال، روی بال زیرین مونتاژ می‌شوند. (شکل ۹ - ۱۹)

جهت مونتاژ دو وجه جان روی بال زیرین، ابتدا تعدادی ورق‌های کوچک که به صورت گونیا بریده شده‌اند از داخل، روی بال، خال جوش می‌شوند به نحوی که دو ورق جان پس از چسبیدن به آنها در محل نهایی خود قرار گرفته باشد. لازم به ذکر است این ورق‌های کوچک پس از تکمیل مونتاژ ورق‌های جان برداشته شده و جهت ساخت ستون‌های بعدی به کار می‌روند. پس از مونتاژ ورق‌های جان روی بال، باید این ورق‌ها روی بال گونیا شوند که این امر توسط مونتاژ کار به وسیله ابزار مناسب نظیر گوه، پتک آهنگری و گونیا انجام می‌شود.

ورق‌های سخت‌کننده نیز در این مرحله مطابق نقشه‌های کارگاهی در داخل ستون جعبه‌ای (که اکنون به صورت یک مقطع U شکل می‌باشد) مونتاژ می‌شود. این کار با رعایت اضافه طول مناسب جهت جمع‌شدگی پس از جوشکاری، که متناسب با ضخامت ورق و اندازه جوش بال به جان می‌باشد، صورت می‌گیرد.

در ستون‌های جعبه‌ای در حالت U شکل، جهت جلوگیری از تغییر شکل و ناگونایی جان و بال نسبت به هم از میله‌های مهاری در سرتاسر طول ستون استفاده می‌شود. این کار از ناحیه داخل ستون به صورتی انجام می‌شود که دو جان نسبت به هم و نسبت به بال ستون مهار شده باشد.

مونتاژ وجه چهارم ستون‌های جعبه‌ای

پس از تکمیل جوش سخت‌کننده‌های داخل ستون‌های جعبه‌ای، نوبت مونتاژ وجه چهارم این ستون‌ها می‌رسد.

قبل از مونتاژ وجه چهارم باید کلیه جوش‌های داخل ستون مورد بازرسی و تأیید مهندس ناظر یا بازرس جوش

ساختمان قرار گرفته و پس از تأیید، مونتاژ وجه چهارم مجاز می‌باشد.

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

تاب‌گیری و صاف کردن ورق وجه چهارم قبل از مونتاژ الزامی می‌باشد. مونتاژ وجه چهارم در این نوع ستون‌ها عموماً به‌یک‌ی از دو روش زیر انجام می‌شود:

۱ - ورق وجه چهارم به‌صورت کامل بندزنی و جوش شده و جهت اتصال به سخت‌کننده‌های داخلی از جوش کام استفاده می‌شود.

در این روش محل قرارگیری سخت‌کننده‌ها در زیر وجه چهارم توسط مونتاژ کار مربوطه با دقت اندازه‌گیری شده و روی ورق خط کشی می‌شود. ابعاد و شکل درز جوش کام مطابق نقشه‌ها و آیین‌نامه می‌باشد. (شکل ۹ - ۲۰)

کلیه برش‌ها باید توسط برش خودکار و با دقت انجام شود.

وجه چهارم باید به‌طور کامل به‌لبه‌های جان چسبیده و نسبت به آنها گونیا باشد. می‌توان با استفاده از یک قطعه U شکل و گوه، وجه چهارم را تا حد ممکن به‌لبه‌های جان ستون چسباند. در صورتی که لبه‌های درز جوش کام، نیاز به سنگ‌زنی داشته باشد، باید قبل از مونتاژ کامل، عملیات سنگ‌زنی و آماده‌سازی لبه روی آن انجام شود.

۲ - وجه چهارم ستون به‌صورت تکه تکه در حداث‌ها میان ترازهای ستون روی U مونتاژ شده به‌نحوی که ورق‌های سخت‌کننده را بتوان به آن از داخل جوشکاری نمود (شکل ۹ - ۲۰). عموماً این روش در مورد مقاطع بزرگ کاربرد دارد. اتصال ورق‌های بال به هم نیز به‌صورت شیاری با ورق پشت‌بند انجام می‌شود. کلیه موارد در خصوص گونیا بودن این وجه نسبت به ستون که در روش اول گفته شد در این موارد نیز صادق می‌باشد.

۹-۴-۴ جوشکاری بال و جان

چنانچه تیروورق‌ها، تیرجعبه‌ها و یا ورق‌های تقویتی^۵، متقارن باشند، چهار نوار جوش به‌خوبی در حول محور خنثای مقطع متعادل می‌شوند و در نتیجه انحنای حاصل از جوشکاری بسیار کم خواهد بود (شکل ۹ - ۲۱). ترتیب و توالی جوشکاری خودکار جهت انجام چهار نوار جوش، می‌تواند بدون تأثیر عمده‌ای در تغییر شکل متفاوت باشد. در بیشتر حالات، توالی و ترتیب جوشکاری، تابعی از نوع قالب به‌کار رفته و روش حرکت تیر از یک موقعیت جوشکاری به موقعیت دیگر در کارگاه می‌باشد.

در شکل ۹ - ۲۲ الف، دستگاه مونتاژ دارای دو پایه برای حفظ ورق‌های مونتاژ شده تحت دو زاویه مخالف می‌باشد. وضعیت قرارگیری طوری است که جوش بال به‌جان در وضعیت تخت انجام می‌شود. از آنجایی که برگرداندن کامل تیر، مشکل و وقت‌گیر است، لذا توالی و ترتیب جوش‌ها باید به‌گونه‌ای طراحی شود که تعداد برگرداندن آن تا حد امکان کاهش یابد.

الف مجموعه تیر مونتاژ شده، نخست بر روی پایه چپ قرار گرفته و جوش ۱ اجرا می‌شود.

ساده‌ترین گام بعدی برداشتن تیر با جرثقیل قلاب‌شده به‌بال فوقانی و خواباندن آن بر روی پایه سمت می‌باشد. در این مرحله جوش ۲ بر روی همان بال اما در سمت دیگر جان انجام می‌شود. حالا تیر برداشته شده و بر روی زمین قرار گرفته و پس از سر و ته شدن، برای اجرای جوش ۳ در موقعیت تخت، بر روی یکی از پایه‌ها قرار داده می‌شود. بالاخره

تیر برداشته شده و برای آنکه جوش ۴ انجام شود بر روی پایه دیگر خوابانده می‌شود. در شکل ۹ - ۲۲ - ب از یک قالب چرخان برای اجرای جوش بال به‌جان استفاده شده است. بعد از اینکه جوش ۱ کامل شد، تیر دوران یافته و جوش ۲ انجام می‌شود. حال باید سر دستگاه جوش به‌عقب و به‌سمت دیگر جان تیر برگشته و جوش ۳ را اجرا کند، در نهایت دوباره تیر دوران یافته و جوش ۴ انجام می‌گردد. ترتیب‌های مختلف عبور جوش که در بالا بیان شد، بستگی کامل به‌قالب، روش به‌کار رفته و ترجیحاً مقدار تأثیر آن بر تغییر شکل دارد.

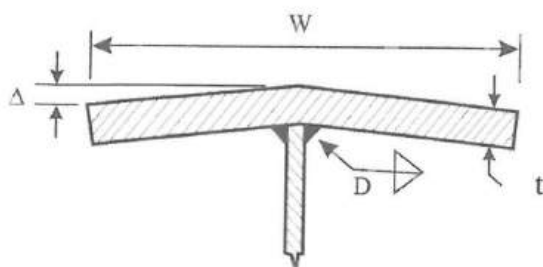
۹-۴-۵ تحذب بال و سخت‌کننده‌های عرضی

معمولاً بعد از تکمیل نوارهای جوش بال به‌جان، سخت‌کننده‌های عرضی مونتاژ شده و به‌تیر جوش می‌شوند (شکل ۹ - ۲۳).

اگر ورق بال لاغر و عریض باشد، امکان ایجاد پدیده تحذب یا هلالی شدن در ورق بال در حین اجرای جوش بال به‌جان وجود دارد. در صورت وقوع چنین پدیده‌ای قبل از قرار دادن سخت‌کننده، ورق بال را باید با فشار به‌وضعیت اولیه درآورد.

رابطه زیر، مقدار تحذب بال‌ها را به‌صورت تخمینی نشان می‌دهد (شکل ۹ - ۲۴ - الف).

$$\Delta = \frac{0.5W(0.38 D^{1.3})}{t^2} \quad (۹ - ۱)$$



شکل ۹ - ۲۴ - الف

که در آن:

D = اندازه ساق جوش بر حسب میلی‌متر

W = عرض ورق به میلی‌متر

t = ضخامت بال به میلی‌متر

Δ = انحراف نوک بال از وضعیت اولیه به میلی‌متر

آیین‌نامه‌ها، بخصوص آیین‌نامه‌های طراحی پل، اجازه جوش سخت‌کننده به‌بال کششی را نمی‌دهند. از طرفی فاصله بین سخت‌کننده و بال کششی، می‌تواند نقطه‌ای برای شروع خوردگی در فولاد باشد. لذا باید به‌طریقی سخت‌کننده به‌بال کششی جفت شود. برای رسیدن به‌این هدف، روش زیر می‌تواند به‌کار گرفته شود:

۱ - لزومی ندارد که سخت‌کننده به‌صورت کاملاً جذب بریده شود و می‌تواند مقداری لقی در حد فاصل دوبال داشته باشد.

۲ - سخت‌کننده را محکم در مقابل بال کششی فشار دهید.

۳ - سخت‌کننده را به‌جان تیر جوش دهید.

۴ - در نهایت سخت‌کننده را به‌بال فشاری جوش دهید.

در صورت عدم نگرانی از خوردگی، لزومی به جفت کردن محکم سخت‌کننده‌ها به‌بال کششی نمی‌باشد، بلکه سخت‌کننده در حدود ۲/۵ سانتی‌متر، کوتاه‌تر بریده شده و با فشار به‌بال فشاری، به‌جان جوش داده می‌شود. در حالتی که فقط یک سخت‌کننده در یک طرف جان به‌کار می‌رود، لازم است سخت‌کننده به‌بال فشاری هم جوش شود. در صورت عدم استفاده از جوش خودکار، سخت‌کننده‌های عرضی را قبل از جوشکاری بال به‌جان، در جای خود قرار می‌دهند. از آنجایی که بال‌های جوش نشده کاملاً مسطح هستند (تغییر شکل نداده‌اند)، این عمل به‌راحتی انجام می‌شود. در این حال جوش بال و جان در حد فاصل دو سخت‌کننده به‌روش دستی یا نیمه‌خودکار انجام می‌شود. گوشه‌های سخت‌کننده‌ها جهت پیوستگی نوار جوش بال به‌جان، به‌صورت ۴۵ درجه بریده می‌شوند.

۹-۴-۶ ساخت ستون مرکب با مقاطع نوردشده و ورق

ستون‌ها ممکن است برحسب نیاز از اتصال انواع پروفیل‌های مختلف ساخته شوند که رایج‌ترین آنها عبارتند از :

الف) اتصال دو پروفیل به‌یکدیگر به‌طریقه جفت کردن

ب) اتصال دو پروفیل با یک ورق سراسری روی بال‌ها

پ) اتصال دو پروفیل با قیده‌های موازی و یا مورب (ستون مشبک)

۹-۴-۶-۱ روش ساخت ستون جفت

ابتدا دو تیرآهن در کنار یکدیگر و بر روی سطح شاسی کار (شکل ۹ - ۲۵) با خال جوش به‌هم متصل می‌شوند؛ سپس دو سر و وسط ستون جوش شده و سپس برگردانده شده و مانند قبل جوشکاری می‌شود. در ادامه قسمت‌های باقی‌مانده جوشکاری می‌شود؛ همین کار در سوی دیگر ستون انجام می‌شود و جوشکاری ادامه می‌یابد تا جوش مورد نیاز ستون تأمین گردد. این شیوه جوشکاری برای جلوگیری از پیچش ستون در اثر حرارت زیاد در حین جوشکاری ممتد می‌باشد. در صورتی که در سرتاسر ستون به‌جوشکاری نیازی نباشد، حداقل طول جوش‌های منقطع باید مطابق شکل ۹ - ۲۶ و دستورات زیر اجرا گردد:

الف) حداکثر فاصله آزاد جوش منقطع نباید از ۲۰ t یا ۳۰ سانتی‌متر تجاوز کند.

ب) طول جوش ابتدایی و انتهایی ستون باید حداقل برابر با بزرگترین عرض مقطع باشد و به‌طور یکسره انجام شود.

ج) طول مؤثر هر قطعه از جوش منقطع نباید از ۱۰ برابر ضخامت بال یا حداقل ۱۰۰ میلی‌متر کمتر باشد.

د) فاصله میان لبه بال دو پروفیل نباید از یک شکاف ۱/۵ میلی‌متر تجاوز کند.

۹-۴-۲ روش ساخت ستون دابل با ورق سراسری

جوش ورق تقویتی به نیمرخ‌ها

برای جوش ورق تقویتی می‌توان از یکی از سه طرح شکل ۹-۲۷ استفاده نمود.

جهت ساخت این ستون‌ها، مطابق ستون‌های جفت، ابتدا مونتاژ دو تیرآهن در کنار هم روی یک شاسی مناسب و با رعایت رواداری‌های مجاز انجام شده و سپس ورق‌های سراسری به‌صورت پوششی که از قبل به‌روش‌های مناسب برشکاری شده، روی ستون جفت‌شده، نصب و خال جوش می‌شود.

جهت جلوگیری از پیچش ستون نیز باید ترتیب جوشکاری مطابق بخش ۹-۴-۱ انجام شود.

در ستون‌های جفت با ورق سراسری، فاصله جوش‌های منقطع (غیرممتد) که ورق را به نیمرخ‌ها متصل می‌کند،

نباید از ۳۰ سانتی‌متر بیشتر شود. حداکثر فاصله فوق‌الذکر در مورد فولاد معمولی ۲۲t می‌باشد. (ضخامت ورق تقویت t)

۹-۴-۳ روش ساخت ستون مرکب با بست‌های موازی (ستون دابل پاباز)

متداول‌ترین نوع ستون در ایران ستون‌های مرکبی است که دو تیرآهن در کنار هم قرار گرفته و قیدهای افقی یا چپ و راست، این نیمرخ‌ها را به هم متصل می‌کند. البته بست‌های چپ و راست که شکل‌های مثلی را به وجود می‌آورند،

۹-۴-۴ جزییات ساخت ستون در محل اتصال خمشی تیر به ستون

در اتصالات خمشی یا گیردار در محل اتصال تیر به ستون از یک ورق میانی بین ورق‌های تقویتی روی بال ستون استفاده می‌شود. در مرحله ساخت ستون، پس از مونتاژ دو تیرآهن در فاصله مورد نظر و خال جوش کردن قیدها یا ورق پوششی سراسری روی بال ستون، در محل تراز سقف‌ها از یک ورق میانی بین دو ورق وصله روی بال ستون استفاده می‌شود. همچنین در جان ستون نیز قبل از نصب ورق وصله در امتداد بال شاه‌تیرها، دو ورق سخت‌کننده مونتاژ و جوش می‌شود. (شکل ۹-۳۲).

۹-۴-۷ ساخت ستون‌های صلیبی شکل

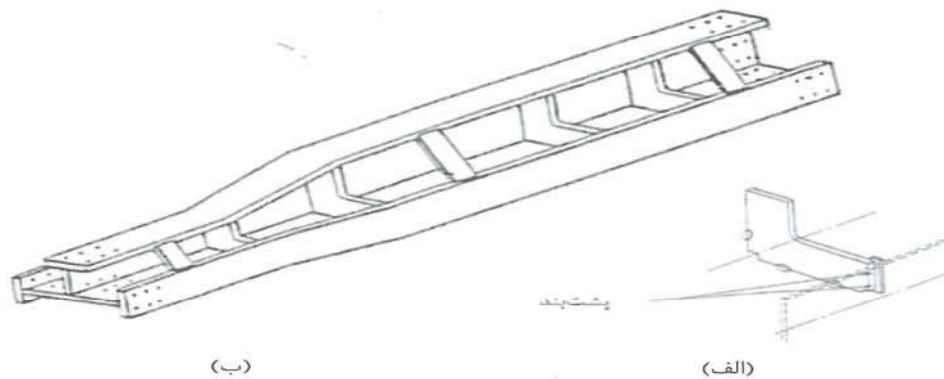
ستون‌های صلیبی شکل شامل مقطع H اصلی و دو مقطع T فرعی می‌باشند که روش ساخت هر یک از آنها مطابق مطالب گفته شده در بخش ۹-۴-۲ می‌باشد. در خیلی موارد، قطعات T از نصف کردن قطعه H به دست می‌آید. در خصوص ستون‌های صلیبی شکل، مونتاژ وجوه سوم و چهارم (که از قبل به‌صورت T شکل آماده شده و جوش بال به جان آن انجام شده است) به‌طریق زیر انجام می‌شود:

مونتاژ تک مرحله‌ای

در این روش ابتدا سخت‌کننده‌های ستون که از قبل برشکاری و آماده‌سازی شده‌اند با ابزار مناسب مونتاژ و خال جوش می‌شوند. این کار مطابق نقشه‌های کارگاهی و با در نظر گرفتن اضافه طول جهت جبران جمع‌شدگی ناشی از جوش‌های طولی جان به جان ستون و حتی جوش‌های نفوذی سخت‌کننده‌ها صورت می‌گیرد.

سپس با استفاده از ابزار مناسب مانند زنجیر و جک هیدرولیکی وجه T شکل را در محل خود قرار داده و محکم

می‌کنند. به‌همین ترتیب وجه دیگر نیز مونتاژ می‌شود (شکل ۹-۳۳).

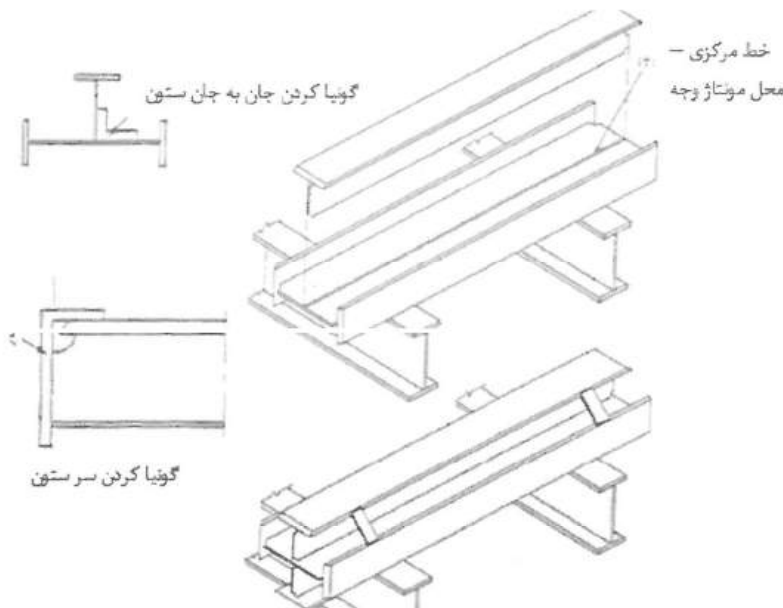


شکل ۹-۳۳ مونتاژ تک مرحله‌ای.

مونتاژ دو مرحله‌ای

در این روش ابتدا وجوه T شکل سوم و چهارم در محل خود با دقت مونتاژ و خال جوش می‌شوند. کنترل گونیایی بودن و نداشتن خروج از مرکزیت این وجوه نسبت به وجوه اول و دوم و نیز نسبت به خودشان از نکات بسیار حایز اهمیت می‌باشند. در این مرحله جوش طولی جان به جان ستون، به روش دستی یا خودکار به صورت یکسره اجرا می‌شود. پس از تکمیل جوش جان به جان، سخت‌کننده‌ها مونتاژ می‌شوند (شکل ۹-۳۴).

در هر دو روش فوق باید دقت شود که در صورتی که اتصالات از نوع پیچ و مهره‌ای بوده و نیاز به سوراخ‌کاری جان ستون باشد، باید قبل از هرگونه مونتاژ عملیات سوراخ‌کاری جان ستون انجام شده باشد.



۹-۴-۸ جوش ثانویه - جوش سخت‌کننده‌ها

سخت‌کننده‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: سخت‌کننده‌های ساده و ورق‌های پیوستگی.

سخت‌کننده‌های ساده معمولاً در میانه تراز طبقات و یا در ادامه ورق‌های سخت‌کننده گاست‌ها نصب می‌شوند که جوش آنها به ستون اصولاً به صورت جوش گوشه می‌باشد. ورق‌های پیوستگی ستون نیز در محل اتصال بال تیر به ستون در داخل ستون نصب شده و بخصوص در مورد قاب‌های خمشی باید با جوش نفوذی کامل به بال‌های ستون جوش شوند، و جوش اتصال‌دهنده آنها به جان ستون از نوع جوش گوشه می‌باشد مگر اینکه در نقشه‌ها به شکل دیگری مشخص شده باشد.

به طور کلی ترتیب جوشکاری سخت کننده ها چه در ستون های I شکل و چه در ستون های صلیبی، به صورت اجرای کامل پاس اول جوش کل سخت کننده ها و سپس اجرای کامل جوش با در نظر داشتن نکات پیشگیری از اعوجاج قطعات انجام می شود.

جهت جوشکاری ستون های صلیبی بهتر است ابتدا جوش طولی جان به جان ستون به طور کامل اجرا شود. به این ترتیب که پاس اول جوش کلیه سخت کننده ها و جوش طولی جان به جان ستون اجرا می شود و سپس جوش جان به جان در وضعیت جوشکاری کنج کامل می شود و در نهایت جوش کامل سخت کننده ها با رعایت ترتیب و توالی مناسب جهت پیشگیری از اعوجاج و تابیدگی ستون اجرا می شود.

۹-۴-۹ مونتاژ نهایی

پس از اجرای کامل جوش های هسته ستون، سایر اعضای ستون مانند صفحه ستون، سخت کننده های صفحه ستون، دستک ها یا ورق های زیرسری، و گاست های بادبندی مطابق نقشه و به ترتیب روی ستون نصب می گردد. قبل از مونتاژ نهایی قطعات، باید هسته ستون، که تحت جوشکاری های مختلفی قرار گرفته، از لحاظ صاف بودن کنترل گردد. در صورت وجود پیچیدگی، کمانش و یا شمشیری تا حد قابل پذیرش صاف گردد. برش انتهای ستون (و سوراخ کاری بال های ستون در اتصالات پیچ و مهره ای) نیز در این مرحله انجام می شود.

۹-۴-۱۰ جوش نهایی

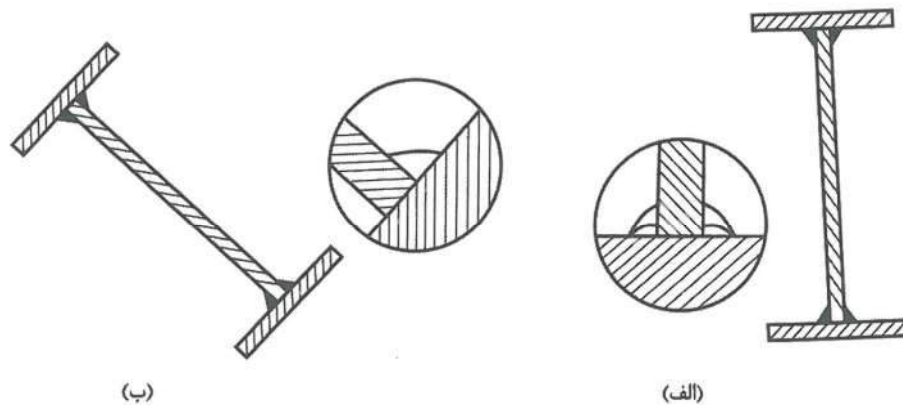
در این مرحله کلیه ملحقات نهایی نظیر دستک، ورق زیرسری، لچکی و ورق گاست بادبندی مطابق دستورالعمل های تأیید شده قبلی، جوشکاری می شوند.

۹-۴-۱۱ موقعیت جوشکاری

می توان تیرها را در موقعیتی که جان آنها زاویه ای بین ۳۰ تا ۴۵ درجه با افق می سازد، جهت اجرای جوش ها در موقعیت تخت، قرار داد. این موقعیت به خاطر آنکه جوشکاری ساده تر و کمی سریع تر انجام می شود، مطلوب می باشد. به علاوه این طرز قرارگیری امکان کنترل و بازرسی بهتر از شکل نوار جوش و انجام جوش های بزرگتر در یک بار عبور را در مواقع ضروری فراهم می کند. به عنوان مثال بزرگترین نوار جوش در یک بار عبور که در موقعیت افقی اجرا می شود، در حدود ۸ میلی متر است. حال آنکه در موقعیت تخت، این اندازه می تواند تا ۲۰ میلی متر افزایش یابد.

برای نوار جوش با ساق ۶ تا ۸ میلی‌متری، موقعیت اجرای جوش (به صورت افقی یا تخت)، اختلاف زیادی ایجاد نمی‌کند. اگر نوار جوش ۱۰ میلی‌متر یا ۱۳ میلی‌متری مورد نیاز باشد، سازنده موقعیت‌های مختلفی را می‌تواند انتخاب کند. چنانچه تیر با جان قائم قرار گرفته باشد، این موقعیت امکان اجرای هر دو جوش را بر روی همان بال، بدون حرکت دادن تیر فراهم می‌کند (شکل ۹ - ۳۹ - الف). حال اگر سازنده دارای دو انبر جوش باشد، این دو نوار جوش ممکن است به‌طور همزمان انجام شوند، که در این صورت زمان کلی جوشکاری کاهش می‌یابد. اما در عین حال موقعیت افقی، حداکثر اندازه جوش را که در یک‌بار عبور جوش به‌دست می‌آید، محدود می‌کند.

با کج کردن تیر در یک زاویه، می‌توان جوش با اندازه بزرگتر را فقط با یک‌بار عبور اجرا کرد. ولی در عین حال باید توجه کرد که فقط یک نوار جوش نیز در هر زمان می‌تواند صورت گیرد (شکل ۹ - ۳۹ - ب)، و لازم است که تیر برای اجرای هر کدام از جوش‌ها بچرخد که این، زمان جابه‌جا کردن را افزایش می‌دهد.

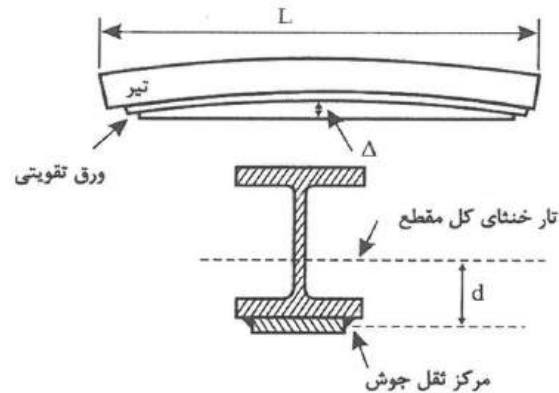


شکل ۹ - ۳۹

در کارگاه ساخت با دو انبر جوش خودکار، می‌توان به‌طور همزمان دو نوار جوش را بر روی تیر انجام داد. برای اجرای چنین عملیاتی باید از بین دو روش قرارگیری تیر که در شکل ۹-۴۰ نشان داده شده است، یکی را انتخاب کرد. ممکن است مطرح شود که روش (الف) نسبت به حالت (ب) بهتر می‌باشد، چراکه تیر نسبت به محور X-X دارای صلبیت بیشتری است و بنابراین، در نتیجه اجرای دو جوش اول بر روی بال تحتانی، تمایل کمتری به انحنای طولی وجود دارد.

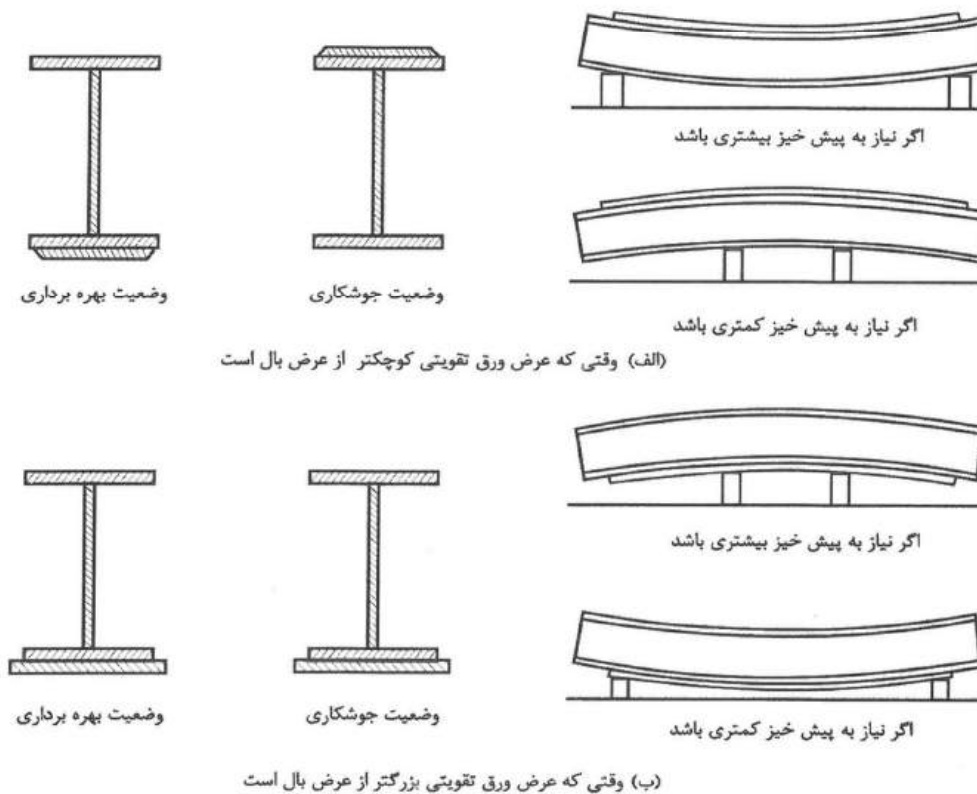
اما در عین حال در روش (ب)، جوش در مجاورت محور خنثای (y-y) از تیر می‌باشد، این فاصله تا محور، در مقایسه با حالت (الف) بسیار کمتر است و بنابراین در این حالت تأثیر خمشی بسیار کمی بر روی تیر وجود دارد. در صورت وجود بال ضخیم، امکان دستیابی به نوار جوش با اندازه کافی جهت القای حرارت جوشکاری کافی برای ورق بال مطرح می‌شود. در این صورت روش (الف) به‌خاطر تهیه دو برابر مقدار حرارت و گرما بر روی بال نسبت به روش (ب) بهتر خواهد بود.

در واقع در مورد تأثیر انقباض جوش بعد از اجرای همه نوارهای جوش، بین این دو روش، اختلاف بسیار کمی وجود دارد.



شکل ۹ - ۴۱

اگر عرض ورق تقویتی کوچکتر از عرض بال تیر باشد، باید به‌طور معکوس به‌بال جوش گردد (شکل ۹ - ۴۲ - الف). اتکای این تیر در نزدیکی نقاط انتهایی آن، انحنا نهایی را افزایش و حال آنکه اتکای تیر در نزدیکی نقطه میانی این کمیت را کاهش می‌دهد. اما در صورتی که عرض ورق تقویتی بیشتر از بال تحتانی باشد، باید در موقعیت مستقیم جوش شود که تکنیک قرارگیری تکیه‌گاه‌ها مطابق با شکل ۹ - ۴۲ - ب می‌باشد.



شکل ۹ - ۴۲

چنانچه ورق تقویتی از بال تیر عریض‌تر باشد، جوش اتصال به‌بال باید در انتها قطع شده و به‌صورت قلاب

۹-۴-۱۳ وصله کارخانه‌ای

درزهای جوش در ورق‌های بال و جان، باید قبل از مونتاژ قطعات بال و جان و در مرحله تسمه‌سازی تکمیل شوند. محل جوش درز بال و جان بهتر است در یک صفحه واقع نشوند. محدودیت‌های موجود در طول ورق، حمل و نقل، تبدیل ورق نازک‌تر به ضخیم‌تر، تبدیل عرض و موارد مشابه، از جمله نقاط درز اجباری می‌باشند. در شکل ۹-۴۹ انواع مختلف جوش درز با هزینه مربوطه نشان داده شده است.

در کارخانه، ورق‌های بال به‌منظور انجام جوش پشت درز، برگردانده می‌شوند، بنابراین در ورق‌های ضخیم‌تر، می‌توان از درزهای X استفاده نمود. این‌گونه درزها، کمترین مقدار فلز جوش را مصرف می‌کنند و از آنجایی که جوش دارای تعادل است، لذا در این حالت هیچ‌گونه تغییر شکل زاویه‌ای به‌وجود نخواهد آمد. در ورق‌های عریض‌تر، حدود ۶۰ الی ۹۰ سانتی‌متر، اغلب وسایل جوش قوس الکتریکی زیرپودری تمام‌خودکار یا نیمه‌خودکار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

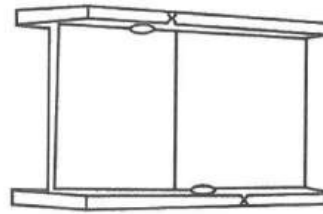
۹-۴-۱۴ وصله کاری کارگاهی

وصله‌های کارگاهی معمولاً در یک صفحه تنها واقع می‌شوند. پس و پیش کردن جوش‌های لب به لب بال‌ها و جان‌ها، کیفیت اجرای تیر را افزایش نمی‌دهد. آماده کردن درزها به‌وسیله برش و پخ زدن آنها زمانی که همه آنها در یک صفحه قرار دارند، بسیار ساده‌تر می‌باشد (شکل ۹-۵۰). واقع شدن درز بال در یک صفحه و پس و پیش کردن درز جان سهولت خوبی در مونتاژ وصله ایجاد می‌کند.

دستی - تخت 2.75	دستی - تخت 2.1	دستی - تخت 1.6
دستی - تخت 1.37	دستی - تخت 3.2	دستی - تخت 1.46
دستی - تخت 2.28	خودکار - تخت 1	خودکار - تخت 1.01

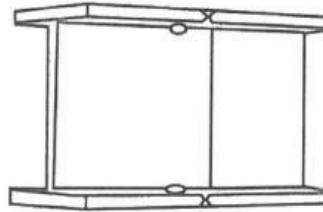
شکل ۹-۴۹ هزینه نسبی جوش‌های لب به لب بال.

سه درز در سه مقطع مختلف قرار دارند



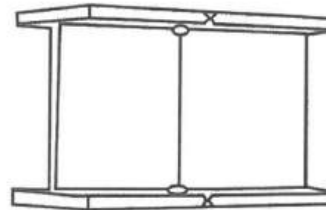
(الف)

درزهای بال‌ها در یک مقطع و درز جان در
مقطع دیگری قرار دارد



(ب)

درزهای بال و جان در یک مقطع
قرار دارند



(پ)

شکل ۹-۵۰ سه روش آماده‌سازی لبه‌های تیرها برای جوشکاری کارگاهی. قرار دادن سه جوش در سه صفحه متفاوت، جفت شدن ورق‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. قرارگیری هر سه جوش لب به لب در یک صفحه ساده‌تر است. واقع شدن درز بال در یک صفحه و پس و پیش کردن درز جان سهولت خوبی در مونتاژ وصله ایجاد می‌نماید.

متداول‌ترین روش به کار رفته در وصله کارگاهی تیرها، جوش یک‌در میان بال و جان به صورت زیر است (شکل

۹-۵۱):

۱ - بخشی از ضخامت هر دو بال (در حدود $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{3}$)، در تمام عرض جوش می‌شود.

۲ - قسمتی از ضخامت جان (حدود $\frac{1}{4}$)، در تمام عرض جوش می‌گردد.

۳ - جوشکاری بال‌ها کامل می‌شود.

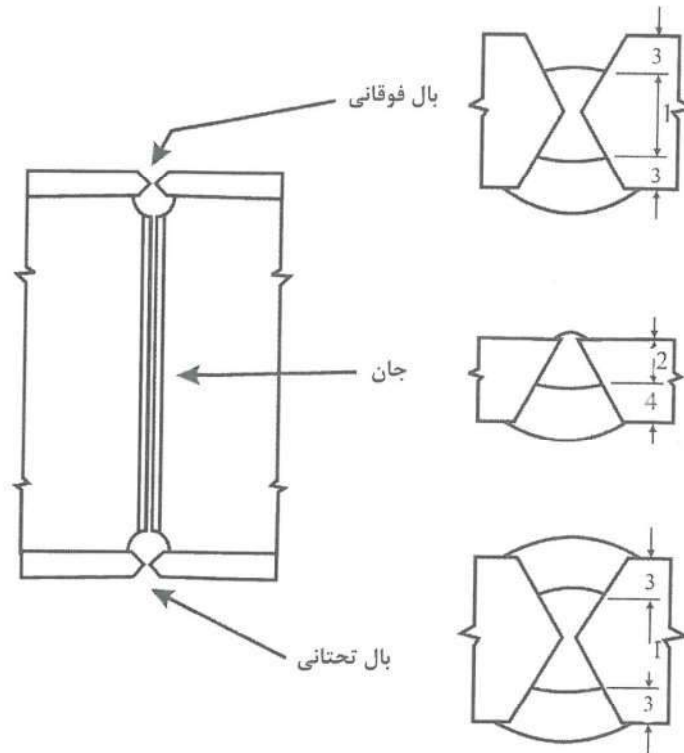
۴ - در نهایت جوشکاری جان نیز تکمیل می‌گردد.

در مورد جان‌های مرتفع، گاهی اوقات جوش‌های قائم به دو یا سه قسمت تقسیم شده و روش گام به عقب مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۹-۵۲). این عمل انقباض یکنواخت‌تری را در درز نتیجه خواهد داد.

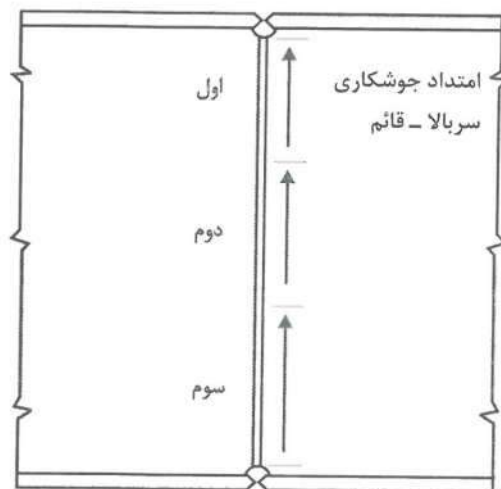
بیشترین درزهای لب به لب به کار رفته در وصله‌های کارگاهی از نوع جناغی یک‌طرفه (V) می‌باشند. در مورد ورق‌های ضخیم‌تر، ۲۰ میلی‌متر و بزرگتر، به منظور کاهش مقدار جوشکاری مورد نیاز و تعادل جوش در هر دو طرف و حذف تغییرشکل زاویه‌ای، از درز جناغی دو طرفه (X) استفاده می‌شود.

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

بیشترین درزهای لب به لب کارگاهی بال، برحسب ضخامت بال و روش جوشکاری، به صورت جناغی یک طرفه (V) و یا دوطرفه (X) می‌باشند. باید ترتیبی فراهم نمود که جوش‌ها در وضعیت تخت قابل انجام باشند.



شکل ۹-۵۱ جوش یک در میان بال و جان.



شکل ۹-۵۲ برای جان‌های عمیق، توالی گام به عقب به کار می‌رود.

باید در نظر داشت که درز V، تغییر شکل زاویه‌ای بیشتری را نتیجه می‌دهد، و با زیاد شدن ضخامت بال، میزان این تغییر شکل به سرعت افزایش می‌یابد. درز X، با نیمه‌ای از جوش در بالا و نیمه‌ای در پایین درز، به جهت کاهش و

۵. عیب‌های جوش

حتی حذف تغییرشکل‌ها بهتر خواهد بود. اما در اجرای این نوع درز، مقداری از عملیات جوشکاری در وضعیت سقفی خواهد بود. به همین دلیل AWS در درزهای استاندارد خود، درز X نامتقارن را نیز پیشنهاد می‌نماید (شکل ۹ - ۵۳). این حالت تا حدی مصرف فلز جوش را کاهش داده و از حجم عملیات جوشکاری سقفی نیز کم می‌کند. در درزهای X، گاهی ابتدا عبور اول جوش تحتانی در وضعیت سقفی انجام می‌شود. ریشه این جوش در وضعیت تخت، سنگ‌خورده و اجرای عبور بعدی در موقعیت تخت انجام می‌شود. این روش عملیات سنگ‌زنی از پشت را در وضعیت سقفی، حذف می‌نماید.

۹-۴-۱۵ سوراخ‌های دسترسی^۶ در جان در محل درز بال

سؤال‌های عمده‌ای مطرح شده است که آیا سوراخ‌های دسترسی در جان، کمکی به اجرای جوش کارگاهی درز لب به لب در بال‌ها می‌کند یا خیر. معایب این سوراخ‌ها باید به‌دقت در مقابل مزایای ایجاد یک جوش سالم‌تر در بال سنجیده شود.

آزمایش‌های انجام‌شده روی تیرهایی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در دانشگاه ایلی‌نویز، نشان می‌دهد که در حالت سوراخ در جان، مقاومت خستگی در حدود ۸۴٪ در ۱۰۰۰۰۰ سیکل بارگذاری، و حدود ۹۰٪ در ۲۰۰۰۰۰۰ سیکل بارگذاری نسبت به حالت بدون سوراخ می‌باشد

با توجه به افزایش قابل توجه کیفیت جوش در حالت وجود سوراخ دسترسی، و کاهش ناچیز در مقاومت خستگی، ملاحظه می‌شود که مزیت این سوراخ‌ها از عیبشان بیشتر است. با افزایش ارتفاع تیرورق، کاهش در مقاومت خستگی نیز کمتر می‌شود. در صورت نگرانی، می‌توان بعد از اتمام جوش درز، محل سوراخ جان را با جوش پُر نمود.

۹-۴-۱۵ سوراخ‌های دسترسی^۶ در جان در محل درز بال

سؤال‌های عمده‌ای مطرح شده است که آیا سوراخ‌های دسترسی در جان، کمکی به اجرای جوش کارگاهی درز لب به لب در بال‌ها می‌کند یا خیر. معایب این سوراخ‌ها باید به‌دقت در مقابل مزایای ایجاد یک جوش سالم‌تر در بال سنجیده شود.

آزمایش‌های انجام‌شده روی تیرهایی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در دانشگاه ایلی‌نویز، نشان می‌دهد که در حالت سوراخ در جان، مقاومت خستگی در حدود ۸۴٪ در ۱۰۰۰۰۰ سیکل بارگذاری، و حدود ۹۰٪ در ۲۰۰۰۰۰۰ سیکل بارگذاری نسبت به حالت بدون سوراخ می‌باشد

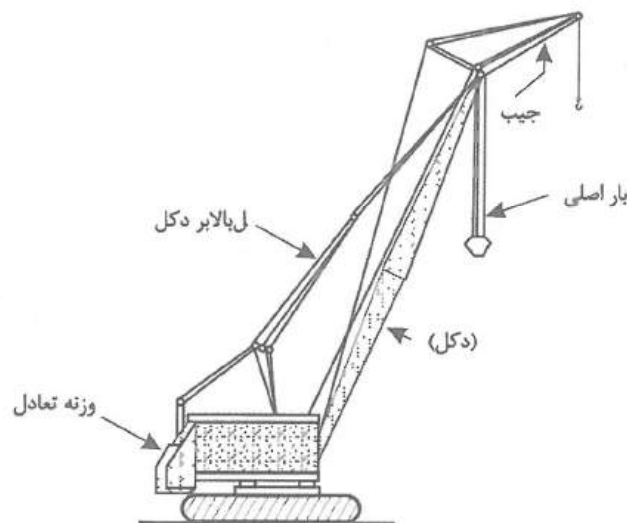
با توجه به افزایش قابل توجه کیفیت جوش در حالت وجود سوراخ دسترسی، و کاهش ناچیز در مقاومت خستگی، ملاحظه می‌شود که مزیت این سوراخ‌ها از عیبشان بیشتر است. با افزایش ارتفاع تیرورق، کاهش در مقاومت خستگی نیز کمتر می‌شود. در صورت نگرانی، می‌توان بعد از اتمام جوش درز، محل سوراخ جان را با جوش پُر نمود.

۷-۹ عملیات پیش‌مونتاژ و مونتاژ در پای کار

همان‌طور که در قسمت قبل عنوان شد، در اکثر موارد امکان ساخت عضو با طول کامل در کارخانه وجود ندارد و لازم است عضو در قطعات کوتاه‌تر ساخته شده و به کارگاه حمل گردد. بنابراین قبل از نصب لازم است قطعات در پای کار به‌صورت یکسره در آمده و سپس نصب شوند. به‌این عملیات مونتاژ و یا پیش‌مونتاژ گفته می‌شود. برای انجام کار ابتدا در پای کار شاسی‌های مخصوص عملیات پیش‌مونتاژ آماده می‌گردد. سپس قطعات در مجاورت یکدیگر قرار گرفته و پس از ریسمان‌کشی و هم‌محور کردن آنها، قطعات به یکدیگر جوش و یا پیچ می‌شوند. گاهی مواقع امکان نصب یک‌مرتبه عضو کامل وجود ندارد. لذا در چنین مواردی مجدداً بعضی از وصله‌های عضو باز می‌شوند و عملیات نصب به‌صورت قطعه‌قطعه انجام می‌شوند. در این حالت از آنجا که قبلاً قطعات در پای کار به یکدیگر به‌صورت آزمایشی متصل شده‌اند، اتصال مجدد آنها در جبهه کار بسیار ساده خواهد بود. در صورتی که اتصال قطعات به یکدیگر دائمی باشد، عملیات را مونتاژ و در صورتی که به‌صورت آزمایشی و موقت باشد، پیش‌مونتاژ نامند. بسیاری از پیمانکاران ترجیح می‌دهند انجام بعضی سوراخ‌کاری‌ها را در مرحله مونتاژ و یا پیش‌مونتاژ انجام دهند. بدین معنی که در کارخانه عمداً از چند صفحه سوراخ‌کاری که در مجاورت یکدیگر قرار می‌گیرند، یکی را انجام نمی‌دهند. بعد از عملیات پیش‌مونتاژ، صفحه سوراخ‌کاری نشده از طرف صفحه سوراخ‌کاری شده علامت زده می‌شود (سنبه‌نشان) و سپس ورق اتصال باز شده و توسط مته مورد سوراخ‌کاری قرار می‌گیرد.

۸-۹ عملیات واداشتن، نصب، خال‌جوش و اتصالات موقت

عملیات نصب توسط جرثقیل‌های متحرک و یا جرثقیل‌های برجی انجام می‌شود. در شکل ۹-۵۹ یک نمونه جرثقیل متحرک نشان داده شده است. جرثقیل‌های متحرک می‌توانند از نوع بوم خشک و یا بوم هیدرولیکی باشند. جرثقیل‌ها



شکل ۹-۵۹ جرثقیل نصب.

۹-۱۰ نصب کف ستون

در انجام عملیات نصب اسکلت، دو روش عمومی برای نصب کف ستون بر روی فونداسیون وجود دارد:

۱- روش سنتی: در این روش که در ساختمان سازی متعارف در ایران معمول است، ورق کف ستون به صورت جدا از ستون بر روی فونداسیون مستقر می گردد. حد فاصل ورق کف ستون و فونداسیون به کمک ملات پُر می شود. روش کار بدین ترتیب است که پس از تمیز کردن سطح فونداسیون و مرطوب کردن آن، ملات پُرسیمان با ضخامت لازم روی فونداسیون پخش شده و ورق کف ستون روی آن قرار گرفته و به کمک تراز و دوربین، در وضعیت نهایی خود قرار گرفته و مهره های میله مهارها سفت می شود. بعد از گرفتن ملات، کف ستون آماده نصب ستون بر روی آن می باشد.

۲- روش صنعتی: در این روش کف ستون در کارخانه به صورت گونیا به پای ستون جوش و یکپارچه می شود. برای نصب، ابتدا روی فونداسیون پدگذاری (Padding) می شود. پدها ورق های $4 \times 100 \times 100$ میلی متر می باشند که یک شاخک نبشی به سطح تحتانی آن جوش شده است. پدها به کمک ملات کاملاً در موقعیت مورد نظر، مستقر و تراز می شوند. بعد از گرفتن ملات زیر پد، ستون به همراه کف ستون روی آنها مستقر شده و با شیم گذاری، ستون کاملاً به صورت شاقولی در می آید و مهره های میله مهار سفت می شود. در مرحله آخر دور ورق کف ستون قالب بندی شده و فضاهای خالی زیر کف ستون به کمک ملات خیلی روان ضدانقباض پُر می شود (به این عمل گروت ریزی می گویند).