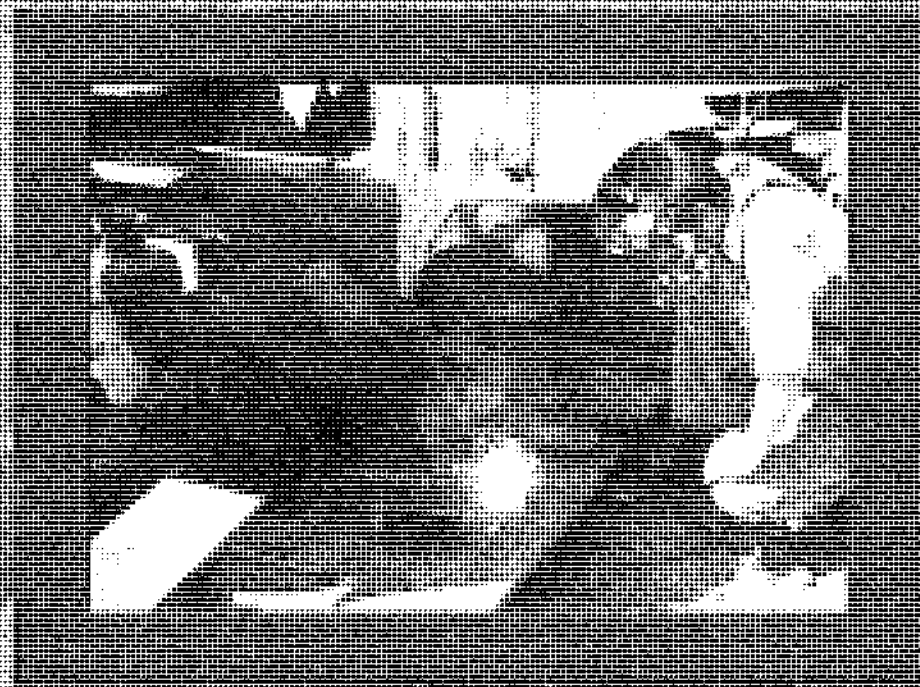


وزارت مسکن و شهرسازی
حفاظت امور مسکن و ساختمان

راهنمای جوش و اتصالات جوشی

در ساختمانهای فولادی



۱۳۹۰

دفتر نشریات ملی ساختمان

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارت مسکن و شهرسازی
معاونت امور مسکن و ساختمان

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

دفتر مقررات ملی ساختمان

بهار ۱۳۹۰

عنوان و نام پدیدآور:	راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمانهای فولادی / تهیه کننده دفتر مقررات ملی ساختمان، وزارت راه و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان
وضعیت ویراست:	ویراست ۳.
مشخصات نشر:	تهران، توسعه ایران، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری:	مصور، جدول، ۲۹×۲۲ س.م.
شابک:	۹۷۸-۹۶۴-۷۵۸۸-۸۸-۱
وضعیت فهرست نویسی:	فیا
موضوع:	اتصال های جوش شده
موضوع:	جوشکاری
موضوع:	سازه های فولادی جوش شده
شماره افزوده:	ایران، وزارت مسکن و شهرسازی، دفتر مقررات ملی ساختمان
رده بندی کنگره:	۱۳۹۰ ط۳ الف/۳۲۳ TA۴۹۲
رده بندی دیویی:	۶۷۱/۵۳۰۴۲
شماره کتابشناسی ملی:	۲۴۳۹۴۷۷

عنوان کتاب: راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمانهای فولادی	
تهیه کننده:	دفتر مقررات ملی ساختمان
ناشر:	نشر توسعه ایران
شمارگان:	۳۰۰۰ جلد
شابک:	۹۷۸-۹۶۴-۷۵۸۸-۸۸-۱
نوبت چاپ:	هفتم
تاریخ چاپ:	۱۳۹۴
چاپ و صحافی:	کانون
قیمت:	۳۰۰,۰۰۰ ریال
حق چاپ برای تهیه کننده محفوظ است.	

به نام خدا

پیش‌گفتار

مقررات ملی ساختمان در تمامی کشورها قواعدی هستند که به نحوی اجرای آن‌ها توسط شهروندان الزام قانونی پیدا می‌کند. ادراک مشترک کلیه عوامل و عناصر مرتبط اعم از دولت، دولت‌های محلی، مردم و مهندسان، موجب می‌گردد که منافع ملی ناشی از حفظ و افزایش بهره‌وری از سرمایه‌گذاری‌های ملی و هم چنین حفظ جان و منافع عمومی بهره‌برداران ساختمان‌ها بر منافع سازمانی دستگاه‌های اجرایی و یا منافع دولت‌های محلی و هم چنین منافع فوری سرمایه‌گذاران ترجیح داده شود. بدیهی است توافق و التزام بر این دسته از منافع و خواسته‌ها در قالب برنامه توسعه نظام ملی ساخت و ساز تحقق می‌یابد.

از سال ۱۳۶۶ مقررات حاکم بر جنبه‌های مهندسی و فنی ساختمان (طراحی - نظارت - اجرا)، توسط وزارت راه و شهرسازی در قالب مقررات ملی ساختمان به تدریج وضع و استفاده از آن الزامی شده است. توسعه آموزش عالی، مراکز فنی و حرفه‌ای و سازمان‌های نظام مهندسی موجب افزایش نیروی انسانی متخصص و ماهر در سطح کشور گردید و به موازات آن مقررات ملی ساختمان و استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی نیز به همت اساتید و صاحب‌نظران شاغل در حرفه به صورت دوره‌ای مورد بازنگری و تجدید چاپ قرار گرفته‌اند. در حال حاضر این مقررات به درجه‌ای از کمال و غنا رسیده است که به عنوان مرجع و منبع آموزشی ضمن تأمین نیاز نسبی دانشگاهیان و جامعه مهندسی کشور، سازندگان و بهره‌برداران، ابزار و مرجع کنترل لازم را برای اطمینان از کیفیت ساخت و سازها برای ناظران و بازرسان فراهم نموده است.

مقایسه کیفیت ساختمان‌ها بویژه از حیث سازه‌ای در سال‌های اخیر با قبل از تدوین مقررات ملی ساختمان مؤید تأثیر این مقررات در ارتقای کیفیت ساختمان‌ها و سیر تکاملی آن در جهت تأمین ایمنی، بهداشت، رفاه و آسایش و صرفه اقتصادی می‌باشد اما با مقایسه آمار کمی و کیفی، وضع موجود کشور با میانگین شاخص‌های جهانی فاصله قابل توجهی وجود دارد.

برای جبران فاصله شاخص‌های پیش‌گفته شده لازم است اولاً نهادهای حاکمیتی سیاست‌گذار و برنامه‌ریز و مراجع صدور پروانه ساختارهای کنترل و نظارت را مورد بازنگری قرار داده تا سیستم نظارت جدی‌تری نسبت به تولید، توزیع و مصرف مصالح استاندارد و اجرای مقررات ملی ساختمان اعمال گردد. ثانیاً سازمان‌های نظام مهندسی ساختمان، تشکل‌های حرفه‌ای دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی و تحقیقاتی بیش از پیش در ترویج و

تبیین مقررات وضع شده، الگوسازی و ارایه نمونه‌های عینی رعایت مقررات یاد شده و معرفی فن‌آوری‌های نوین و به نمایش گذاشتن مزایای آن تلاش نمایند. ثالثاً مهندسان و سازندگان که وظیفه اساسی در اعمال ضوابط و مقررات ساختمانی را در طراحی، اجرا و نظارت ساخت و سازها بر عهده دارند با به روز رسانی دانش فنی و مهارت حرفه‌ای و با تکیه بر اصل اخلاق حرفه‌ای خود نسبت به اجرای مقررات ملی ساختمان بیش از پیش اصرار ورزیده و کارفرمایان و مالکان نیز تشویق یا ملزم به رعایت مقررات ملی ساختمان آن شوند. همچنین مردم به عنوان بهره‌برداران نهایی می‌توانند با افزایش سطح آگاهی از حقوق خود نقش اساسی در ارتقای کیفیت از طریق افزایش مطالبات در کیفیت و بهره‌وری ساختمان‌ها و ایجاد انگیزه رقابت در ارایه ساختمان‌های با کیفیت ایفا نمایند.

در خاتمه از کلیه اسانید و صاحب‌نظران و تدوین کنندگان که از ابتدا تاکنون در تدوین و تجدیدنظر مباحث مقررات ملی ساختمان تلاش نموده و در همفکری و همکاری با این وزارت از هیچ کوششی دریغ ننموده‌اند، سپاس‌گزارم. همچنین برای دست اندرکاران ساخت و ساز از دستگاه‌های نظارتی و کنترلی مراجع صدور پروانه و کلیه عزیزانی که اجرای این مقررات را خدمتگزاری به میهن و مردم خویش می‌پندارند، آرزوی موفقیت و سربلندی در پیشگاه خدای متعال می‌نمایم.

عباس آخوندی
وزیر راه و شهرسازی

فهرست مطالب

۱. معرفی جوشکاری ساختمانی / ۱

۳	۱-۱ تعریف جوشکاری
۳	۲-۱ جوش قوس الکتریکی
۴	۳-۱ مدار جوشکاری قوس الکتریکی
۶	۴-۱ عوامل مهم جوشکاری
۸	۵-۱ فرآیندهای جوشکاری
۹	۶-۱ جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار (SMAW)
۱۱	۷-۱ جوش زیرپودری (SAW)
۱۵	۸-۱ جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود مصرفی (GMAW)
۱۷	۹-۱ جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود توپودری (FCAW)
۲۱	۱۰-۱ جوش گاز الکتریکی و سرباره الکتریکی
۲۲	۱۱-۱ جوش خمیری
۲۲	۱۲-۱ جوشکاری گل میخ
۲۴	۱۳-۱ وضعیت‌های جوشکاری
۲۷	۱۴-۱ اتصالات جوشی
۲۷	۱۵-۱ انواع جوش
۲۹	۱۶-۱ علایم جوشکاری
۳۲	۱۷-۱ کاربرد انواع جوش در ساختمان
۳۶	۱۸-۱ جوش پذیری
۳۷	۱۹-۱ پیش گرمایش

۲. وسایل و تجهیزات جوشکاری قوس الکتریکی / ۳۹

۴۱	۱-۲ معرفی
۴۲	۲-۲ قابلیت‌های جوشکاری قوس الکتریکی
۴۲	۳-۲ اصول کلی
۴۳	۴-۲ منابع انرژی جوشکاری
۴۵	۵-۲ منحنی ولتاژ - شدت جریان

۴۷	ماشین‌های مورد استفاده در جوشکاری دستی با الکتروود روکش‌دار
۵۲	کابل و وسایل اتصال
۵۷	تجهیزات حفاظتی
۶۴	ابزار تمیزکاری گل جوش
۶۵	ابزار نگهداری الکتروود
۶۶	ابزار پیش‌گرمایش درز
۶۶	ابزارهای اندازه‌گیری
۶۶	ابزارهای نشانه‌گذاری
۶۷	ابزار نصب
۶۹	تجهیزات جوشکاری تحت حفاظت گاز
۷۲	تجهیزات جوشکاری قوسی زیرپودری

۳. الکتروود / ۷۷

۷۹	معرفی
۷۹	تعاریف عمومی
۸۰	الکتروود روکش‌دار
۸۰	روکش الکتروود
۸۵	طبقه‌بندی و شماره‌گذاری الکتروودها طبق AWS
۸۷	انتخاب نوع و قطر الکتروود
۸۸	مشخصه‌های کاربردی الکتروودها
۹۰	فلز پایه
۹۰	جریان جوشکاری
۹۰	ضخامت و شکل فلزات مورد جوشکاری
۹۱	وضعیت جوشکاری
۹۱	معرفی الکتروودهای متعارف و کاربرد آنها
۹۵	نگهداری الکتروودهای روکش‌دار
۹۸	خشک‌کن الکتروود
۹۹	بسته‌بندی الکتروودها
۱۰۰	ضوابط بازرسی ظاهری الکتروودها

۴. طراحی درز جوش / ۱۰۵

۱۰۷	معرفی
۱۰۷	انواع اتصال
۱۰۸	انواع جوش
۱۱۰	انواع درز
۱۱۳	دهانه یا بازشدگی ریشه (R)

۱۱۵.....	۶-۴ تسمه‌های پشت‌بند.....
۱۱۶.....	۷-۴ گرده جوش.....
۱۱۶.....	۸-۴ ضخامت ریشه.....
۱۱۸.....	۹-۴ سنگ زدن ریشه از پشت (شیارزنی پشت).....

۵. عیب‌های جوش / ۱۲۱

۱۲۳.....	۱-۵ عیب‌های اصلی جوش.....
۱۳۷.....	۲-۵ عیوب جوش در جوشکاری تحت حفاظت گاز.....
۱۴۰.....	۳-۵ عیوب جوش در فرآیند جوشکاری با قوس زیربودری.....
۱۴۱.....	۴-۵ ترک‌خوردگی جوش.....

۶. تغییرشکل‌های ناشی از جوشکاری / ۱۵۳

۱۵۵.....	۱-۶ عوامل مؤثر در تغییرشکل‌های ناشی از جوشکاری.....
۱۵۶.....	۲-۶ عوامل اعوجاج.....
۱۵۷.....	۳-۶ تأثیرات نامطلوب جوش بیش از حد.....
۱۵۸.....	۴-۶ کنترل انقباض جوش.....
۱۶۱.....	۵-۶ انقباض عرضی.....
۱۶۵.....	۶-۶ هلالی شدن بال.....
۱۶۶.....	۷-۶ شمشیری شدن (انحنای طولی).....
۱۷۱.....	۸-۶ هم‌راستایی ورق‌ها.....
۱۷۲.....	۹-۶ استفاده از حرارت برای رفع انقباض‌های جوشکاری.....
۱۷۶.....	۱۰-۶ حرارت تولیدی در هنگام جوشکاری (حرارت القایی به‌علت جوشکاری).....
۱۸۶.....	۱۱-۶ جمع‌بندی مطالب فصل.....

۷. بازرسی جوش - بازرسی چشمی (عینی) / ۱۸۹

۱۹۱.....	۱-۷ مقدمه.....
۱۹۲.....	۲-۷ زمان شروع نظارت و بازرسی.....
۱۹۳.....	۳-۷ پنج دستورالعمل برای حصول کیفیت در جوش ساختمانی.....
۱۹۸.....	۴-۷ نظارت‌های پیشگیرانه (PM).....
۱۹۹.....	۵-۷ بازرسی عینی (V.I.).....
۱۹۹.....	۱-۵-۷ اصول بازرسی چشمی (عینی) جوش.....
۲۰۵.....	۲-۵-۷ وظایف عمده بازرسی جوش.....
۲۰۶.....	۳-۵-۷ وسایل بازرسی چشمی (عینی) جوش.....
۲۰۷.....	۴-۵-۷ اندازه‌گیری جوش.....
۲۱۰.....	۶-۷ ضوابط پذیرش بازرسی چشمی (عینی) جوش.....

- ۷-۷ رواداری‌های عیوب ظاهری جوش در بازرسی چشمی (عینی) طبق ISO 5817..... ۲۱۳
- ۷-۸ چک‌لیست بازرسی چشمی (عینی)..... ۲۱۸

۸. آزمایش‌های ارزیابی / ۲۲۹

- ۸-۱ معرفی..... ۲۳۱
- ۸-۲ آزمایش‌های ارزیابی و تأیید..... ۲۳۱
- ۸-۳ آزمایش‌های مخرب..... ۲۳۲
- ۸-۴ آزمایش‌های غیرمخرب..... ۲۵۷
- ۸-۵ برنامه‌ریزی آزمایش‌های غیرمخرب..... ۳۰۱
- ۸-۶ ضوابط پذیرش عیوب داخلی جوش مطابق ISO 5817..... ۳۰۲

۹. مسائل اجرایی در کارهای فولادی / ۳۰۹

- ۹-۱ عملیات اجرایی در کارهای فولادی..... ۳۱۱
- ۹-۲ تهیه نقشه‌های ساخت..... ۳۱۲
- ۹-۳ عملیات برشکاری و آماده‌سازی لبه‌ها..... ۳۱۳
- ۹-۴ ساخت اعضا..... ۳۲۱
- ۹-۵ عملیات تمیزکاری و رنگ..... ۳۵۶
- ۹-۶ عملیات حمل..... ۳۶۰
- ۹-۷ عملیات پیش‌مونتاژ و مونتاژ در پای کار..... ۳۶۲
- ۹-۸ عملیات واداشتن، نصب، خال جوش و اتصالات موقت..... ۳۶۳
- ۹-۹ شاقولی کردن ستون‌ها، هم‌محور کردن تیرها و تکمیل اطلاعات..... ۳۶۴
- ۹-۱۰ نصب کف ستون..... ۳۶۸
- ۹-۱۱ رواداری نصب ستون..... ۳۶۹

۱۰. طراحی جوش / ۳۷۱

- ۱۰-۱ مقدمه..... ۳۷۲
- ۱۰-۲ اندازه جوش گوشه..... ۳۷۲
- ۱۰-۳ محدودیت سایر جوش‌ها..... ۳۷۷
- ۱۰-۴ جوش شیار با نفوذ نسبی..... ۳۷۹
- ۱۰-۵ انواع جوش..... ۳۸۰
- ۱۰-۶ تنش‌های مجاز جوش..... ۳۸۰
- ۱۰-۷ آرز جوش..... ۳۸۱
- ۱۰-۸ حداکثر اندازه مؤثر ساق جوش گوشه..... ۳۸۲
- ۱۰-۹ اتصال اعضا با نیروی محوری..... ۳۸۳
- ۱۰-۱۰ اتصالات جوشی با برون‌محوری..... ۳۸۶

- ۳۸۸..... ۱۰-۱۱ ترکیب برش و پیچش
۳۹۲..... ۱۰-۱۲ ترکیب برش و خمش
۳۹۴..... ۱۰-۱۳ تخمین طول جوش تحت اثر لنگر خمشی

۱۱. طراحی اتصالات / ۳۹۷

- ۳۹۹..... ۱۱-۱ معرفی
۴۰۳..... ۱۱-۲ اتصال ساده تیر با نبشی جان
۴۰۷..... ۱۱-۳ اتصال ساده تیر با نبشی نشیمن انعطاف پذیر
۴۱۱..... ۱۱-۴ اتصال ساده تیر با نشیمن تقویت شده
۴۲۱..... ۱۱-۵ اتصالات صلب تیر به ستون
۴۶۴..... ۱۱-۶ وصله تیرها
۴۷۰..... ۱۱-۷ وصله ستون ها
۴۷۷..... ۱۱-۸ اتصال مهاربندی همگرا
۵۰۶..... ۱۱-۹ اتصالات پای ستون (کف ستون)
۵۳۲..... ۱۱-۱۰ اتصالات لوله ها و قوطی ها

۵۶۵..... ۱۲. جوش درزهای استاندارد

۵۸۷..... ۱۳. تعداد عبور

۱۴. کنترل کیفی در ساختمان های کوچک / ۶۲۱

- ۶۲۳..... ۱۴-۱ معرفی
۶۲۴..... ۱۴-۲ قانون ΔP
۶۲۷..... ۱۴-۳ بازرسی عینی (V.I)
۶۲۹..... ۱۴-۴ جوش خوب چیست؟

۶۳۷..... ۱۵. برنامه ریزی آزمایش ها

۶۴۱..... پیوست ۱ مشخصات هندسی نیمرخ های ساختمانی

۶۵۵..... پیوست ۲ فرم های استاندارد

۶۶۳..... پیوست ۳ آزمون جوشکاران ساختمانی طبق استاندارد ملی ایران

۶۷۱..... واژه نامه انگلیسی به فارسی

معرفی جوشکاری ساختمانی

۳	۱-۱	تعریف جوشکاری
۳	۲-۱	جوش قوس الکتریکی
۴	۳-۱	مدار جوشکاری قوس الکتریکی
۶	۴-۱	عوامل مهم جوشکاری
۸	۵-۱	فرآیندهای جوشکاری
۹	۶-۱	جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار (SMAW)
۱۱	۷-۱	جوش زیربودری (SAW)
۱۵	۸-۱	جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود مصرفی (GMAW)
۱۷	۹-۱	جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود توپودری (FCAW)
۲۱	۱۰-۱	جوش گاز الکتریکی و سرباره الکتریکی
۲۲	۱۱-۱	جوش خمیری
۲۲	۱۲-۱	جوشکاری گل میخ
۲۴	۱۳-۱	وضعیت‌های جوشکاری
۲۷	۱۴-۱	اتصالات جوشی
۲۷	۱۵-۱	انواع جوش
۲۹	۱۶-۱	علایم جوشکاری
۳۲	۱۷-۱	کاربرد انواع جوش در ساختمان
۳۶	۱۸-۱	جوش پذیری
۳۷	۱۹-۱	بیش گرمایش

معرفی جوشکاری ساختمانی

(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. رد پای تاریخی جوشکاری را باید در جوش‌سندانی دنبال کرد. در این شیوه دو قطعه فولادی گداخته شده با ضربات چکش و یا سنبه یا یکدیگر یکپارچه می‌شدند. در هر فرآیند جوشکاری عوامل زیر مورد نیاز است:

- منبع ایجاد گرما یا فشار
- فلز مادر یا فلز پایه
- فلز پرکننده یا فلز جوش

منبع ایجاد گرما می‌تواند شعله یا منبع الکتریکی باشد. منظور از فلز پایه قطعات فلزی است که باید با یکدیگر یکپارچه شوند. فلز پرکننده نیز فلزی است که در فرآیند جوشکاری ذوب‌شده و درز بین دو قطعه فلز پایه را پر می‌کند. جوشکاری می‌تواند با و یا بدون فلز پرکننده 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 (پرکننده) 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

گازها در حالت عادی قابلیت هدایت الکتریسیته ندارند، ولی اگر تحت تأثیر عوامل خارجی از قبیل حرارت زیاد، میدان الکتریکی و غیره قرار گیرند، بعضی از اتم‌ها الکترون از دست داده و بار مثبت پیدا می‌کنند (یون‌های مثبت) و برخی از الکترون‌ها وارد مدار اتم‌های خنثی شده و آنها را دارای بار منفی می‌سازند (یون‌های منفی). این عمل یونیزه شدن نامیده می‌تود. گاز یا هوا پس از یونیزه شدن قابلیت هدایت الکتریسیته پیدا می‌کند و هرچه شدت عمل یونیزه شدن بیشتر باشد، حرکت یون‌های باردار سریع‌تر و قابلیت هدایت الکتریکی بیشتر می‌گردد.

با نزدیک کردن نوک الکتروود به فلز پایه، در فاصله‌ی 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.

۱-۳ مدار جوشکاری قوس الکتریکی

در شکل ۱-۱ الف مدار جوشکاری نشان داده شده است.

این مدار شامل موارد زیر می‌باشد:

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

ب) اتصال به فلز پایه

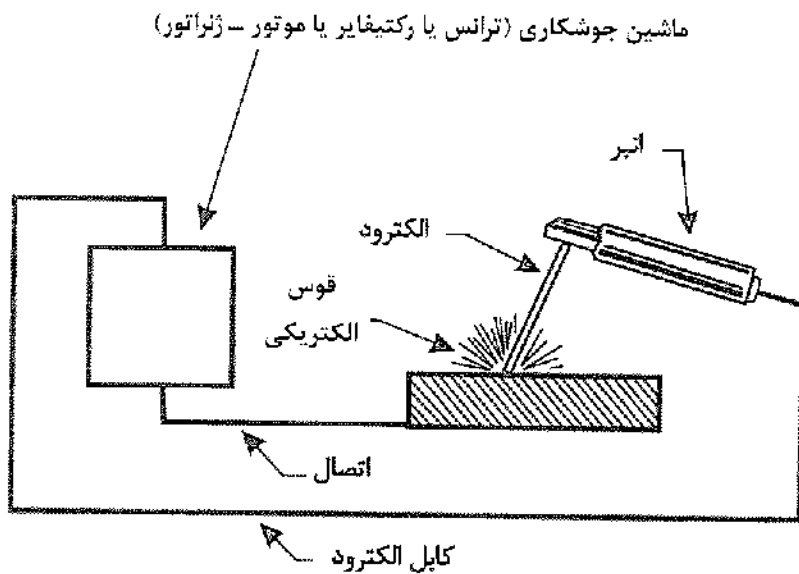
پ) اتصال به‌انتر و الکتروود

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.

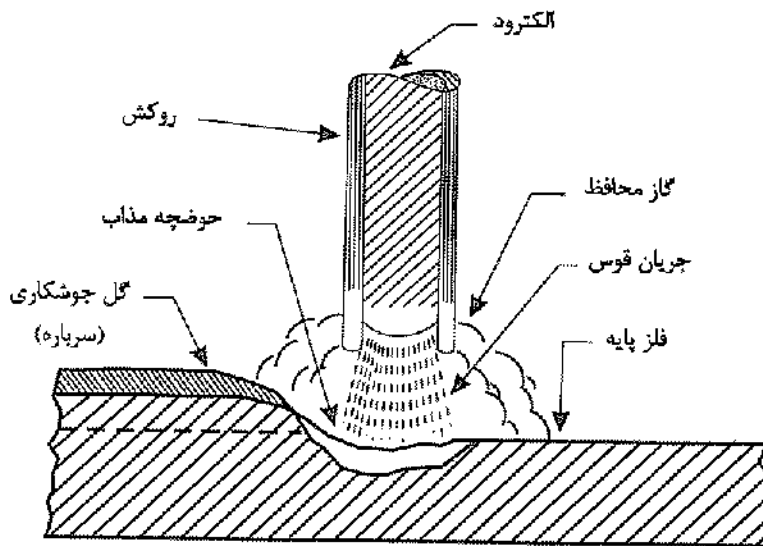
اما اگر الکتروود در فاصله معینی از فلز پایه قرار گیرد، حرکت الکترون‌ها باعث یونیزه شدن هوا و ایجاد قوس الکتریکی می‌شود. مقاومت الکتریکی زیاد قوس، تولید حرارت فوق‌العاده‌ای می‌نماید که باعث ذوب الکتروود و لبه‌های دو قطعه فلز پایه در داخل حوضچه مذاب که در واقع کوره ذوب بسیار کوچکی می‌باشد، می‌گردد (شکل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

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



الف - مدار جوشکاری

(قطر الکتروود) $\approx 1/8$ = طول قوس الکتریکی



ب - تشکیل حوضچه مذاب در نوک الکتروود

شکل ۱-۱ مدار جوشکاری و جزئیات حوضچه مذاب.

نوع جریان

جوشکاری قوس الکتریکی را می‌توان با جریان یکسو (مستقیم) و یا جریان متناوب برقرار نمود.

قطبیت^۱

وقتی که برای جوشکاری از جریان یکسو استفاده می‌شود، مدار جوشکاری را می‌توان به دو صورت برقرار نمود:

اتصال با قطبیت منفی: در اتصال با قطبیت منفی یا مستقیم^۲، قطب منفی به‌الکتروود متصل می‌شود. در این حالت حدود $\frac{2}{3}$ حرارت حاصله در فلز مبنا و $\frac{1}{3}$ در الکتروود آزاد می‌شود.

اتصال با قطبیت مثبت: در اتصال با قطبیت مثبت یا معکوس^۳، قطب مثبت به‌الکتروود متصل می‌شود. در این حالت حدود $\frac{1}{3}$ حرارت حاصله در فلز مبنا و $\frac{2}{3}$ در الکتروود رها می‌شود.

در جوشکاری با جریان متناوب، نظر به اینکه جهت جریان به‌تناوب عوض می‌شود، اتصال با قطبیت مثبت یا منفی مفهومی ندارد. در نتیجه نیمی از حرارت حاصل از قوس الکتریکی، در الکتروود و نیمی دیگر در قطعه آزاد می‌شود.

۴-۱ عوامل مهم جوشکاری

در جوشکاری قوسی چهار عامل مهم وجود دارد که تأثیر زیادی بر کیفیت جوش دارند و برای اینکه جوش خوبی بدست آید، لازم است هر یک از آنها با نوع کار و وسایل مورد استفاده هماهنگ شوند (شکل ۱ - ۲).

این چهار عامل متغیر عبارتند از:

۱. شدت جریان
۲. طول قوس یا ولتاژ قوس
۳. سرعت پیشروی
۴. زاویه الکتروود

شدت جریان قوس مناسب 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.

1. Polarity

2. DCEN or DCSP

3. DCEP or DCRP

۱-۴-۱ تعیین شدت جریان

وقتی قوس برقرار شد و جوشکاری آغاز گردید مقدار آمپری که از مدار جوشکاری عبور می کند به شدت جریان جوشکاری موسوم است. جریان قوس متناسب با قطر الکترود مصرفی روی ماشین جوشکاری میزان می شود. در جوشکاری با الکترودهای روکشدار استاندارد، عدد آمپر به طور تقریبی با عدد قطر برحسب هزارم اینچ برابر است.

بنابراین الکترود به قطر $\frac{3}{32}$ میلیمتر یا $\frac{1}{8}$ اینچ که برابر با $\frac{1}{16}$ اینچ می باشد با ۱۲۵ آمپر خوب کار می کند. وقتی صحبت از قطر می شود منظور قطر سیم مغزه است نه قطر روکش الکترود.

۱-۴-۲ طول قوس

طول قوس عبارت است از فاصله بین سر الکترود 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. به طور تجربی می توان گفت به ازای هر $\frac{1}{16}$ اینچ طول قوس ۱۰ ولت بین دو سر قوس لازم است، به عبارت دیگر می توان گفت به ازای هر یک میلیمتر قوس، تقریباً $\frac{6}{3}$ ولت لازم است. یک قاعده کلی بیان می کند که: «طول قوس با بستن قدری کمتر از قطر الکترود مورد استفاده باشد» مثلاً با الکترود به قطر ۴ میلی متر، طول قوس بین ۳ تا ۴ میلی متر و ولتاژ ۲۰ تا ۲۲ ولت مناسب است. عملاً برای جوشکاری اندازه گیری دقیق طول قوس هنگام جوشکاری مقدور نیست ولی جوشکار می تواند 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 الکترود باشد.

۱-۴-۴ زاویه الکترود

در جوشکاری ورق حالت مسطح (حالت تخت): الکترود بایستی عمود بر ورق باشد و در حالت های دیگر بهتر است الکترود زاویه موجود جوشکاری را نصف نماید. معمولاً تحراف تا ۱۵ درجه از آنچه گفته شد اشکالی ندارد. محدوده زوایای مناسب جوشکاری در وضعیت های مختلف جوشکاری در آیین نامه جوشکاری ساختمانی ایران آمده است.

۵-۱ فرآیندهای جوشکاری^۴

فرآیندهای جوشکاری در سه رده عمومی قرار می‌گیرند:

۱. جوشکاری دستی
۲. جوشکاری نیمه خودکار
۳. جوشکاری خودکار

اختلاف سه فرآیند فوق در موارد زیر می‌باشد:

الف) هدایت انبر که در جوشکاری دستی و نیمه خودکار توسط کارگر انجام می‌شود.
 ب) نوع الکتروود که در جوشکاری دستی از الکتروود روکش دار با طول محدود^۵ استفاده می‌شود و در جوشکاری نیمه خودکار و خودکار از الکتروود لخت (بدون روکش) با طول پیوسته که دور قرقره پیچیده شده، استفاده می‌شود.

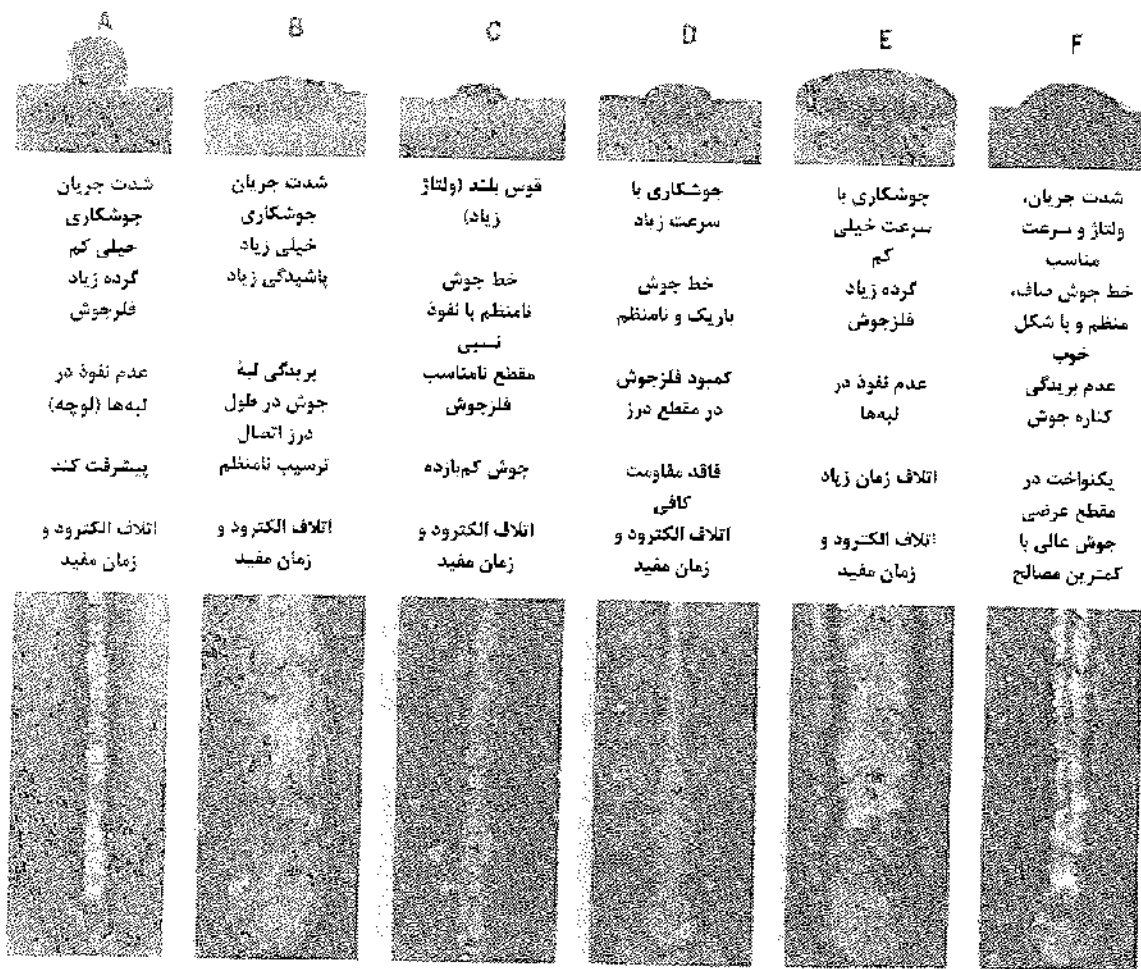
پ) نحوه محافظت از نوار جوش مذاب در حال سخت شدن.
 در جوشکاری نیمه خودکار، هدایت انبر توسط جوشکار انجام می‌شود، لیکن طول الکتروود نامحدود است. فرآیندهای جوشکاری خودکار و نیمه خودکار به‌قرار زیر است:

۱. جوش زیرپووری
۲. جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود فلزی
۳. جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود تنگستن
۴. جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود توپووری
۵. جوش گاز الکتریکی
۶. جوش سرباره الکتریکی

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

4. Process

5. Stick



شکل ۱-۲ تأثیر عوامل مهم روی کیفیت جوش.

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

جوشکاری دستی متداول‌ترین فرایند 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، الکتروود روکش دار و جوشکار ماهر می‌باشد. کیفیت جوش حاصل بستگی به مهارت جوشکار، نوع الکتروود 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، برسی، گرم‌کن الکتروود و لوله دمیدن هوا برای زدودن گرد و غبار درز جوش است. در شکل ۱-۳ تصاویری از جوشکاری دستی ارائه شده است. عیب عمده این روش سرعت کم و هزینه دستمزد و وقت‌گیر بودن عملیات و گیل‌برداری بین عبورهای پی در پی نوار جوش است.



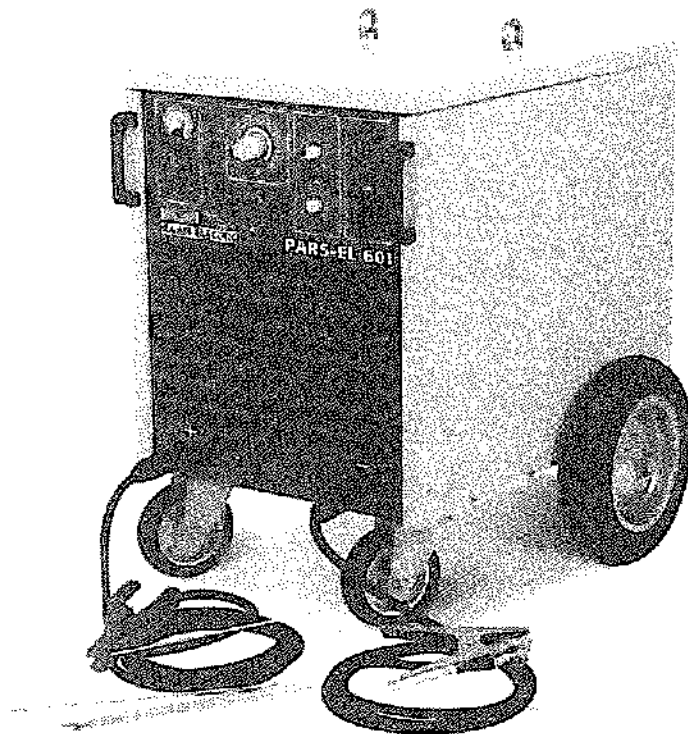
(الف) جوشکاری دستی در حالت تخت



(ب) جوشکاری دستی در حالت سر بالا

شکل ۱-۳ جوشکاری دستی.

در شکل ۱ - ۴ نیز تجهیزات جوشکاری دستی به‌نمایش درآمده است. تجهیزات نشان داده شده شامل مولد، کابل و گیره اتصال، کابل انبر، و الکتروود روکش دار می‌باشد. روکش الکتروود به‌طور مستقیم در فرآیند جوش دخالت ندارد، لیکن نقش بسیار عمده‌ای در افزایش سهولت و کیفیت جوشکاری دارد. در فصل سوم این موضوع به‌طور کامل مورد توجه قرار خواهد گرفت، لیکن در حدی که برای ادامه بحث لازم است، باید توضیحاتی ارائه گردد. روکش در حین جوشکاری به‌همراه الکتروود ذوب شده و پس از سرد شدن به‌صورت 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 به‌نحو دیگری تأمین گردد.



شکل ۱-۴ تجهیزات جوشکاری دستی شامل مولد، کابل اتصال به‌فلز پایه، کابل انبر، انبر و الکتروود روکش دار.

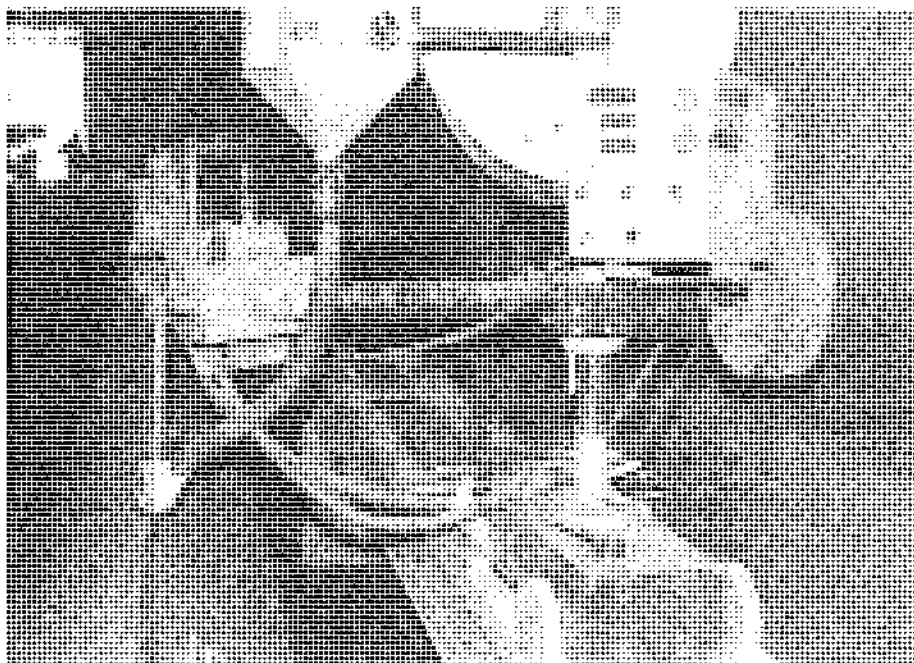
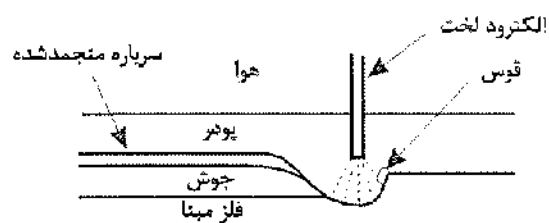
۱-۷ جوش زیرپودری (SAW)

جوش زیرپودری یک روش خودکار است. در جوشکاری به‌روش زیرپودری، ماده حفاظت‌کننده جوش، به‌صورت پودر روی درز ریخته می‌شود. به‌فاصله کمی پشت نازل پودر، قوس الکتریکی توسط الکتروود لخت و در زیر این پودر برقرار می‌گردد. در حین جوشکاری، قوس زیرپودر برقرار شده و جرقه جوشکاری مشاهده نمی‌شود و نیازی به‌استفاده از ماسک برای اپراتور نیست و تنها عینک محافظ صنعتی کفایت می‌کند (شکل ۱ - ۵).

الکتروده فلزی لخت که در این نوع جوشکاری از آن استفاده می‌شود، به‌مصرف پُر کردن درز می‌رسد. نوآر جوش توسط گل جوشکاری که از پودرهای ذوب‌شده ایجاد شده و روی آن لایه دیگری از پودر ذوب نشده به‌صورت دانه‌ای قرار دارد، حفاظت می‌شود. پودر ذوب‌نشده قابل بازیابی است.

پودر که عامل مشخصه این روش جوشکاری است روکنی 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 الکتروده که در حال حرکت به‌جلو می‌باشد، ریخته می‌شود. این ماده حوضچه مذاب را در مقابل گازهای هوا محافظت نموده و به‌تمیزی 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. (شکل ۱ - ۵)



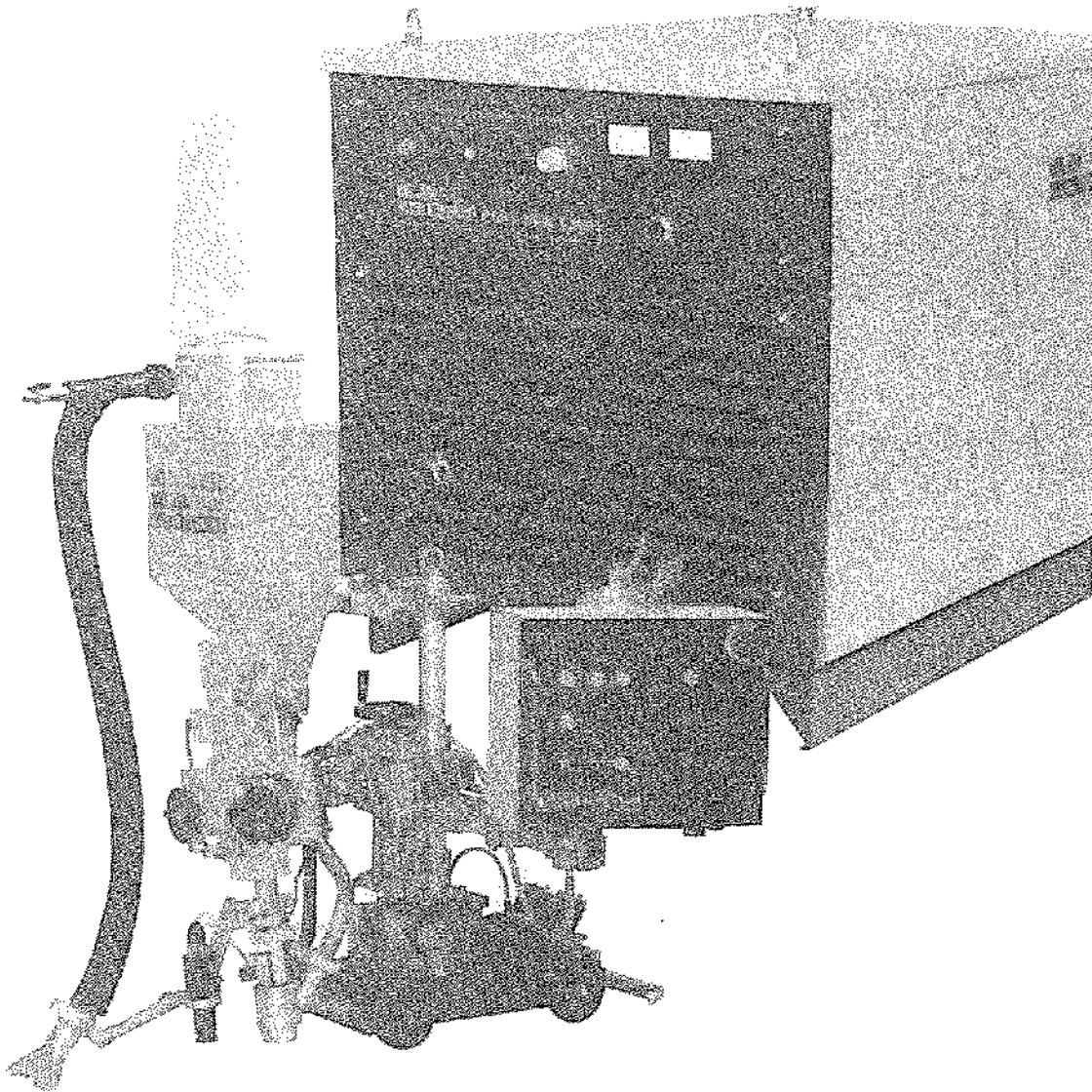
شکل ۱-۵ جوش زیرپودری.

وسایل جوش زیرپودری

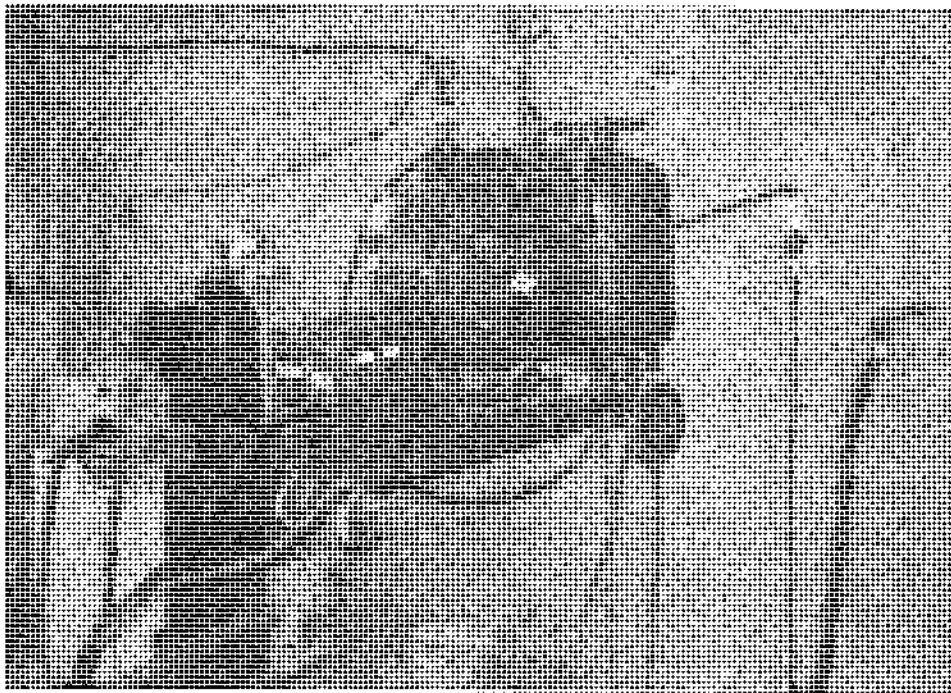
در شکل‌های ۱-۶ و ۱-۷ تجهیزات لازم برای جوشکاری زیرپودری نشان داده شده است. این وسایل مشتمل

هستند بر:

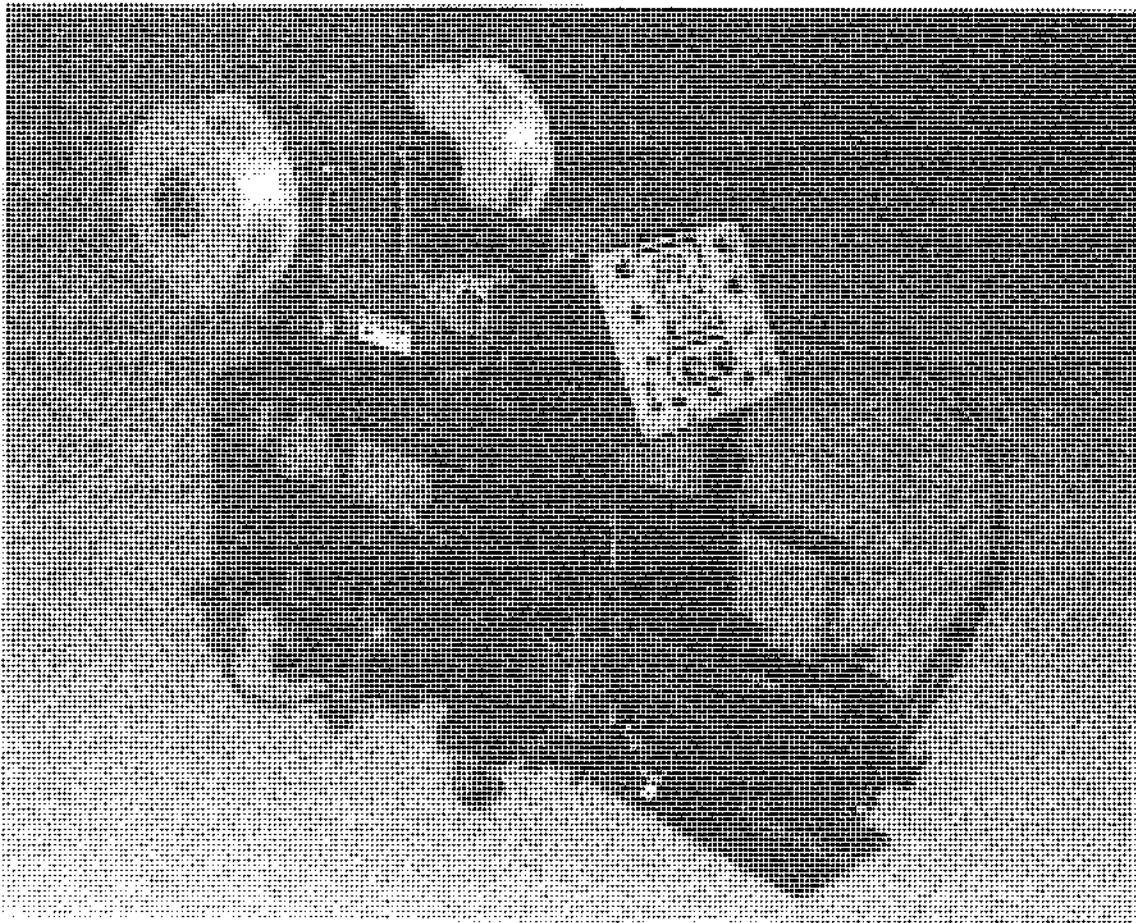
۱. مولد
۲. مخزن پودر
۳. نازل پودر
۴. انبر
۵. سیستم نگهداری و هدایت الکتروود لخت
۶. روبات هدایت انبر و ریل‌های مربوطه



شکل ۱-۶ تجهیزات جوشکاری زیرپودری.



شکل ۱-۷ جوشکاری زیرپودری نیمه خودکار - نازل پودر در اطراف الکترود قرار دارد.



شکل ۱-۸ تجهیزات جوشکاری زیرپودری با دو نازل جوشکاری.

۱-۸ 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، به صورت خودکار تغذیه می‌گردد. از آنجا که خصوصیات الکتروود قوس و سرعت رسوب، به صورت خودکار تنظیم می‌شوند، تنها سرعت انتقال، هدایت و تنظیم مکان انبر مخصوص جوشکاری^۷ است که به صورت دستی و توسط جوشکار انجام می‌گیرد.

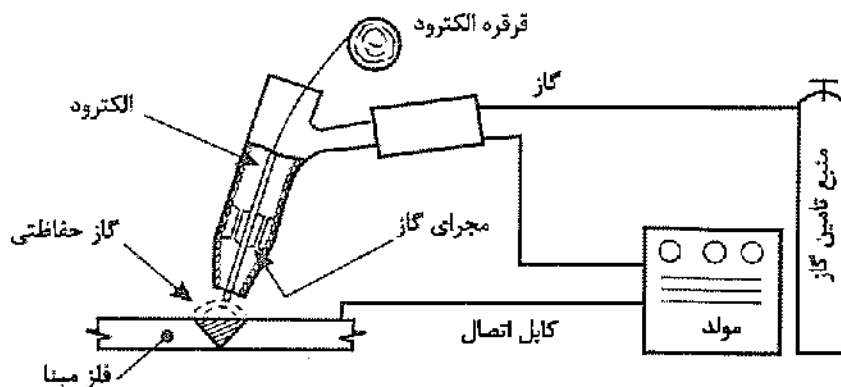
در این روش الکتروود مفتول لخت و پیوسته‌ای است که از میان گره الکتروود گذشته و با یک قرقوه تغذیه می‌شود (شکل ۱-۹). حفاظت در این روش با سپری از گاز غیرفعال (نظیر آرگون) و یا فعال (نظیر CO_2) صورت می‌گیرد.

بعضی از خصوصیات این روش جوشکاری به‌قرار زیر می‌باشند:

6. GMAW.

7. Gun

۱. حرارت ایجاد شده 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 به صورت نیمه خودکار قابل استفاده است.



شکل ۱-۹ جوش قوس الکتریکی تحت حفاظت گاز.

تمام توابع فرآیند توسط تجهیزات زیر کنترل می‌شوند:

- ۱ - انبر مخصوص جوشکاری و کابل‌ها
- ۲ - واحد تغذیه سیم جوش
- ۳ - کپسول گاز CO_2 (و یا ترکیبی از CO_2 و آرگون)
- ۴ - مولد

انبر مخصوص جوشکاری و کابل‌ها سه وظیفه دارند:

- ۱ - از طریق آنها گاز وارد منطقه قوس می‌شود.
- ۲ - الکتروود مصرفی به مجرای اتصال هدایت می‌گردد.
- ۳ - انرژی الکتریکی به مجرای اتصال متصل می‌شود.

خصوصیات جوش تحت حفاظت گاز را می‌توان توسط چهار مدل اصلی انتقال فلز به خوبی 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 به طوری که می‌توان هر یک از آنها را به عنوان 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.

جهت کسب اطلاعات تکمیلی می‌توانید به کتب مرجع مرتبط با این روش جوشکاری مانند کتاب تکنولوژی بازرسی جوش مراجعه نمایید.
در جدول ۱ - ۱ اطلاعاتی در خصوص انتخاب نوع گاز محافظ با توجه به مصالح مصرفی ارائه شده است.

۱ - ۹ جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود توپودری

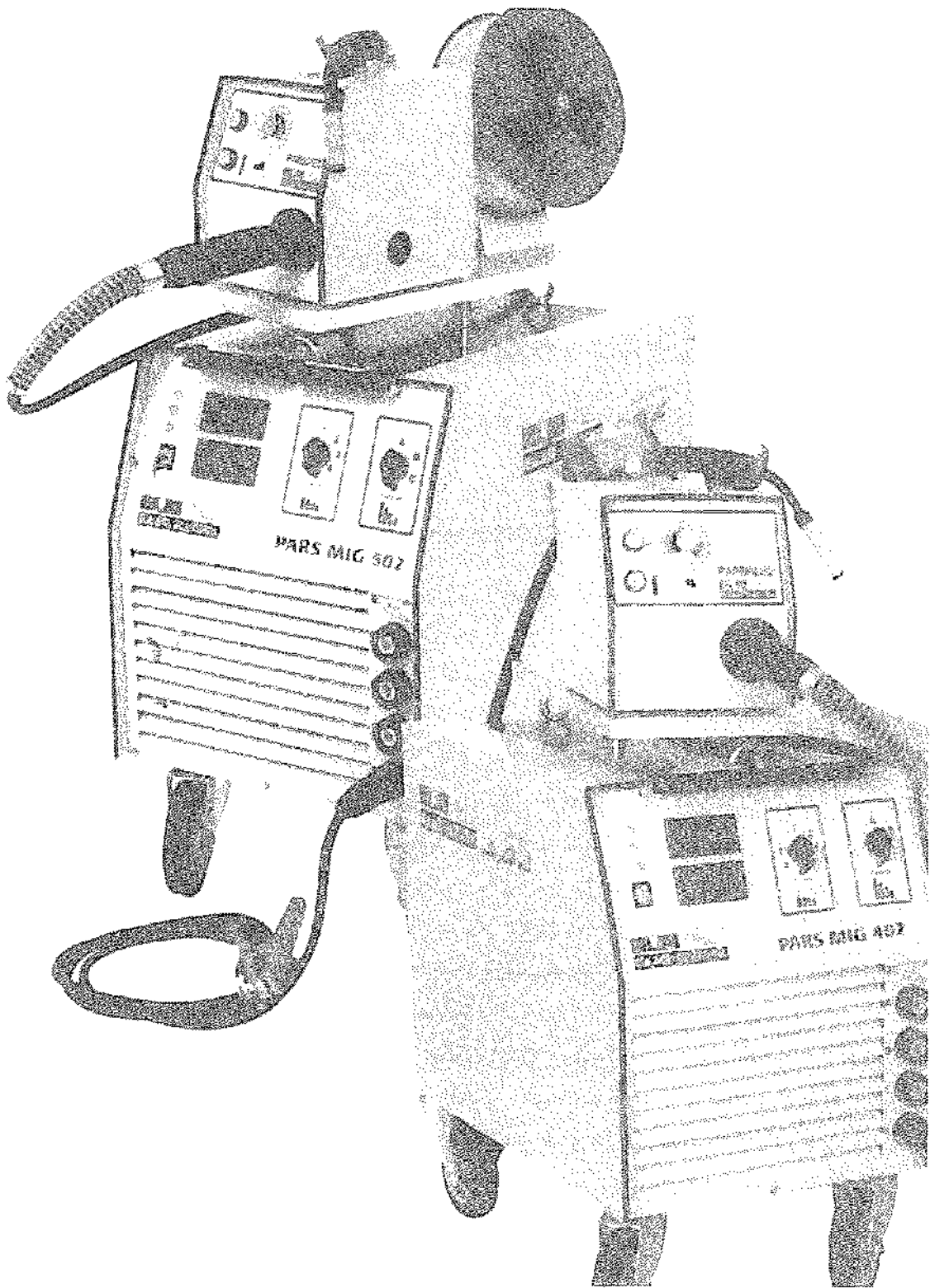
این فرایند شبیه جوشکاری تحت حفاظت گاز است، با این تفاوت که الکتروود ممتد آن لوله‌ای شکل بوده، و در مغزه خود مقدار محدودی پودر دارد. این ماده همان نقشی را به عهده دارد که روکش در روش جوشکاری دستی با الکتروود روکش‌دار و یا پودر در روش جوش زیرپودری به عهده داشتند. در الکتروودهای ممتد فرقره پیچ، حفظ روکش 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. به‌طور کلی قسمت‌های تشکیل‌دهنده مرکز الکتروودهای مورد استفاده در این روش، حاوی تشکیل‌دهنده‌های سرباره، اکسیژن‌زداها، پایدارکننده‌های قوس و عناصر آلیاژی می‌باشند.

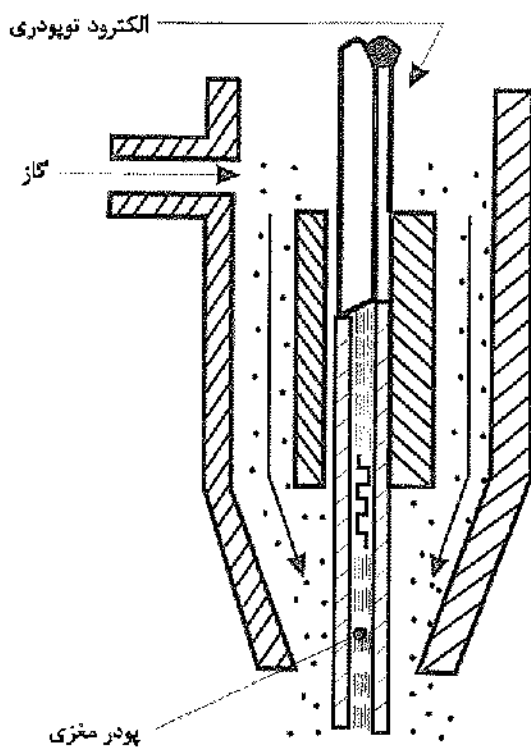
در فرآیند FCAW با الکتروودهای خودمحافظ^۹ (شکل ۱ - ۱۲ - ب)، اجزای هسته الکتروود، فلز جوش را بدون حفاظت خارجی، از اتمسفر محافظت می‌کنند. در برخی الکتروودهای خودمحافظ، گاز حفاظتی از طریق تجزیه اجزای پودر درون الکتروود ایجاد می‌شود. در برخی موارد دیگر، حفاظت از طریق سرباره صورت می‌گیرد و قطره‌های فلز مذاب 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.

8. Flux-Cored Arc Welding (FCAW)

9. Self Shielded FCAW



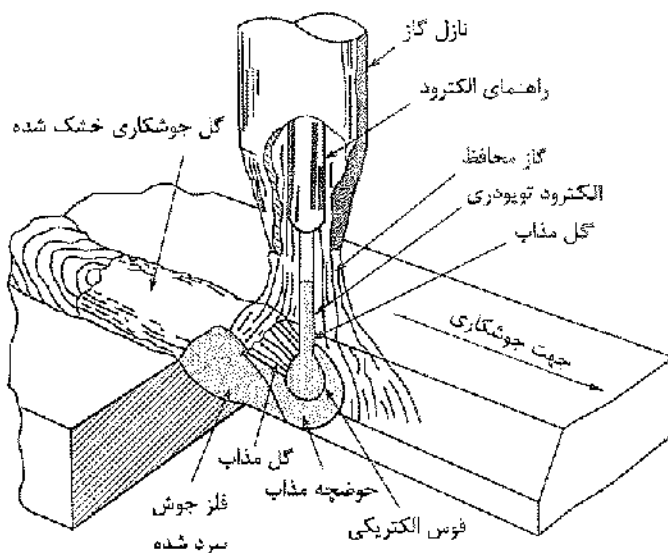
شکل ۱-۱۰ تجهیزات جوش قوس الکتریکی تحت حفاظت گاز با الکتروود مصرفی (GMAW).



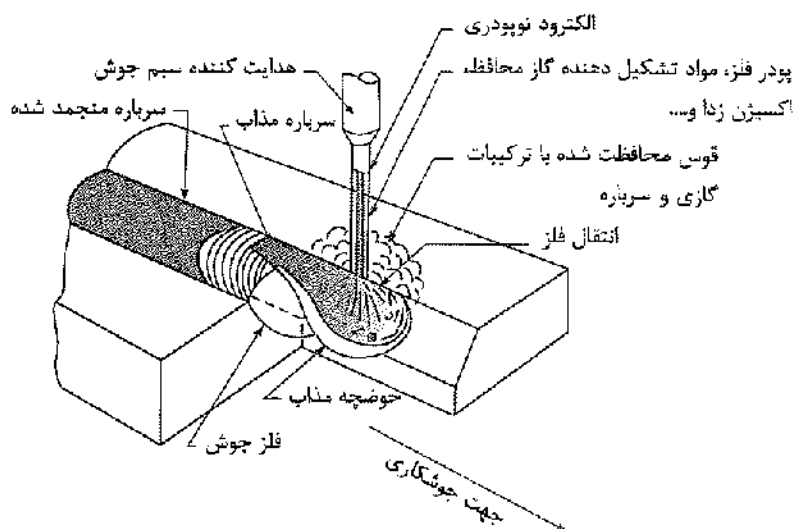
شکل ۱-۱ نازل برای جوشکاری با الکتروود توپودری.

جدول ۱-۱ انتخاب روش گاز محافظ در فرآیندهای جوش قوس الکتریکی تحت حفاظت گاز

مصالح مصرفی	گاز محافظ						روش		قطبیت
	آرگون	هلیوم	CO ₂	O ₂	II ₂	N ₂	GTAW	GMAW	
فولاد نرمه	۱۰۰						*		DCSP
	۷۵ تا ۸۰		۲۰ تا ۲۵					*	DCRP
		۱۰۰					*A		DCRP
			۱۰۰						DCRP
	۹۸			۲					DCRP
فولاد کم آلیاژ	۹۷			۳				*	DCRP
	۹۵			۵				*	DCRP
	۸۰				۲۰				DCRP
	۸۰		۲۰						DCRP
	۹۹			۱				*	DCRP
فولاد ضدزنگ	۹۵			۵				*	DCSP
	۸۰				۲۰		**		DCSP
	۱۰۰						*		DCSP
		۱۰۰						*A	DCSP



الف - فرآیند جوشکاری قوسی با الکتروود توپودری تحت حفاظت گاز



شکل ۱-۱۲ انواع فرآیندها با جوشکاری با الکتروود توپودری.

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

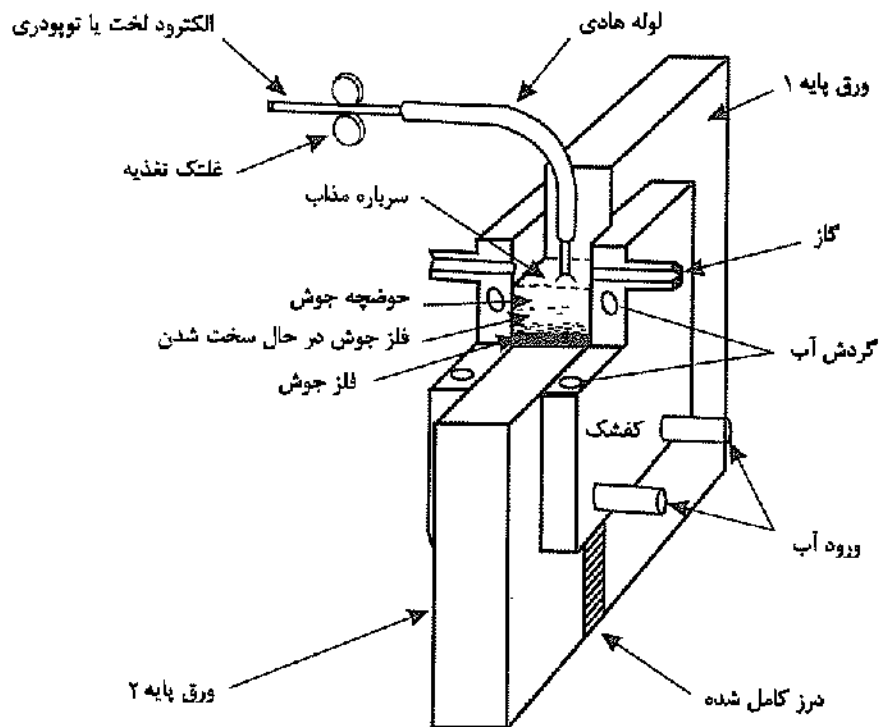
- سرعت رسوب بالا برای جوشکاری در همه وضعیت‌ها
- نیاز به مهارت کمتر جوشکاری نسبت به فرآیند GMAW

- 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 یا حفاظت گاز (GMAW)

۱-۱۰ جوشکاری گاز الکتریکی و سرباره الکتریکی

۱-۱۰-۱ جوش گاز الکتریکی^۱ (EGW)

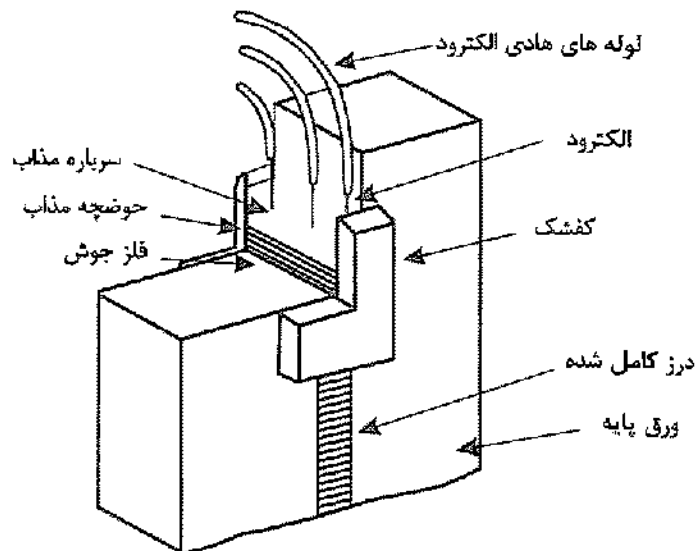
همان‌طور که شکل ۱-۱۳ نشان می‌دهد، جوشکاری گاز الکتریکی، روش ماشینی خودکار برای جوشکاری درزها در وضعیت قائم است. در این روش هم از الکتروود ممتد لخت و هم از الکتروود توپودری می‌توان استفاده نمود. این روش قادر به پُر کردن درز جوش ورق‌های ضخیم با یک بار عبور می‌باشد. شیار جوش از دو طرف توسط دو کفشک که توسط 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.



شکل ۱-۱۳ جوشکاری گاز الکتریکی.

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. سرباره در حالت جامد هادی الکتریسیته نیست، در نتیجه برای شروع جوشکاری به حرارت قوس الکتریکی برای ذوب سرباره نیاز است. اما با توجه به اینکه عملیات اصلی جوشکاری به واسطه حرارت حاصل از مقاومت سرباره در مقابل جریان الکتریکی صورت می‌گیرد، این جوش در حقیقت جوش قوس الکتریکی نیست. کفشک‌های هادی جوش می‌توانند به صورت مصرف‌شدنی یا مصرف‌نشدنی باشند. با این روش می‌توان درز با هر ضخامتی را با یک بار عبور جوش نمود. به طور اصولی جوشکاری گاز الکتریکی و سرباره الکتریکی برای درزها با ضخامت زیاد توجه اقتصادی دارند. به واسطه سرعت کم پیشروی جوشکاری، نوار جوش حاصل دارای بافت درستی بوده و در نتیجه طاقت نمونه زخم‌دار آن کم خواهد بود.



شکل ۱-۱۴ جوش سرباره الکتریکی.

۱-۱۱ 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.

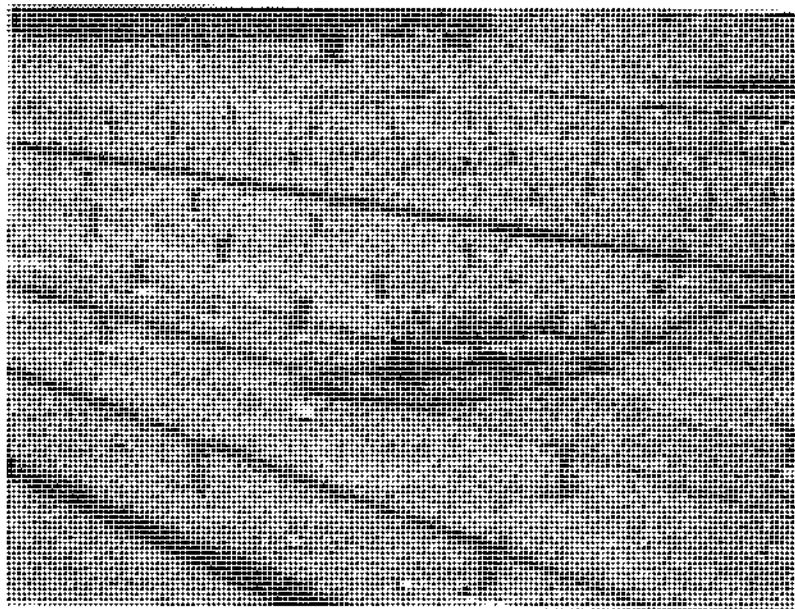
۱-۱۲ جوشکاری گل میخ

فرآیند جوشکاری قوسی گل‌میخ از رایج‌ترین فرآیندهای جوشکاری گل‌میخ‌های فلزی به فلز پایه می‌باشد، که از لحاظ



شکل ۱- ۱۵ جوش خمیری.

ساختاری مشابه روش SMAW است. در این فرآیند گل میخ فلزی به عنوان الکتروود عمل نموده و قوس الکتریکی بین نوک گل میخ و سطح ورق ایجاد می شود که منجر به ذوب و ممزوج شدن گل میخ با ورق فولادی می گردد. گل میخ در داخل یک انبر تپانجه ای شکل قرار گرفته و جهت محافظت منطقه جوش از یک قطعه حلقوی سرامیکی استفاده می شود. پس از برقراری قوس در یک زمان مشخص انبر تپانجه ای شکل، گل میخ را به سمت حوضچه مذاب فشار داده و فرآیند جوشکاری به اتمام می رسد. در این فرآیند علاوه بر ذوب کل مقطع گل میخ، یک جوش گوشه ظریف هم اطراف گل میخ ایجاد می شود. مدت زمان کل فرآیند کمتر از یک ثانیه می باشد. (شکل ۱ - ۱۶).



شکل ۱- ۱۶ جوشکاری گل میخ به روش فوسی با انبر تپانجه ای شکل در کارگاه.

۱-۱۳ وضعیت‌های جوشکاری

بر حسب وضعیت قطعه مورد جوش و الکتروود 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.

(تعداد ۹۳-۴۵)
(استفاده ۷۶)
(۱۵-۸۶)

<p>(1F) تخت یا کفی</p> <p>محور نوار جوش</p>	<p>(2F) افقی</p> <p>محور نوار جوش</p>	<p>(3F) قائم</p> <p>محور نوار جوش</p>	<p>(4F) سقفی</p> <p>محور نوار جوش</p>
جوش‌های گوشه			
<p>(1G) تخت یا کفی</p> <p>ورق افقی جوش افقی</p>	<p>(2G) افقی</p> <p>ورق قائم جوش افقی</p>	<p>(3G) قائم</p> <p>ورق قائم جوش قائم</p>	<p>(4G) سقفی</p> <p>ورق افقی جوش افقی</p>
جوش‌های شیاری			

شکل ۱-۱۷ وضعیت‌های جوشکاری.



(الف) جوشکار حین جوشکاری تخت

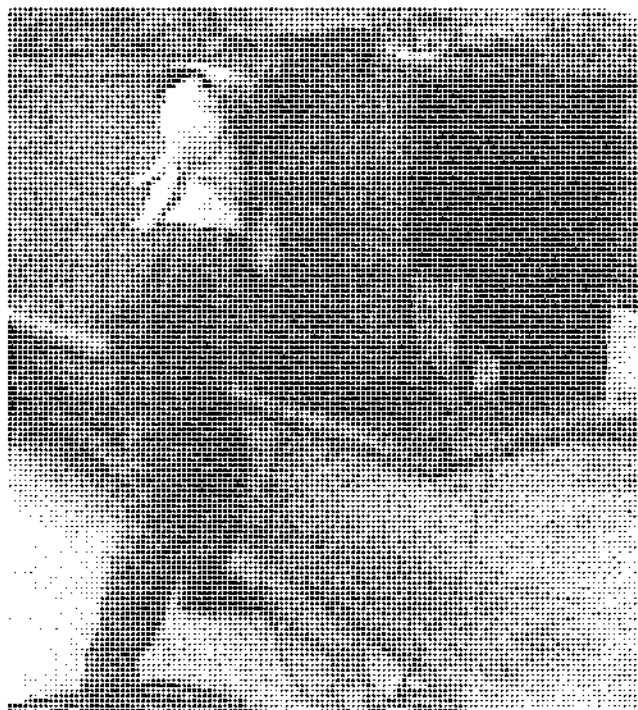


(ب) جوشکار حین جوشکاری افقی

شکل ۱- ۱۸ وضعیت‌های جوشکاری.



(پ) جوشکار حین جوشکاری سربالا



(ت) جوشکار حین جوشکاری سقفی

شکل ۱- ۱۸ وضعیت‌های جوشکاری. (ادامه)

۱-۱۴ اتصالات جوشی

برای برقراری اتصال، قطعات فلز پایه در حالات مختلفی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. به این حالات اتصال گفته می‌شود. انواع اتصالات جوشی به‌قرار ذیل می‌باشد:

(الف) اتصال لب به لب

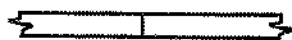
(ب) اتصال پوششی (رویهم)

(پ) اتصال سیری

(ت) اتصال گونیا

(ث) اتصال پیشانی

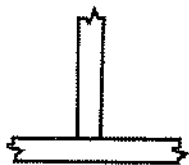
در شکل ۱-۱۹ انواع اتصالات جوشی نشان داده شده است.



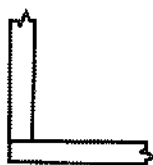
(الف) اتصال لب به لب



(ب) اتصال پوششی



(پ) اتصال سیری



(ت) اتصال گونیا



(ث) اتصال پیشانی

شکل ۱-۱۹ انواع اتصال جوشی.

(اسفند ۹۱ سرکلا)

۱-۱۵ انواع جوش

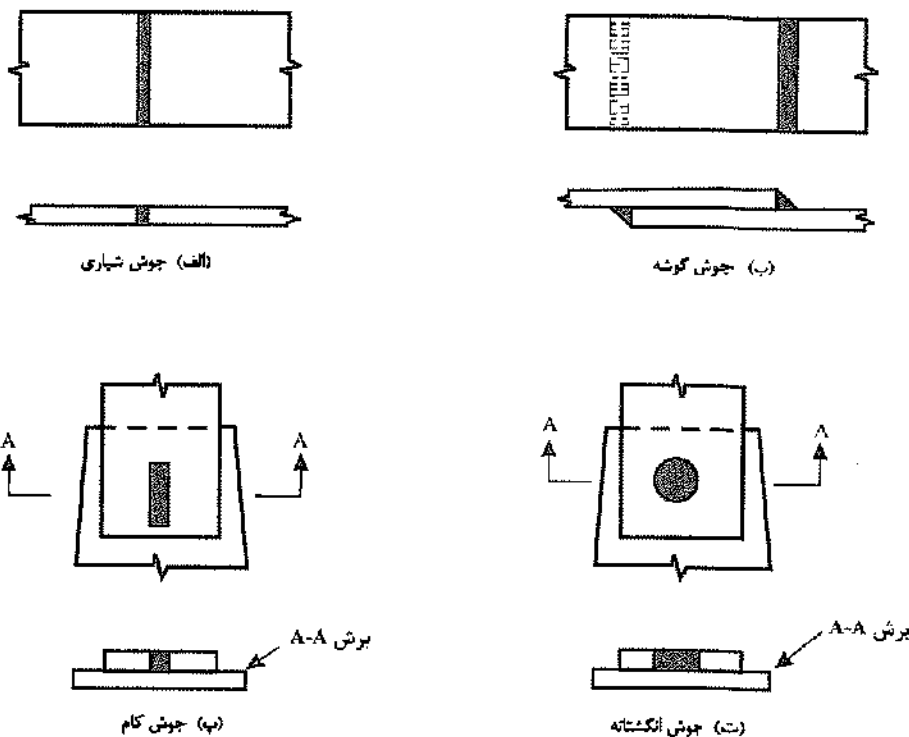
در شکل ۱-۲۰ انواع جوش نشان داده شده است که عبارتند از:

(الف) جوش شیاری

(ب) جوش گوشه

(پ) جوش کام

(ت) جوش انگشتانه



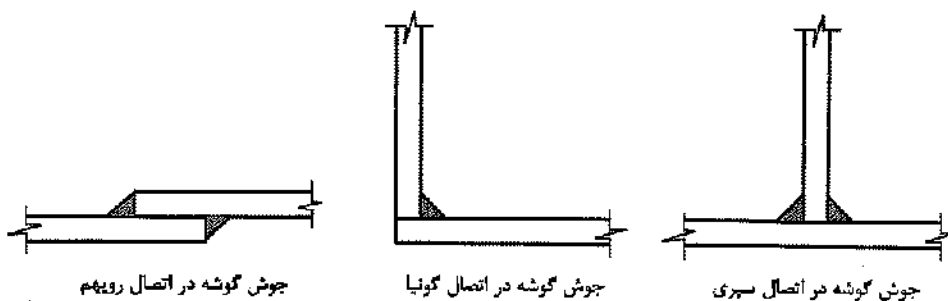
شکل ۱-۲۰ انواع جوش

جوش گوشه

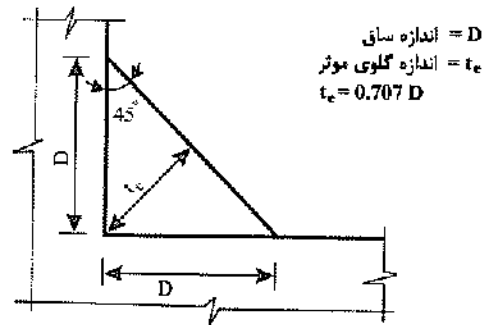
جوش گوشه متداول‌ترین جوش در ساختمان‌های فولادی است. از این جوش می‌توان در اتصال رویهم، اتصال سپری و اتصال گونیا از شکل ۱-۱۹ استفاده کرد که نتیجه آن در شکل ۱-۲۱ نشان داده شده است. در شکل ۱-۲۲ مشخصات هندسی جوش گوشه با دو ساق مساوی نشان داده شده است. در این شکل به اختلاف بین اندازه گلو و اندازه ساق توجه داشته باشید. اگر t_e اندازه گلو و D اندازه ساق جوش گوشه باشد، داریم:

$$t_e = 0.707D$$

(۱-۱)



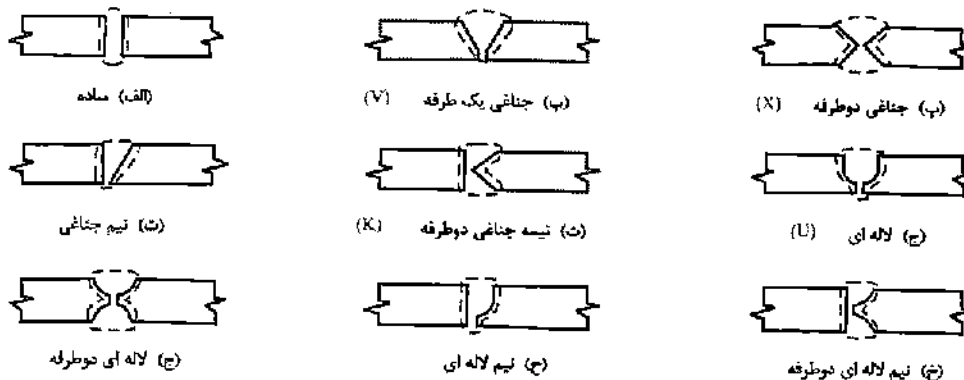
شکل ۱-۲۱ انواع جوش گوشه در اتصالات مختلف



شکل ۱-۲۲ هندسه نوار جوش گوشه با ساق‌های مساوی.

جوش شیاری

از جوش شیاری برای یکسره کردن تمام قدرت ورق‌ها و برقراری درز جوش‌های تمام‌قدرت استفاده می‌شود. برای انجام جوش شیاری در دو لبه مجاور هم، لازم است لبه‌های کار به‌منظور نفوذ کامل جوش آماده گردند. در شکل ۱-۲۳ انواع آماده‌سازی لبه‌ها ارائه شده است. در عمل اغلب از درز ساده و یا درزهای جناغی استفاده می‌شود.



شکل ۱-۲۳ انواع جوش شیاری.

۱-۱۶ علایم جوشکاری

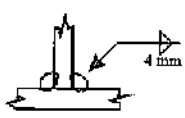
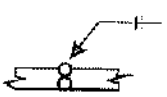
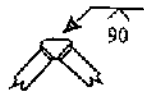
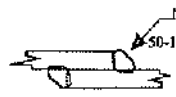
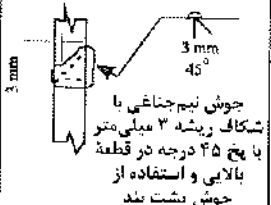
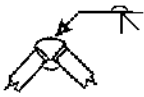

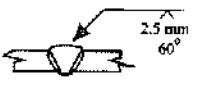
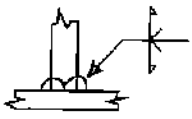
قبل از اینکه یک درز یا اتصال جوش شود، طراح باید قادر باشد به‌طریقی دستورات خود را در مورد اندازه و نوع جوش لازم، به‌نقشه‌کش و یا سازنده اتصال ارائه نماید. انواع اصلی جوش در بخش قبل مورد بحث قرار گرفت. اگر برای ساخت هر اتصال جدیدی، به‌دستورالعمل‌های اختصاصی و مشروحاتی احتیاج باشد، کار طراح در تهیه دستور ساخت یک اتصال، بسیار مشکل می‌شود.

نیاز به یک وسیله ساده و در عین حال دقیق برای برقراری تفاهم میان طراح و سازنده، به‌استفاده از علایم اختصاری که نمایشگر انواع جوش‌ها و اندازه آنهاست، رواج بخشیده است. علایم استانداردنی که در شکل ۱-۲۴ به‌نمایش درآمده است، به‌خوبی هر دستورالعمل اختصاصی، مشخص‌کننده نوع، اندازه، طول و محل هر جوش می‌باشد.

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

شکل ۱- ۲۴ بیکان جوش

اغلب اتصالاتی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، احتیاج به دستورالعمل خاصی ندارند و به‌ترتیبی که به‌طور نمونه در شکل ۱ - ۲۵ نمایش داده شده مشخص می‌گردند.

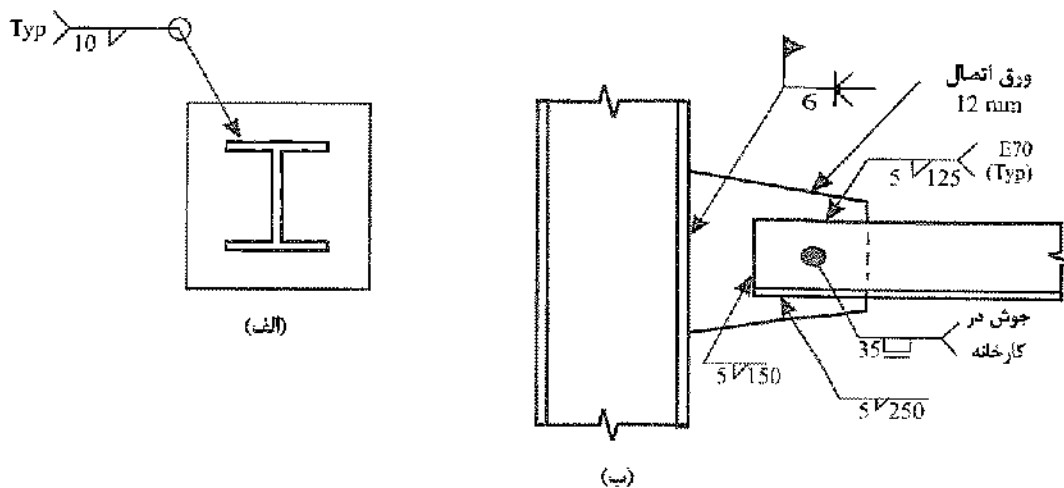
جوش های گوشه	جوش های شیاری	جوش های شیاری مخصوص
 <p>عدد نماینده اندازه ساق جوش. وقتی جوش های دو طرف یکی باشد تنها در یک طرف گذارده می شود</p>	 <p>جوش لب پهن ساده یا جوشکاری از دو طرف</p>	 <p>اتصال گونیا یا جوش تیاری</p>
 <p>نشان دهنده این است که جوش ها منتقل و یکی در میان بوده، طول جوش ۵ سانتی متر بوده و به فاصله مرکز به مرکز ۱۰ سانتی متری قرار دارند.</p>	 <p>جوش نیم جناغی با شکاف ریشه ۳ میلی متر یا پنج ۴۵ درجه در قطعه بالایی و استفاده از جوش پشت بند</p>	 <p>اتصال گونیا یا جوش شیاری یا خط جوش داخلی</p>
 <p>جوش نورتادور</p>	 <p>جناغی یا زاویه پخی ۶۰ درجه و شکاف ریشه ۲/۵ میلی متر</p>	 <p>اتصال گونیا یا جوش نفوذی کامل - ترکیب جوش گوشه و جوش شیاری مورد استفاده در اتصالات تحت بارهای ضربی یا در معرض خستگی</p>

شکل ۱- ۲۵ کاربرد علائم جوشکاری.

ممکن است خواننده احساس کند که تعداد علائم، بی جهت زیاد است، در صورتی که سیستم نمایش جوش به تعداد انواع اصلی تنظیم شده و با سرهم کردن آنها دستورالعمل های کامل تهیه می شود. هرگاه از یک نوع اتصال خاص در قسمت های مختلف یک سازه استفاده به عمل آید، می توان تنها به نمایش یک جزئیات تیپ مانند شکل ۱ - ۲۶ - الف، بسنده کرد. هرگاه اتصالات خاص مورد استفاده قرار گیرند، باید به قدر کافی جزئیات هر یک را مشخص ساخت تا هیچ تردیدی درباره نقطه نظرهای طراح باقی نماند (شکل ۱ - ۲۶ - ب).

در شکل ۱ - ۲۶ - ب، طراح مشخص ساخته که جوش انگشتانه در کارخانه و بر روی زمین انجام می گیرد در حالی که جوش نیم جناغی دوطرفه که ورق اتصال را به ستون متصل می سازد، در محل کارگاه و موقع نصب اجرا می شود.

از آنجایی که طراح مشخص نساخته که آیا جوش گوشه متصل کننده نبشی به ورق در کارخانه یا در کارگاه و محل نصب انجام پذیرد، سازنده اسکلت فلزی آزاد خواهد بود که در این مورد تصمیم بگیرد. در این مورد خاص بهتر است که جوش گوشه در کارخانه و قبل از نصب انجام شود. چرا که در غیر این صورت



شکل ۱- ۲۶ استفاده از علائم جوش.

ممکن است جوش انگشترانه در حین عملیات نصب تحت تنش‌های اضافی قرار گیرد. عموماً به دلیل ملاحظات اقتصادی سازنده سعی می‌کند تا آنجا که امکان دارد جوش‌ها را در روی زمین انجام دهد. بنابراین مشخص ساختن جوش‌هایی که طراح می‌خواهد حتماً در محل نصب و پای کار انجام شود، از اهمیت بسیار برخوردار است.

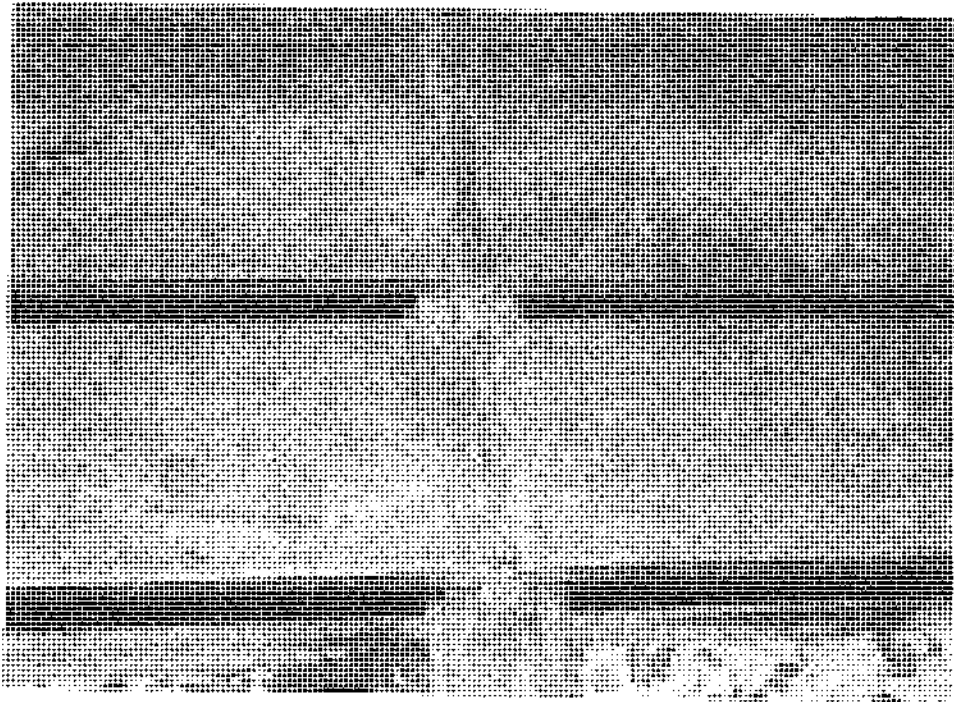
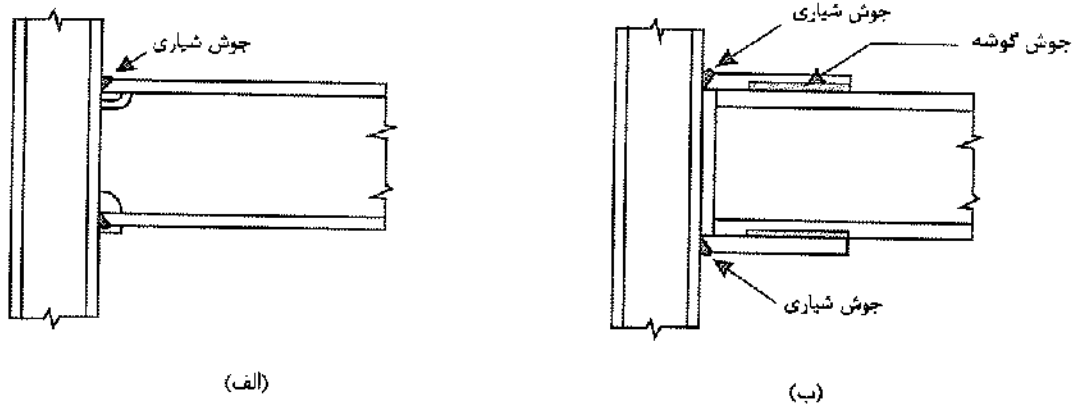
(۱-۱۷ کاربرد انواع جوش در ساختمان)

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.

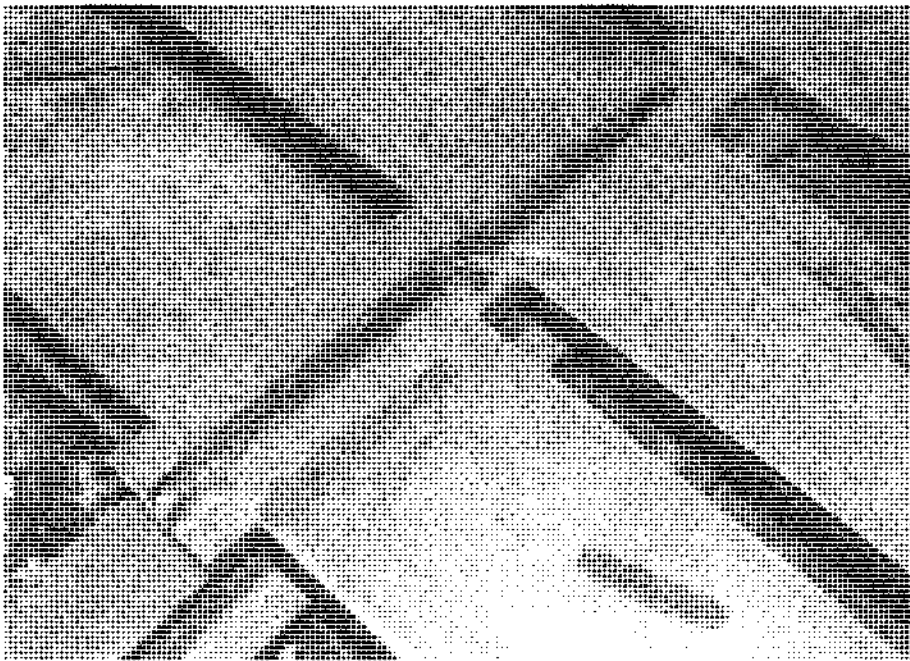
از جوش شیباری برای یکسره کردن ورق‌ها برای ساخت تیرورق‌ها و ستون‌های ورق‌ی و همچنین در اتصالات صلب تیر به ستون برای اتصال ورق‌های زیرسری و روسری به ستون استفاده می‌شود.

از جوش‌های شیباری در مواقعی که جوش تحت تنش‌های قائم قرار دارد، استفاده می‌شود (شکل ۱- ۲۷).

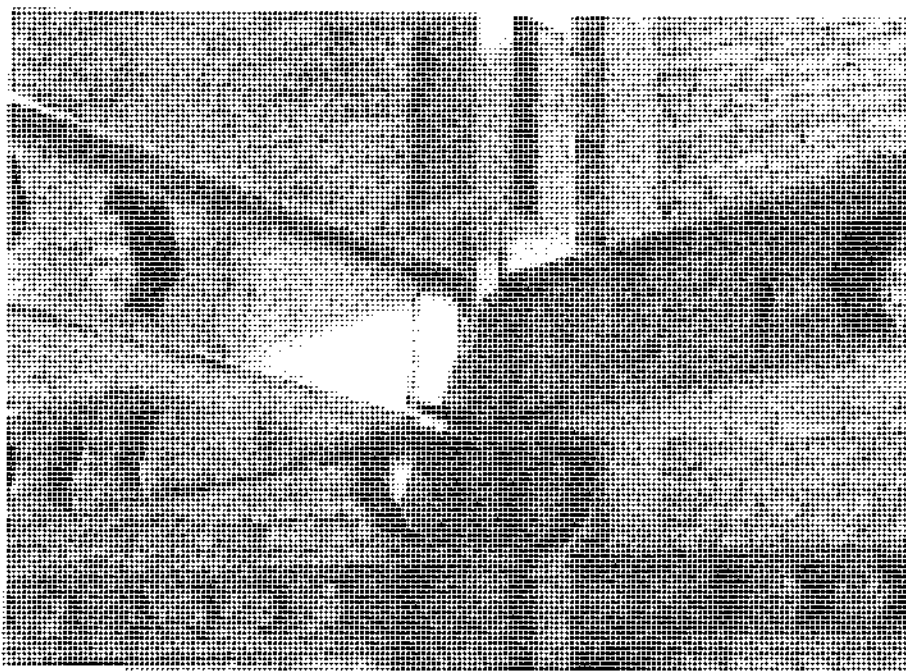


(پ) کاربرد جوش شیاری در یکسره کردن ورق‌ها در تیروورق‌ها و ستون‌های ورقی

شکل ۱- ۲۷ کاربرد انواع جوتی در ساختمان.



شکل ۱- ۲۸ استفاده از جوش تیاری در یکسره کردن ورق‌ها.



شکل ۱- ۲۹ استفاده از جوش گوشه در اتصالات مهاربند.

۱-۱۸ جوش پذیری

اکثر فولادهای ساختمانی را می‌توان با روش جوش قوس الکتریکی با درزهای سالم و قوی، جوش داد. جوش پذیری 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 جنبی، آن را بتوان به صورت متعارف جوش نمود. جوشکاری بعضی از انواع فولاد، راحت‌تر از سایر فولادها می‌باشد. از آنجایی که جوش ترکیبی از فلز الکتروود و فلز پایه است، برای حصول جوش خوب، تعیین ترکیبات فلز جوش و فلز پایه، هر دو، لازم می‌باشد.

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

آلیاژهای فولادهای نرمه غالباً در محدوده‌های ذکرشده در جدول ۱ - ۲ قرار دارد. لیکن در جوشکاری فولادهای پرُضخامت، حتی اگر از نوع فولادهای نرمه باشند، نیاز به دستورالعمل‌ها و توجهات خاص می‌باشد. میزان بعضی از آلیاژهای موجود در فولادهای پرُمقاومت و آلیاژدار از مقادیر جدول ۱ - ۲ تجاوز می‌نماید، در نتیجه جوشکاری آنها نیز نیاز به دستورالعمل‌ها و توجهات خاص دارد.

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 - ۰/۰۶۵	۰/۳۵
Mn منگنز	۰/۱۸ - 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 پرُمقاومت و آلیاژدار، نیاز به دستورالعمل‌های خاص جوشکاری برای جلوگیری از وقوع ترک می‌باشد. این دستورالعمل‌ها در برگیرنده 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 به‌تأخیر 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 به‌یک‌ی از دلایل زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱ - به‌منظور کاهش تنش‌های انقباضی در جوش و فلز پایه مجاور آن، به‌خصوص در درزهایی که درجه‌گیری آنها زیاد است.

۲ - برای کاهش سرعت انجماد در گذر از محدوده دمای بحرانی (۷۲۰ تا ۹۹۰ درجه سلسیوس) به‌منظور 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 به‌خروج هرگونه هیدروژن جذب‌شده توسط مصالح جوش و ناحیه تفتیده در فلز پایه.

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

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

۶ - کاهش دمای انتقال در فلز پایه اطراف آن.

در صورت استفاده از الکتروود کم‌هیدروژن، پیش‌گرمایش را می‌توان به‌حداقل رسانید. در وضعیت‌هایی نظیر جوشکاری ورق‌های خیلی ضخیم یا پر آلیاژ و یا درزهای با درجه‌گیری بالا، نیاز به‌پیش‌گرمایش بیشتری است. هرچند که پیش‌گرمایش فواید زیادی در بر دارد، لیکن به‌علت افزایش مخارج استفاده از آن، در مواردی توصیه می‌شود که به‌آن نیاز است.

حداقل پیش‌گرمایش

حداقل دمای پیش‌گرمایش و دمای پاس‌های میانی طبق توصیه‌های AWS در جدول ۱ - ۳ ارائه شده است. این حداقل‌ها باید با توجه به‌حرارت جذب‌شده در حین جوشکاری، تجزیه شیمیایی فولاد، هندسه درز و سایر عوامل اصلاح گردد.

جدول ۱ - ۲ حداقل دمای پیش‌گرمایش و دمای پاس‌های میانی طبق AWS

نوع جوشکاری		
t (ضخامت) (mm)	جوشکاری با الکترودهای غیر کم‌هیدروژن	جوشکاری با الکترودهای کم‌هیدروژن
≤ 20	لازم نیست ^۲	لازم نیست ^۲
$20 < t \leq 40$	۶۵ درجه سلسیوس	۲۰ درجه سلسیوس
$40 < t \leq 60$	۱۰۵ درجه سلسیوس	۶۵ درجه سلسیوس
$t > 60$	۱۵۰ درجه سلسیوس	۱۰۵ درجه سلسیوس

- ۱ - وقتی دمای محیط کمتر از (۱۵-) درجه سلسیوس باشد، جوشکاری نباید انجام شود.
- ۲ - وقتی که دمای فلز پایه کمتر از دمای توصیه‌شده برای ضخامت ورق است، برای هر دو حالت خال جوش و جوش اصلی باید پیش‌گرمایش انجام شود. پیش‌گرمایش باید به‌طریقی انجام شود که دمای سطحی قطعاتی که فلز جوش در روی آنها ترسیب می‌شود، به‌فاصله‌های مساوی ضخامت قطعه (ولی کمتر از ۷۵ میلی‌متر) در طرفین و سمت پیشروی جوش، از درجه حرارت مذکور در جدول بزرگتر گردد. دمای پیش‌گرمایش نباید از ۲۰۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر گردد (درجه حرارت پاس‌های میانی شامل هیچ محدودیتی نمی‌باشد).
- ۳ - وقتی که دمای فلز پایه کمتر از صفر باشد، با اعمال پیش‌گرمایش دمای آن باید به ۲۰ درجه سلسیوس برسد. جوشکاران با تجربه با لمس قطعه، دمایی در حد بدن را دمایی مناسب برای جوشکاری مناسب می‌دانند.

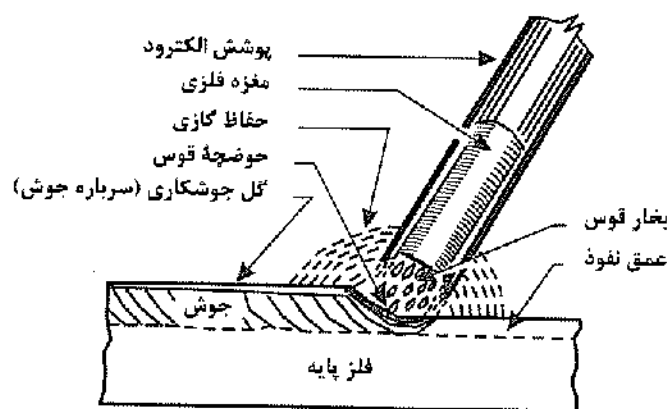
وسایل و تجهیزات جوشکاری قوس الکتریکی

- ۴۱..... ۱-۲ معرفی
- ۴۲..... ۲-۲ قابلیت‌های جوشکاری قوس الکتریکی
- ۴۲..... ۳-۲ اصول کلی
- ۴۳..... ۴-۲ منابع انرژی جوشکاری
- ۴۵..... ۵-۲ منحنی ولتاژ- شدت جریان
- ۴۷..... ۶-۲ ماشین‌های مورد استفاده در جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار
- ۵۲..... ۷-۲ کابل و وسایل اتصال
- ۵۷..... ۸-۲ تجهیزات حفاظتی
- ۶۴..... ۹-۲ ابزار تمیزکاری گل جوش
- ۶۵..... ۱۰-۲ ابزار نگهداری الکتروود
- ۶۶..... ۱۱-۲ ابزار پیش‌گرمایش درز
- ۶۶..... ۱۲-۲ ابزارهای اندازه‌گیری
- ۶۶..... ۱۳-۲ ابزارهای نشانه‌گذاری
- ۶۷..... ۱۴-۲ ابزار نصب
- ۶۹..... ۱۵-۲ تجهیزات جوشکاری تحت حفاظت گاز
- ۷۲..... ۱۶-۲ تجهیزات جوشکاری قوسی زیربودری

وسایل و تجهیزات جوشکاری قوس الکتریکی

۱-۲ معرفی

جوش قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار (SMAW) نوعی جوشکاری قوسی دستی است که در آن حرارت لازم برای جوشکاری، توسط قوس الکتریکی بین یک مفتول فلزی روکش شده که الکتروود خوانده می شود و قطعه فلز پایه فراهم می شود، به همین دلیل این فرآیند گاهی جوشکاری برقی با الکتروود نیز خوانده می شود. سوختن و تجزیه روکش الکتروود، حفاظت گازی ایجاد می کند که انتهای الکتروود، حوضچه مذاب جوشکاری، قوس و قطعه فلز حرارت دیده را از نفوذ هوا محافظت می کند (شکل ۱ - ۲). این حفاظت گازی باعث تثبیت قوس الکتریکی و همچنین کاهش پاشیدگی جوش و سهولت کار می شود. حفاظت بیشتر برای فلز مذاب در حوضچه مذاب، توسط پوششی از گِل^۱ جوشکاری در حین عمل جوشکاری به وجود می آید.



شکل ۱-۲ نمایش شماتیک جوش قوس الکتریک با الکتروود روکش دار.

۱. Slag (سرباره)

فلز جوش، توسط مغزه فلزی الکتروود تأمین می‌شود و این مغزه فلزی براساس طبقه‌بندی الکتروود دارای خواص مختلفی است. روکش و فلز پُرکننده خواص مکانیکی، شیمیایی، متالورژی و الکتریکی جوش را به مقدار زیاد کنترل می‌کنند. اطلاعات بیشتر در مورد الکتروود در فصل بعد ارائه شده است.

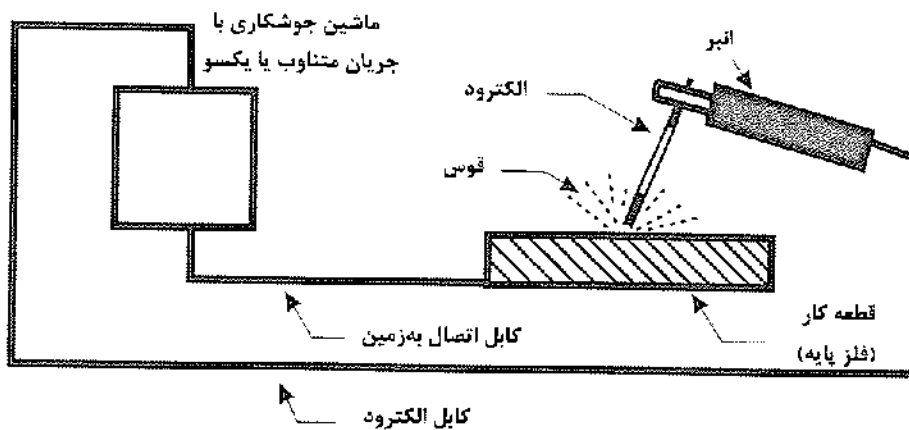
۲-۲ قابلیت‌های جوشکاری قوس الکتریکی

تجهیزات مورد نیاز برای جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود روکش‌دار، ساده و قابل حمل و نسبت به تجهیزات لازم برای روش‌های دیگر جوشکاری ارزان‌قیمت هستند. با اجرای تمهیدات لازم جهت تهویه کافی، جلوگیری از آتش‌سوزی و دیگر خطرات موجود، این نوع جوشکاری می‌تواند در محیط بسته و هوای آزاد و در هر مکان و موقعیتی انجام شود. الکتروودهای روکش‌دار در جوش قوس الکتریکی از لحاظ خواص و مقاومت، قابل سازگاری با بسیاری از فلزات پایه می‌باشند. جوشکاری فولاد کم‌آلیاژ و کم‌کربن، فولاد زنگ نزن و فولاد اصلاح‌شده با این روش بسیار آسان می‌باشد و جوشکاری چدن و فولاد پرمقاومت با اجرای تمهیدات خاص در مورد پیش‌گرمایش و پس‌گرمایش، با این روش امکان‌پذیر است. همچنین جوشکاری آلیاژهای مس و نیکل با این تیپه امکان‌پذیر بوده ولی جوشکاری تحت حفاظت گاز با الکتروود تنگستن^۲، در این موارد ارجح است.

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

۲-۳ اصول کلی

تجهیزات مورد استفاده در جوشکاری قوس الکتریکی در یک مدار جوشکاری، شامل ماشین جوشکاری، فلز پایه، کابل‌ها، انبر، الکتروود و گیره اتصال به زمین می‌باشند (شکل ۲-۲). حرارت ایجادشده توسط قوس الکتریکی، فلز پایه و الکتروود مصرفی را به حالت مذاب در می‌آورد. گرمای قوس بسیار زیاد است، به گونه‌ای که دمای معادل ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ درجه سلسیوس در مرکز قوس اندازه‌گیری شده است. جوشکاری با تشکیل قوس الکتریکی در هنگام نزدیک کردن مغزه فلزی الکتروود به قطعه فلز پایه آغاز می‌شود. حرارت حاصل از قوس الکتریکی، الکتروود و سطح فلز را در مجاورت قوس ذوب می‌کند. سپس قطرات کوچک فلز مذاب از انتهای الکتروود به داخل حوضچه مذاب بر روی سطح قطعه فلزی منتقل می‌شود. در جوشکاری تخت این انتقال و جابه‌جایی توسط نیروهای ثقلی، جاذبه مولکولی و کشش سطحی انجام می‌شود. وقتی جوشکاری در وضعیت قائم و یا وضعیت سقفی است، نیروهای جاذبه مولکولی و کشش سطحی موجب انتقال قطرات فلز مذاب می‌شوند. به خاطر دمای زیاد قوس الکتریکی، فلز مذاب که به حالت روان درآمده است، فوراً از محل تشکیل قوس الکتریکی جابه‌جا می‌شود. پس از آغاز جوشکاری، قوس در طول قطعه حرکت داده شده و عملیات ذوب و ترکیب فلزات پیشرفت می‌کند.

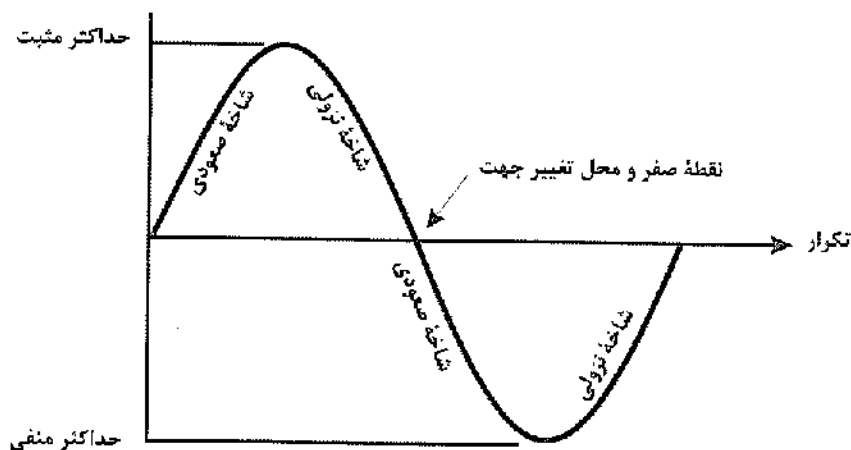


شکل ۲-۲ عناصر تشکیل دهنده مدار الکتریکی جوش قوس الکتریک با الکتروده روکش دار.

۴-۲ منابع انرژی جوشکاری

هر نوع فرآیند جوشکاری هنگامی به حداکثر مقدار بازده خود می‌رسد که منبع انرژی طراحی شده متناسب با آن مورد استفاده قرار گیرد. هر نوع منبع انرژی دارای اختلاف اصولی از لحاظ الکتریکی با انواع دیگر است که آن را برای یک فرآیند و هدف خاص مناسب می‌سازد.

جوشکاری قوس الکتریک به شدت جریان الکتریکی کافی (برحسب آمپر) برای ذوب فلز پایه و الکتروده، و ولتاژ مناسب (برحسب ولت) برای تولید قوس نیاز دارد. الکترودها بسته به نوع و اندازه‌شان به ولتاژی حدود ۱۷ تا ۴۵ ولت و جریان تقریبی بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ آمپر نیاز دارند. جریان الکتریکی می‌تواند متناوب و یا یکسو باشد، ولی باید از منبعی تأمین شود که جهت برآوردن شرایط مختلف کاری قابل کنترل باشد. شکل ۲-۳ چرخه‌ای از جریان متناوب را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳ یک چرخه از جریان متناوب.

قطبیت

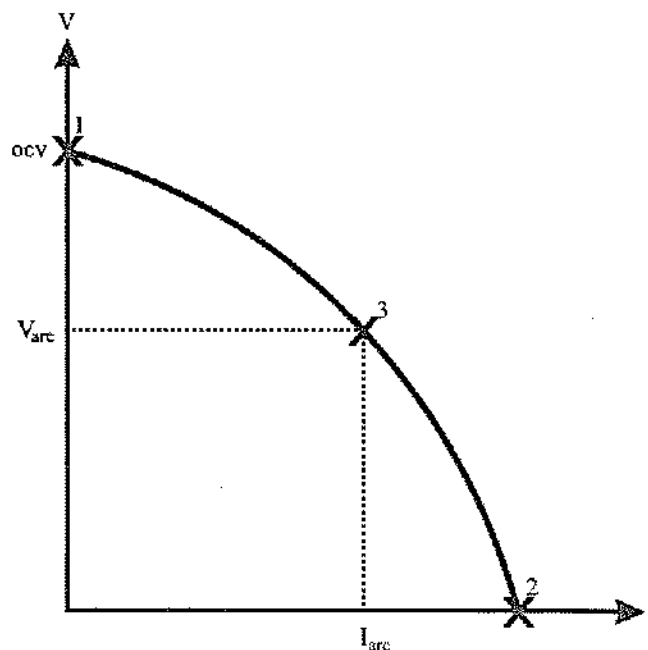
در جوشکاری با جریان یکسو، دو نوع قطبیت مستقیم (منفی) و یا معکوس (مثبت) مورد استفاده است. قطبیت (مستقیم یا معکوس) جهت جریان الکتریکی را در مدار جوشکاری نشان می‌دهد.

هنگامی که جوشکاری با قطبیت مستقیم (منفی) (DCSP یا DCEN) انجام می‌شود انبر الکتروود به خروجی منفی و فلز پایه به خروجی مثبت وصل می‌گردد. در قطبیت مستقیم یا قطبیت منفی، مسیر جریان از قطب منفی منبع انرژی به سمت الکتروود، سپس در طول قوس الکتریکی به سمت قطعه فلز پایه حرکت کرده و نهایتاً به قطب مثبت منبع انرژی باز می‌گردد.

در جوشکاری با قطبیت معکوس (مثبت) (DCRP یا DCEP)، انبر الکتروود به قطب مثبت و فلز پایه به قطب منفی منبع انرژی متصل می‌گردد. در قطبیت معکوس، مسیر جریان الکتریکی از انتهای منفی منبع به سمت فلز پایه، قوس، الکتروود و سپس به سمت قطب مثبت منبع انرژی می‌باشد.

اختلاف پتانسیل و شدت جریان (ولتاژ و آمپراژ)

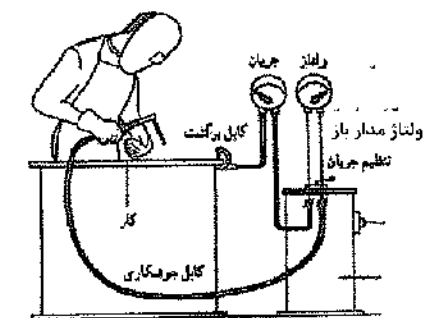
اگر در ذهن خود شدت جریان عبوری از سیم مدار را با جریان آب در یک لوله مقایسه نماییم، مفهوم کنترل و تنظیم جریان بهتر درک می‌شود. آمپراژ، مقدار یا دبی جریان است و مقدار حرارت تولیدشده در جوشکاری را معین می‌کند. ولتاژ در حکم اختلاف ارتفاع موجود برای رانش جریان در لوله است. ولتاژ قابلیت تشکیل و تداوم قوس 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.



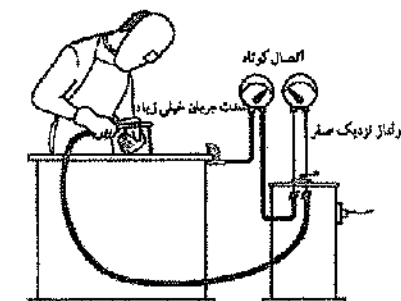
شکل ۲-۴ منحنی ولتاژ - آمپر (V.I).

۲-۵ منحنی ولتاژ - شدت جریان

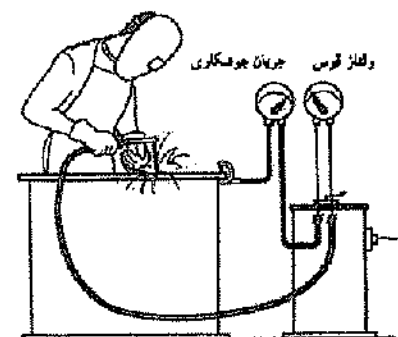
دستگاه‌های جوشکاری دارای مشخصه‌ای به نام ولتاژ - آمپر (V-I) می‌باشند. قبل از شروع به جوشکاری هیچ جریانی برقرار نشده و شدت جریان، صفر و اختلاف پتانسیل در حداکثر خود می‌باشد که به آن ولتاژ مدار باز (OCV) گفته می‌شود (نقطه ۱ روی نمودار شکل ۲-۴ و شکل ۲-۵ الف).



(الف) ولتاژ و آمپراژ در حالتی که مدار باز است



(ب) ولتاژ و آمپراژ در حالت اتصال کوتاه



(پ) ولتاژ و آمپراژ در حالت برقراری قوس

شکل ۲-۵ تغییرات شدت جریان و ولتاژ در جوشکاری قوسی.

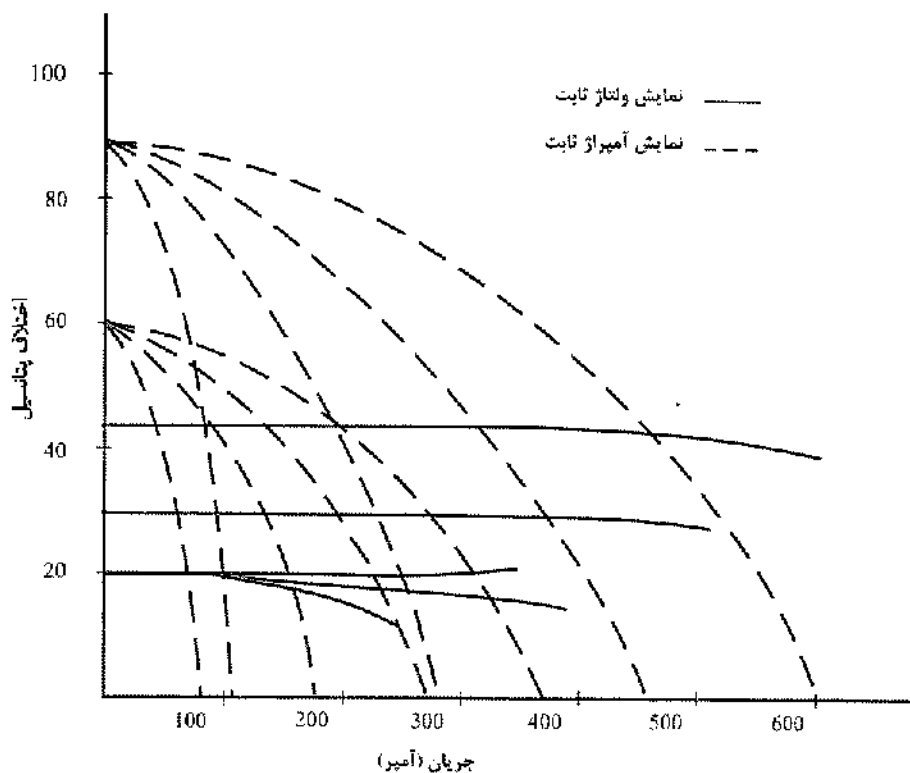
3. Volt- Ampere

4. Open Circuite Voltage

برای شروع جوشکاری یک لحظه نوک الکتروود را به‌فلز می‌زنیم تا جریان برقرار گردد و قوس جوشکاری تشکیل گردد. در این لحظه شدت جریان از مدار عبور کرده و اختلاف پتانسیل به‌صفر می‌رسد (نقطه ۲ روی نمودار شکل ۲-۴ و شکل ۲-۵-ب). در هنگام جوشکاری نوک الکتروود به‌اندازه طول قوس از سطح کار فاصله دارد که این قوس جوشکاری حکم مقاومت مدار را داشته و شدت جریان و اختلاف پتانسیل در نقطه ۳ روی نمودار ۲-۴ مشخص می‌شود (شکل ۲-۵-پ). به‌این منحنی، منحنی V-I گفته می‌شود. دو نوع منحنی V-I وجود دارد؛ ولتاژ ثابت و جریان ثابت.

وقتی که گفته می‌شود مدار ولتاژ ثابت است یعنی اینکه در هنگام جوشکاری تغییرات ولتاژ نسبت به تغییرات امپر بسیار اندک می‌باشد و طول قوس^۵ (فاصله بین نوک الکتروود تا سطح قطعه کار) تقریباً ثابت است. وقتی گفته می‌شود مدار از نوع شدت جریان ثابت است یعنی اینکه در هنگام جوشکاری با تغییرات اختلاف پتانسیل، یعنی کم و زیاد شدن طول قوس جوشکاری، شدت جریان تغییر نسبتاً کمی دارد (شکل ۲-۶).

نمودار V-I از این نظر اهمیت دارد که رابطه بین ولتاژ و شدت جریان خروجی را بیان می‌کند. مشخصه ولتاژ ثابت در جوشکاری زیرپودری و تحت حفاظت گاز که سیم‌جوش پیوسته و کلافی می‌باشد، استفاده می‌شود. بنابراین باید نرخ تغذیه سیم‌جوش با نرخ رسوب سیم برابر باشد تا قوس ثابت بماند.



شکل ۲-۶ نمونه‌ای از منحنی‌های V-I برای منابع انرژی با شدت جریان ثابت و اختلاف پتانسیل ثابت.

در حالتی که جوشکاری غیرذوبی باشد، یعنی الکتروود ذوب نشود، مثل روش‌های جوش تحت حفاظت گاز یا 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 ماشین‌های مورد استفاده در جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

به‌طور کلی سه نوع ماشین جوشکاری وجود دارد:

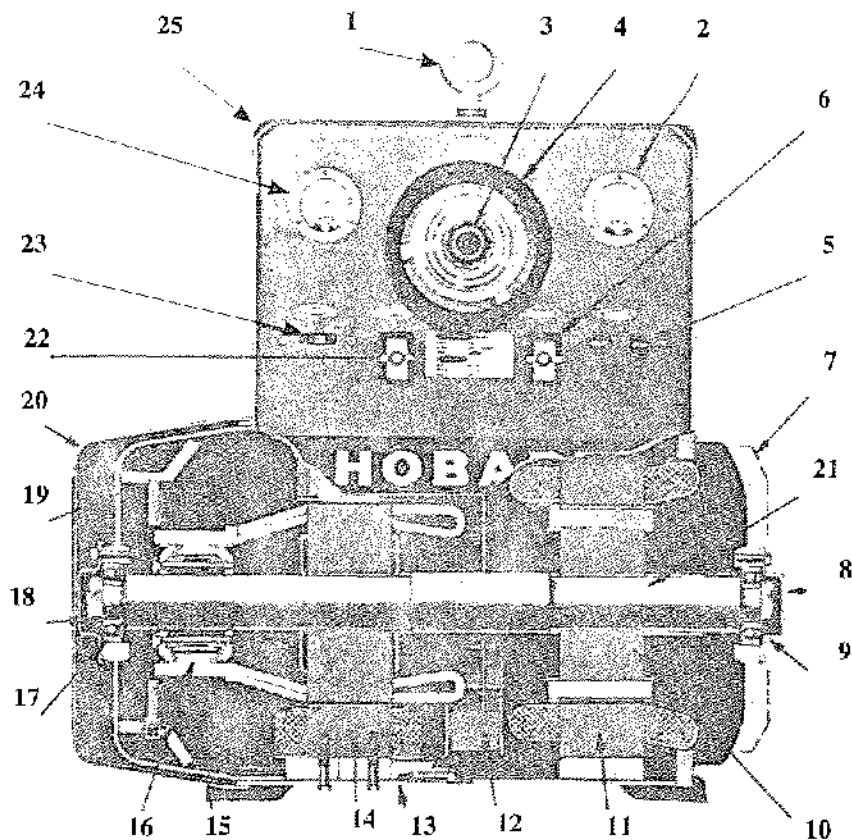
- ۱ - موتور - مولدها شامل موتور درونسوز یا موتور برقی (موتور - ژنراتور و دینام‌ها)؛
- ۲ - مبدل - یکسوکننده‌ها (رکتیفایر)؛
- ۳ - مبدل‌ها (ترانس‌ها)؛

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 الکتروودهای روکش دار 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.

6. Gas Tungsten-Arc Welding

7. D.C. and A.C. Motor-Generator welding Machine



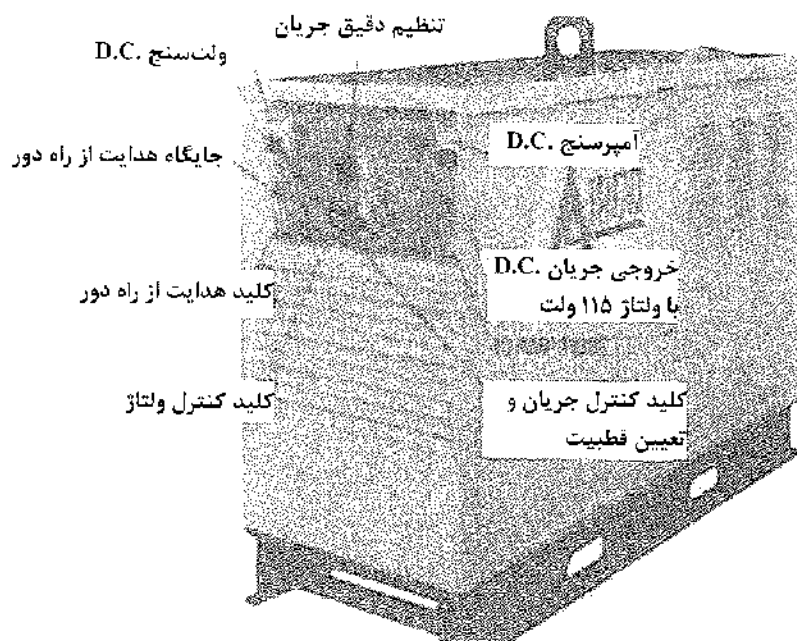
قسمت‌های داخلی طبق شکل به شرح زیر است:

- | | | |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| ۱. قلاب فلزی بزرگ و محکم | ۲. ولت‌سنج بزرگ جریان | ۳. تنظیم ریز شدت جریان |
| ۴. تنظیم در شدت جریان | ۵. کلید خاموش - روشن | ۶. اتصال دهنده کابل‌های زمین |
| ۷. حفاظ فلزی | ۸. درپوش یاتاقان | ۹. یاتاقان |
| ۱۰. محفظه مسی روتور | ۱۱. موتور سه فاز | ۱۲. پروانه فلزی خنک‌کن |
| ۱۳. قاب فلزی | ۱۴. مولد جریان | ۱۵. جاروبک گرافیتی - فلزی |
| ۱۶. یکسوکننده | ۱۷. یاتاقان تویی | ۱۸. درپوش یاتاقان |
| ۱۹. قاب فلزی | ۲۰. روکش فلزی متحرک | ۲۱. شفت |
| ۲۲. کابل‌های اتصال دهنده جوشکاری | ۲۳. کلید قطبیت | ۲۴. آمپرسنج بزرگ |
| ۲۵. روکش | | |

شکل ۲ - ۷ موتور - موند برقی (دینام).

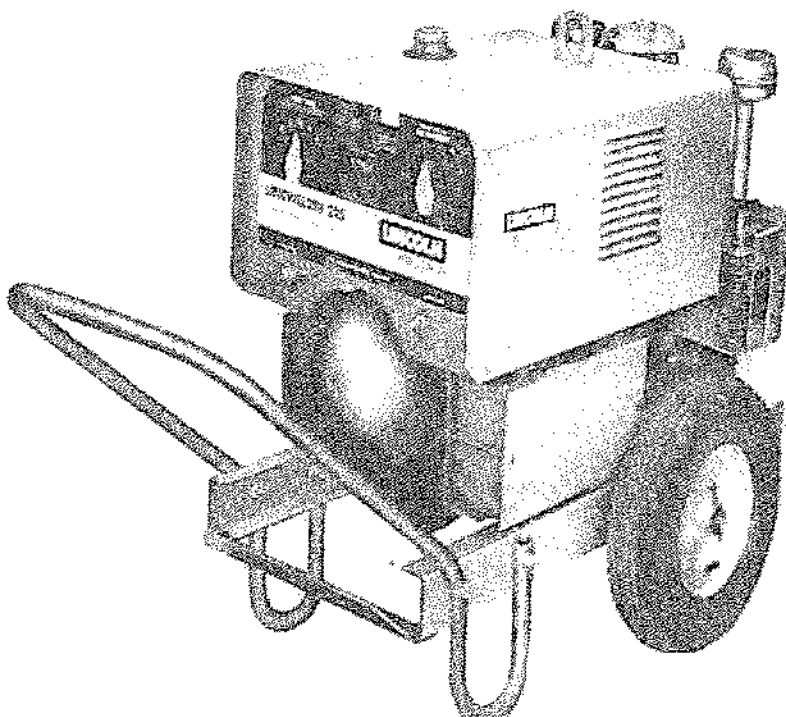
موتور - مولدهای برقی (دینام‌ها)، شامل یک موتور با جریان متناوب سه فاز، یک مولد جریان یکسو یا متناوب و یک مولد میدان مغناطیسی مستقر بر روی یک شفت می‌باشند. جریان متناوب سه فاز، موتور الکتریکی را به کار انداخته و این موتور مولدی را به کار می‌اندازد که جریان لازم برای جوشکاری را تولید می‌کند. این قسمت‌ها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

در بعضی از کارهای ساختمانی و کارهای تعمیراتی استفاده از منبع انرژی الکتریکی مقرون به صرفه نبوده، همچنین در بعضی موارد انرژی الکتریکی قابل دسترسی نیست. بنابراین استفاده از موتورهای بنزینی و دیزلی به عنوان



شکل ۲-۸ دیزل - ژنراتور جوشکاری با جریان یکسو با ظرفیت ۲۰۰ آمپر.

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 جرخ‌های لاستیکی مشابه لاستیک اتومبیل وجود دارد که باعث سهولت حرکت آن در قسمت‌های مختلف کارگاه می‌گردد (شکل ۲ - ۹).



شکل ۲-۹ این موتور درونسوز بنزینی، ماشین جوشکاری را راه‌اندازی کرده و برای روشنایی اضطراری و برای وسایل برقی، برق متناوب تأمین می‌کند.

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 الکتروده، جوشکاری تحت حفاظت گاز، جوشکاری زیرپودری و جوشکاری گل‌میخ‌ها مورد استفاده قرار گیرند و امکان سرویس‌دهی همزمان چندین کاربر را دارا می‌باشند.

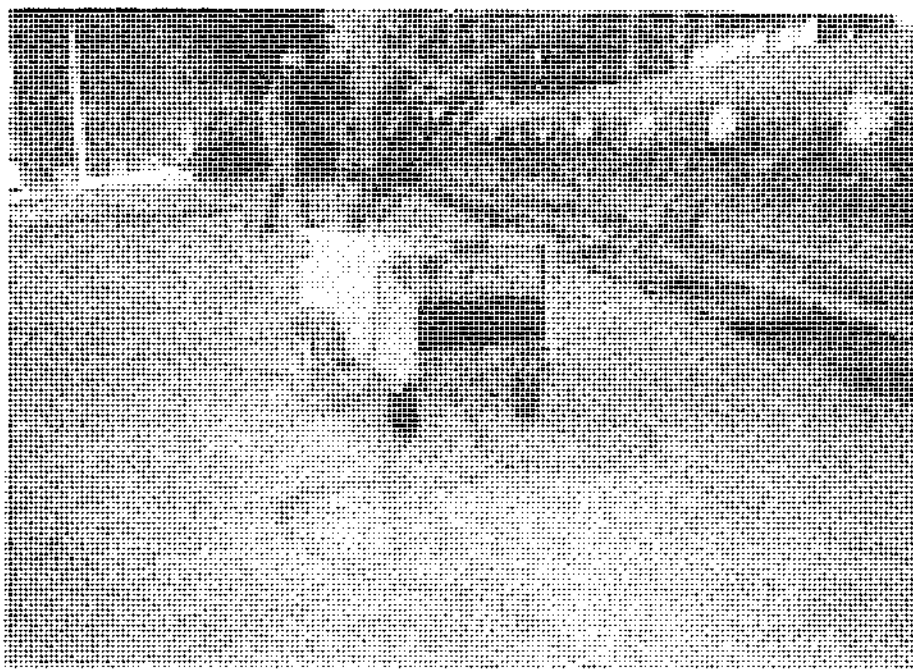
همه ماشین‌های مبدل - یکسوکننده دارای دو قسمت اصلی هستند:

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

(۲) یکسوکننده که جریان متناوب را به‌جریان مستقیم تبدیل می‌کند.

مهمترین قسمت دیگر این ماشین‌ها یک پروانه تهویه است. این پروانه از افزایش حرارت یکسوکننده در حین کار و در نتیجه کاهش طول عمر مفید آن جلوگیری می‌کند. مشابه موتور - مولدهای یکسو، کنترل جریان پیوسته در یک دامنه وسیع امکان‌پذیر است.

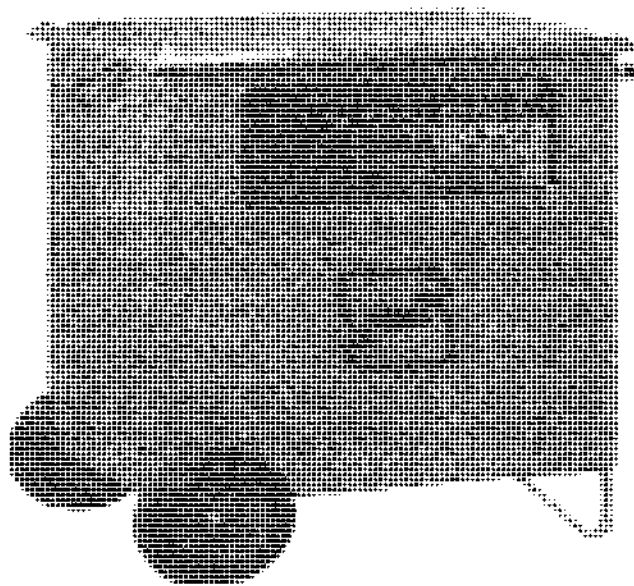
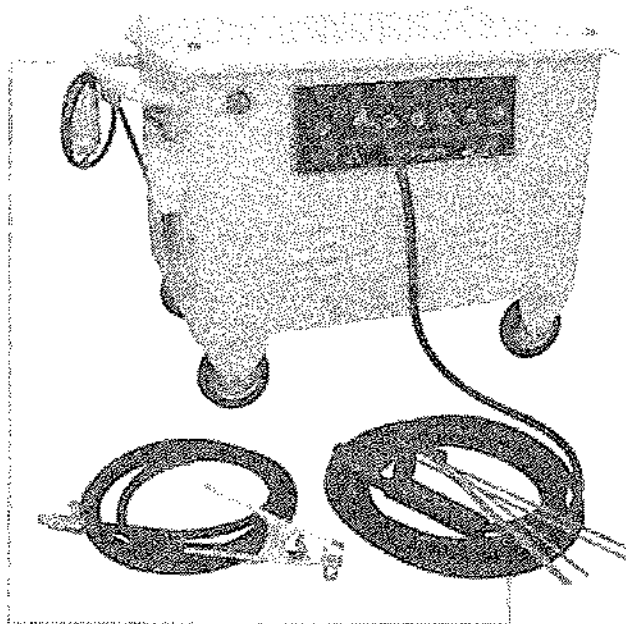
مبدل - یکسوکننده‌ها دارای قسمت‌های گردنده نیستند، بنابراین در هنگام عدم استفاده و یا کارکرد آهسته انرژی کمتری مصرف می‌کنند. این ماشین‌ها به‌نگهداری و مراقبت کمتری نیاز دارند.



شکل ۲-۱۰ ماشین جوشکاری یکسوکننده (رکتیفایر).

ماشین‌های جوشکاری مبدل - یکسوکننده AC-DC

ماشین‌های AC-DC به‌کاربر اجازه می‌دهند که نوع جریان را به‌صورت مستقیم یا متناوب و نوع قطبیت را به‌صورت مستقیم یا معکوس انتخاب کند. این ماشین‌ها در اصل یک مبدل - یکسوکننده جریان A.C. هستند. یک کلید به‌کاربر اجازه می‌دهد تا فقط از قسمت مبدل برای جریان متناوب استفاده کند. با زدن یک کلید یا چرخاندن یک صفحه، جریان خروجی به‌داخل یکسوکننده فرستاده می‌شود و این دستگاه جریان را به‌جریان مستقیم جوشکاری تبدیل می‌کند. مدار یکسوکننده این ماشین مشابه سایر ماشین‌های مبدل - یکسوکننده می‌باشد (شکل ۲ - ۱۱).



شکل ۲ - ۱۱ مبدل A.C. (ترانس).

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

خاصیت جریان متناوب این است که در هر $\frac{1}{13}$ ثانیه جهت آن عکس می‌شود. این تغییر فاز مداوم جریان، باعث کاهش میدان مغناطیسی جریان شده و در نتیجه از انحراف قوس می‌کاهد. انحراف قوس باعث یاشیدگی 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 بی‌صدا و کاهش نیاز به مراقبت و نگهداری نسبت به انواع دیگر است.

ماشین جوشکاری جریان متناوب مخصوصاً مناسب برای جوشکاری شیارها و پر 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

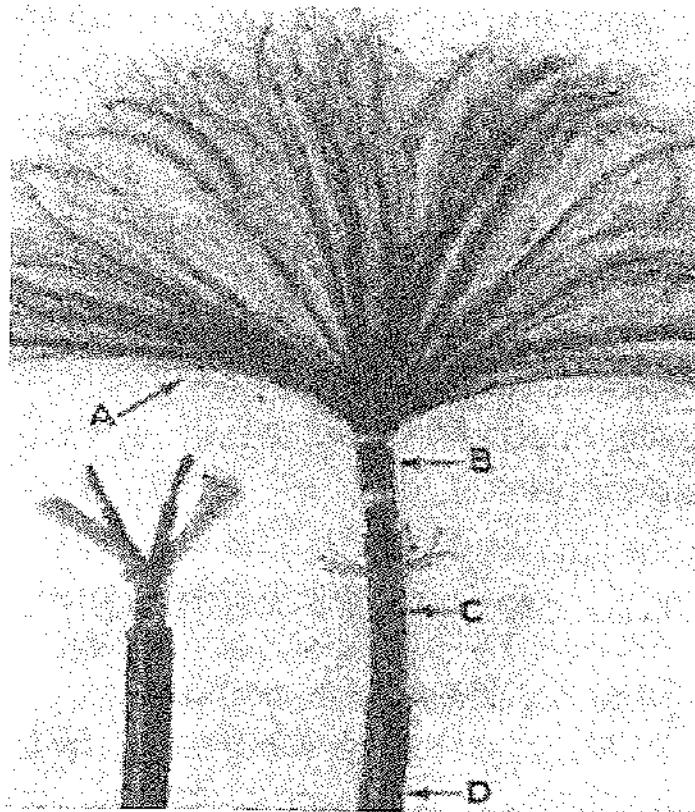
۲-۷-۱ کابل برق

کابل‌های برق که ماشین جوشکاری را به منبع انرژی متصل می‌کنند باید کاملاً عایق بوده و توانایی انتقال جریان الکتریسته مورد نیاز را داشته باشند. 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 به‌منظور تشکیل قوس از بین خواهد رفت.

کابل الکتروود و کابل اتصال به زمین

جهت تکمیل مدار الکتریکی میان ماشین جوشکاری و قطعه فلز مورد جوش، دو کابل با ظرفیت کافی برای انتقال جریان مورد نیاز می‌باشد. یکی کابل الکتروود که کابل جوشکاری نیز خوانده می‌شود و به‌انبر الکتروود متصل می‌شود و دیگری کابل زمین که به‌قطعه کار وصل می‌شود.

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 الکتروود باید کاملاً انعطاف‌پذیر باشد تا موجب خستگی و یا مزاحمت جوشکار در حین کار نگردد.



شکل ۲-۱۲ ساختمان داخلی کابل جوشکاری.

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 به صورت 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 به دست آوردن یک جوش سالم می‌باشد. برای مثال یک کابل نمرة ۴/۰ به طول ۳۰ متر در جریانی معادل ۵۰۰ آمپر افتی 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 کابل های ارائه شده در جدول فوق به قرار زیر است:

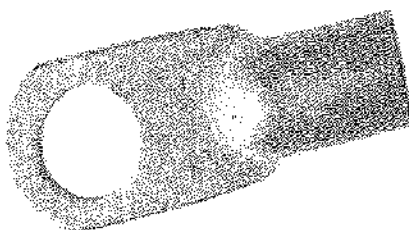
شماره AWG	قطر خارجی (mm)	ضخامت Sheath (mm)	Single wire @ max	سطح مقطع هادی کابل (mm ²)
4	10.1-12.7	2.0	0.21	1*25
2	11.4-14.2	2.0	0.21	1*35
1	13.2-16.5	2.2	0.21	1*50
2/0	15.3-19.2	2.4	0.21	1*70
3/0	17.1-21.4	2.6	0.21	1*95
4/0	19.2-24.0	2.8	0.21	1*120

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 گرم شده و اثر سوء روی عمل جوشکاری خواهد داشت. افزایش طول کابل نیز موجب افزایش مقاومت خواهد شد، بنابراین ماشین جوشکاری باید حتی المقدور 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

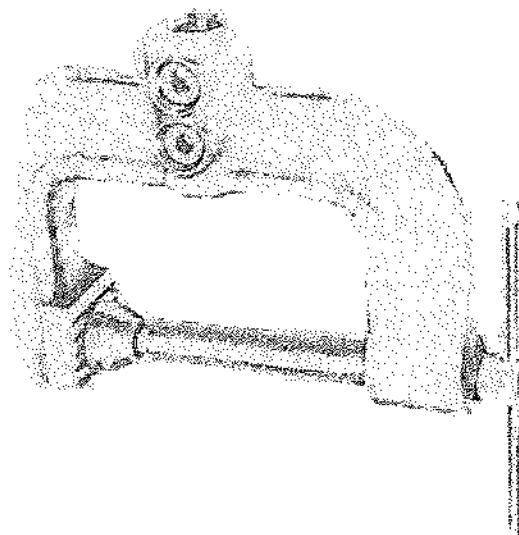
کفشک‌های مناسب طبق شکل ۲ - ۱۳ جهت اتصال کابل الکتروود و کابل زمین (کابل اتصال) به ماشین جوشکاری مورد نیاز می‌باشند. این کفشک‌ها باید با لحیم یا اتصال مکانیکی مناسب به کابل‌های مورد نظر وصل شوند. اتصال این کفشک‌ها به محل خروجی ماشین جوشکاری باید کاملاً سفت و محکم باشد. لقی شدن این اتصال باعث گرم شدن کفشک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

انتهای دیگر کابل الکتروود به انبر الکتروود متصل شده و انتهای دیگر کابل اتصال باید به گونه‌ای مناسب به قطعه کار وصل شود. اگر این اتصال مطمئن نباشد، تشکیل قوس در محل اتصال، آن را سوزانده و احتمال دارد شرایط مطلوب جهت جوشکاری فراهم نگردد.

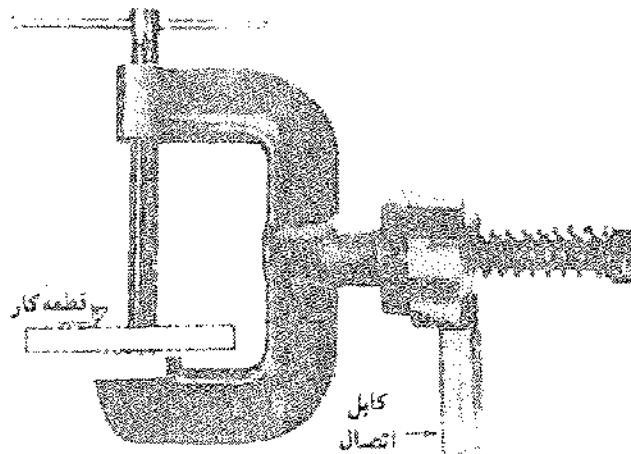


شکل ۲ - ۱۳ کفشک کابل الکتروود و کابل اتصال.

اگر جوشکاری به گونه‌ای است که قطعه کار می‌تواند روی میز جوشکاری یا در یک گیره ثابت و دائمی قرار گیرد، کابل اتصال معمولاً به میز یا گیره پیچ می‌شود. اگر جوشکار باید بر روی سازه‌هایی در قسمت‌های مختلف کارگاه کار کند، انواع مختلفی از وسایل اتصال از قبیل قلاب، وزنه فلزی سنگین، گیره C شکل و یا گیره‌های اتصال ویژه مطابق شکل ۲ - ۱۴ مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل ۲ - ۱۵ یک نوع خاص از گیره اتصال چرخشی را نشان می‌دهد.



شکل ۲ - ۱۴ گیره C شکل از انواع گیره‌های اتصال و با ظرفیت ۶۰۰ امپر، دهانه باز. آن را برای قطعات یا ضخامت‌های زیاد مناسب می‌سازد.



شکل ۲-۱۵ این گیره چرخشی هنگامی استفاده می‌شود که قطعه بید بچرخد. گیره با قطعه می‌چرخد و بی‌کابل اتصالی نمی‌گردد و نمی‌پیچد.

۲-۷-۲ انبر الکتروود^۸

انبرهای فلزی

انبر فلزی الکتروود وسیله‌ای برای نگه داشتن الکتروود به صورت مکانیکی است. این وسیله جریان الکتریکی را از کابل جوشکاری به الکتروود می‌رساند و دارای یک دسته عایق می‌باشد که دست جوشکار را از حرارت و جریان برق محافظت می‌کند.

فک‌های انبر باید به گونه‌ای طراحی شوند تا بتوانند الکتروود را محکم و در زاویه دلخواه نگه دارند. آنها باید از فلزی با خاصیت هدایت الکتریکی زیاد ساخته شده و در مقابل درجه حرارت زیاد مقاوم باشند (شکل ۲-۱۶). در بسیاری از انبرها، فک‌هایی که در اثر استفاده نادرست، می‌سوزند و خراب می‌شوند، قابل تعویض با یک فک جدید می‌باشند. انبر باید سبک، متعادل و دارای گیره راحت باشد. تعویض الکتروود باید آسان باشد و مقاومت کافی برای استفاده زیاد و سخت را داشته باشد. قسمت‌های انتقال جریان باید به اندازه کافی بزرگ باشند تا از گرم شدن بیش از حد آنها که باعث گرم شدن زیاد دسته انبر برای جوشکار خواهد شد، جلوگیری شود. به همین دلیل اندازه انبر باید متناسب با اندازه ماشین جوشکاری باشد، بدین معنی که برای یک ماشین جوشکاری با ظرفیت ۴۰۰ آمپر، انبر الکتروود بزرگتری نسبت به یک ماشین با ظرفیت ۲۰۰ آمپر نیاز است. اغلب انبرها به طور کامل عایق بوده و در محلی از قطعه فلز مورد جوش قرار می‌گیرند که خطر تشکیل مدار کوتاه (چسبیدن نوک انبر به قطعه) وجود نداشته باشد. این مورد مخصوصاً مناسب کار در فواصل خیلی نزدیک به هم می‌باشد.

8. Electrode holder

انبر معمولاً با اتصال بدون لحیم به کابل جوشکاری متصل می‌شود. در این حالت وجود یک اتصال خوب جهت جلوگیری از گرم شدن بیش از حد گیره و کابل ضروری است.



شکل ۲-۱۶ انبر الکتروود با عایق کامل. این انبر بدون خطر تشکیل مدار کوتاه به قطعه کار وصل می‌شود.

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 دائمی 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 فاصله‌های 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 الکتروود و انجام همزمان یک عمل ضروری دیگر با یک دست امکان‌پذیر نیست.

ماسک کلاهی، طبق شکل ۲-۱۸ که گاهی کلاه ایمنی^{۱۱} یا سر بند^{۱۲} نیز خوانده می‌شود، مانند یک کلاه استفاده می‌شود. این ماسک به یک نوار روی سر^{۱۳} قابل تنظیم تولا 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 الکتروود و شرکت در اعمال دیگر آزاد هستند.

9. Hand shield

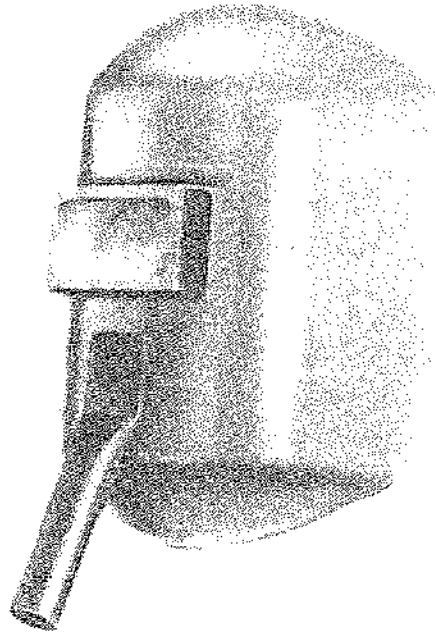
10. Head shield

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

11. Helmet

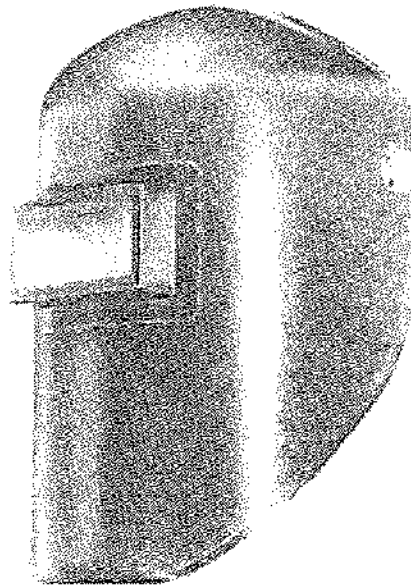
12. Hood

13. Head band



شکل ۲-۱۷ ماسک دستی معمولاً توسط بازرسین و ناظرین جوشکاری استفاده می‌شود.

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 گرد شده باشد تا قطرات فلز مذاب را در خود نگه ندارد.



شکل ۲-۱۸ ماسک کلاهی استاندارد.

14. Leather cap

هر دو نوع ماسک دستی و کلاه‌ای از مواد فیبری فشرده عایق و مقاوم به حرارت ساخته شده‌اند. این ماسک‌ها به‌طور کامل ناحیه سر و گردن را از ذرات فنز، 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 به‌کار رود. چگالی رنگ انتخاب‌شده بستگی به‌میزان درخشش قوس دارد که این درخشش براساس نوع الکتروود و میزان جریان متغیر است. برای جوشکاری قوسی با الکتروود 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.

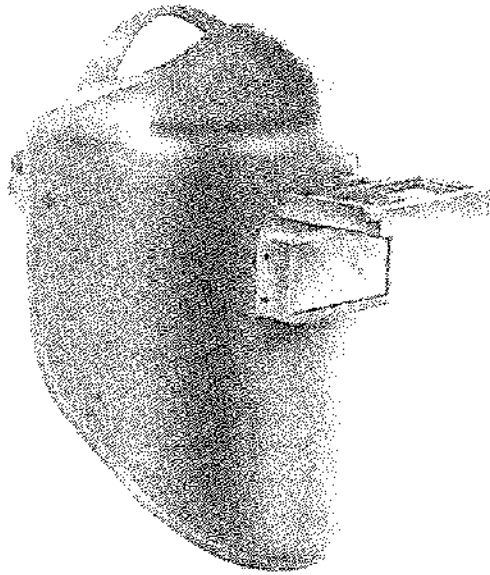
وجهی از شیشه محافظ که رو به‌جوش قرار دارد (وجه بیرونی) توسط یک شیشه شفاف^{۱۶} محافظت می‌شود. این روکش به‌خاطر حفاظت شیشه تیره اصلی (که معمولاً گران‌قیمت است) از پاشیدگی فلز مذاب و شکستگی است. شیشه روکش نسبتاً ارزان‌قیمت بوده و ممکن است با یا بدون پوشش شفاف^{۱۷} تولید شود. روکش‌هایی که تحت عملیات شیمیایی خاص قرار می‌گیرند دوام بیشتری نسبت به‌انواع 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 کلاه‌ای در شکل ۲ - ۱۹ نشان داده شده است. این نوع به‌خاطر مجهز بودن به‌یک 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 به‌هم و محیط بسته که در آوردن کل ماسک مشکل می‌باشد، مورد استفاده است.

15. Protective lens

16. Cover glass

17. Transparent coating



شکل ۲- ۱۹ ماسک جوشکاری با نقاب بازشو که اجازه می‌دهد جوشکار بدون درآوردن ماسک، جوش را بازرسی کرده و با برس سیمی آن را تمیز کند.

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 $11/25 \times 13/125$ 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 متکثر 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.

18. Chrome leather helmet

19. Air-conditioned helmet

۲-۸-۲ عینک ایمنی^{۲۰}

استفاده از عینک در پشت ماسک ایمنی یک نیاز ضروری است (شکل ۲ - ۲۰)، به خصوص 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 گل جوش و سنگ‌زنی جوش معیوب محافظت می‌کنند و توسط دستیاران جوشکاری، ناظرین، بازرسی 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.



شکل ۲-۲۰ این جوشکار در پشت ماسک ایمنی خود از عینک استفاده کرده است. عینک چشم را از اشعه فرابنفش و نور شدید فلز مذاب حوضچه جوشکاری محافظت می‌کند.

۲-۸-۳ لباس محافظ^{۲۱}

در هنگام جوشکاری جرقه‌های آتش و قطرات فلز مذاب که توسط قوس الکتریکی ایجاد می‌شود به‌طور مداوم پاشیده می‌شود. اگر این قطرات و جرقه‌ها با پوست بدون محافظ تماس پیدا کند موجب سوختگی شدید خواهد شد.

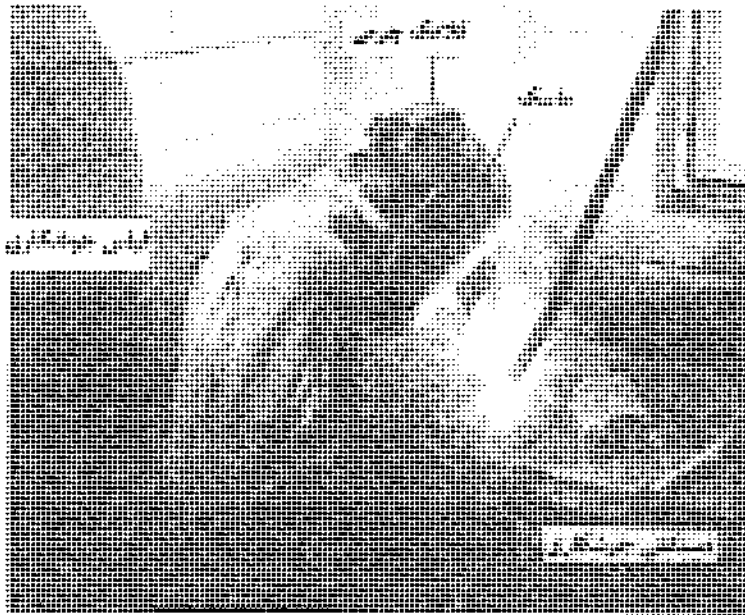
20. Flash goggle

21. Protective clothing

لباس‌های معمولی ضخامت کافی جهت مقابله با این موارد را نداشته و مواد آنها در مقابل آتش مقاوم نیستند. جوشکار باید در هنگام کار لباس جوشکاری بپوشد که از پارچه ضخیم برای محافظت بدن در مقابل اشعه‌های تابیده شده از قوس الکتریکی و همچنین جرقه آتش و فلز مذاب دوخته شده است. شکل ۲- ۲۱ جوشکاری را نشان می‌دهد که به‌طور مناسب در مقابل جرقه‌های آتش، اشعه و حرارت محافظت شده است.

همیشه پوشیدن لباس‌های محافظ به‌طور 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 ۲-۲۲). این لباس‌ها هنگامی که جوشکاری در موقعیت قائم و یا بالای سر است، کاملاً موردنیاز می‌باشد. هنگامی که

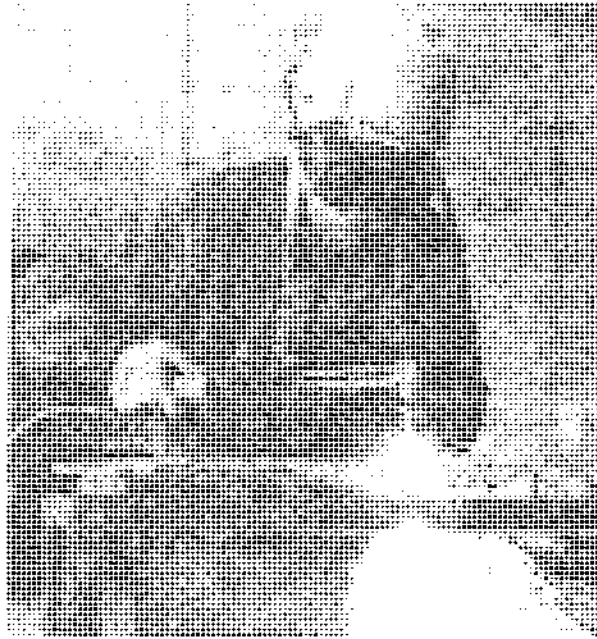


شکل ۲- ۲۱ یک کارآموز جوشکاری با لباس محافظ مناسب.

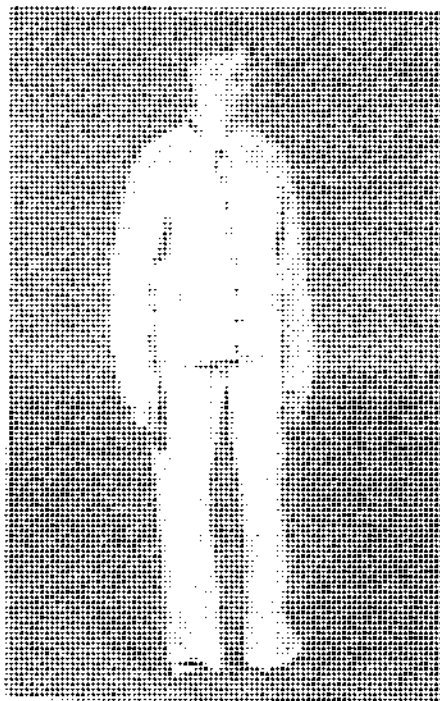


شکل ۲- ۲۲ دستکش چرمی جوشکاری.

قسمت اعظم کار در موقعیت نشسته انجام می‌شود، جوشکار باید از یک لباس گشاد یا پیش‌بند چاک‌دار استفاده کند، زیرا پیش‌بند کامل (بدون درز) به‌دور خود می‌پیچد و برای جوشکار ایجاد مزاحمت می‌کند. ممکن است این نوع لباس گشاد از جنس چرم به‌همراه یک ژاکت چرمی پوشیده شود (شکل ۲ - ۲۴).

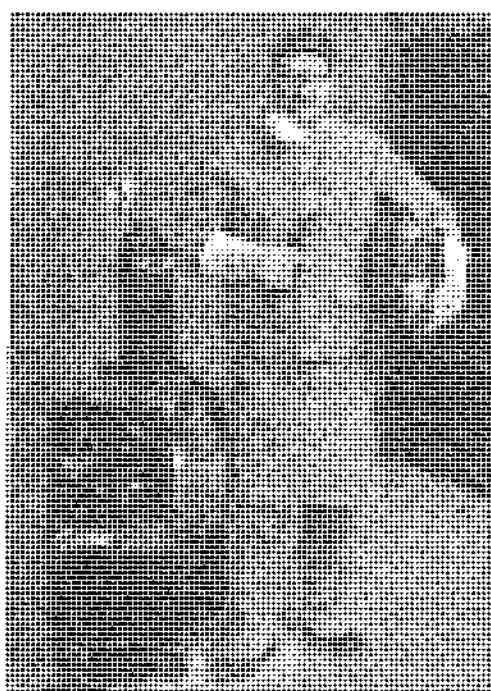


شکل ۲ - ۲۳ لباس محافظ به‌حفاظت جوشکار در مقابل جرقه و حرارت کمک می‌کند.



شکل ۲ - ۲۴ پوشش کامل چرمی و لباس‌های گشاد چرمی موجب حفاظت کل بدن می‌گردد.

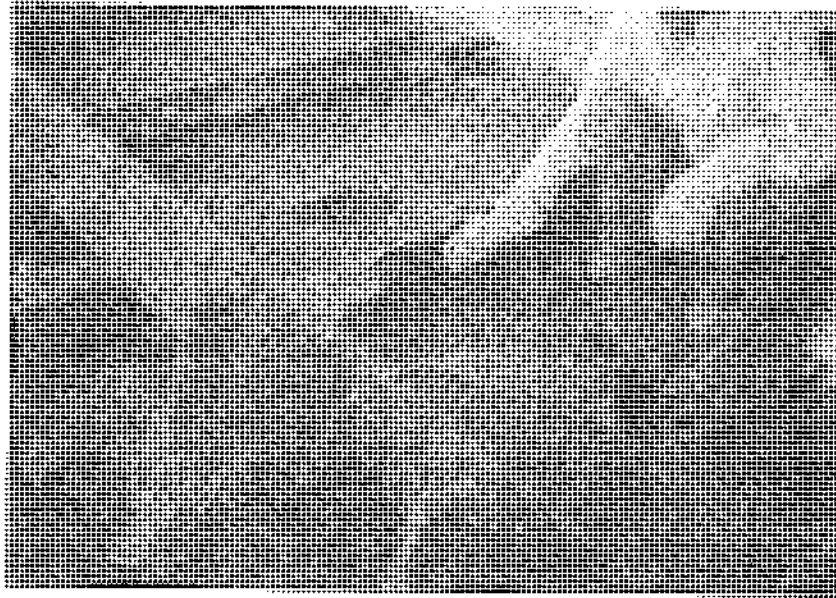
در جوشکاری باید از کفش‌های تخت ساق بلند استفاده شود. پا و ساق پا می‌توانند توسط ساق‌بند و میچ‌بند بیشتر محافظت شوند. سوختگی در پا بسیار دردناک بوده و به سرعت عفونی می‌شود و به‌کندی التیام می‌یابد. به‌همین جهت حفاظت پا و استفاده از کفش‌های ایمنی در کارگاه جوشکاری بسیار مهم است. لیه‌های گرد شده آستین پیراهن و یا پاچه‌های برگشته شلوار مکان مناسبی برای فرار گرفتن قطرات و جرقه‌های فلز مذاب و داغ می‌باشند و به‌همین جهت از قرار دادن آنها در لباس باید خودداری کرد.



شکل ۲- ۲۵ وسایل فردی جوشکاری.

۹-۲ ابزار تمیزکاری گل جوش

بعد از سرد شدن نوار جوش و قبل از انجام نوار جوش دوم روی آن (عبور دوم یا پاس دوم)، باید گل روی عبور اول (پاس اول) برداشته شود. این عمل به کمک چکش گل‌زن (شکل ۲- ۲۶) و فرچه فلزی انجام می‌شود. یعنی ابتدا پاس اول گل‌زنی شده و سپس روی آن فرچه سیمی کشیده می‌شود. جوشکاران دقیق قبل از اجرای پاس، به کمک یک لوله لاستیکی، درز را فوت کرده و تمیز می‌نمایند.



شکل ۲-۲۶ چکش گل‌زن و فرچه فلزی.

۲-۱۰ ابزار نگهداری الکترود

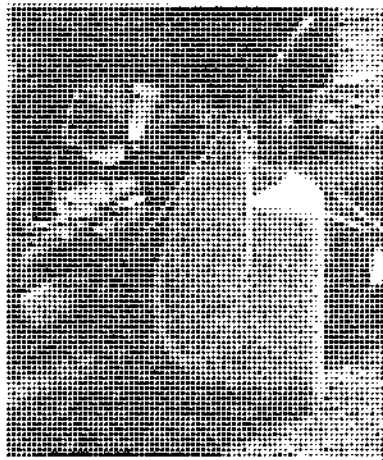
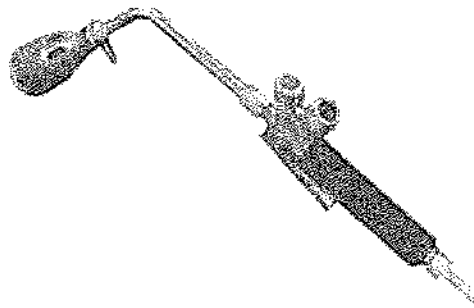
جهت حفاظت از الکترودها و دسته‌بندی آنها، در صورت استفاده از چند نوع الکترود، باید برای هر جوشکار یک جعبه الکترود مناسب تهیه شود. (شکل ۲-۲۷)



شکل ۲-۲۷ جعبه الکترود.

۲-۱۱ ابزار پیش‌گرمایش درز

جهت پیش‌گرم کردن درزهای جوش قبل از جوشکاری بخصوص در روزهای سرد، مطابق دستورالعمل‌های جوشکاری از گرم‌کن دستی استفاده می‌شود (شکل ۲-۲۸).



شکل ۲-۲۸ گرم‌کن درز اتصال.

۲-۱۲ ابزارهای اندازه‌گیری

از این ابزارها برای تعیین محل برش استفاده می‌شود. یکی از سودمندترین ابزارهای اندازه‌گیری، متر فولادی فنری است. معمولاً متر فنری ۲ متری نیازهای متعارف را برآورده می‌سازد، اما در پروژه‌های بزرگ ممکن است به متر ۱۵ متری نیاز باشد. برای انجام کارهای کوچکتر می‌توان از یک خط‌کش فولادی ۳۰ یا ۵۰ سانتی‌متری استفاده نمود. همیشه باید یک خط‌کش پلاستیکی ۱۵ سانتی‌متری هم در جیب لباس کار جوشکار موجود باشد.

۲-۱۳ ابزارهای نشانه‌گذاری

از این ابزارها برای رسم خط برش، بر طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده، استفاده می‌شود. هنگام کار با مشعل برشکاری، به‌خط نشانه‌ای نیاز می‌باشد که بر اثر شعله محو نشود. ابزارهای نشانه‌گذاری عبارتند از سوزن خط‌کشی و سنبه‌نتان.

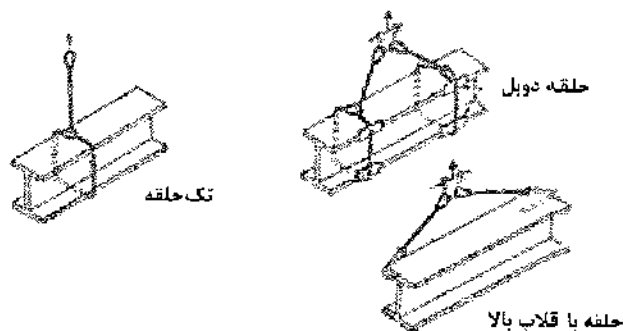
به کمک سنبه نشان می‌توان نشانه‌های لازم جهت تعیین محل سوراخ‌کاری‌ها را روی قطعات مشخص نمود. روش دیگری برای نشانه‌گذاری فلز به منظور برشکاری با مشعل استفاده از سنگ صابون است. اثر این سنگ مانند اثر گچ است، اما در دمای بالای برشکاری نمی‌سوزد. بنابراین مناسب است همیشه چند قطعه سنگ صابون در جعبه ابزار موجود باشد.

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

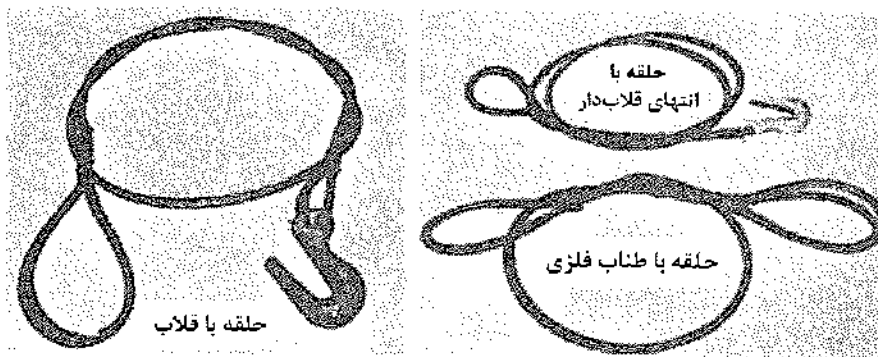
۲-۱۴ ابزار نصب

ابزار نصب و وسایل و ماشین‌آلاتی که در نصب سازه‌های فولادی به کار می‌روند، بسته به نوع و اندازه سازه می‌توانند انواع مختلف داشته باشند. از طرف دیگر اغلب این وسایل طبق استانداردهای سازندگان مختلف تولید می‌شوند که از بین آنها انواع مخصوصی به اندازه و طرح‌های لازم را مصرف‌کنندگان متعدد انتخاب می‌کنند. هرگاه بخواهند باری را به‌قلاب جراثالی آویزان کنند، اگر اندازه و وزن بار اجازه چنین عملی را بدهد، می‌توان مطابق شکل ۲-۲۹ آن را به‌وسیله حلقه‌ای از طناب فلزی به‌قلاب آویزان کرد. طناب اصلی از یک قطعه طناب با طول مناسب که هر دو انتهای آن را به‌صورت حلقه کوچکی در آورده‌اند، تشکیل می‌شود. این طناب را دور قطعه به‌گونه‌ای که یکی از دو سر طناب از حلقه‌ی کوچک سر دیگر آن بگذرد، مهار می‌کنند.

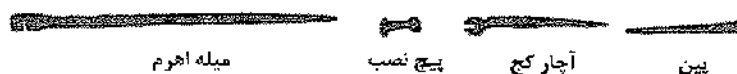
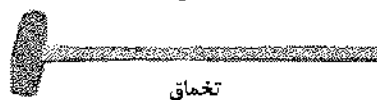
میله اهرم، اسباب کشش، تخم‌اق برای جفت کردن و رسانیدن قطعه به‌وضعیت مورد دلخواه آن برای اتصال به‌کار می‌روند. از پین و آچار کج برای همسو کردن سوراخ‌های قطعات استفاده می‌شود (شکل ۲-۲۹ - پ).



الف - روش آویزان کردن قطعات فلزی



ب - انواع حلقه‌های متداول طناب‌های فلزی



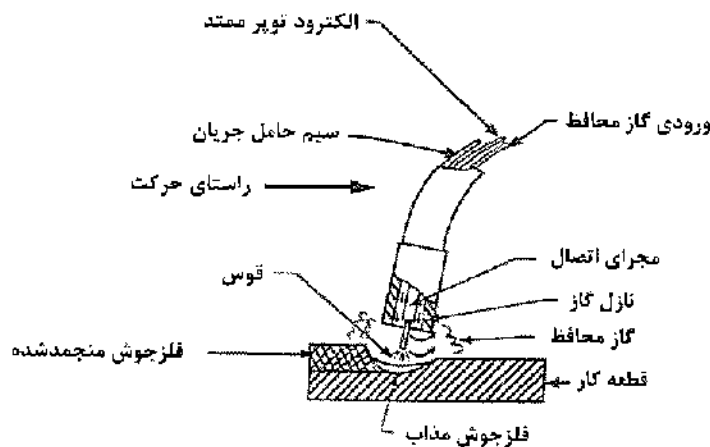
پ - ابزار کشش و جفت کردن قطعات فولادی

شکل ۲ - ۲۹ ابزار نصب سازه‌های فولادی.

۲-۱۵ تجهیزات جوشکاری تحت حفاظت گاز

۲-۱۵-۱ انبر جوشکاری تحت حفاظت گاز و سایر متعلقات

کار اصلی انبر جوشکاری تحت حفاظت گاز (شکل ۲-۳۰) هدایت الکتروود و گاز محافظ در منطقه جوش و انتقال انرژی الکتریکی به الکتروود می‌باشد. صرف‌نظر از نوع کاربرد و برای ایجاد حداکثر کاربری، انواع مختلف انبر جوشکاری تحت حفاظت گاز طراحی و تولید شده است: انبرهای سنگین مخصوص کار با جریان بالا و انبرهای سبک برای کار با جریان ضعیف و جوشکاری در مکان نامناسب.



شکل ۲-۳۰ فرآیند جوشکاری تحت حفاظت گاز.

موارد ذیل اجزای اصلی انبر جوشکاری تحت حفاظت گاز می‌باشند:

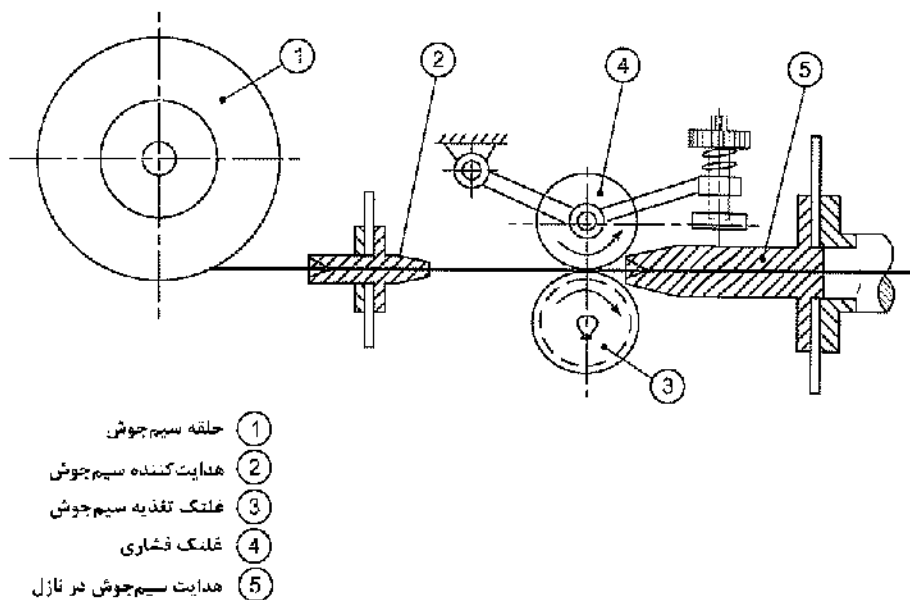
- مجرای اتصال
- نازل گاز
- مجرای سیم‌جوش (فتر تورچ)
- شلنگ سیم‌جوش
- شلنگ آب (برای انبرهای آب خنک)
- کابل انتقال جریان
- سوئیچ کنترل

از مجرای اتصال که معمولاً از جنس مس یا آلیاژ مس است برای انتقال انرژی الکتریکی به سیم‌جوش و هدایت سیم‌جوش به سمت قطعه کار استفاده می‌شود. مجرای اتصال از طریق کابل جریان به منبع تغذیه متصل است. سطح داخلی مجرای اتصال بسیار مهم است، چنانکه ضمن ایجاد تماس الکتریکی خوب، سیم‌جوش نیز باید به راحتی از

طریق آن تغذیه شود. با توجه به سایز سیم جوش و مواد جوشکاری، سایز 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 الودگی هوا دارد.

۲-۱۵-۲ موتور تغذیه سیم جوش

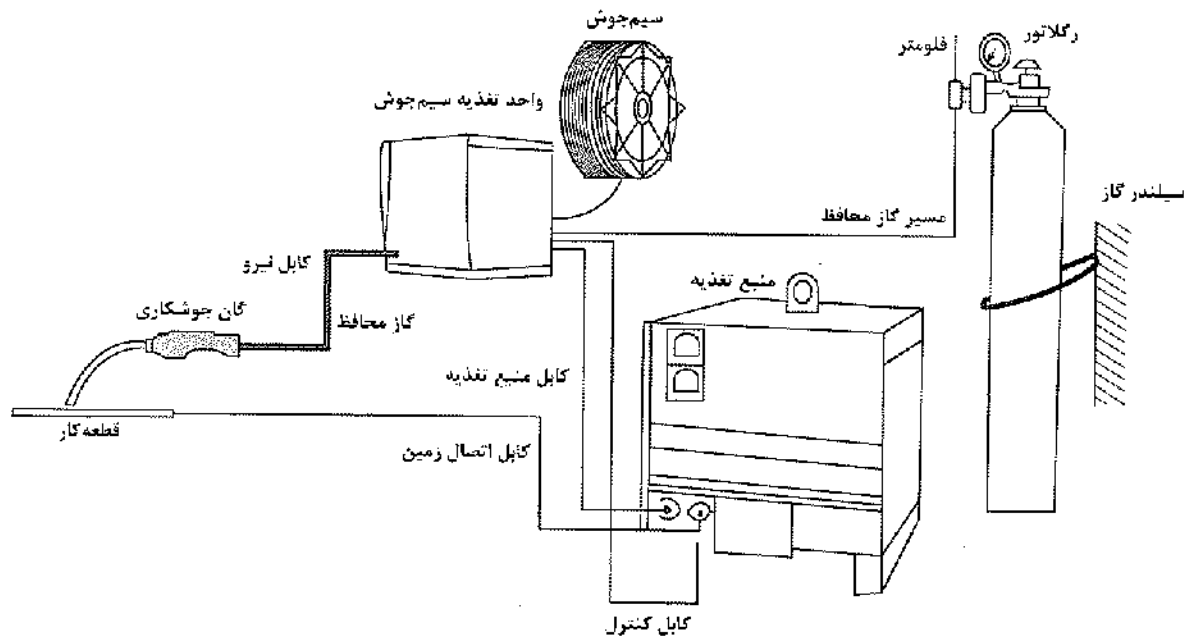
موتور تغذیه، سیم جوش را در طول اتبر جوشکاری تحت حفاظت گاز به سمت قطعه کار هدایت می‌کند. تغذیه‌کننده‌های «تیمه خودکار- سرعت ثابت» دارای کنترل‌کننده‌های الکترونیکی هستند که موجبات استارت منظم فرایند، تنظیم خودکار نوسانات ولتاژ و واکنش‌های لحظه‌ای به سرعت تغذیه سیم جوش را فراهم می‌کند. در تغذیه‌کننده‌های مختلف معمولاً سرعت بین $1/9$ تا $2/5$ متر در دقیقه می‌باشد (شکل ۲ - ۳۱).



شکل ۲-۳۱ واحد تغذیه سیم.

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 سلنوئیدها، 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.



شکل ۲-۲۲ فرآیند نیمه خودکار.

۲-۱۵-۲ رگلاتورهای گاز محافظ

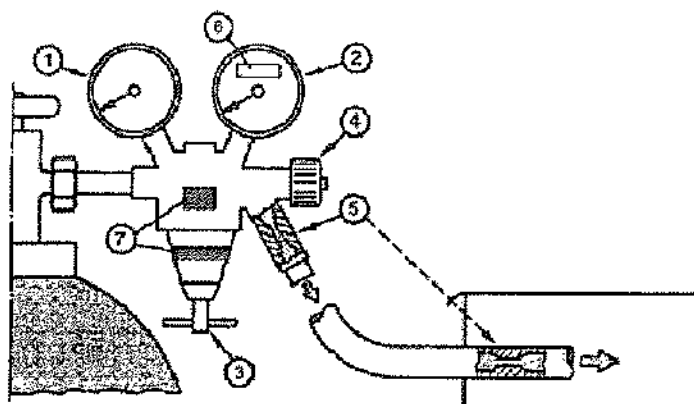
برای نگه داشتن سرعت جریان و فشار گاز محافظ در طول جوشکاری به یک سیستم تنظیم کننده نیاز است. رگلاتور، فشار مخزن گاز را تا رسیدن به یک فشار ثابت کاهش می دهد. رگلاتورها دو مرحله ای یا تک مرحله ای می باشند و می توان جریان سنج را روی خود رگلاتور نصب نمود. فشار در رگلاتورهای دو مرحله ای، ثبات بیشتری نسبت به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



- ۱- درجه فشار سیلندر
- ۲- درجه فشار جریان گاز
- ۳- پیچ تنظیم فشار
- ۴- شیر قطع جریان
- ۵- نوله پایلوت
- ۶- نمایش نوع گاز
- ۷- علامت رنگی نوع گاز

شکل ۲- ۲۳ انواع رگلاتورهای گاز محافظ با نمایشگر نوع گاز.

معمولاً در کاربردهای کارگاهی که منبع انرژی الکتریکی در دسترس قرار دارد، ترانسفورمانور - رکتیفایر ترجیح داده می‌شود، در حالی که از موتور - ژنراتور در کاربردهایی استفاده می‌شود که منبع الکتریکی در دسترس نمی‌باشد. با افزایش کاربردهای GMAW، این نکته روشن شده که ماشین‌های ولتاژ ثابت دارای عملکرد بهتری، مخصوصاً در مورد مواد آهنی می‌باشند.

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

۱۶- ۲ تجهیزات جوشکاری قوسی زیرپودری

تجهیزات مورد نیاز در روش جوشکاری قوس زیرپودری عبارتند از:

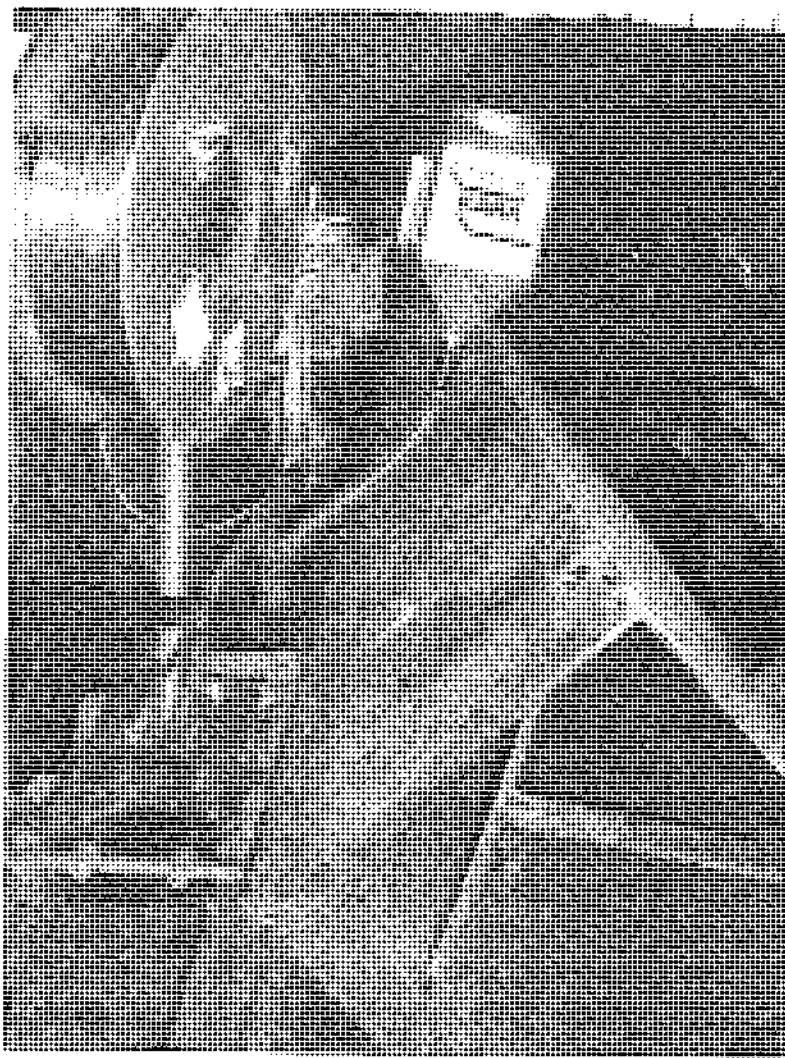
- ۱- منبع نیرو؛
- ۲- سیستم تغذیه الکتروود؛
- ۳- سیستم توزیع پودر؛
- ۴- سیستم تنظیم حرکت؛
- ۵- سیستم کنترل فرآیند.

سیستم بازیابی پودر ذوب‌نشده نیز می‌تواند به‌عنوان یکی از تجهیزات جانبی مورد استفاده قرار گیرد (شکل

۲- ۳۴).

۱۶- ۲- ۱ منبع تغذیه

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



شکل ۲-۲۴ تجهیزات جوش زیرپودری.

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، به‌طور 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 زیرپودری نیمه‌خودکار به‌کار می‌روند، کنترل‌کننده‌های ساده سرعت تغذیه سیم جوش می‌باشند. کنترل‌کننده‌های به‌کار رفته در منابع نیروی ولتاژ ثابت، سرعت تغذیه سیم را ثابت نگاه

می‌دارند و کنترل‌کننده‌های به‌کار رفته در منابع جریان ثابت، ولتاژ قوس را بررسی می‌کنند و سرعت تغذیه سیم را برای نگهداشتن ولتاژ تغییر می‌دهند.

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

کنترل‌کننده‌های دیجیتالی در حال حاضر فقط برای استفاده در منابع نیروی ولتاژ ثابت موجود می‌باشند. این کنترل‌کننده‌ها دارای تنظیم سرعت تغذیه سیم جوش (کنترل ولتاژ)، شروع و پایان جوشکاری، روشن و خاموش کردن حرکت خودکار یا دستی، تغذیه یا عدم تغذیه سیم جوش، کنترل پر کردن چاله جوش و روشن - خاموش کردن تغذیه پودر هستند.

۲-۱۶-۲ سری وانبر 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 به‌همراه 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 به‌قسمت اتصال در محل جوش هدایت می‌کند و جریان الکتریکی را به‌سیم جوش انتقال می‌دهد.

۲-۱۶-۴ تجهیزات کمکی

تجهیزات کمکی متداول در روش زیرپودری عبارتند از: تجهیزات حرکتی، واحدهای بازیابی پودر، تجهیزات تثبیت‌کننده قطعات و نگهدارنده‌ها.

22. Head Welding

23. Contact Tip

24. Heavy-duty

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 مصرف‌نشده و سرباره تشکیل‌شده بر روی درز جوش.
 - ۲ - جدا کردن سرباره ذوب‌شده و سایر مواد با اندازه بزرگ از پودر ذوب‌نشده.
 - ۳ - حذف ذرات مغناطیسی.
 - ۴ - حذف ذرات ریز.
 - ۵ - برگرداندن پودر به‌قیف برای مصرف مجدد.
 - ۶ - گرم کردن پودر در قیف برای خشک نگه داشتن آن.
- تغذیه پودر به‌صورت بادی (پنوماتیک)، معمولاً در روتس جوشکاری قوس زیرپودری نیمه‌خودکار و گاهی خودکار به کار می‌رود.

۳ الکتروود

۷۹.....	۱-۳ معرفی
۷۹.....	۲-۳ تعاریف عمومی
۸۰.....	۳-۳ الکتروود روکش‌دار
۸۰.....	۴-۳ روکش الکتروود
۸۵.....	۵-۳ طبقه‌بندی و شماره‌گذاری الکتروودها طبق AWS
۸۷.....	۶-۳ انتخاب نوع و قطر الکتروود
۸۸.....	۷-۳ مشخصه‌های کاربردی الکتروودها
۹۰.....	۸-۳ فلز پایه
۹۰.....	۹-۳ جریان جوشکاری
۹۰.....	۱۰-۳ ضخامت و شکل فلزات مورد جوشکاری
۹۱.....	۱۱-۳ وضعیت جوشکاری
۹۱.....	۱۲-۳ معرفی الکتروودهای متعارف و کاربرد آنها
۹۵.....	۱۳-۳ نگهداری الکتروودهای روکش‌دار
۹۸.....	۱۴-۳ خشک‌کن الکتروود
۹۹.....	۱۵-۳ بسته‌بندی الکتروودها
۱۰۰.....	۱۶-۳ ضوابط بازرسی ظاهری الکتروودها

۳-۱ معرفی

جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود روکش‌دار (SMAW) که در این متن اغلب تحت عنوان جوشکاری قوسی و در کارگاه توسط جوشکاران تحت عنوان جوشکاری دستی با الکتروود نامیده می‌شود، دارای یکی از وسیع‌ترین کاربردها در ساخت، مونتاژ و تعمیر و تقویت سازه‌های فولادی است. این مقبولیت به لحاظ گسترش الکتروودهای روکش‌دار است که توانایی ایجاد جوش با خواص مکانیکی معادل و یا حتی بهتر از خواص فلز مورد جوشکاری را دارا می‌باشند. در این فصل بعد از آشنایی با خواص عمومی الکتروودها، مشخصات خصوصی آن دسته از الکتروودها که دارای کاربرد وسیع در صنعت ساختمان هستند، مورد توجه قرار می‌گیرد.

هدف این است که قادر باشیم تا آنجا که خواص الکتروود اجازه می‌دهد، جوشی ایجاد نماییم که دارای مطلوب‌ترین خواص فیزیکی و شیمیایی، سلامت و ظاهر باشد. بعد از آشنایی با خواص الکتروودهای شرح داده شده در این قسمت، برای کسب اطلاعات مربوط به الکتروودهای خاص، باید به کاتالوگ‌های تهیه شده توسط کارخانه سازنده مراجعه نمایید.

۳-۲ تعاریف عمومی

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

الکتروود مد/وم: الکتروود نخت پیوسته که به دور قرقره پیچیده شده و در جوشکاری خودکار یا نیمه خودکار زیرپودری یا تحت حفاظت گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

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.

الکتروُد روکش‌دار: الکتروُد فلزی 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. الکتروُد‌ها در پنج گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------|
| ۱ - الکتروُد فولاد نرمه | ۲ - الکتروُد فولاد پُرکربن |
| ۳ - الکتروُد فولادهای آلیاژی خاص | ۴ - الکتروُد چدن |
| ۵ - انواع الکتروُد‌های غیرآهنی | |

۳-۳ الکتروُد روکش‌دار

وجود روکش در روی مفتول فولادی الکتروُد، 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 الکتروُد

۳-۴-۱ جایگزینی یا بهبود فلز پایه

روکش الکتروُد در حد وسیعی ترکیب فلز جوش را تنظیم می‌کند، خواه از طریق حفظ ترکیب اصلی مفتول الکتروُد 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 الکتروُد 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 الکتروُد‌هایی که دارای پودر آهن هستند، الکتروُد‌های پُر بازده می‌گویند. بازده جوش چنین الکتروُد‌هایی زیاد بوده و معمولاً از آنها در حالت تخت استفاده می‌شود.

ورود الکتروُد‌های 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

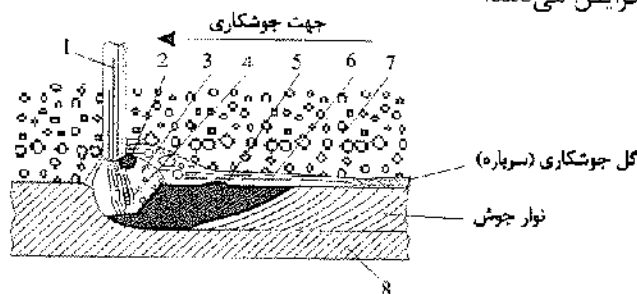
روکش الکتروُد باعث سهولت تشکیل قوس در آغاز عملیات جوشکاری و حفظ پایداری و تثبیت قوس در حین

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 دقیق‌تر و بهتر قوس الکتریکی، اجازه استفاده از شدت جریان بیشتر و الکتروودهای ضخیم‌تری را می‌دهد.

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 نطفه‌چینی در زدودن اکسیدها و آلودگی‌ها عمل می‌کند.
- نرخ سرد شدن فلز جوش را کاهش می‌دهد و به تبع از آن جوش با شکل پذیری زیاد ایجاد می‌کند.
- باعث سهولت شروع عملیات جوشکاری، تثبیت قوس و کاهش میزان پاشیدگی جوش می‌گردد.
- باعث نفوذ بهتر و ذوب کامل‌تر فلز مبنا می‌گردد.
- شکل ظاهری نوار جوش را کنترل می‌کند.
- سرعت جوشکاری را افزایش می‌دهد.



- | | |
|--|---------------------------|
| ۱- الکتروود | ۲- قطرات ذوب‌شده الکتروود |
| ۳- حباب‌های گازی | ۴- قوس الکتریکی |
| ۵- حوضچه مذاب (یک‌گوره ذوب بسیار کوچکی باشد) | ۶- جل جوش مذاب |
| ۷- پودر جوشکاری ذوب‌نشده (مواد غذازآور) | ۸- قطعه مورد جوش |

شکل ۳-۱ مقطع عرضی از عمل قوس، حفاظ گاز و جریان فلز مذاب در خلال جوشکاری زیرپودری.

۳-۴-۴ مواد تشکیل‌دهنده روکش الکتروود

نوع روکش الکتروود، روی طول قوس و ولتاژ جوشکاری و همچنین موقعیت جوشکاری که این الکتروود برای آن شرایط قابل استفاده است، مؤثر می‌باشد. جنس و ترکیب داخلی روکش بسیار مهم بوده و عامل تفاوت میان الکتروودهاست. در روکش الکتروود سیلیکات سدیم و یتاسیم عموماً به‌عنوان حامل (ملات) به کار می‌روند. بعضی از چسب‌های گیاهی نیز دارای کاربردهای محدودی در این زمینه هستند. آلیاژها و فلزات خالص به‌عنوان عناصر احیاکننده و عناصر

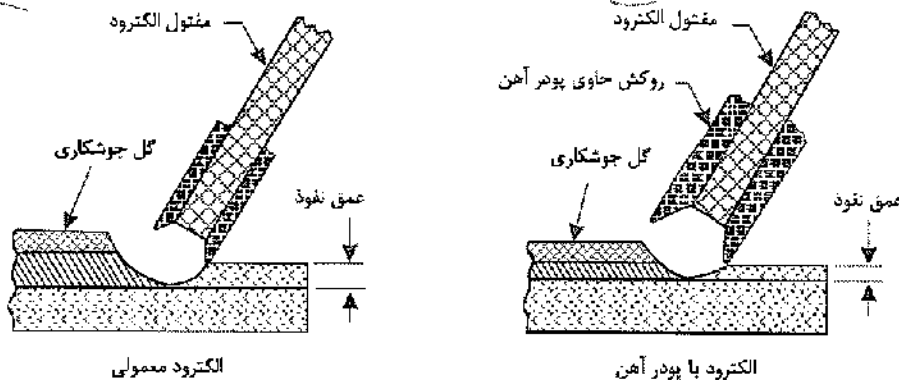
آلیاژی به کار می‌روند. فلزات قلیایی خاکی بهترین تثبیت‌کننده قوس الکتریکی هستند. خاکاره، خمیر چوب، سلولز، کتان، نشاسته، شکر و مواد گیاهی دیگر حفاظتی در مقابل گازهای انمسفر و آلودگی هوا ایجاد می‌کنند. عناصر گدازآور و سرباره‌ساز شامل سیلیکا، آلومینا، رس، سنگ معدن آهن، روتیل، سنگ آهک، مگنیزیت، پنبه‌سوز و میکا و بسیاری مواد معدنی دیگر می‌باشند. در ضمن بعضی از مواد مصنوعی مانند تیتانات پتاسیم و دی‌اکسید تیتانیوم نیز عملکردی مشابه مواد معدنی فوق‌الذکر را دارند.

(وزن اسفند ۹۵٪ سرباره)

پودر آهن

پودر آهن به روکش بسیاری از انواع الکترودها اضافه می‌شود. در حرارت شدید قوس الکتریکی، پودر آن به فولاد تبدیل شده و بر فلز جوش می‌افزاید. هنگامی که پودر آهن به مقدار نسبتاً زیادی (حدود ۳۰ درصد یا بیشتر) به ترکیب روکش الکترودها اضافه می‌شود، سرعت جوشکاری به‌طور محسوسی افزایش یافته، قوس تثبیت‌شده و پاشیدگی جوش کاهش می‌یابد و گل جوش به‌راحتی جدا می‌شود (شکل ۲ - ۳). سطح جوش انجام شده با این الکترودها بسیار صاف است (جوش‌های H و I در شکل ۳ - ۴).

(وزن آهن ۹۵٪) (سرباره ۵٪) (سرباره ۹۵٪ سرباره)



شکل ۲ - ۳ روکش ضخیم‌تر حاوی پودر آهن، اثر بوته‌ای در انتهای الکتروده ایجاد می‌کند که موجب افزایش بازده انرژی حاصل از قوس الکتریکی می‌گردد.

روکش‌های کم‌هیدروژن

الکترودهای کم‌هیدروژن نتیجه تحقیقات در خلال جنگ دوم جهانی می‌باشند. موضوع این تحقیقات یافتن الکترودی برای جوشکاری ورق‌های ضخیم زرهی (مورد استفاده در زره‌پوش‌ها یا تانک‌ها) بود.

این نام‌گذاری از آنجا ریشه می‌گیرد که ترکیب اجزای روکش این الکتروده 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 پرگوگرد تولید نوار جوش غیرمتخلخل کرده و از ایجاد انقباض‌های بعد از جوش در فولاد فسفردار جلوگیری می‌کنند. اضافه کردن پودر آهن به روکش الکتروده، نرخ ترسیب جوش مذاب را افزایش می‌دهد.

در عمل، این الکتروودها 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 کلئوئید کربن، منگنز، کروم، نیکل، مولیبدنیم و وانادیم به ترکیب ساختمانی روکش این نوع الکتروود امکان پذیر است. قوس ایجادشده با این نوع الکتروود تند و شدید نبوده و دارای نفوذ متوسطی است. گل ایجادشده ضخیم و نرد بوده و به راحتی تمیز می‌شود. در جوشکاری با این نوع الکتروود 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 جویگویی آزمایش رادیوگرافی امکان پذیر است.

۳-۴-۵ تأثیر روکش بر قطبیت^۱

ترکیب روکش در انتخاب قطبیت در جوشکاری با جریان یکسو، نقش اساسی دارد. بعضی از روکش‌ها با قطبیت مستقیم (الکتروود منفی) بازده بیشتری داشته و روکش‌های دیگر بازده الکتروود را با قطبیت معکوس (الکتروود 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 الکتروودها را که در جدول ۳-۲ ارائه شده با دقت مطالعه کنید. از جدول ۳-۳ نیز شدت جریان متناسب با هر الکتروود استخراج می‌شود.

جدول ۳-۱ مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی فلز جوش حاصل از الکتروود روکش‌دار و بدون روکش

فلز پایه	فلز جوش با الکتروود روکش‌دار	فلز جوش با الکتروود لخت	
۲۸۰۰ - ۴۹۰۰	۴۲۰۰ - ۵۲۵۰	۲۵۰۰ - ۴۲۰۰	مقاومت نهایی (f_u (kg/cm ²))
۲۱۰۰ - ۲۲۴۰	۳۱۵۰ - ۴۲۰۰	۳۶۶۰ - ۳۱۵۰	تنش تسلیم (f_y (kg/cm ²))
۳۰ - ۴۰	۲۰ - ۴۰	۵ - ۱۰	افزایش طول در ۵ سانی‌متر (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
۲۵ - ۵۶	۲۸ - ۴۹	۲/۵ - ۱۰/۵	آزمایش ضربه آیزود (kg/m)

جدول ۳-۳ دامنه شدت جریان الکتریکی برای جوشکاری با الکترودهای فولاد نرمه و فولاد کم آلیاژ

دامنه شدت جریان (آمپر)									قطر الکتروود اینچ (میلی متر)
نوع الکتروود									
E7024, E7028	E7018	E7015, E7016	E6014	E6027	E6020	E6013	E6012	E6010, E6011	
—	—	—	—	—	—	۲۰-۴۰	۲۰-۴۰	—	$\frac{1}{16}$ (۱/۶)
—	—	—	—	—	—	۲۵-۶۰	۲۵-۶۰	—	$\frac{5}{64}$ (۲)
۱۰۰-۱۴۵	۷۰-۱۰۰	۸۰-۱۲۵	۸۰-۱۲۵	—	—	۴۵-۹۰	۳۵-۸۵	۴۰-۸۰	$\frac{3}{32}$ (۲/۴)
۱۴۰-۱۶۰	۱۱۵-۱۶۵	۱۰۰-۱۵۰	۱۱۰-۱۶۰	۱۳۵-۱۸۵	۱۰۰-۱۵۰	۸۰-۱۳۰	۸۰-۱۴۰	۷۵-۱۲۵	$\frac{1}{8}$ (۳/۲)
۱۸۰-۲۵۰	۱۵۰-۲۲۰	۱۴۰-۲۰۰	۱۵۰-۲۱۰	۱۶۰-۲۴۰	۱۳۰-۱۹۰	۱۰۵-۱۸۰	۱۱۰-۱۹۰	۱۱۰-۱۷۰	$\frac{5}{32}$ (۴)
۲۳۰-۴۰۵	۲۰۰-۳۷۵	۱۸۰-۲۵۵	۲۰۰-۳۷۵	۲۱۰-۳۰۰	۱۷۵-۲۵۰	۱۵۰-۲۳۰	۱۴۰-۲۴۰	۱۴۰-۲۱۵	$\frac{3}{16}$ (۴/۸)
۳۷۵-۴۶۵	۳۲۰-۴۴۰	۳۲۰-۳۲۰	۳۶۰-۴۰۰	۳۵۰-۳۵۰	۳۲۵-۳۱۰	۳۱۰-۳۰۰	۳۰۰-۳۲۰	۱۷۰-۲۵۰	$\frac{7}{32}$ (۵/۶)
۳۳۵-۴۳۰	۳۱۵-۴۰۰	۳۹۰-۳۰۰	۳۳۰-۴۱۵	۳۰۰-۴۲۰	۳۷۵-۳۷۵	۳۵۰-۳۵۰	۳۵۰-۴۰۰	۳۱۰-۳۲۰	$\frac{1}{4}$ (۶/۴)
۴۰۰-۵۲۵	۳۷۵-۴۷۰	۳۷۵-۴۷۵	۳۹۰-۵۰۰	۳۷۵-۴۷۵	۳۴۰-۴۵۰	۳۲۰-۴۲۰	۳۰۰-۵۰۰	۷۵-۴۲۵	$\frac{5}{16}$ (۸)



شکل ۳-۳ محل شماره طبقه بندی الکتروود برای الکتروود روکش دار با محل گیره انتهایی (ته گیر).

۳-۵ طبقه بندی و شماره گذاری الکتروودها طبق AWS

الکتروودها 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 الکتروود است. اولین دو رقم سمت چپ (یا سه رقم اول در سیستم پنج رقمی) حداقل مقاومت کششی مفتول الکتروود را برحسب کیلوپوند (هزار پوند) بر اینچ مربع نشان می دهد (اگر این عدد در ۷۰ ضرب شود،

مقاومت بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به دست می‌آید. برای مثال مقاومت کششی الکتروود E6010، مساوی (4200 kg/cm^2) و الکتروود E7010 مساوی (4900 kg/cm^2) و الکتروود E10010 مساوی (7000 kg/cm^2) است. رقم سوم موقعیت جوشکاری را توصیف می‌کند. برای مثال عدد یک در E6010 نشان می‌دهد جوشکاری با این نوع الکتروود در همه موقعیت‌ها اعم از تخت، افقی، سربالا و سقفی می‌تواند انجام شود. عدد ۲ از E7020 نشان می‌دهد که این الکتروود تنها در جوشکاری درزهای تخت و افقی به کار می‌رود. عدد ۳ نشان می‌دهد که الکتروود باید تنها در موقعیت جوشکاری تخت به کار رود. آخرین رقم نوع جریان و نوع روکش الکتروود را تعیین می‌کند. توضیح بیشتر در مورد این سیستم طبقه‌بندی شماره‌ای در جدول‌های ۳-۴ و ۵ آمده است. شکل ۲-۳ محل مهر زدن یا چک کردن شماره طبقه‌بندی الکتروود بر روی پوشش آن را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴ سیستم طبقه‌بندی الکتروودها 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 وضعیت‌ها E-XX2X = تخت و افقی E-XX3X = تخت	وضعیت جوشکاری	رقم بعدی
به جدول ۲-۵ 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
رونیل	قوس نرم	A.C. یا D.C. قطب آزاد	3
روتیل یا 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	—	A.C. یا DCRP	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 ترسیب شده در درز و مناسب بودن آن به عنوان مصالح اتصال دهنده قطعاتی که به هم جوش می‌شوند، به انتخاب صحیح الکتروود بستگی دارد. باید توجه داشت که بسیاری از الکتروودهایی 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 تشکیل دهنده روکش الکتروود تعیین می‌شود.

با توجه به مطالب ارائه شده، اهمیت شناخت کامل مشخصه‌های الکتروودهای پایه، روشن است. شناخت کامل از رده‌های الکتروودها، نه تنها در انتخاب صحیح الکتروود برای یک کار خاص به شما کمک می‌کند، بلکه در به دست آوردن مهارت فنی لازم جهت عملیات جوشکاری نیز مؤثر است.

انتخاب اندازه صحیح الکتروود برای استفاده در یک کار مشخص، دارای اهمیتی به اندازه 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 به آنچه که در جوش لب به لب 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 به جوشکاری سربالا یا سقفی بیشتر است.

- 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 الکترودها

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

۳-۷-۱ الکترودهای پربازده (پر جوش)

الکتروده پربازده، درز را زود پر می‌کند. این خاصیت نقطه مقابل الکترودهای نفوذی است. الکترودهای پربازده، دارای روکش ضخیم محتوی پودر آهن می‌باشند که کاربرد وسیعی در جوشکاری گوشه و جوش شیار عمیق دارد. در این نوع الکتروده، میزان رسوب زیاد بوده و پاک کردن سرباره آن به راحتی انجام می‌شود. بریدگی لبه درز جوش نیز کم می‌باشد. این نوع الکتروده 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 الکترودهای پربازده، الکترودهای EXX14، EXX24، EXX27 و EXX28 در جوش‌های شیار در وضعیت تخت و افقی به کار می‌روند (شکل ۳-۴ - F).

در این حالت اگر در دستورات عمل جوشکاری، جریان یکسو ذکر شده باشد، استفاده از جریان متناوب امکان‌پذیر است، که باعث کاهش پدیده انحراف قوس می‌شود.

۳-۷-۲ الکترودهای نفوذی (زودجوش)

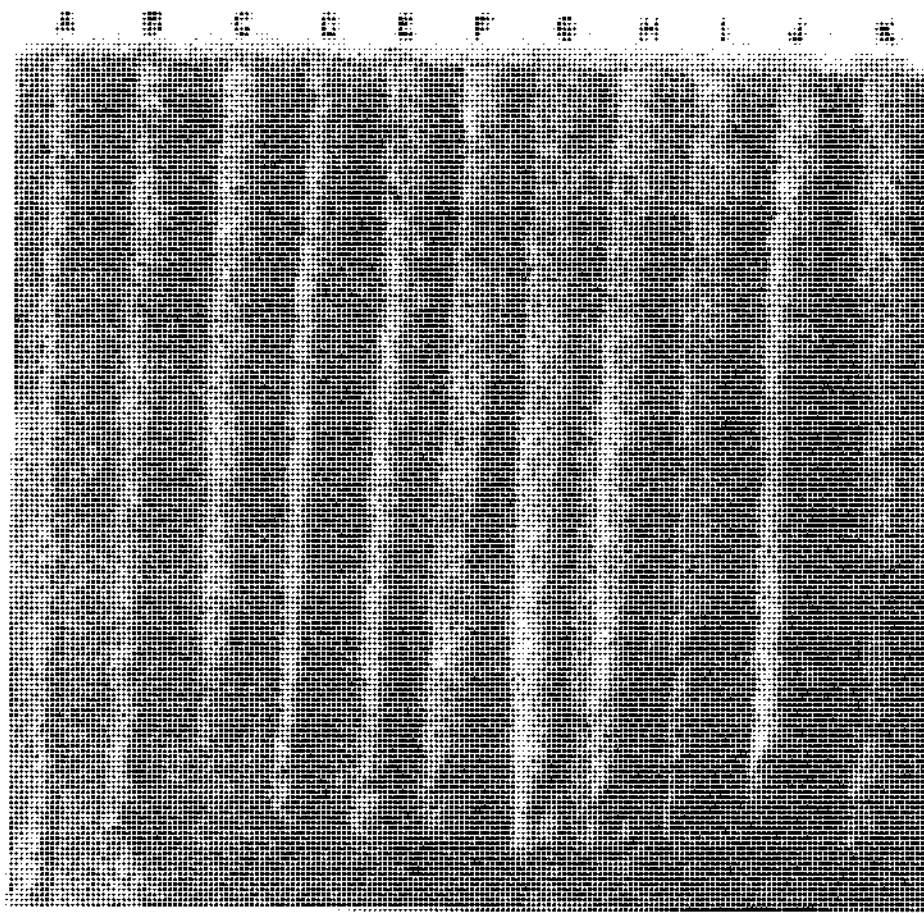
الکترودهای نفوذی دارای قابلیت انجماد سریع فلز جوش می‌باشند. این خاصیت در مواردی که پاشیدگی گل جوش و یا فلز جوشکاری به خارج از درز جوش وجود دارد و یا در جوشکاری‌های سربالا و سقفی، بسیار مهم است.

این الکترودها دارای قوسی قوی و نفوذی بوده و عموماً با جریان یکسو با قطبیت معکوس به کار می‌روند، هرچند 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 استثناء، خط جوش حاصل، جوابگوی آزمون پرتونگاری بوده و مورد استفاده آنها در جوشکاری لوله‌ها و مخازن تحت فشار است. این الکترودها به طور 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.

3. Fast fill

4. Fast freeze

5. Fill Freeze



شکل ۳-۴ مقایسه ظاهر نور جوش های انجام شده با انواع مختلف الکتروودها.

۳-۷-۳ الکتروودهای ترکیبی

در بعضی درزها، نیاز به هر دو خصوصیت پُر بازدهی و نفوذی بودن است. هنگامی که الکتروود نفوذی مورد نیاز است، بهترین انتخاب رده EXX10 و EXX11 می باشد. الکتروودی که دارای هر دو خاصیت پُر بازدهی و نفوذی بودن است، الکتروود EXX14 با روکش حاوی پودر آهن می باشد که در همه وضعیت ها قابل استفاده است (تمام وضعیت). این الکتروود دارای خاصیت زود پُرکنندگی به میزان نوع EXX24 نبوده و سرعت انجماد آن نیز به اندازه EXX10 نمی باشد، ولیکن خواص آن در حد واسطه این رده می باشد.

۳-۷-۴ الکتروودهای کم هیدروژن^۶

الکتروودهای کم هیدروژن دارای پوششی هستند که عملاً فاقد هیدروژن می باشد. این الکتروودها، جوشی عاری از ترک،

6. Low hydrogen electrode

زیرترک^۷ و ریزترک^۸ تولید می‌کنند و جوش حاصل دارای شکل پذیری 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 به وجود 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
 پرتوتنگاری می‌باشد. به علت کاهش نیاز به عملیات پیش گرمایش با این نوع الکترودها، کاربرد ویژه آنها در جوشکاری
 فولادهای سخت جوش و فولادهای آلیاژدار پرمقاومت 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 به یکدیگر 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. الکترودها مصرفی
 باید با فلز پایه سازگار^{۱۰} باشد، یعنی علاوه بر خواص شیمیایی هم ارز با فلز پایه، باید مقاومت نهایی فلز الکترودها
 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 الکترودها
 مصرفی تأثیرگذار است. بعضی از الکترودها با جریان یکسو و بعضی با جریان متناوب دارای عملکرد بهتری می‌باشند.

(جرا حاد رگس ۹۳۳)

۳ - ۱۰ ضخامت و شکل فلزات مورد جوشکاری

ضخامت فلز مورد جوشکاری خواه ضخیم و یا نازک، تعیین کننده اندازه الکترودها مصرفی است. طبق یک قانون عمومی،
 هرگز از الکترودهای که قطر آن بزرگتر از ضخامت فلز مورد جوشکاری است، استفاده نمی‌شود.

7. Under bead crack
8. Micro crack
9. Heat affected zone
10. Match

۳-۱۱ وضعیت جوشکاری

وضعیت جوشکاری عامل بسیار مهم در انتخاب الکتروود مصرفی است. بعضی از الکتروودها تنها در وضعیت جوشکاری تخت قابل استفاده بود و بعضی دیگر در همه وضعیت‌ها به خوبی قابل استفاده می‌باشند. وضعیت جوشکاری روی هزینه‌ها تأثیرگذار است. جوشکاری تخت اقتصادی‌ترین نوع جوشکاری بوده و پس از آن به ترتیب جوشکاری افقی، قائم و سقفی قرار دارند که جوشکاری سقفی گرانترین نوع است.

اندازه الکتروود مصرفی شدیداً متأثر از وضعیت جوشکاری است. در سری کاری‌ها، بزرگترین الکتروودی که قابل کار کردن و کنترل دستی است باید به کار رود. این کار اجازه استفاده از شدت جریان بیشتری را داده و به تبع از آن باعث افزایش سرعت جوشکاری خواهد شد.

اگر جوشکاری باید در موقعیت سقفی و یا قائم انجام گیرد، الکتروودهای 28، 27، 24، EXX20 قابل استفاده نیستند و انتخاب الکتروود مصرفی باید از میان الکتروودهای باقیمانده صورت گیرد. حرکت و کنترل EXX16 و EXX18 که در طبقه الکتروودهای قابل استفاده برای همه موقعیت‌ها قرار دارند، در جوشکاری‌های قائم و سقفی قدری مشکل است.

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

۳-۱۲ معرفی الکتروودهای متعارف و کاربرد آنها

E6010: الکتروود همه وضعیت با جریان یکسو و قطبیت مثبت (از نوع الکتروودهای نفوذی)

این الکتروودها یکی از بهترین انواع الکتروود روکش دار جهت جوشکاری‌های قائم و سقفی هستند. به‌همین 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 الکتروود 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 گیل سبک آن، کاهش حباب‌زایی^۱ 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. به‌خاطر 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 کم ضخامت 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 الکترودهای 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 پر بازده)
الکتروود E6012 می‌تواند با جریان یکسو و قطبیت مستقیم و یا جریان متناوب به کار رود. این نوع اغلب برای درزهایی که به‌طور مناسب جفت نشده‌اند به کار می‌رود و این به خاطر قابلیت پل زنی 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. هر 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.

گِل حاصل از این جوش خیلی زیاد است و قسمت بیشتری از فلز مذاب را نسبت به الکتروود E6010 می‌پوشاند. ولیکن سرباره تولید شده به روانی سرباره حاصل از الکتروودهای E6020 و E6030 نمی‌باشد. گِل حاصل از الکتروود E6012 بسیار سریع و در دمایی پایین‌تر از نقطه انجماد فلز می‌بندد. گِل جوشکاری سخت بوده و اغلب به‌نوار جوش می‌چسبد.

فلز مذاب حاصل از این نوع الکتروود دارای روانی بیشتری نسبت به الکتروود E6010 می‌باشد ولی نه در حدی که قابلیت استفاده از آن را در همه وضعیت‌ها از بین ببرد. ترکیب فلز مذاب و گِل مذاب شکل جوش ترسیب شده را کنترل می‌کند (جوش D، شکل ۳ - ۴). بنابراین E6012 خصوصاً مناسب جوشکاری گوشه در حالت افقی می‌باشد به گونه‌ای که یک جوش تخت با تحدب کم و بدون بریدگی کناره جوش ایجاد می‌کند. الکتروودهای E6012 مناسب جوشکاری قائم رو به پایین هستند، هرچند در بعضی موارد میزان و ضخامت گِل‌گناه مورد نظر تأمین نمی‌شود.

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 گِل (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 یا 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 کلیم 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 گِل آن ضخیم و تُرد 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 آلیژی، فولاد پرکربن، فولاد گوگرددار، 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: الکتروود همه وضعیت، جریان متناوب یا یکسو با قطبیت مثبت (از نوع کم هیدروژن) الکتروود E7016 حاوی کلیه ویژگی های الکتروود E7015 می باشد. مزیت اضافی، امکان کاربرد آن با جریان جوشکاری یکسو یا متناوب می باشد. سیم داخلی و ترکیب روکش آن نیز مشابه الکتروود E7015 می باشد. جز اینکه این نوع دارای مقداری سیلیکات پتاسیم و یا نمک های دیگر پتاسیم می باشد، اضافه کردن نمک های پتاسیم، این الکتروود را برای جریان متناوب قابل استفاده می سازد. یک نوع از جوش انجام شده با این الکتروود در شکل ۳ - ۴، جوش J، نشان داده شده است.

E7018: الکتروود همه وضعیت با جریان متناوب و یکسو با قطبیت مثبت (از نوع کم هیدروژن) روکش این الکتروود حاوی درصد زیادی پودر آهن (بین ۲۵ تا ۴۰ درصد) در ترکیب با مقدار کمی هیدروژن می باشد. روکش الکتروود E7018 دقیقاً مشابه ترکیب الکتروود E7015 و E7016 ولی ضخیم تر از آنها می باشد. گِل حاصل ضخیم

و تُرد 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 شیارهای کمی تحدب داشته باشد. جوش حاصل جوابگوی آزمایش پرتونگاری خواهد بود. این نوع الکتروود در جوشکاری لوله‌ها، مخازن و کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با استفاده از الکتروودهای تا قطر ۴ میلی‌متر امکان جوشکاری در همه وضعیت‌ها وجود دارد. قطرهای بزرگتر برای جوش گوشه و شیار در موقعیت افقی و یا تخت به‌کار می‌روند. در تمام مدت جوشکاری، باید قوس کوتاه اعمال شود. در جوشکاری قائم رو به‌بالا باید دقت خاصی مبذول داشت تا پوشش الکتروود در تماس دائم با حوضچه مذاب جوشکاری باشد. در ضمن قوس بلند باعث ایجاد تخلخل در نوار جوش خواهد شد. نرخ رسوب جوش در F7018 در بعضی موارد بالاتر از الکتروودهای E7015 می‌باشد.

اصلاح و بهبود خواص فلز ترسیب با اضافه کردن آلیاژهای معینی به ترکیب روکش الکتروود و یا تعویض و تغییر در جنس سیم مغزه الکتروود امکان‌پذیر است. اضافه کردن عناصر آلیاژی به روکش الکتروود راه اقتصادی‌تری بوده و کنترل آن راحت‌تر است. این الکتروودها در طبقه F8018 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 الکتروود مشابه الکتروودهای E7018 با کمی اختلاف است. الکتروود E7028 تنها مناسب جوشکاری در موقعیت افقی و تخت می‌باشد در حالی که E7018 قابل استفاده در همه وضعیت‌هاست. روکش این نوع الکتروود حاوی درصد زیادی 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 فلس‌های ریز و صاف می‌باشد (جوش T₁ در شکل ۳ - ۴). گل حاصل ضخیم بوده و به راحتی پاک می‌شود. این الکتروود دارای ویژگی الکتروودهای برجوش 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 به‌کار 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، فلز جوش رسوب کرده، حاصل از روکش الکتروود است.

الکترودهای E7024 جوشی با پاشیدگی کم، مقدار نیترژن پایین، بدون نقص و با ظاهری صاف تولید می‌کنند. این الکترودها 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 الکترودها 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 الکترودهای روکش‌دار

نگهداری صحیح از الکترودهای روکش‌دار 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 الکترودها، بسیار ضروری است.

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

۳-۱۳-۱ خسارت مکانیکی

هر چند روکش الکترودها به میزان قابل توجهی در برابر عوامل تخریب مکانیکی خارجی مقاوم هستند، اما نباید فراموش کرد که الکترودهایی که با بی‌احتیاطی جابه‌جا می‌شوند، همیشه در معرض عوامل مخرب مکانیکی ناشی از ضربه، سایش، خراش و غیره می‌باشند. پوشش الکترودها از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار نبوده و مقاومت به ضربه پایینی دارند. از این‌رو در هنگام بارگیری، تخلیه و تغییر مکان، جعبه‌های الکتروود را نباید با ضربه جابه‌جا کرد و یا به اطراف 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 به این 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. به همین دلیل، الکترودهای سلولزی را در قوطی‌های فلزی دربسته، 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 مقدار 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 100°C - 90°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 به آرامی 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 الکترودها باقی مانده و به‌طرف بالا زبانه می‌کشد دیده خواهد شد، ثانیاً ترک‌هایی طولی در روکش الکترودها (از سمت نوک به‌طرف بالا) مشاهده می‌گردد.

بنابراین باید الکترودها را همواره از مرطوب شدن محافظت کرد. این ضرورت، به‌طور معمول از طریق بسته‌بندی رعایت می‌شود. الکترودهای قلیایی که به‌طور مخصوص خشک شده‌اند، در جعبه‌های مقاوم در برابر رطوبت یا در

پاکت‌های ضخیم پلاستیکی عرضه می‌شوند. تا هنگامی که از الکتروودها استفاده نمی‌گردد، 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 می‌توانند بالاترین درصد رطوبت را تحمل نمایند.

باید توجه داشت که نه تنها جذب رطوبت از هوا به الکتروود خسارت می‌زند، 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، همان‌طور که مشخص است در طی روز دمای محیط به سرعت بالا می‌رود اما مغزی الکتروود که در کارتن‌های مقاومی عایق قرار دارد، به آرامی گرم می‌شود؛ با کاهش دما در شب، بخشی از رطوبت جذب روکش الکتروودها می‌شود. مسأله ایجاد قطرات شبیم به‌ویژه در زمان‌های قبل از تخلیه کانتینرهای حمل بار که در محل‌های سرد نگهداری می‌شوند، باید مورد توجه قرار گیرد.

بنابراین باید بسته‌های 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، کریستال‌ها یا پوسته‌های سفیدی (Fur) دیده می‌شود که ناشی از خروج سیلیکات سدیم از پوشش الکتروود بوده و هر چند خود برای جوشکاری مضر نیستند اما به خوبی نشان می‌دهند که عمر مفید الکتروود به پایان رسیده و نباید در کارهای حساس از آن استفاده کرد. (اما در تاریخ ۹۴-۵-۲۵)

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 می‌شود. این امر، به‌طور معمول سبب افزایش اکسیژن جذب‌شده در جوش و در نهایت افزایش مقدار هیدروژن جذب‌شده در جوش می‌گردد. 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 می‌کند.

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

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

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
- فولاد ضدزنگ
- آلومینیوم
- اینکنل
- موئل
- 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.



شکل ۳-۵ خشک کن.

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

به منظور جلوگیری از صدمه رسیدن به الکتروود 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 تقریبی بین ۶۵ تا ۹۰ کیلوگرم

جدول ۳-۶ قطر و طول الکتروود

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

۳-۱۵ علامت‌گذاری

کلیه دسته‌ها، بسته‌ها، جعبه‌ها، حلقه‌ها و قرقره‌های الکتروود باید شامل اطلاعات زیر باشند:

- طبقه‌بندی الکتروود
- نام سازنده یا علامت تجاری آن
- طول و قطر استاندارد (در حلقه و قرقره‌ها، وزن جایگزین طول می‌گردد)
- مدت زمان تضمین

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: لغت 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.

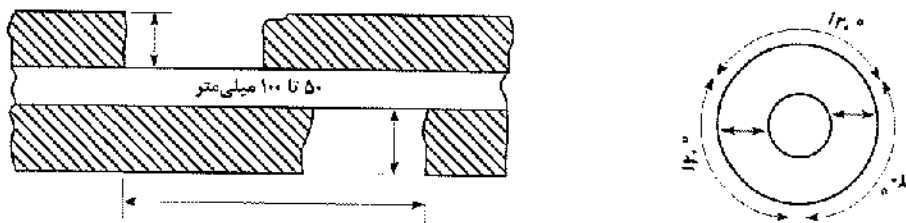
۳-۱۶-۴ هم‌مرکز بودن روکش

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 میلی‌متر از هم باشند، ضخامت روکش اندازه‌گیری شود (شکل ۳ - ۶). ضخامت روکش باید با میکرومتر و با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر کنترل شود. کنترل ضخامت هم مرکز بودن روکش را می‌توان با دستگاه‌های مخصوص (مغناطیسی و غیره) بدون تخریب روکش انجام داد.

جدول ۳ - ۷ اختلاف ضخامت مجاز

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



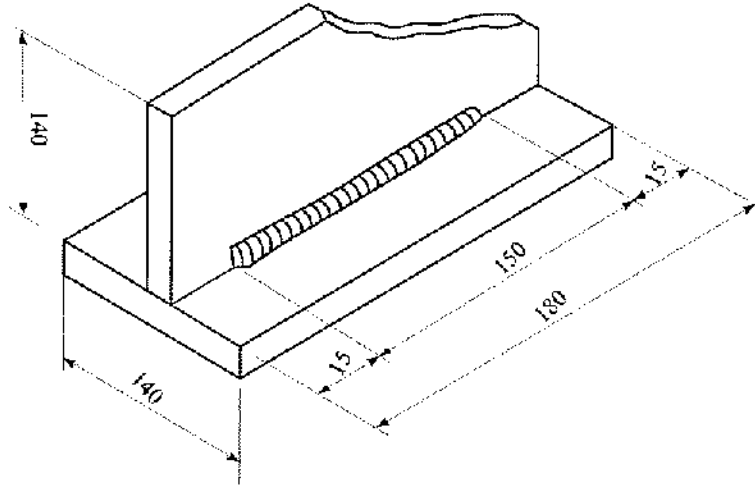
شکل ۳ - ۶ تعیین یکنواختی روکش.

۳ - ۱۶ - ۵ کیفیت اجرای جوشکاری

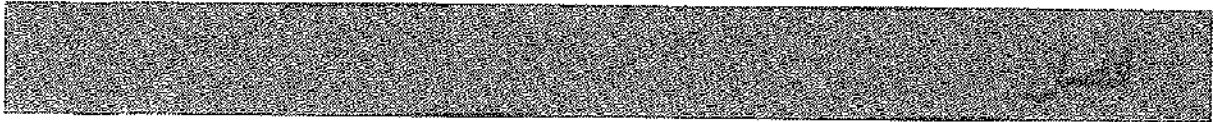
جوشکاری الکتروود باید خصوصیات ذیل را داشته باشد:

- الف: قوس باید به آسانی روشن شده و پایدار باشد. نوع جریان برق و شدت جریان جوشکاری طبق توصیه سازنده الکتروود انتخاب می‌شود.
- ب: روکش باید به‌طور مناسب با میله مغزه ذوب شده تا در انتهای الکتروود، روکش به‌صورت 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 مینا نباید حاوی ترک باشد.
 ث: سطح مقطع شکست جوش گوشه از لحاظ وجود تخلخل، ترک و نفوذ مورد ارزیابی چشمی قرار گیرد (شکل ۲ - ۷).



شکل ۲ - ۷



طراحی درز جوش ۴

- ۱-۴ معرفی ۱۰۷
- ۲-۴ انواع اتصال ۱۰۷
- ۳-۴ انواع جوش ۱۰۸
- ۴-۴ انواع درز ۱۱۰
- ۵-۴ دهانه یا بازشدگی ریشه (R) ۱۱۳
- ۶-۴ تسمه‌های پشت‌بند ۱۱۵
- ۷-۴ گرده جوش ۱۱۶
- ۸-۴ ضخامت ریشه ۱۱۶
- ۹-۴ سنگ زدن ریشه از پشت (شیارزنی پشت) ۱۱۸

۴-۱ معرفی

فصل مشترک دو قطعه که مصالح جوش در امتداد آن رسوب می‌نمایند، درز^۱ جوش نامیده می‌شود. هندسه درز، از عوامل مهم و تأثیرگذار بر اقتصاد و کیفیت جوش است. هندسه درز با سه پارامتر زیر تعریف می‌شود:

الف) زاویه پخی لبه

ب) بازشدگی یا دهانه ریشه (R)

پ) پیشانی یا ضخامت ریشه

در این فصل به بحث در مورد تأثیر سه عامل فوق در انتخاب هندسه مناسب درز پرداخته می‌شود. آغازگر این بحث، آرایه تعاریف عمومی می‌باشد.

۴-۲ انواع اتصال

به‌نحوه قرار گرفتن قطعات و ورق‌ها در کنار یکدیگر، نوع اتصال گفته می‌شود. انواع اتصال به‌قرار زیر است (شکل ۴-۱):

۲ - اتصال سپری (T)^۲





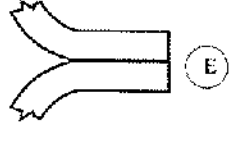
۴ - اتصال رویهم (پوششی)^۵

۱ - اتصال لب به‌لب^۲

۳ - اتصال کنج یا گونیا^۴

۵ - اتصال پیشانی^۶

1. Joint
2. But
3. Tee
4. Corner
5. Overlap
6. Edge

اتصال لب به لب	
اتصال سپری (T)	
اتصال کنج یا گونیا	
اتصال رویهم (پوششی)	
اتصال پستیابی	

شکل ۴-۱ انواع اتصال.

۴-۳ انواع جوش

به‌منظور برقراری اتصالات فوق، انواع مختلف جوش به‌شرح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۴-۲):

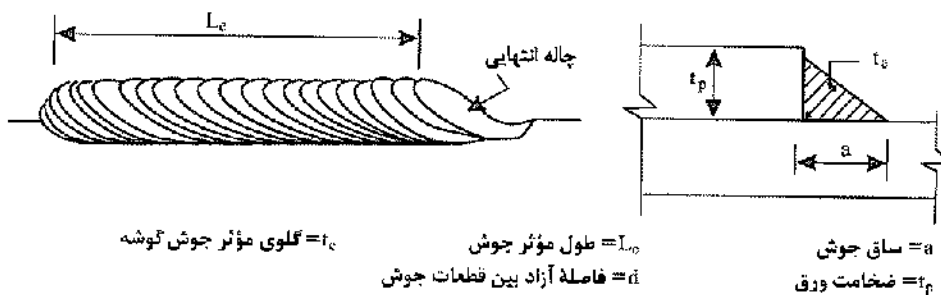
- ۱- جوش گوشه^۷: جوشی است که بر وجوه جانبی دو قطعه مجاور هم رسوب می‌کند (۴-۲-الف).
- ۲- جوش شیاری^۸: جوشی است که در درز بین دو قطعه رسوب می‌کند و در دو نوع با نفوذ کامل و با نفوذ نسبی اجرا می‌شود (شکل ۴-۲-ب).
- ۳- جوش انگشتانه^۹: جوشی است که درون یک سوراخ به‌صورت توپر داده می‌شود (شکل ۴-۲-پ).
- ۴- جوش کام^{۱۰}: جوشی است که درون یک شکاف به‌صورت توپر داده می‌شود (شکل ۴-۲-ت).
- ۵- جوش در حفره و شیار: جوش گوشه‌ای است که در پیرامون یک سوراخ یا شکاف اجرا می‌شود.

7. Fillet

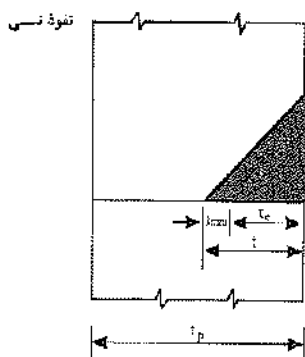
8. Groove

9. Plug

10. Slot



(الف) جوش گوشه



t_c = ضخامت مؤثر جوش شیری با نحوه نسبی

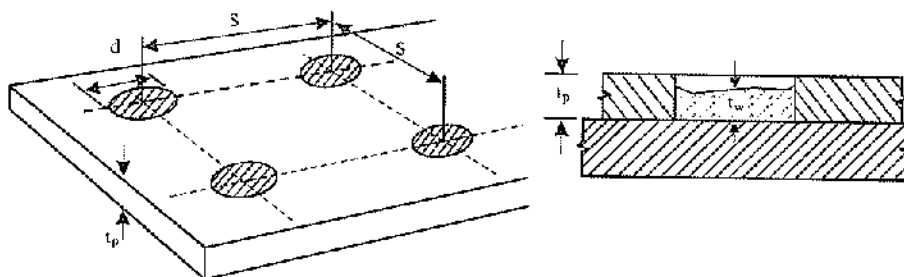
t_p = ضخامت ورق

L_w = طول مؤثر جوش

R_c = سطح مقطع مؤثر جوش

i = عمق شیار جوش

(ب) جوش شیری



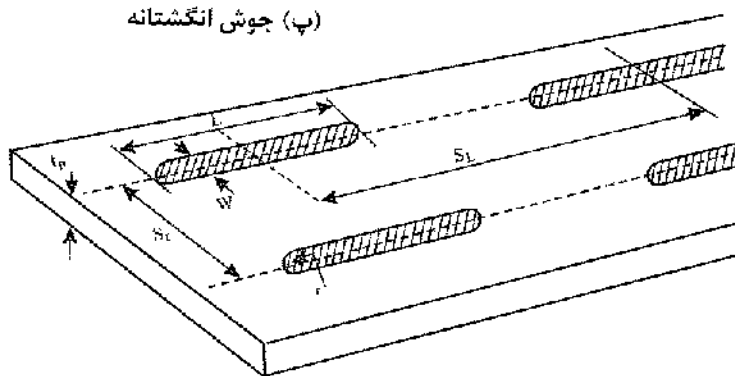
t_w = ضخامت جوش

t_p = ضخامت ورق

d = قطر سوراخ انگشتانه

s = فواصل سوراخ (گام طولی و عرضی)

(پ) جوش انگشتانه



t_w = ضخامت جوش

t_p = ضخامت ورق

L = طول جوش گام

W = عرض شکاف

S_L = گام طولی

S_C = گام عرضی

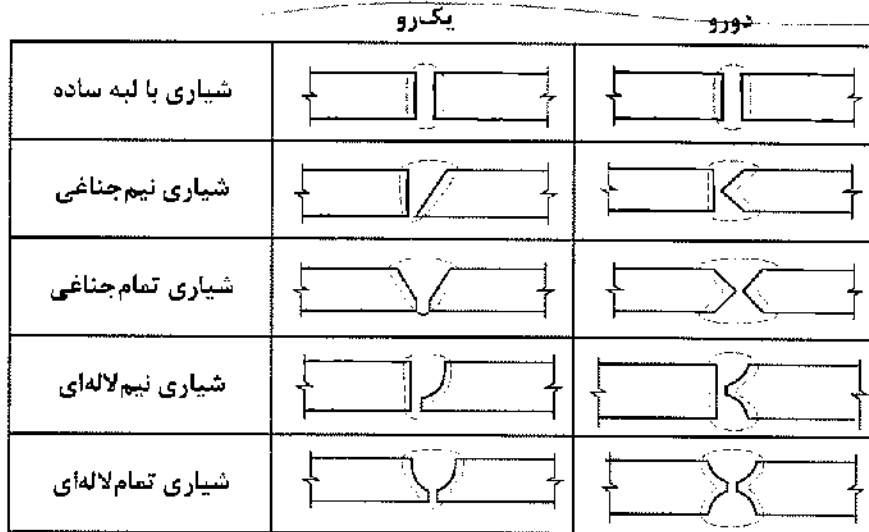
(ت) جوش گام

شکل ۴ - ۲ انواع جوش.

۴-۴ انواع درز^{۱۱}

برای اینکه جوش شیاری در درز بین دو قطعه رسوب نکند، برحسب ضخامت و سهولت کار، باید به لبه، هندسه خاصی داد. این عمل را آماده‌سازی گویند. برحسب نوع هندسه، انواع درز به‌صورت زیر به‌دست می‌آید (شکل ۴-۳):

- ۱ - ساده
- ۲ - جناغی (یک‌رو و دو رو)
- ۳ - نیم‌جناغی (یک‌رو و دو رو)
- ۴ - لاله‌ای (یک‌رو و دو رو)
- ۵ - نیم‌لاله‌ای (یک‌رو و دو رو)

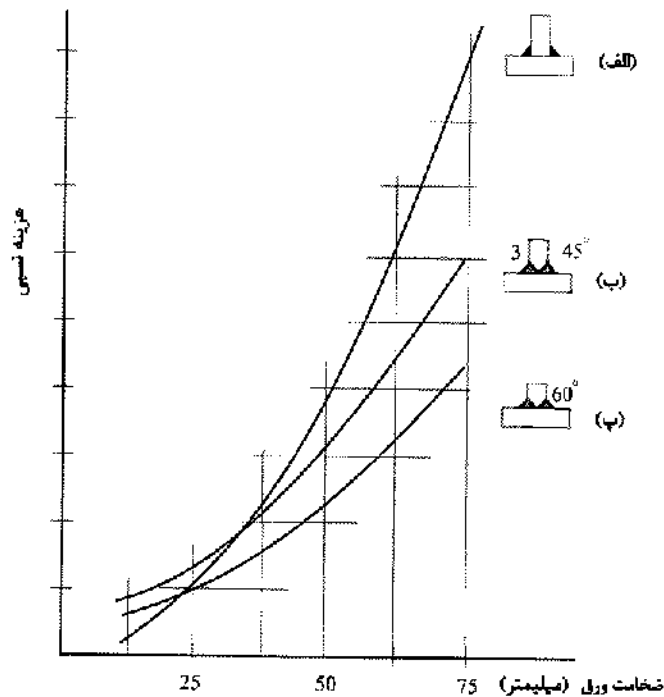


شکل ۴-۳ انواع درز

انتخاب نوع جوش و لبه، همیشه بستگی به مسائل طراحی ندارد، بلکه این انتخاب، تأثیر مستقیم بر هزینه جوش نیز دارد. شکل ۴-۴ این تأثیر را برای جوش گوشه و دو نوع جوش شیاری در یک اتصال سیری نشان می‌دهد.

جوش الف: برای یک جوش صددرصد (تمام قدرت) اندازه ساق جوش باید در حدود ۷۵٪ ضخامت ورق باشد.

جوش ب: همین جوش صددرصد را می‌توان به‌صورت جوش شیاری با نفوذ کامل با نیم‌جناغی کردن دو طرف لبه ورق تحت زاویه ۴۵ درجه و در نظر گرفتن دهانه ریشه برابر با ۳ میلی‌متر (برای نفوذ کامل) به‌دست آورد. مقدار فلز جوش لازم در این حالت برای ورق ۲۵ میلی‌متر، ۷۵٪ و برای ورق ۱۰۰ میلی‌متر، ۵۶٪ حالت الف می‌باشد. برای ورق‌ها با



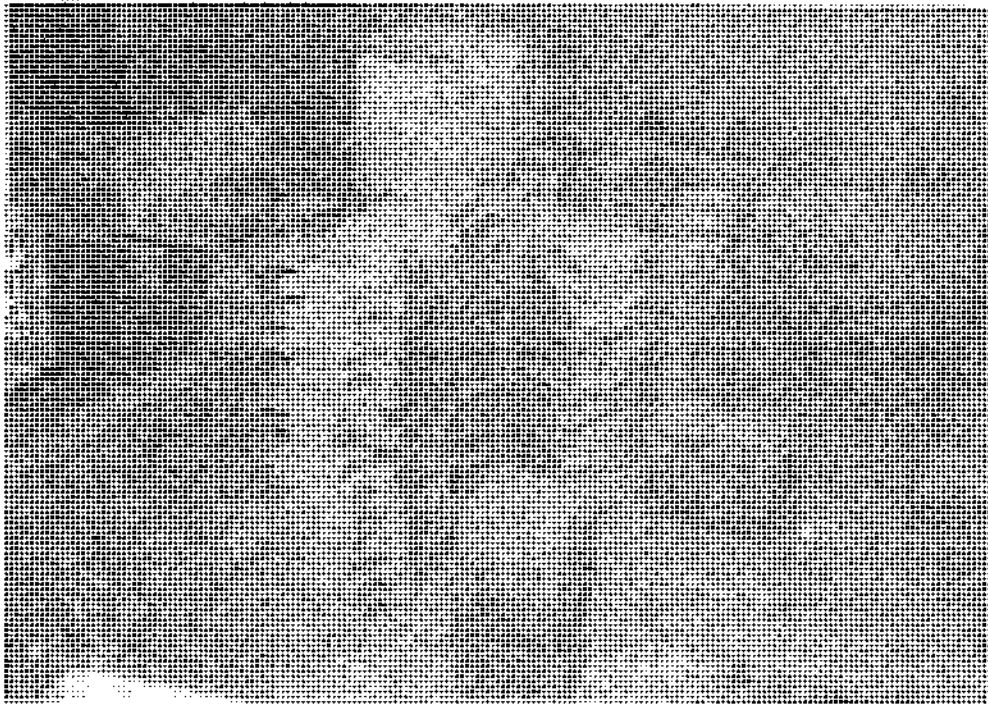
شکل ۴-۴ نمودار هزینه نسبی برای انواع مختلف جوش که مقاومتی برابر با مقاومت کامل ورق دارند.

ضخامت کمتر از ۴۰ میلی‌متر، مخارج لازم برای یخ زدن لبه‌ها بیش از قیمت مصالح صرفه‌جویی شده است. اما برای ورق‌های ضخیم‌تر از ۴۰ میلی‌متر، قیمت مصالح صرفه‌جویی مخارج لازم برای یخ زدن لبه‌ها را جبران می‌نماید.

جوش پ: جوش صددرصد را می‌توان به‌صورت جوش شیاری با نفوذ نسبی با یخ زدن لبه تحت زاویه ۶۰ درجه نیز به‌دست آورد. روش جوشکاری در این حالت این‌طور خواهد بود که ابتدا شیار ایجاد شده در ضخامت ورق را با جوش پُر کرده و سپس یک جوش گوشه ۶۰ درجه در خارج از ضخامت انجام می‌دهند. ارتفاع حداقل ناحیه یخ شده و همچنین ساق اضافی جوش گوشه، هر دو ۲۹٪ ضخامت ورق می‌باشند. مقدار مصالح مصرف شده در این شیوه برای تمام ضخامت‌ها تقریباً ۵۰٪ مصالح مصرفی در حالت الف است.

تمام این مقایسه‌ها در شکل ۴-۴ انجام گرفته است. محل تقاطع منحنی مربوط به حالت جوش گوشه (الف) با منحنی جوش شیاری (ب) در حدود ضخامت ۳۵ میلی‌متر می‌باشد.

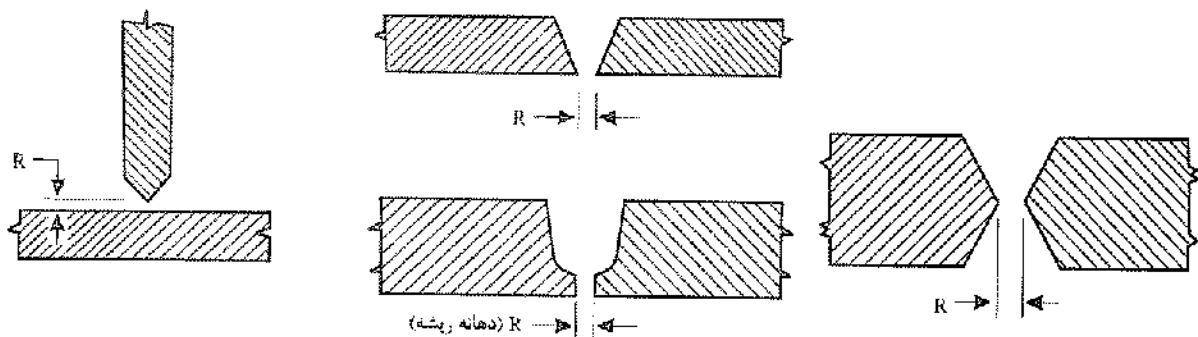
جوش نوع (پ) برای ضخامت‌های بیش از ۲۵ میلی‌متر ارزان‌ترین قیمت را دارد. البته محل نسبی این منحنی‌ها با توجه به قیمت روز برش و جوشکاری تغییر پیدا می‌کند. در شرکت‌های جوشکاری بهتر است چنین منحنی‌هایی رسم شده و به‌مهندس طراح آن شرکت به‌منظور انتخاب اقتصادی‌ترین حالت جوش ارایه گردد.



شکل ۴-۵ یخ زدن لبه ورق روسری برای استفاده در اتصال صلب تیر به ستون.

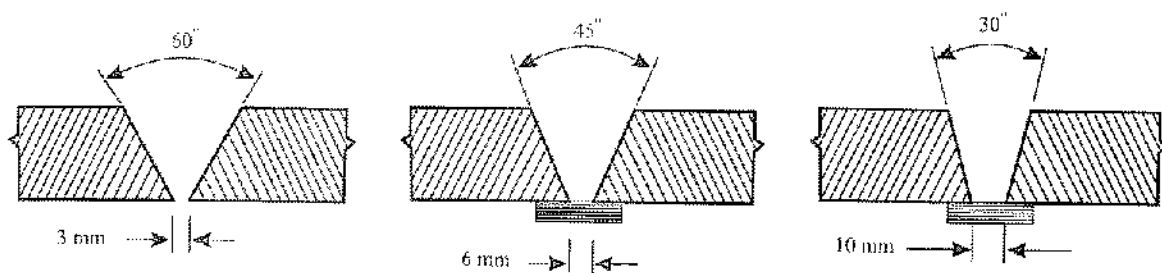
۴-۵ دهانه یا بازشدگی ریشه (R)

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 ۴-۶ دهانه یا بازشدگی ریشه.

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.

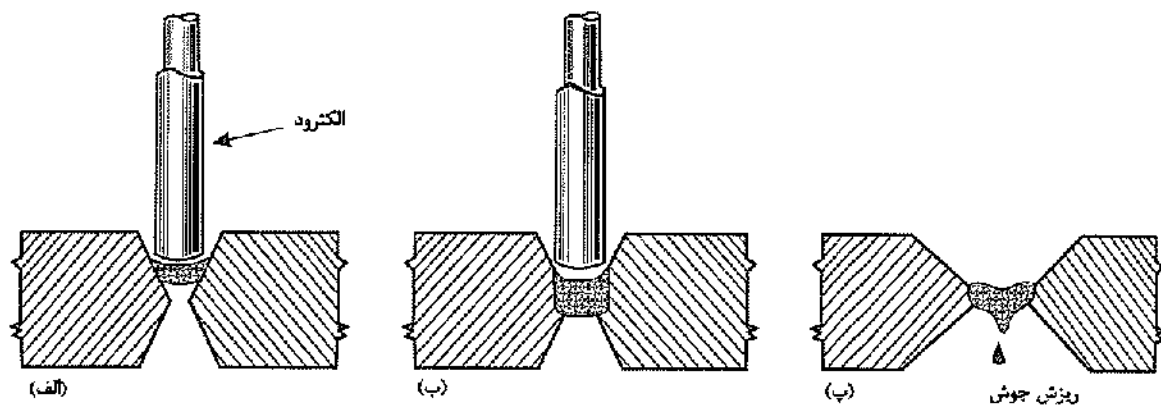


شکل ۴-۷ تسمه پشت‌بند.

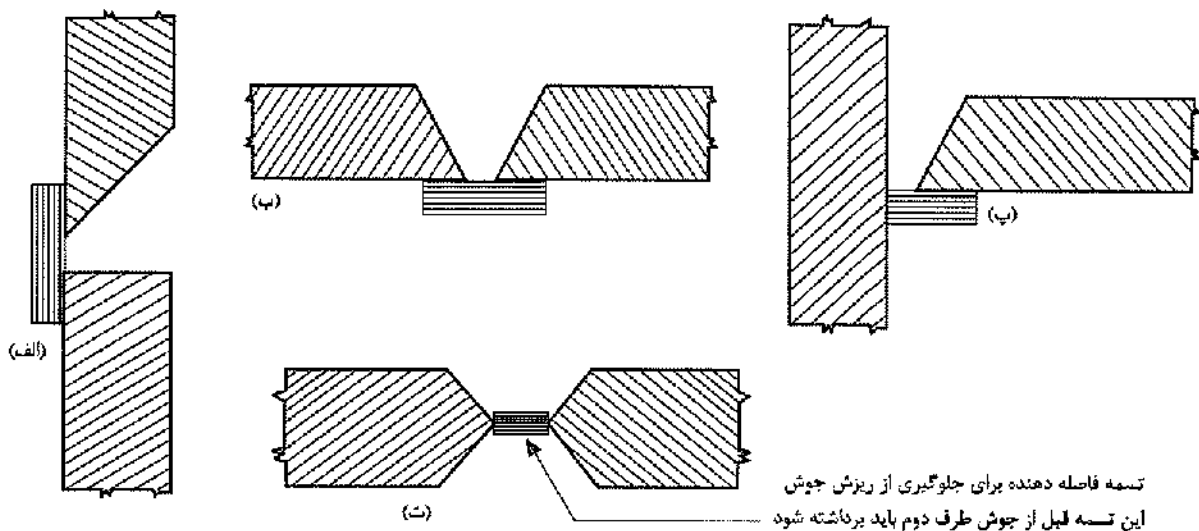
شکل ۴ - ۸ - الف، حالتی را نشان می‌دهد که فاصله لبه دو قطعه و همچنین زاویه بخی لبه‌ها کم می‌باشد. این حالت برای جوشکاری خوب نیست، زیرا جوش بین دو لبه پل زده، تفاله و خاکستر جوشکاری پس از انجام عملیات جوشکاری در محل ریشه اتصال باقی می‌ماند و حذف آنها از روی جوش برای جوش طرف دوم وقت‌گیر خواهد بود.

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.



شکل ۴ - ۸



شکل ۴ - ۹

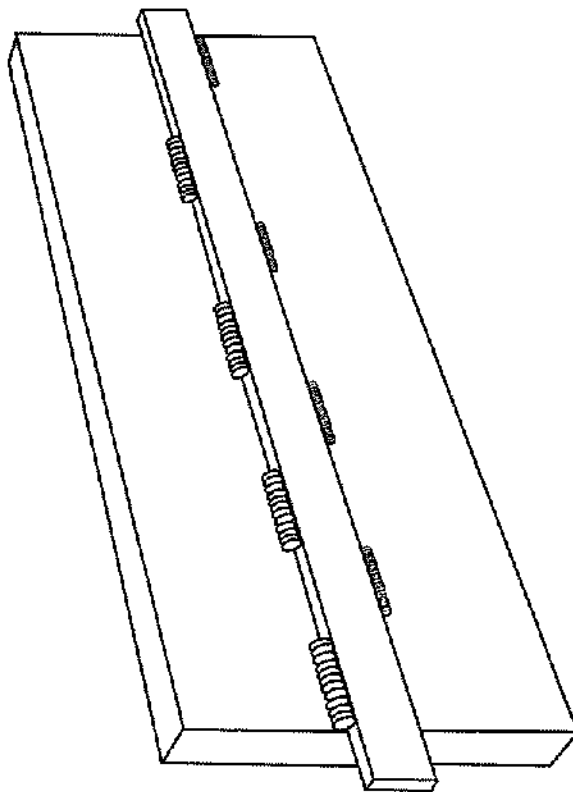
۴ - ۶ تسمه‌های پشت‌بند

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.

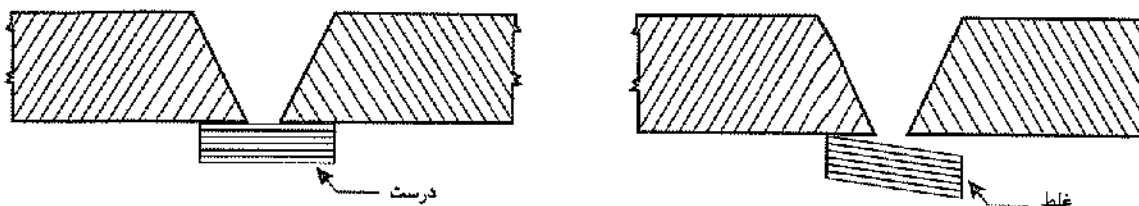
جنس تسمه‌های پشت‌بند باید با مصالح اصلی سازگار باشد. برای تثبیت این تسمه‌ها، قبل از انجام عمل جوشکاری از خال‌جوش‌های متناوب استفاده می‌شود. این خال‌جوش‌ها در هر دو طرف تسمه پشت‌بند به صورت چپ و راست داده می‌شوند تا ایجاد تنش‌های اضافی نکنند. در ضمن، این خال‌جوش‌ها نباید در سمت مقابل یکدیگر قرار گیرند (شکل ۴ - ۱۰).

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



شکل ۴ - ۱۰ اجرای خال‌جوش‌های متناوب برای اتصال تسمه پشت‌بند.

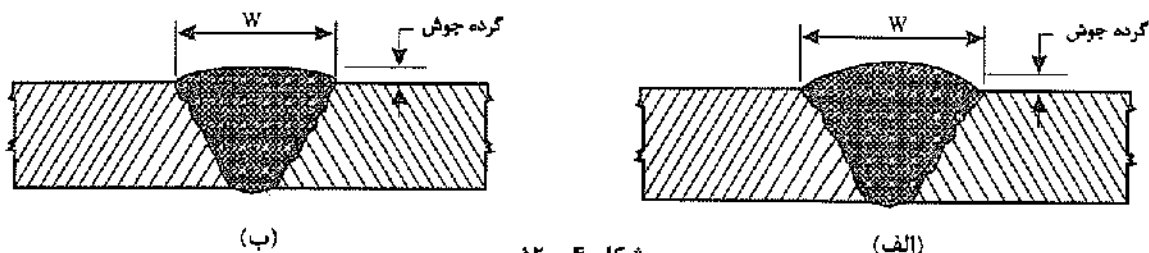
* امروزه ثابت شده است که در جوش‌های شیاری با پارگنداری عرضی، تسمه‌های پشت‌بند باعث تمرکز تنش می‌گردند و بهتر است بعد از جوشکاری حذف شوند.



شکل ۴-۱۱

۴-۷ گرده جوش^{۱۲}

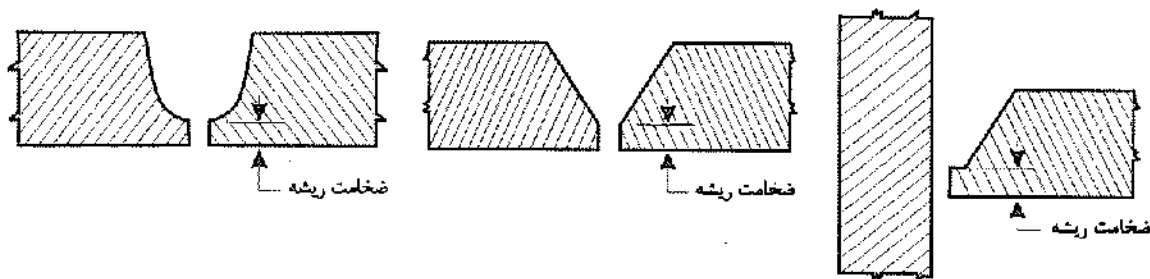
در درزهای لب به لب، تحدب اسمی (تقریباً ۱/۵ میلی‌متر بالای سطح تراز) لازم است (شکل ۴-۱۲ - ب). مقدار زیاد این تحدب فایده‌ای ندارد و باعث افزایش تمرکز تنش و هزینه جوشکاری می‌شود (شکل ۴-۱۲ - الف). باید دقت شود که هم ارتفاع و هم پهنای گرده حداقل گردد.



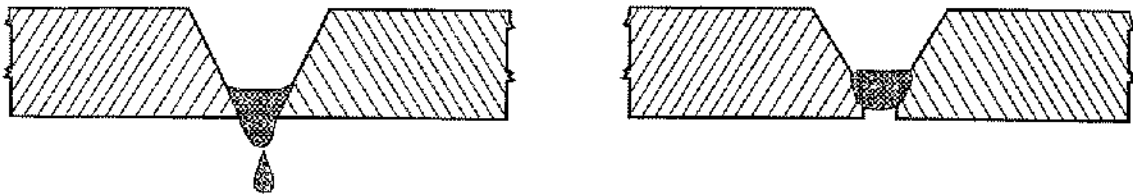
شکل ۴-۱۲

۴-۸ ضخامت ریشه (پیشانی)

برای اینکه از سوختن ریشه جوش و همچنین از ریزش جوش جلوگیری شود، به جای اینکه لبه جوش در محل ریشه به صورت 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 (شکل ۴-۱۴).



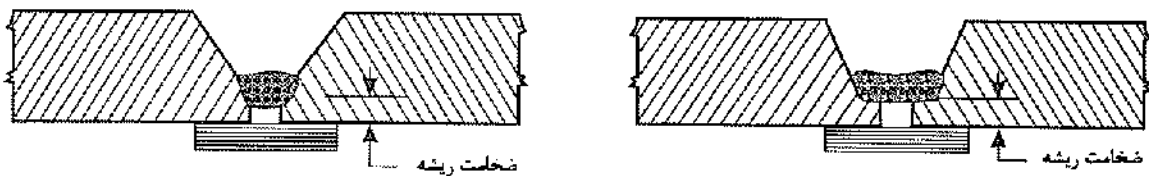
شکل ۴-۱۳ ضخامت ریشه



شکل ۴-۱۴

اجرای پیشانی ریشه در عمل وقت‌گیر و تکرار 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 به سنگ زدن ریشه است.

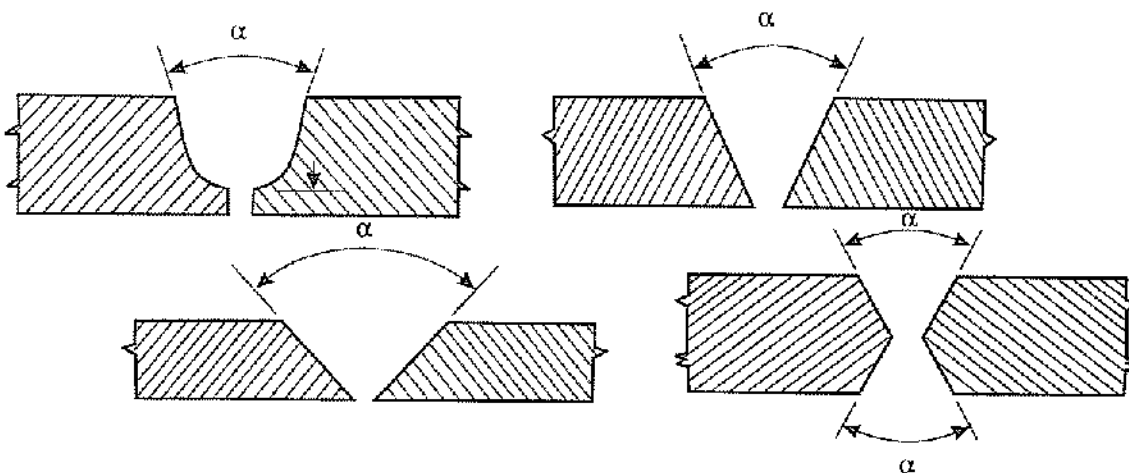
وقتی که از تسمه‌های پشت‌بند استفاده می‌شود، دیگر نباید ضخامتی برای ریشه در نظر گرفت (شکل ۴-۱۵). زیرا در این حالت یک فضای خالی پیدا می‌شود که در هنگام جوشکاری درون آن پر از گاز می‌گردد.



شکل ۴-۱۵

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 به محل کار و زاویه‌ای که الکتروود 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.



شکل ۴-۱۶ زاویه پخی.

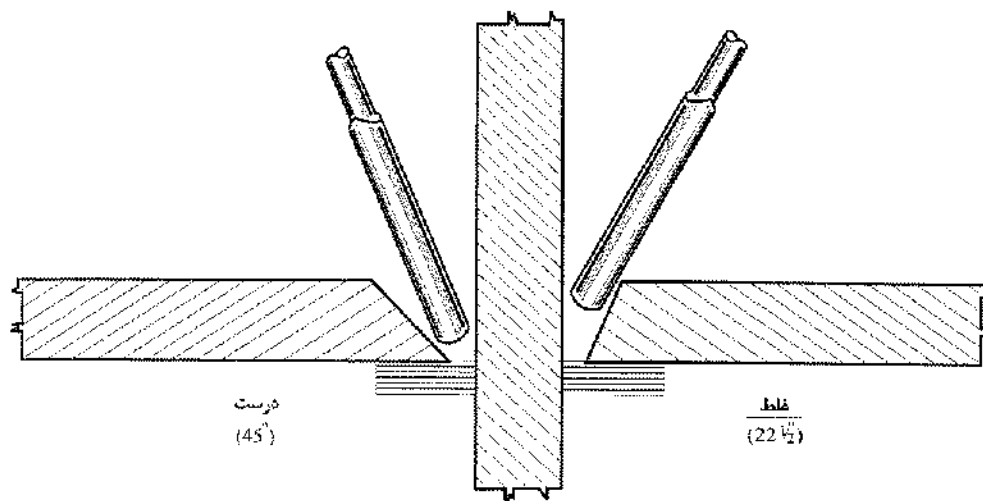
درزهای لاله‌ای (U) و نیم‌لاله‌ای (J)

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.

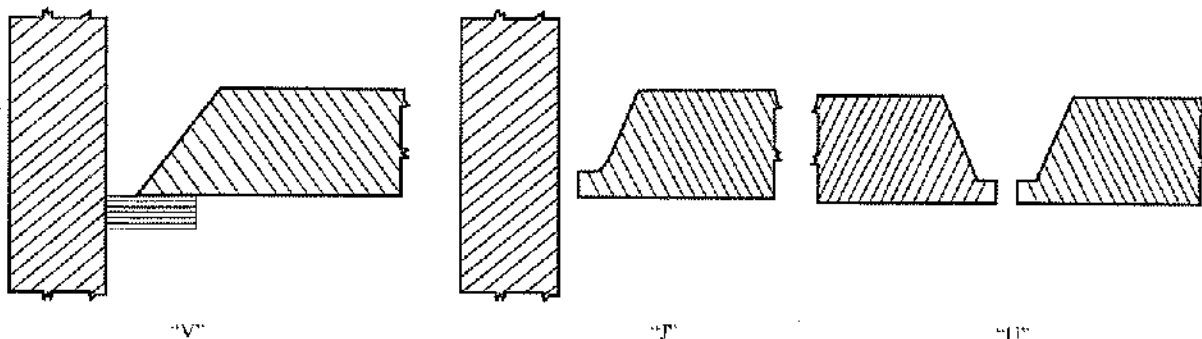
۴ - ۹ سنگ زدن ریشه از پشت (شیارزنی پشت)

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 الکترود 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 الکترود برای جوشکاری بتواند داخل آن گردد (شکل ۴ - ۲۰).



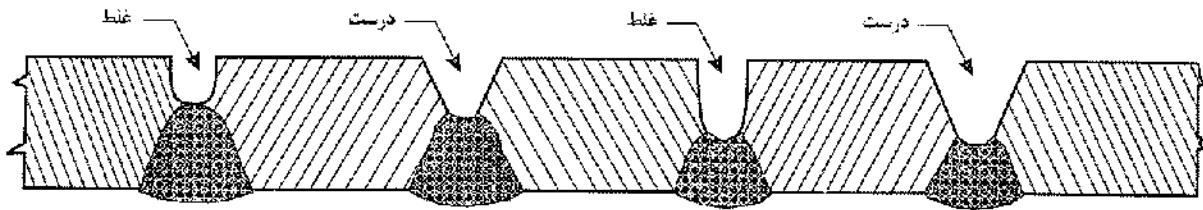
شکل ۴ - ۱۷



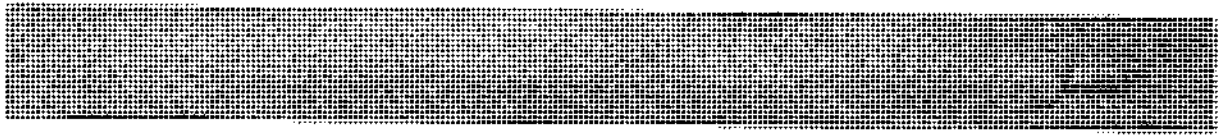
شکل ۴ - ۱۸



شکل ۴-۱۹ شیارزنی از پشت.



شکل ۴-۲۰ نحوه صحیح شیارزنی پشت جوش.



عیب‌های جوش



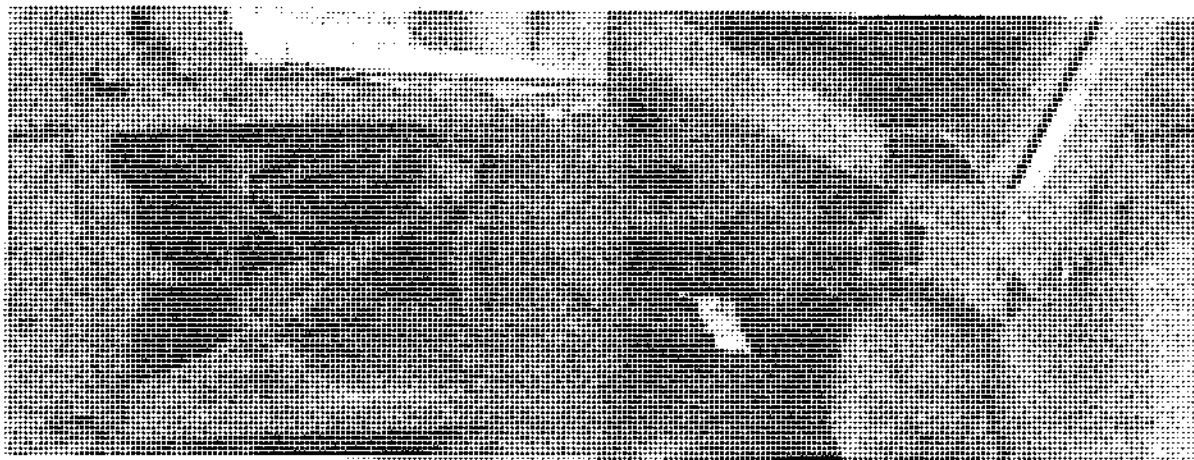
- ۱-۵ عیب‌های اصلی جوش ۱۳۳
- ۲-۵ عیوب جوش در جوشکاری تحت حفاظت گاز ۱۳۷
- ۲-۵ عیوب جوش در فرآیند جوشکاری با قوس زیرپودری ۱۴۰
- ۴-۵ ترک‌خوردگی جوش ۱۴۱

(از ۹۰ تا ۷۸)

۱-۵ عیب‌های اصلی جوش

هر جوشکار باید با معایب اصلی جوشکاری که به‌گیختگی 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 بازرسی جوش را منتفی می‌سازد. مصالحتی که به‌یکدیگر جوش می‌شوند (ورق یا لوله) باید از لحاظ وجود معایب سطحی با دقت بازرسی شوند. در صورتی که روش‌ها و فنون صحیح جوشکاری به‌کار گرفته نشود، ممکن است معایبی در سطح یا داخل فلز جوش به‌وجود آید. بعضی از این معایب رایج عبارتند از:

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



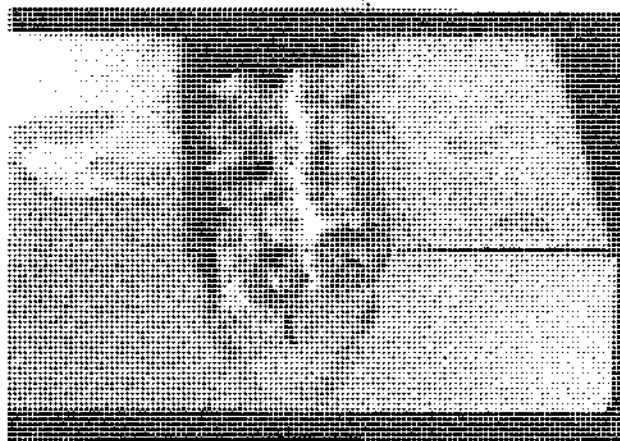
شکل ۱-۵ کیفیت نامناسب جوش و گسیختگی مقاطع در زلزله بم.

۱-۱-۵ 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 (شکل ۲-۵).

دلایل امتزاج ناقص به شرح زیر است:

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



شکل ۲-۵ ذوب ناقص در پاس روی جوش.

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 می‌نماید. نفوذ ناقص تنها هنگامی که در دستورالعمل‌ها چنین مشخص گردیده، مورد قبول است (شکل ۵-۳).

این عیب که عمدتاً به جوش‌های شیاری نفوذی مربوط می‌گردد، تحت شرایط زیر اتفاق می‌افتد:

• ضخامت پیمانه‌ی ریشه بیش از نیاز دهانه ریشه است.

• دهانه ریشه خیلی کوچک است.

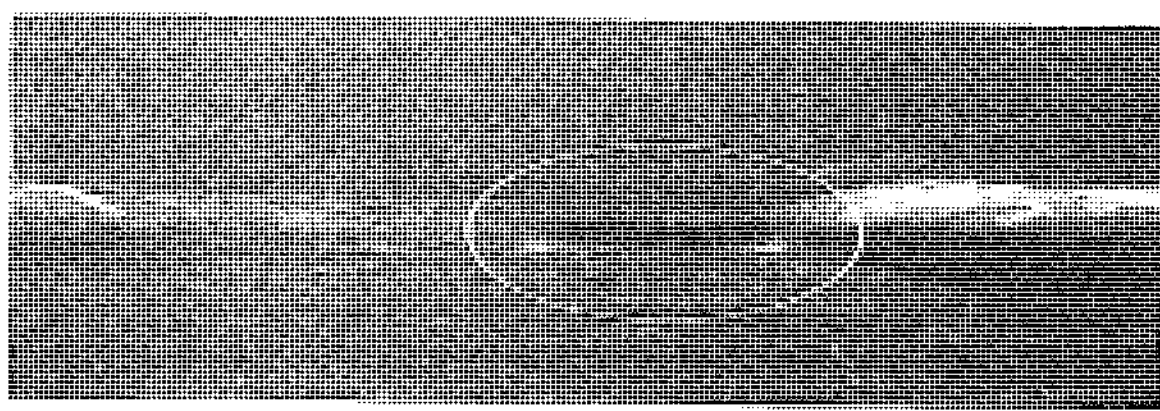
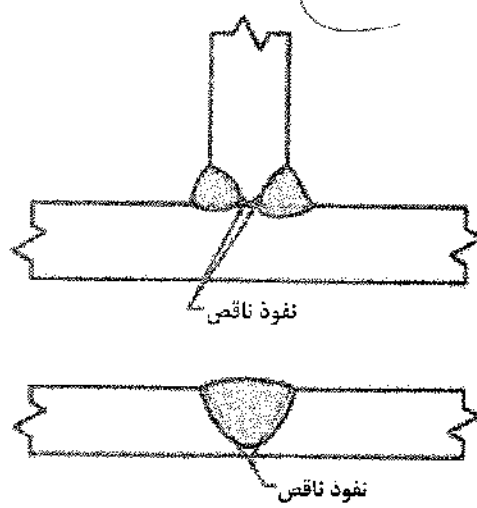
• زاویه پخی شیار γ شکل خیلی کوچک است.

• اندازه الکتروود خیلی بزرگ است.

• سرعت حرکت الکتروود خیلی زیاد است.

• شدت جریان جوشکاری خیلی پایین است.

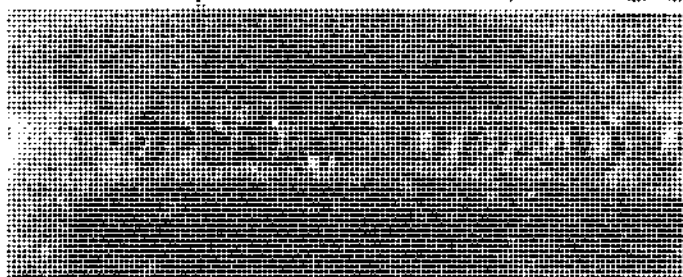
(اوجا فزدار ۱۵-۱۰۰-۱۰۰)
 (اوجا ۱۱-۹۸۰-۹۸۰)
 (اوجا اقمده ۹۵-۹۵-۹۵)



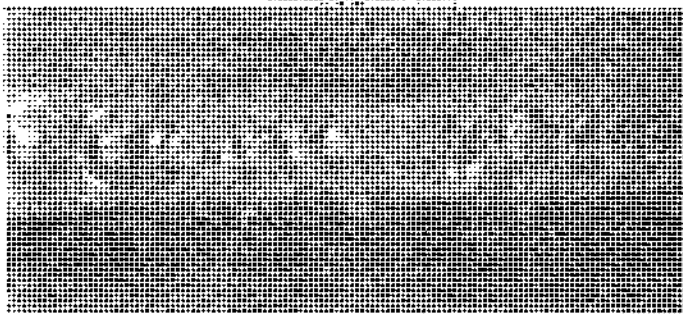
شکل ۵-۳ نفوذ ناقص در جوش.

۳-۱-۵ تخلخل

تخلخل در صورت ایجاد حفره‌های خالی یا محبوس شدن گازها در فلز جوش هنگام سرد شدن آن اتفاق می‌افتد. این عیب در صورت استفاده از شدت جریان‌های خیلی زیاد یا طول قوس خیلی بلند ایجاد می‌شود. تخلخل ممکن است به‌طور یکنواخت در طول جوش پراکنده گردد یا ممکن است به‌صورت یک حفره بزرگ در ریشه جوش گوشه یا ریشه جوش شیاری در مجاورت تسمه پشت‌بند متمرکز گردد. حالت اخیر به‌دلیل روش جوشکاری نامناسب و استفاده غیر صحیح از تسمه‌های پشت‌بند، گدازه‌های سیال، و سوراخ‌های ریشه جوش، و همچنین به‌دلیل سطحی جوشی و کاربرد الکترود نامرغوب از دلایل ایجاد تخلخل در جوش می‌باشد. شکل ۴-۵



شکل ۴-۵ تخلخل در جوش



شکل ۴-۶ گرفتگی در ریشه جوش



شکل ۴-۷ گرفتگی در ریشه جوش

شکل ۴-۵ تخلخل در جوش.

تخلخل سطحی، تأثیر مستقیم و مضرى در مقاومت خستگى فلز جوش دارد. حفرات سطحى بسیار خطرناک‌تر از حفراتی با همان اندازه در عمق جوش هستند. با توجه به موارد زیر می‌توان از بروز تخلخل به‌خوبی جلوگیری کرد:

• خشک کردن الکتروود در خشک‌کن قبل از مصرف

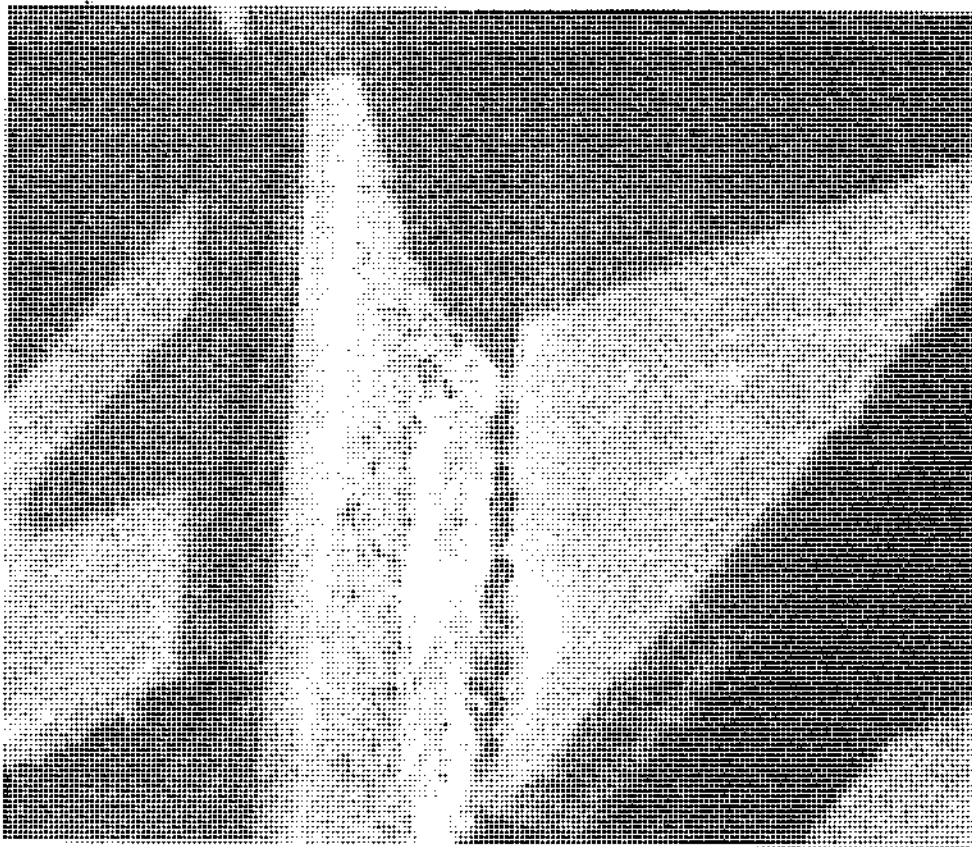
• تنظیم شدت جریان جوشکاری

• تنظیم طول قوس

• عدم جوشکاری در شرایط جوی نامناسب

۵-۱-۴ بریدگی کناره جوش

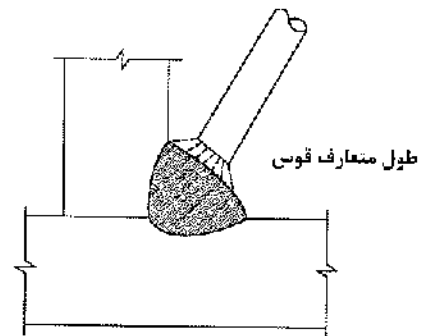
بریدگی یا سوختگی به‌معنای شیار ذوب‌شده‌ی در فلز مناسمی باشد که در انتهای ساق جوش قرار گرفته و به‌وسیله فلز جوش پر نشده است. استفاده از جریان قوی یا طول قوس زیاد ممکن است فلز میا را بسوزاند یا قسمتی از آن را از جای خود جدا کند. همچنین سوختگی به‌دلیل تغییرات این سیستم می‌تواند به‌وسیله تغییرات در جریان جوش یا جوشکاری مناسب تأمین بریدگی یا شکستگی نیز نمونه اشکال ش...
 (۵-۱-۴) بریدگی کناره جوش



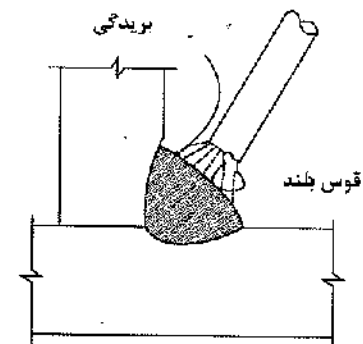
شکل ۵-۵ بریدگی کناره جوش

در جوش‌های شیاری، 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 (شکل ۵ - ۶).

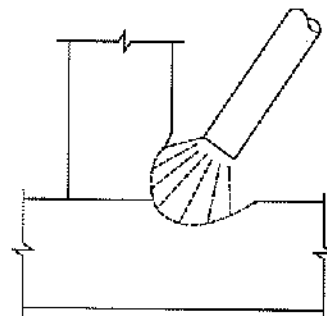
(الف) بر اثر دمیدن قوس قسمتی از فلز مبنا ذوب می‌شود.



(ب) اگر قوس خیلی بلند باشد، فلز جوش مذاب حاصل از انتهای الکترود ممکن است کم بیاید و به‌طور کامل این منطقه ذوب‌شده را پُر نکند، بنابراین در طول ساق فوقانی جوش، بریدگی به‌جا می‌ماند.



(پ) اگر طول قوس به‌اندازه صحیح کوتاه شود، فلز جوش مذاب از انتهای الکترود به‌طور کامل این منطقه ذوب‌شده را پُر خواهد کرد و بریدگی به‌جای نخواهد گذاشت.

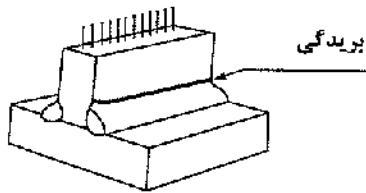


شکل ۵ - ۶ اثر طول قوس بر ایجاد بریدگی لبه جوش.

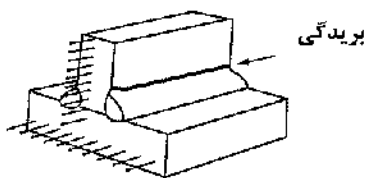
با روش مناسب جوشکاری بریدگی کنار جوش حذف می‌شود و نیازی به تعمیر مجدد ندارد. بنابراین چنانچه بریدگی ایجاد شد، این سؤال مطرح می‌شود که آیا این بریدگی مضر است و نیاز به تعمیر دارد یا

خیر؟

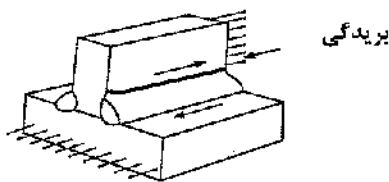
- ۱- اگر بریدگی باعث تقلیل قابل ملاحظه‌ای در مقطع شود، مجاز نمی‌باشد؛ که این مقدار در جدول حدود پذیرش بازرسی چشمی بیان شده است.
- ۲- ثانیاً اگر نیروی مورد انتقال، عمود بر محور بریدگی باشد، آنگاه بریدگی به‌عنوان نقطه ضعیفی برای افزایش خستگی به حساب می‌آید (شکل ۵ - ۷).



(الف) در اینجا نیروی کششی اعمال شده عمود بر بریدگی است و افزایش خستگی محسوب می‌شود که ممکن است مضر باشد.



(ب) در اینجا خستگی‌های کششی محوری اعمال شده موازی با بریدگی هستند و افزایش خستگی محسوب نمی‌شود و مضر نخواهد بود.

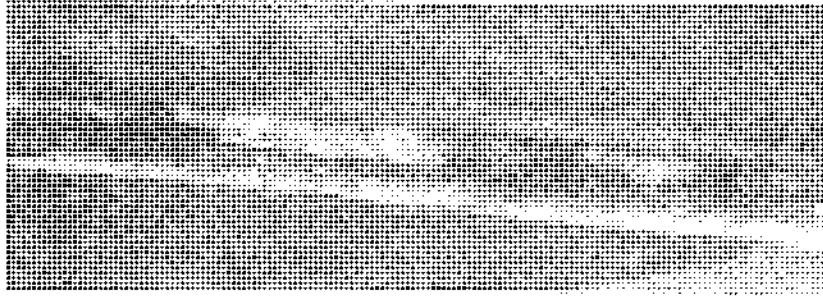


(پ) در اینجا نیروی برشی اعمال شده موازی با بریدگی است و افزایش خستگی به حساب نمی‌آید و مضر نمی‌باشد.

شکل ۵ - ۷ رابطه جهت بارگذاری نسبت به جهت بریدگی لبه جوش.

۵-۱-۵ حبس سرپاره

گل جوش 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 کننده می‌شود. سرد شدن سریع جوش ممکن است گل جوش را قبل از رسیدن به سطح، به دام بیندازد. جوش‌های سقفی بیشتر در معرض تداخل گل جوش 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 گل جوش مرحله قبل را بردارد. عدم دقت در انجام صحیح این عمل یکی از دلایل عمده تداخل گل جوشکاری است. (شکل‌های ۵ - ۸ و ۵ - ۹).



شکل ۵-۸ کل جوش (برباره) حبس شده.

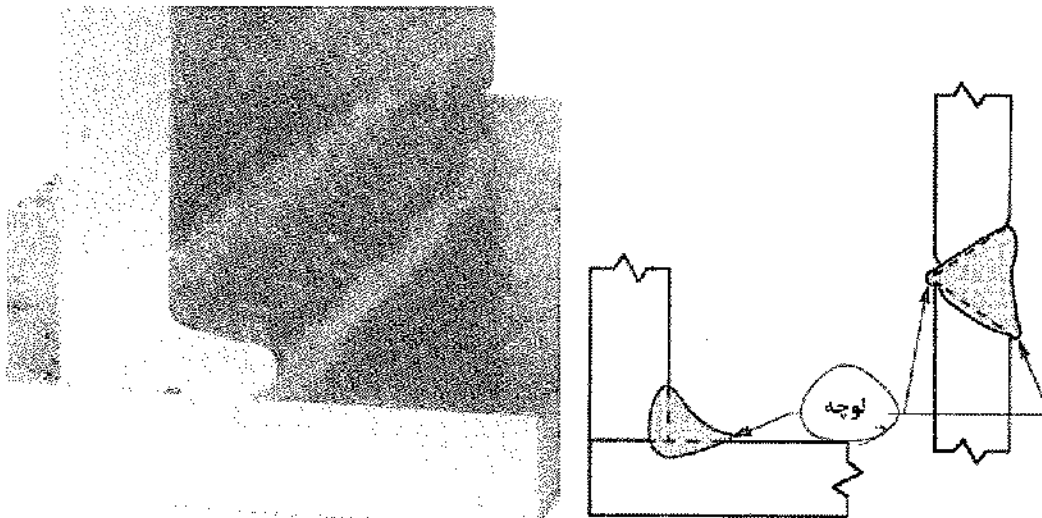


شکل ۵-۹

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

یکی دیگر از ناپیوستگی‌های سطحی که مربوط به به‌کارگیری 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 به‌عنوان یک ناپیوستگی خطرناک محسوب می‌شود؛ زیرا باعث ایجاد یک شیار نیز روی سطح قطعه می‌گردد. این شیار به‌عنوان محل تمرکز تنش می‌تواند باعث ایجاد و رشد ترک شود.

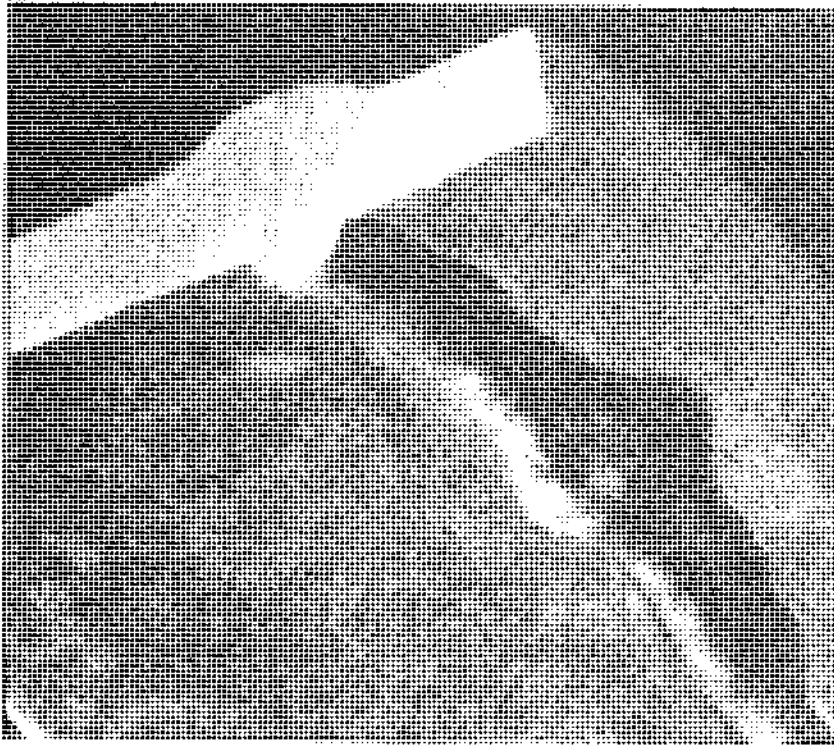
علت اصلی سر رفتگی، تکنیک نامناسب جوشکاری می‌باشد. زمانی که سرعت جوشکاری خیلی آهسته باشد، مقدار فلز پُرکننده فراتر از حد نیاز جهت پُر کردن اتصال بوده و اضافی آن روی فلز پایه جاری می‌گردد؛ به‌دلیل سرد بودن فلز پایه، ذوب کافی در محل جاری شدن ایجاد نمی‌گردد. در بعضی از الکترودها به‌دلیل سیال بودن مذاب، حساسیت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



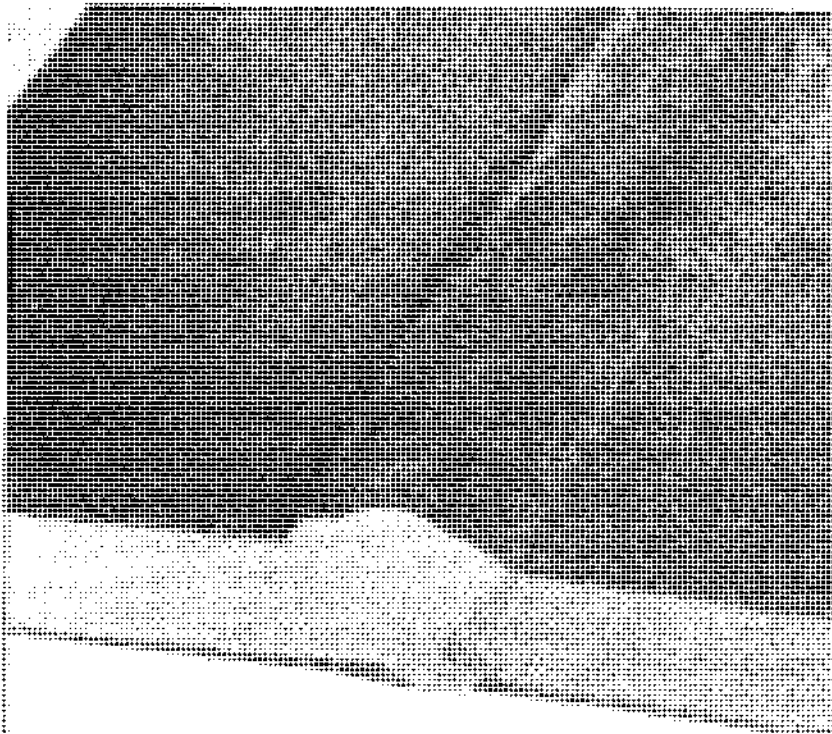
شکل ۵-۱۰ سر رفتگی در یک جوش گوشه (ایجاد گوشه)

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 (شکل‌های ۵ - ۱۱ و ۵ - ۱۲).



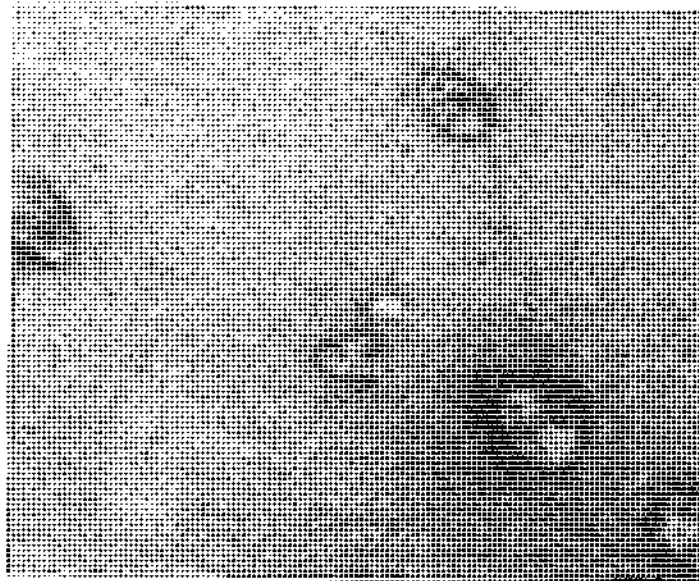
شکل ۵-۱۱ گرده اضافه جوش در پاس ریشه حوش شیاری.



شکل ۵-۱۲ گرده اضافه جوش در پاس نهایی.

۵-۱-۸ لکه قوس

لکه قوس در اثر روشن کردن قوس روی سطح فلز پایه، خارج از درز اتصال به وجود می‌آید که در اثر آن، مناطق کوچکی روی سطح فلز پایه به‌طور سطحی ذوب شده و سریعاً سرد می‌گردد. لکه قوس قابل پذیرش نیست و وجود آن باعث ترک در فلز پایه می‌گردد (شکل ۵ - ۱۳).



شکل ۵ - ۱۳ لکه قوس

۵-۱-۹ ترک‌ها

ترک‌ها، شکستگی‌های فلز جوش می‌باشند که در اثر تنش‌های داخلی در امتداد خط جوش و یا عمود بر آن به وجود می‌آیند. 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 زیان‌بارترین معایب جوش هستند.

ترک خوردگی فلزات به سه رده اصلی تقسیم می‌شوند: ترک خوردگی گرم، ترک خوردگی سرد و ترک‌های مویی. که انواع ترک‌ها در شکل ۵ - ۱۴ مشاهده می‌کنید.

• **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 می‌افتد. اکثر ترک‌های جوشکاری، ترک خوردگی گرم هستند.

• **ترک خوردگی سرد:** به ترک‌هایی اطلاق می‌شود که در دمای معمولی اتفاق یا درجه حرارتی نزدیک به آن اتفاق می‌افتند. این ترک‌ها ممکن است ساعت‌ها و یا روزها پس از سرد شدن جوش حادث شوند. وقوع ترک خوردگی سرد در فولاد در مقایسه با سایر فلزات، بیشتر است.

• **ترک‌های مویی:** ممکن است از نوع ترک‌های گرم یا سرد باشند. این ترک‌ها به قدری ریز هستند که با چشم غیرمسلح قابل دیدن نمی‌باشند و برای اینکه قابل رؤیت باشند، حداقل به ۱۰ مرتبه بزرگ‌نمایی نیاز دارند، این ترک‌ها معمولاً عمر مفید سازه‌های معمولی (تحت اثر بارهای ایستا) را کاهش نمی‌دهند.

با توجه به اهمیت ترک، بحث کاملی در بخش ۵ - ۴ ارائه شده است که توصیه می‌شود مورد مطالعه قرار گیرد.
 • لکه قوس: (لکه‌هایی که از برخورد تصادفی الکتروود با سطح کار به وجود می‌آید، حالتی آینه‌گونه روی سطح کار ایجاد می‌کند) ممکن است ترک‌های ریزی ایجاد کنند.

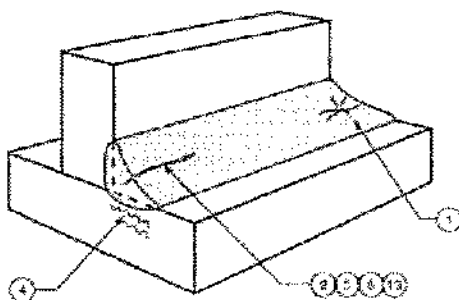
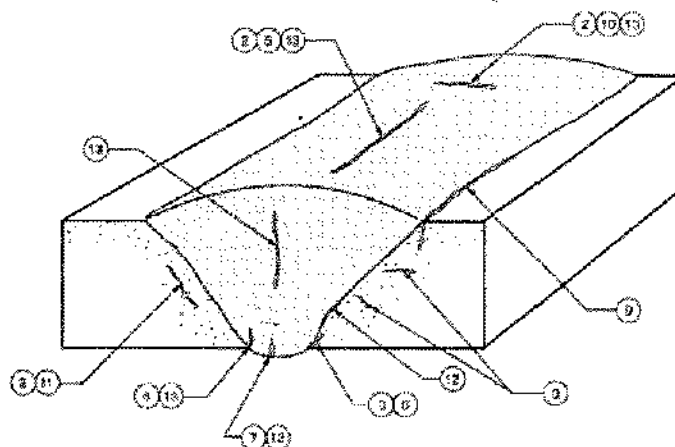
• اگر جوشکاری از لبه ورق شروع شده و روند آن به سمت داخل ورق باشد، یک ترک در طول لبه جوش در قسمت پنجه اتفاق خواهد افتاد. ترک‌ها ممکن است در نتیجه پدیده بریدگی جوش نیز اتفاق بیفتند.

استفاده از الکترودهای کم هیدروژن همراه با پیش‌گرمایش مناسب، از ایجاد ترک‌های «سرد» پیشگیری می‌کند.

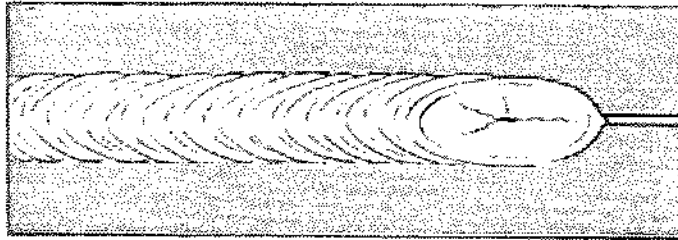
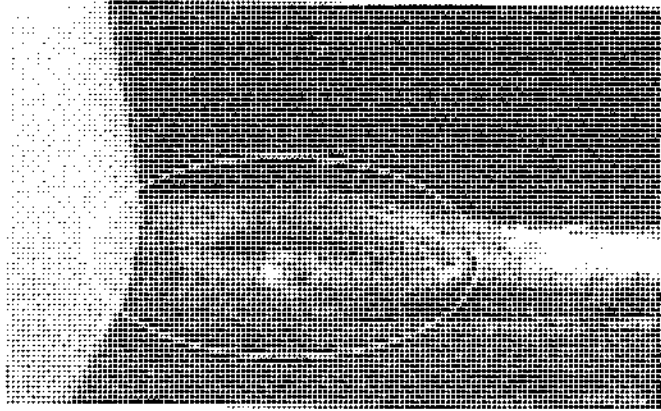
به‌طور کلی علل عمده ایجاد ترک در جوش و نواحی اطراف آن عبارتند از:

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

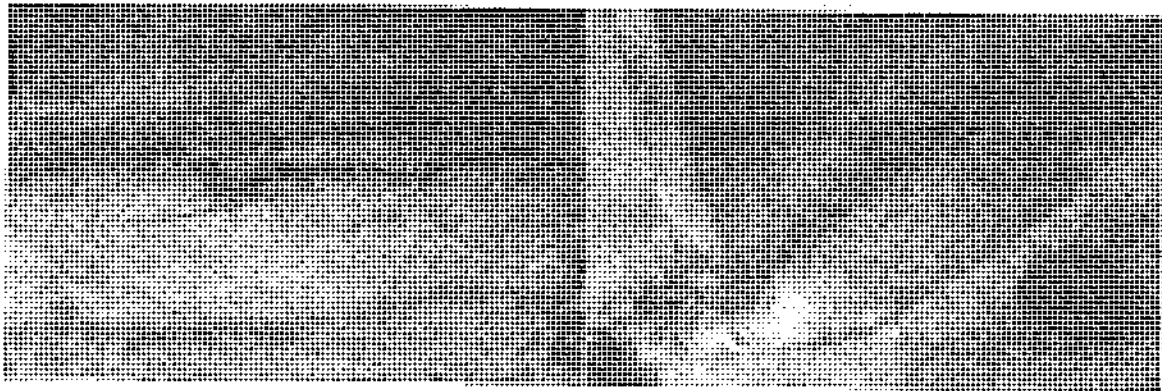
- ۱ - ترک چاله جوشی
- ۲ - ترک سطحی
- ۳ - ترک در ناحیه تفتیده
- ۴ - پارگی لایه‌ای
- ۵ - ترک طولی
- ۶ - ترک در پاس ریشه
- ۷ - ترک در سطح پاس ریشه
- ۸ - ترک گلوبی جوش
- ۹ - ترک پنجه
- ۱۰ - ترک عرضی
- ۱۱ - ترک زیر سطح جوش
- ۱۲ - ترک فصل مشترک جوش
- ۱۳ - ترک فلز جوش



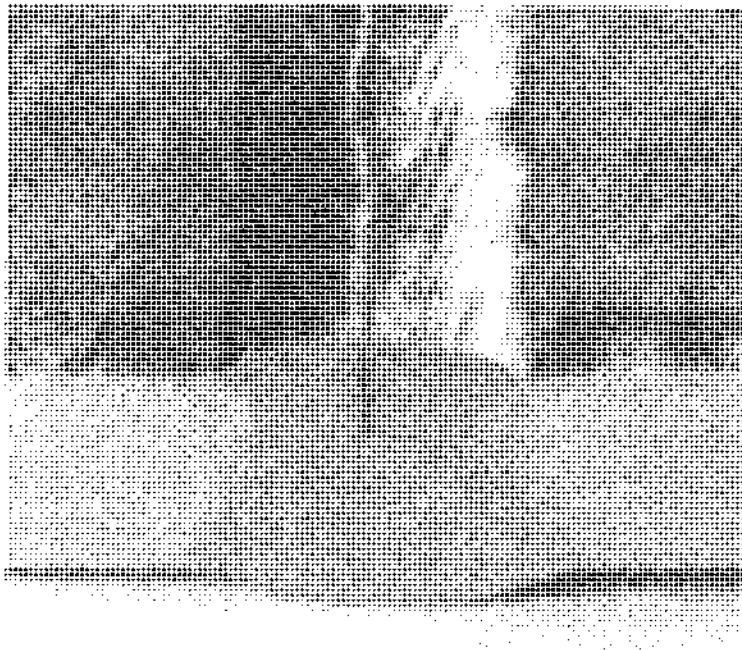
شکل ۵ - ۱۴ انواع ترک در جوش.



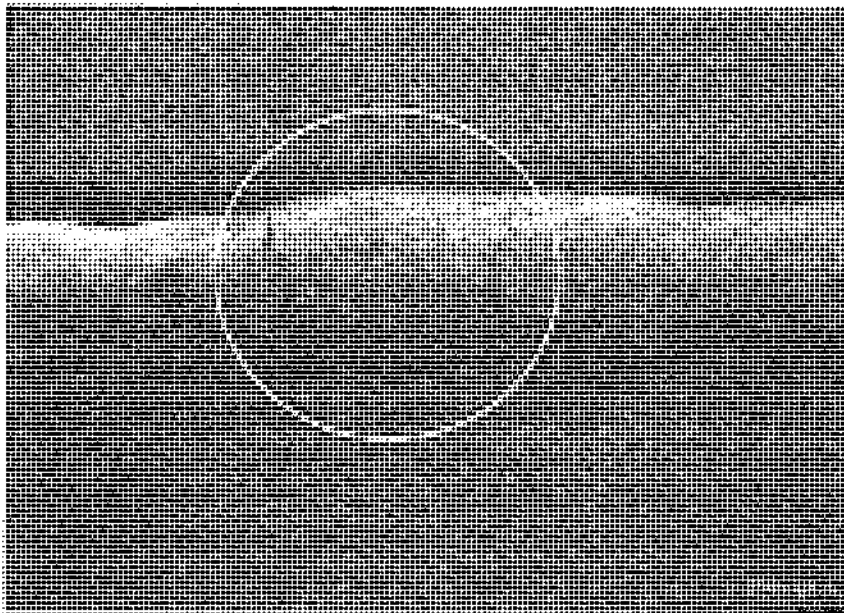
(الف) ترک چانه جوش



(ب) ترک طولی در جوش



(ب) ترک طولی در خط مرکزی یک جوش شیاری

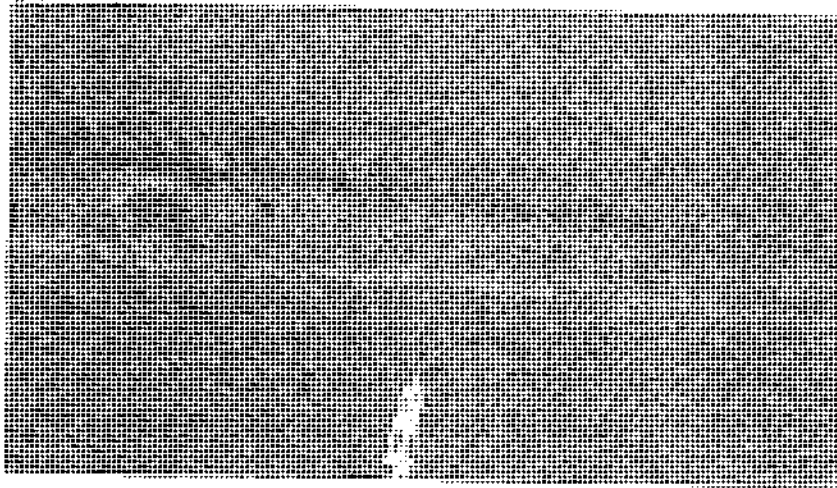


(ت) ترک عرضی در جوش

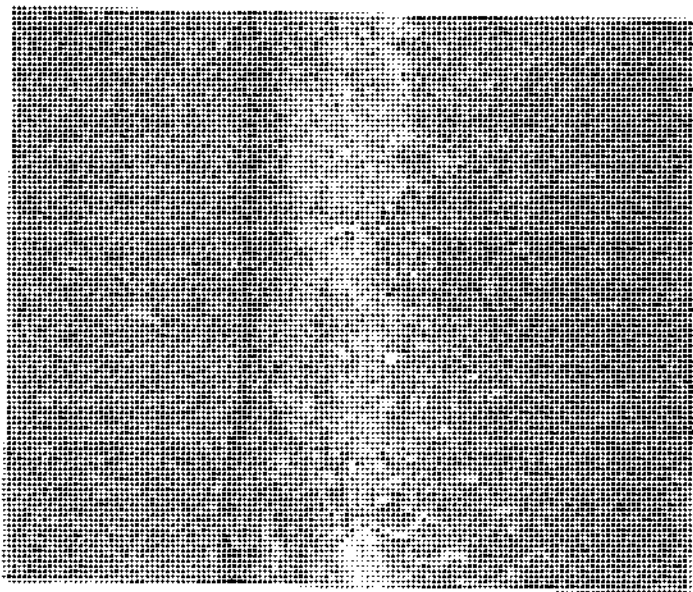
شکل ۵ - ۱۵

۵-۱-۱۰ عدم پرشدگی شیار

این عیب سطحی در اثر کمبود رسوب فلز جوش در مقطع جوش شیاری رخ می‌دهد؛ به عبارتی عدم پرشدگی شیار، زمانی ایجاد می‌شود که فلز پرکننده رسوب داده شده جهت پر کردن شیار، کافی نباشد (شکل ۵-۱۶).



شکل ۵-۱۶ عدم پرشدگی شیار.



شکل ۵-۱۷ نمونه‌ای از پاشی جوش.

۵-۱-۱۱ جرقه و پاشش

جرقه و پاشش عبارت است از ذرات فلزی که در حین جوشکاری ذوبی به‌اطراف پرتاب شده و به‌عنوان بخشی از فلز جوش محسوب نمی‌شوند (شکل ۵-۱۷).

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

۵-۲ عیوب جوش در جوشکاری تحت حفاظت گاز

۵-۲-۱ ترک

عواملی که می‌تواند 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 می‌توان گرده جوش را پهن‌تر و کم عمق‌تر نمود.
- مقطع جوش خیلی کوچک باشد، به‌ویژه در مورد جوش گوشه یا پانس ریشه در جوش شیاری در ورق‌های ضخیم، که با کاهش سرعت جوشکاری می‌توان 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 می‌توان از ایجاد چاله انتهایی جلوگیری کرد.

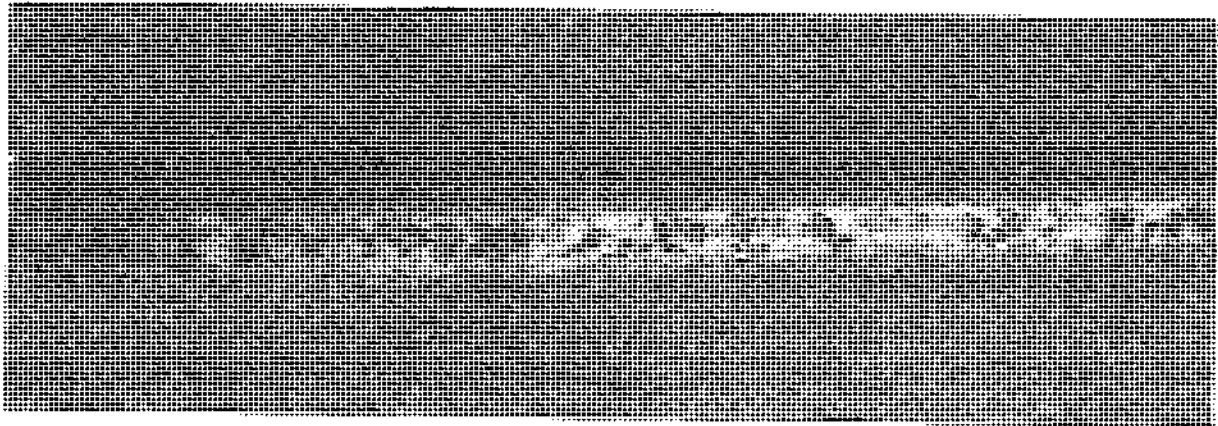
۵-۲-۲ ذرات محبوس شده (آخال)

ذرات محبوس شده (آخال) در جوش می‌تواند 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 می‌توان این عیب را تا حدودی کاهش داد.
- سرعت پیشرفت بالا نیز می‌تواند باعث محبوس شدن ذرات به صورت لایه‌ای در جوش شود که با انتخاب سرعت پیشرفت کمتر و سیم جوشی با مقدار مواد اکسیژن‌زدای بیشتر و افزایش ولتاژ، می‌توان میزان ذرات محبوس شده را تقلیل داد.
- در جریان‌های بالا، در حالت انتقال به صورت اسپری، ضرورتی برای رفع سرباره وجود ندارد. اما در انتقال اتصال کوتاه در جریان‌های 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 می‌یابد. هنگامی که فلز جوش در حال منجمد شدن است، گازهای محلول از حوضچه خارج می‌شوند. اما گازهایی که نمی‌توانند خارج شوند و در فلز جوش باقی می‌مانند موجب جوته‌زنی و تشکیل حفره‌های گازی می‌شوند. اگر سرعت سرد شدن بالا باشد حفرات داخل فلز منجمد شده حبس می‌شوند (شکل ۵-۱۸). گازهایی که معمولاً موجب تشکیل تخلخل می‌شوند، نیتروژن، هیدروژن و دی‌اکسیدکربن 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 به دلیل واکنش کربن با اکسیژن در فولاد می‌تواند تولید تخلخل در جوش نماید.



شکل ۵-۱۸ تخلخل در جوش تحت حفاظت گاز.

از دیگر عوامل تشکیل خلل و فرج می‌توان به موارد 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 'زت هوا به حوضچه جوش مذاب شود. در این مورد کاهش ولتاژ و کاهش فاصله نازل تا سطح کار کمک به کاهش این عیب می‌کند.

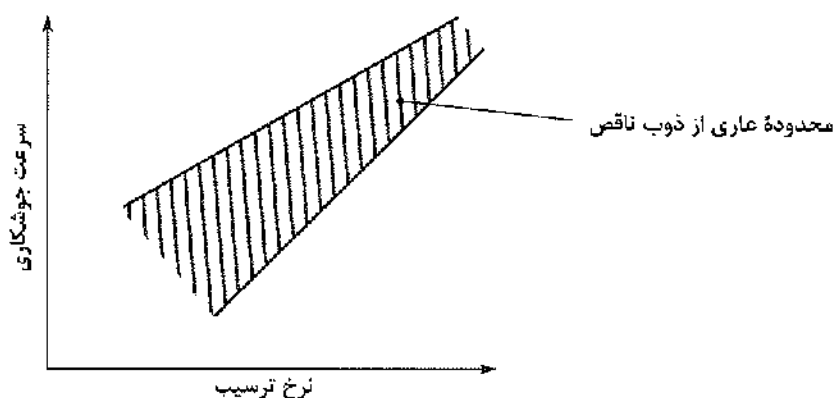
۵-۲-۲ ذوب ناقص

ذوب ناقص در بسیاری از مواقع به خصوص 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 به حوضچه می‌توان از بروز این نقص جلوگیری کرد.

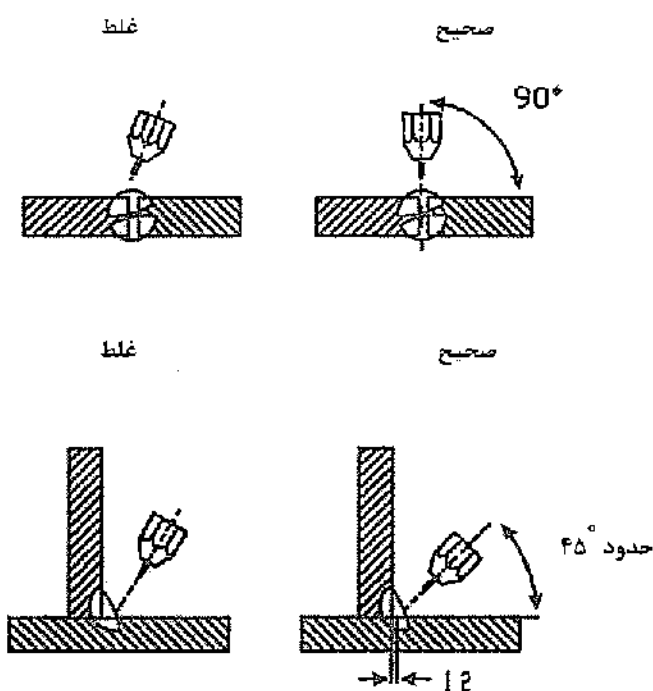
ولتاژ کم، زیاد بودن طول مؤثر الکتروود که موجب حرارت ورودی نامناسب و غیرمتناسب با مقدار پُرکننده می‌شود، عدم تمیزی، شکل هندسی یا زاویه نامناسب اتصال و بزرگی حوضچه جوش از عوامل به وجود آورنده این عیب می‌باشد. برای جبران و کاهش این علل به ترتیب باید سطح مسیر اتصال، از هرگونه پوسته و لایه زنگ‌زده و آلودگی‌های دیگر تمیز شود. نرخ تغذیه سیم جوش و ولتاژ باید افزایش یابد یا سرعت جوشکاری کاهش پیدا کند (شکل ۵-۱۹).

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

۵-۲۰).



شکل ۵-۱۹ اثر سرعت جوشکاری و احتمال بروز ذوب ناقص.



شکل ۵-۲۰ تأثیر زاویه صحیح انبر نسبت به قطعه کار.

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 به صورت عمود بر سطح قطعه کار نگه داشته شود. از آنجایی که میزان جریان به عنوان مهمترین تعیین کننده 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.

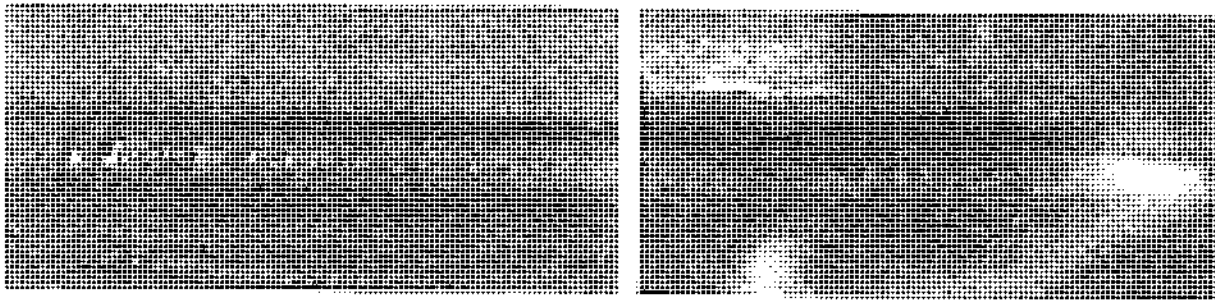
۵-۳ عیوب جوش در فرآیند جوشکاری با قوس زیرپودری

۵-۳-۱ تخلخل

فلز رسوب کرده در فرآیند زیرپودری معمولاً تمیز و بدون تخلخل‌های مضر است زیرا بستر سرباره 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 سرباره خال جوش‌های قبلی که با الکتروود 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.



شکل ۵-۲۱ نخلخل در جوش زیرپودری.

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 سردشدن 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.

۵-۴ ترک خوردگی جوش

۵-۴-۱ ترک جوش

وقوع ترک در جوش هیچ‌وقت نباید بی‌اهمیت تلقی شده و مورد چشم‌پوشی واقع شود. با استفاده از طرح خوب و انتخاب دستورالعمل جوشکاری مناسب، از این پدیده می‌توان جلوگیری نمود. انواع ترک‌های محتمل در جوشکاری عبارتند از:

- ۱- وقوع ترک در نوار جوش (به‌صورت ظاهری یا داخلی)؛
- ۲- ترک در ناحیه‌ای از فلز پایه که تحت تأثیر دمای جوش، تغییر حالت متالورژیک می‌دهد و به‌آن ناحیه تفتیده^۲ می‌گویند (ترک در زیر نوار جوش)؛
- ۳- ترک در جوش در هنگام بهره‌برداری (ترک مقاومتی).

2. HAZ

3. Heat Affected Zone (HAZ)

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

- ۱- گیرداری درز که باعث به وجود 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 گلوئی خود مصالح کافی برای مقابله با کشش‌های دو محوری را دارد. لیکن در نوار جوش با سطح مقعر، تنش‌های کششی عرضی قابل توجهی به وجود می‌آید که می‌تواند ترک طولی در نوار جوش به وجود 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 به مقدار زیادی تشدید می‌گردد.
- ۳- میزان کربن و آلیاژها در فلز پایه. هر چه میزان کربن و آلیاژ در فلز پایه زیاد باشد، شکن پذیری 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 ۲ و ۴ را افزایش می‌دهد.

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

- ۱- میزان کربن یا آلیاژ زیاد که باعث افزایش سختی پذیری و کاهش شکل پذیری ناحیه تفتیده می‌شوند. (در فولادی که سختی پذیری ندارد، امکان وقوع ترک زیر نوار جوش وجود ندارد).
- ۲- نزدی 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 بهره‌برداری می‌شوند (ترک مقاومتی)

- تحت شرایط بهره‌برداری، جوش ترک نمی‌خورد، لیکن در صورتی که به خوبی طرح نشده باشد، وقوع ترک مقاومتی در آن امکان پذیر است. وقوع دونوع خرابی در جوش در هنگام بهره‌برداری 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 ضربه‌ای بزرگ در درجه حرارت پایین می‌گردد.
 - 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 می‌آید.

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 جوش‌های یک پاسه و جوش ریشه در جوش‌های چند پاسه و یا حتی پاس‌های 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 پرمقاومت هر چند که باعث کاهش هزینه فولاد می‌گردد، لیکن به علت وجود میزان کربن زیاد و یا آلیاژها، و به خصوص 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.

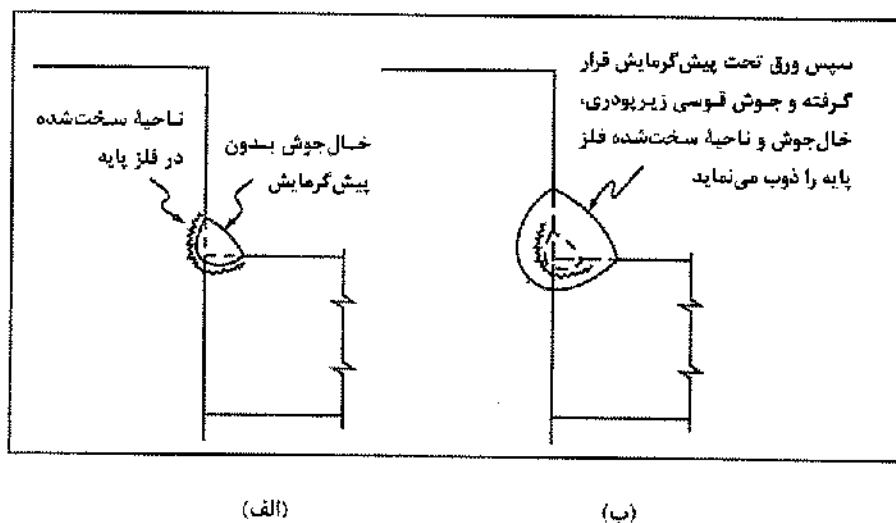
۴. **وارد شدن هیدروژن:** برای جلوگیری از ورود حباب‌های هیدروژن باید از الکترودهای کم‌هیدروژن استفاده گردد.

۵. **حرارت ورودی:** باید کل حرارت ورودی کنترل گردد. این حرارت شامل پیش‌گرمایش، حرارت القایی به واسطه جوشکاری، گرمایش در حد فاصل پاس‌های مختلف و پس‌گرمایش به منظور 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 به منظور کردن تدابیر خاص در هنگام خال جوش نیست، مگر اینکه ضخامت ورق‌ها زیاد بوده و احتمالاً ترک خوردگی 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.



شکل ۵-۲۲ عدم منظور کردن تدابیر لازم، می‌تواند باعث ایجاد ترک در خال جوش 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 کاهش یافته ناشی از نسبت مناسب بعد گلو به ضخامت ورق، و انعطاف‌پذیری خوب ورق نازک در مقابل انقباض، از شدت تأثیر عوامل ایجاد ترک می‌کاهد. در جوشکاری ورق‌های نازک، ترک خوردگی تقریباً هیچ‌وقت مشکل مهمی نمی‌باشد، مگر اینکه میزان کربن و آلیاژ فولاد به‌طور غیرمعمولی زیاد باشد.

۵-۴-۴ ورق‌های ضخیم

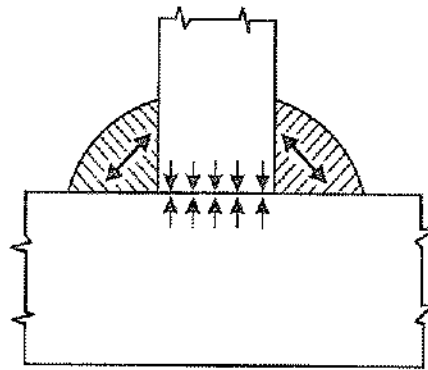
در کارخانه‌های نورد فولاد، تمام ورق‌ها و نیمرخ‌های فولادی، بعد از نورد در درجه حرارت سرخ، با سرعت نسبتاً کمی سرد می‌شوند. در ورق‌های ضخیم به‌علت جرم بیشتر، این سرعت به‌مراتب کمتر است. برای یک میزان معلوم کربن و آلیاژ، سرعت سرد شدن کمتر، باعث کاهش مقاومت می‌گردد.

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.

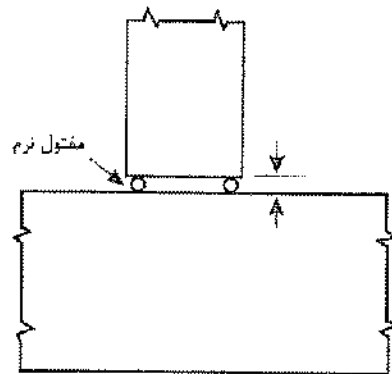
از آنجایی که جوش در ورق ضخیم، زودتر از ورق نازک سرد می‌شود و همچنین ورق ضخیم احتمالاً دارای کربن یا آلیاژ بیشتری است، جوش در ورق ضخیم دارای مقاومت بیشتر و شکل‌پذیری کمتری خواهد بود. برای اتصال ورق‌های ضخیم روش‌های جوشکاری خاص مورد نیاز خواهد بود (مخصوصاً برای پاس اول یا پاس ریشه) و احتمالاً پیش‌گرمایش 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، پیش‌گرمایشی به‌اندازه پیش‌گرمایش جوش لب به‌لب دو ورق ضخیم با درجه گیرداری زیاد، لازم نیست.

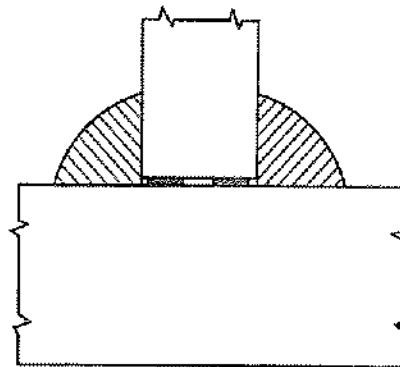
مطابق شکل ۵-۲۳، برای کاهش تنش‌های انقباضی در جوشکاری ورق‌های ضخیم، لازم است فاصله‌ای حدود ۱ تا ۱.۵ میلی‌متر بین دو ورق ایجاد گردد. این فاصله را می‌توان به‌گرمک مفتول نرمه ایجاد نمود. برش مضرس لب‌ها با دندان‌هایی در همین حدود، می‌تواند تأمین‌کننده این فاصله باشد.



(الف)



(ب) تنظیم فیل از جوشکاری



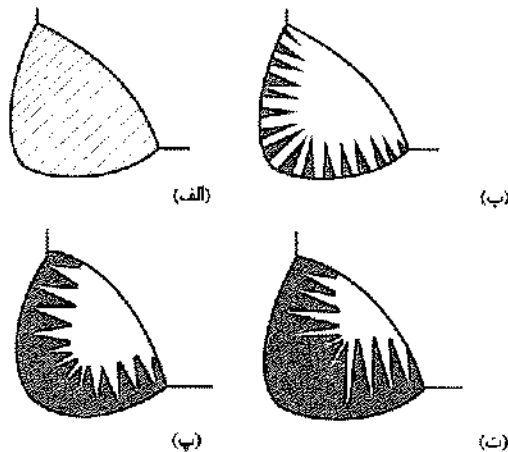
(پ) انقباض جوش آزاد است

شکل ۵-۲۳

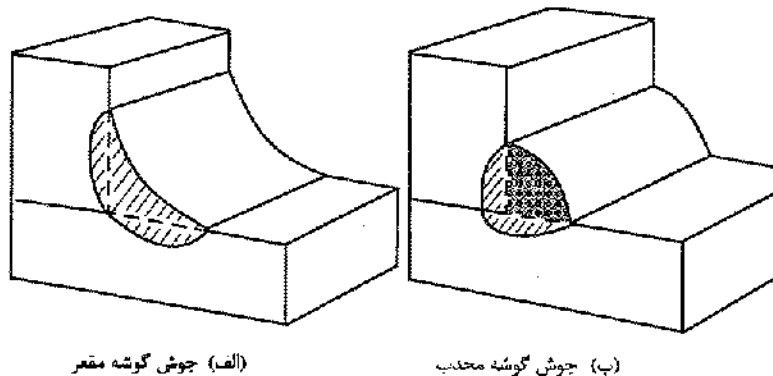
۵-۴-۵ جوش گوشه

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

حال به مقایسه 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 گنوی بزرگتری می‌باشد. بنابراین جوش محدب با مصرف مصالح جوش کمتر، مقاومت بزرگتری دارا می‌باشد.



شکل ۵ - ۲۴



شکل ۵ - ۲۵

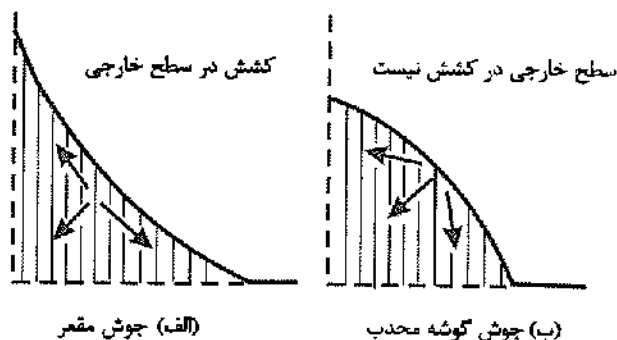
این احساس در اغلب طراحان وجود دارد که جوش گوشه مقعر، مسیر یکنواخت‌تری برای جریان تنش به وجود می‌آورد. لیکن تجارب عملی مبین این است که جوش‌های گوشه یک باسه مقعر تمایل بیشتری برای ترک خوردگی دارند. بخصوص در فولادهایی که به روش‌های خاص جوشکاری نیاز دارند. این عیب مزیت توزیع یکنواخت تنش را جبران می‌کند.

وقتی که جوش مقعر خنک و منقبض می‌شود، سطح خارجی آن به کشش 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

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

استفاده از ورق

جوش‌های گوشه چند پاسه، فقط پاس اول (جوش ریشه) لازم است به صورت محدب اجرا گردد. به همین علت اگر در طراحی برای جریان یکنواخت‌تر تنش لازم باشد از جوش مقعر استفاده گردد، باید جوش به صورت چند پاسه اجرا شود که پاس اول باید دارای قدری تحدب باشد.



شکل ۵ - ۲۶

۵-۴-۶ جوش‌های شیاری

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

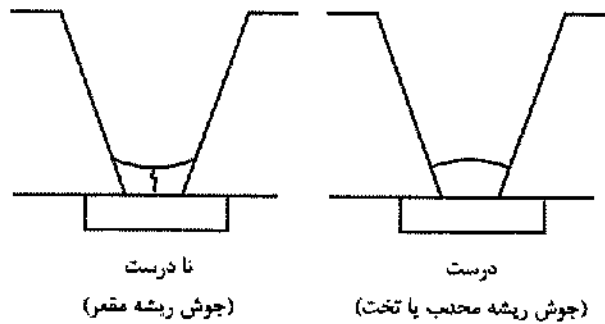
شکل ۵-۲۷ می‌تواند ایده‌ای از تنش‌های کششی محبوس و تسلیم جوش به دست دهد. فرض کنید که طول ورق‌ها کوچک بوده و اجازه انقباض آزاد به جوش داده شود. وضعیت انقباض یافته با خط چین نشان داده شده است. حال اگر بخواهیم ورق‌ها را به وضعیت اولیه برگردانیم، وضعیتی که در صورت وجود قید وجود خواهد داشت، نیاز به ایجاد کشش عرضی در درز داریم که ایجاد تنش کششی عرضی در جوش می‌نماید. در عمل به علت عدم امکان حرکت در ورق و کم بودن ضخامت جوش در مقابل ورق، کشیدگی (اتساع) یا تسلیم فقط در جوش به وجود 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 به وجود می‌آید.

از آنجایی که پاس اول (جوش ریشه) کرین یا آلیاژ بیشتری از فلز پایه کسب می‌نماید، شکل‌پذیری آن کمتر از سایر پاس‌ها می‌باشد. مطابق شکل ۵-۲۸، اگر این جوش به صورت 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.

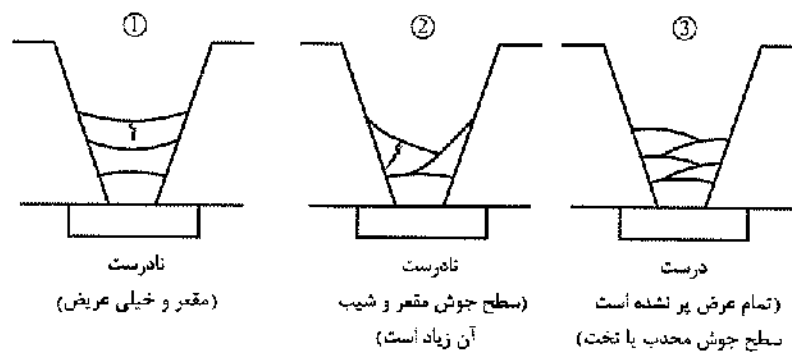


شکل ۵ - ۲۷



شکل ۵ - ۲۸

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.



شکل ۵ - ۲۹

۵ - ۴ - ۷ ترک‌های داخلی در نوار جوش و نسبت عرض به عمق نوار جوش

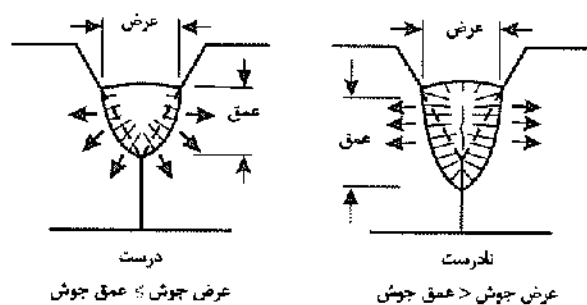
وقتی که به‌علت گیرداری درز یا شیمی مصالح یا هر دو عامل، تمایل به ترک خوردگی در جوش وجود داشته باشد، ترک در سطح جوش ظاهر می‌شود. گاهی مواقع ممکن است ترک داخلی بدون هرگونه عمق زیاد جوش یا طرح غلط درز ایجاد گردد. سرد شدن (انجماد) جوش شیاری مشابه جوش گوشه است. انجماد از سطح تماس جوش با سطح فلز پایه شروع شده و در محور مرکزی جوش به‌اتمام 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 به وجود آورند (شکل ۵-۳۰-الف).

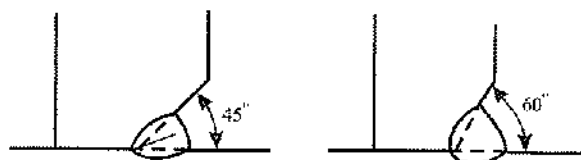
ترک‌های داخلی می‌توانند به‌عنت عدم طراحی دقیق درز و آماده‌سازی لبه‌ها نیز به‌وجود آیند. شکل ۵-۳۰-ب، نتایج ترکیب ورق ضخیم، نفوذ عمیق و زاویه لبه ۴۵ درجه را نشان می‌دهد.

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.

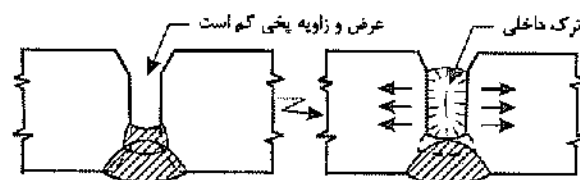
شکل ۵-۳۰-ت، ایجاد ترک داخلی را در جوش گوشه‌ای نشان می‌دهد که عمق ذوب آن نسبت به عرضش زیاد است. ترک‌های داخلی از این نظر که توسط بازرسی‌های چشمی قابل مشاهده نیستند، جدی‌تر هستند. راه جلوگیری از وقوع این ترک‌ها، کنترل نسبت عمق به عرض، طرح مناسب درز جوش، استفاده از سرعت و آمپر مناسب برای کنترل حجم مصالح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



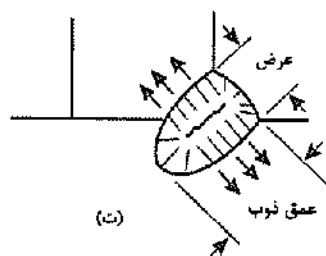
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۵-۳۰

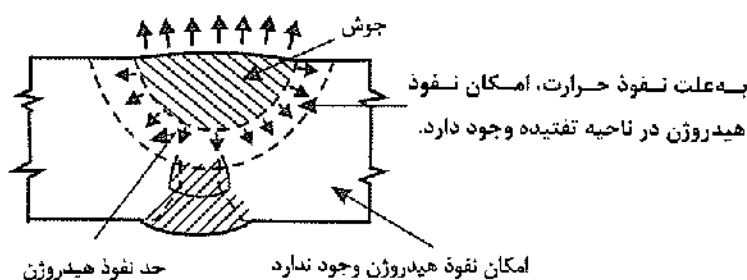
در میان عوامل فوق نسبت عرض به عمق درز جوش، مهمترین است. تجربه نشان می‌دهد که نسبت عرض به عمق مذاب جوش، از مقدار حداقل ۱ به ۱ تا حداکثر ۱/۴ به ۱ مناسب می‌باشد:

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

۵-۴-۸ ترک در زیر نوار جوش^۴

این نوع ترک، ترکی است که در زیر نوار جوش در ناحیه تفتیده فلز پایه به وجود می‌آید. در فولادهای نرمه کم کربن 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، به علت 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.

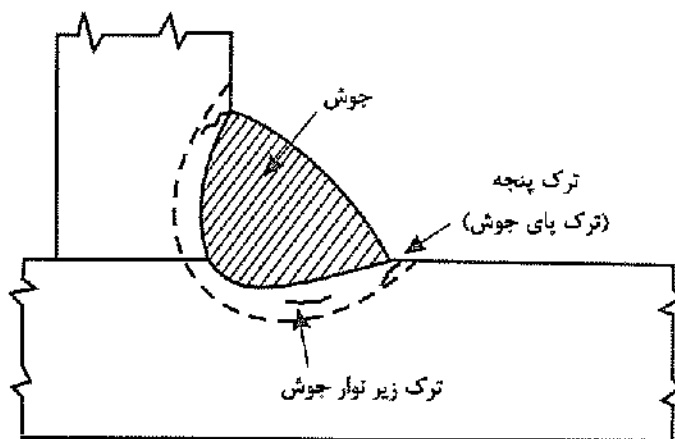


شکل ۵-۳۱

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.

4. Under bead cracking

(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^۳ 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.



شکل ۵ - ۳۲

استفاده از الکتروده 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 الکتریسته، کاهش سرعت جوشکاری و در صورت نیاز استفاده از پیش‌گرمایش و کنترل دما در پاس‌های میانی.



تغییر شکل های ناشی از جوشکاری

۱۵۵.....	۱-۶ عوامل مؤثر در تغییر شکل های ناشی از جوشکاری
۱۵۶.....	۲-۶ عوامل اعوجاج
۱۵۷.....	۳-۶ تأثیرات نامطلوب جوش بیش از حد
۱۵۸.....	۴-۶ کنترل انقباض جوش
۱۶۱.....	۵-۶ انقباض عرضی
۱۶۵.....	۶-۶ هلالی شدن بال
۱۶۶.....	۷-۶ شمشیری شدن (انحنای طولی)
۱۷۱.....	۸-۶ همراستایی ورق ها
۱۷۲.....	۹-۶ استفاده از حرارت برای رفع انقباض های جوشکاری
۱۷۶.....	۱۰-۶ حرارت تولیدی در هنگام جوشکاری (حرارت القایی به علت جوشکاری)
۱۸۶.....	۱۱-۶ جمع بندی مطالب فصل

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

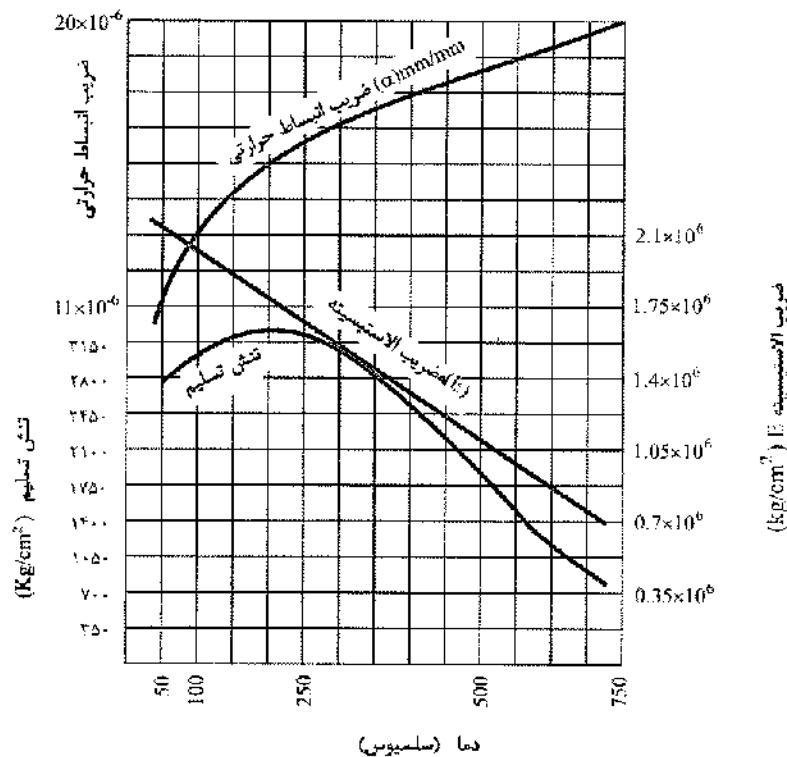
در عملیات جوشکاری، چرخه گرم و سرد شدن، باعث انقباض در فلز پایه و جوش می شود که این انقباض باعث اعوجاج در قطعه مورد جوش می گردد. به منظور حصول اهداف اقتصادی کامل در ساخت و ساز جوشی، مهندسان طراح و اجرا باید تخمین درستی از میزان انقباض و روش های کنترل آن در ذهن داشته باشند. روش های پیشنهادی برای اصلاح 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 اتبساط 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.

به علاوه، گیرداری ناشی از گیره های خارجی و گیرداری های داخلی به علت جرم، و سختی ورق فولادی، باید در تحلیل منظور گردند. تمام این عوامل تأثیر مشخصی بر تغییر شکل های حرارتی دارند. بالاخره لازم است عامل زمان مورد توجه قرار گیرد. مدت زمان تداوم شرایط خاص، اهمیت آن موضوع را کنترل می کند.

تمام عوامل تأثیرگذار فوق، خود تابعی از دستورالعمل جوشکاری می باشند. دستورالعمل های مختلف جوشکاری، نوع الکتروود، شدت جریان، سرعت حرکت، آماده سازی لبه، پیش گرمایش و سرعت خنک شدن، تأثیر مهمی در مسئله دارند.

آشکار است که با بررسی جداگانه عوامل فوق نمی توان اعوجاج و تغییر شکل های حرارتی را تحلیل نمود و تحلیلی بر پایه تأثیر ترکیبی عوامل، تنها روش عملی است.



شکل ۶-۱ تغییر خواص مکانیکی در دمای زیاد، تحلیل انقباضی جوش را مشکل‌تر می‌نماید. نمودارها برای فولاد نرمه می‌باشند.

۲-۶ عوامل اعوجاج

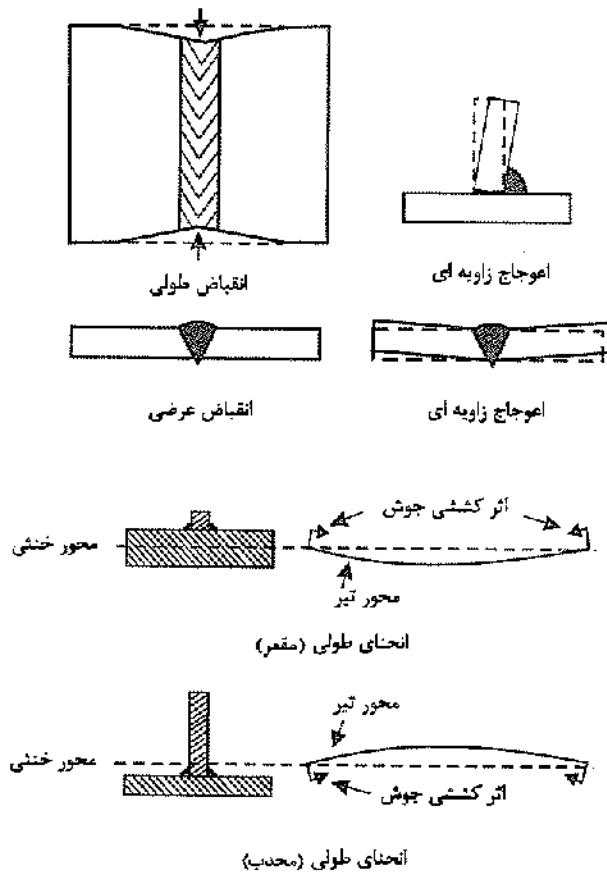
مطابق شکل ۶-۲، تغییر شکل ناشی از جوش را می‌توان به انقباض طولی و انقباض عرضی تقسیم نمود. اگر انقباض عرضی در ضخامت جوش یکنواخت نباشد، اعوجاج زاویه‌ای نیز رخ می‌دهد. اگر انقباض طولی در امتداد محوری غیرمنتظره بر محور خنثای عضو رخ دهد، باعث انحنای طولی (شمشیری شدن) عضو خواهد شد.

انحنای طولی وقتی رخ می‌دهد که شرایط انبساط و یا انقباض غیریکنواخت به وجود آید. با برآوردی از عوامل زیر می‌توان 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 می‌نماید. این نیرو همانند نیروی پیش‌تنیدگی می‌باشد.

۲- نیروی انقباضی حدوداً در امتداد مرکز جوش عمل می‌کند. فاصله بین مرکز سطح مقطع جوش و محور خنثای عضو، با بازوی لنگر d نمایش داده می‌شود.

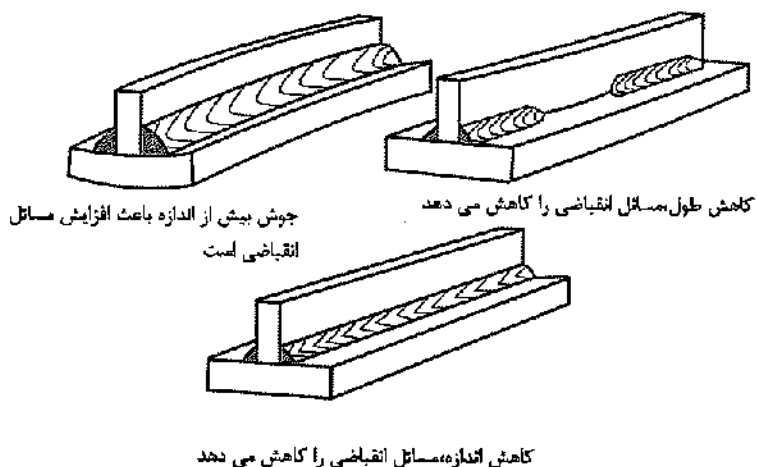
۳- ممان اینرسی مقطع (I)، در مقابل این انقباض مقاومت می‌کند. باید توجه نمود در صورتی که لازم باشد عضو به حال مستقیم درآید، ممان اینرسی I با این عمل نیز مقابله می‌نماید.



شکل ۶-۲ نیروی نامتعادل حاصل از انقباض نوار جوش باعث اعوجاج زاویه‌ای و یا انحنای طولی (شمشیری شدن) می‌شود.

۶-۳ تأثیرات نامطلوب جوش بیش از حد

اضافه جوش، نیروی انقباضی F و تمایل به انقباض را افزایش می‌دهد. هر عاملی که مقدار جوش را کاهش دهد، فظیر کاهش اندازه ساق، کاهش طول، یا استفاده از جوش منقطع (شکل ۶-۳)، تمایل به انقباض را کاهش خواهد داد. اضافه جوش می‌تواند با دست به هم دادن یک سلسله اتفاقات، به‌طور 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 به‌دست آید، ممکن است جوش را کمی ضخیم‌تر اجرا نماید. در نتیجه جوش ۶ میلی‌متر تبدیل به ۱۲ میلی‌متر می‌شود. با توجه به اینکه افزایش مقدار مصالح جوش متناسب با توان دوم اندازه جوش است، این امر باعث می‌شود مقدار مصالح جوش، مخارج و نیروی انقباض چهار برابر گردد.

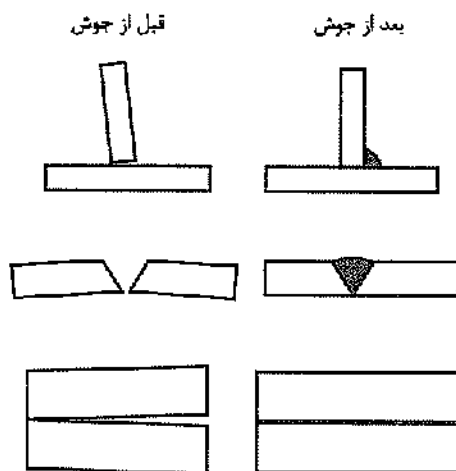


شکل ۳-۶ جوش بیش از اندازه، عامی برای افزایش انقباض است.

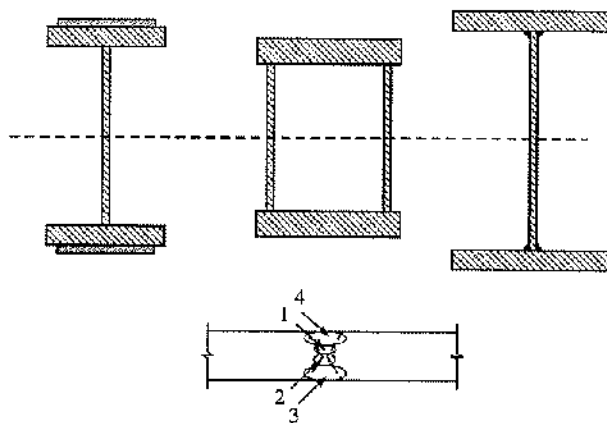
(کتاب ۹۵-۵-۵۱)

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 به وضعیت اولیه درآیند. در صورت امکان، جوش باید حول تار خنثی مقطع عضو متعادل گردد. در این حالت بازوی نیروی برون‌محور مساوی صفر می‌گردد، به طوری که اگر نیروی انقباضی F وجود داشته باشد، لنگر انقباضی Fd مساوی صفر می‌شود (شکل ۴-۵).

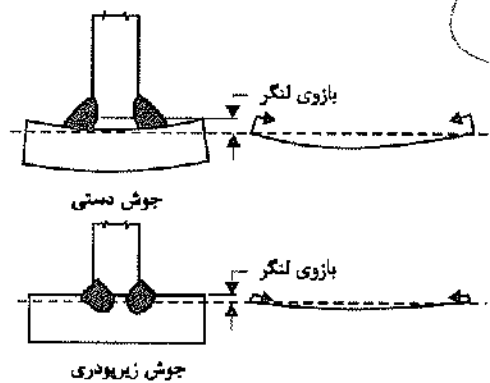


شکل ۴-۶ تنظیم اولیه درزها باعث می‌شود که انقباض، آنها را به وضعیت صحیح مورد نظر درآورد.



شکل ۵-۶ متعادل کردن جوش‌ها و یا نوارهای جوش در حول تار خنثای عضو، اعوجاج زاویه‌ای را به صفر می‌رساند.

در صورتی که محور خنثای مقطع مطابق شکل ۶-۶ پایین‌تر از مرکز ثقل جوش‌ها قرار گیرد، با استفاده از جوشی 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.



شکل ۶-۶ افزایش عمق جوشکاری، باعث می‌شود مرکز ثقل جوش به‌نار خنثای عضو نزدیک‌تر شده و باعث کاهش لنگر انقباضی گردد.

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.

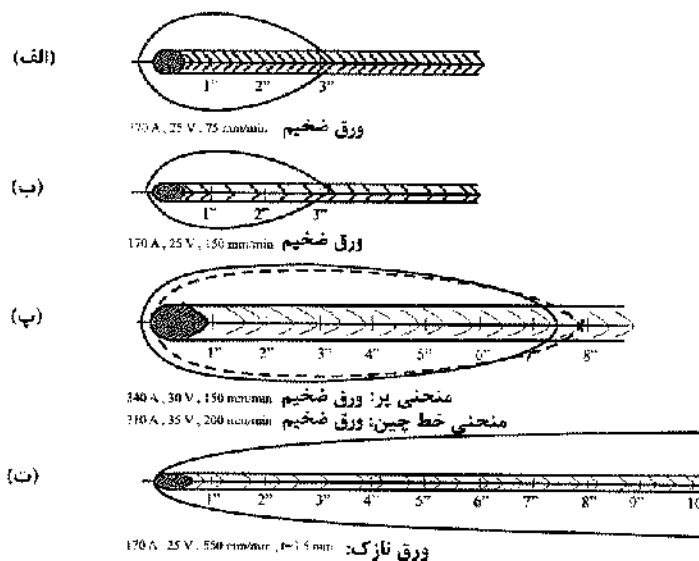
تأثیر شدت جریان و سرعت جوشکاری در ناحیه تفتیده در شکل ۶ - ۷ نشان داده شده است. تقریباً اندازه جوش به‌دست آمده در دو حالت الف و پ، یکسان است. اختلاف آنها در این است که سرعت بیشتر جوشکاری در حالت پ، ناحیه تفتیده باریکتری به‌وجود می‌آورد. از عرض منحنی هم‌دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس می‌توان به‌عنوان نشانه‌ای از ناحیه تفتیده فلز پایه که به‌همراه فلز جوش در انقباض مؤثر است، استفاده نمود. این پدیده پاسخی به‌این سؤال است که چرا جوشکاری با سرعت زیاد، اعوجاج کمتری تولید می‌کند. این مسئله از مقایسه حرارت اعمال‌شده به‌ورق به‌وسیله جوش نیز آشکار است.

برای جوش الف:

$$\frac{60EI}{V} = \frac{(60)(25V)(170\text{amp})}{3"/\text{min}} = 85000 \text{ Joule/in}$$

برای جوش پ:

$$\frac{60EI}{V} = \frac{(60)(35V)(310\text{amp})}{8"/\text{min}} = 81000 \text{ Joule/in}$$

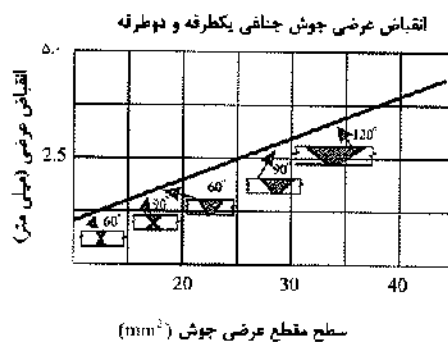
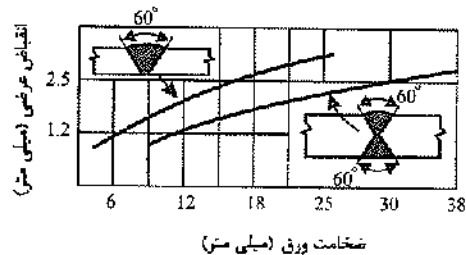


شکل ۶ - ۷ تأثیر تکنیک‌های جوشکاری بر ناحیه تفتیده. در هر حالت، منحنی هم‌دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس نشان داده شده است.

مقایسه حالت الف و ب، شکل ۶ - ۷ گویای شرایط دیگری است. دو درز لب به لب یکی در وضعیت قائم (سربالا) و دیگری در وضعیت افقی با استفاده از جوش شیاری با عبورهای چندگانه تولید شده‌اند. جوش سربالا با سه بار عبور با سرعت ۳ اینچ (۷۵ میلی‌متر) بر دقیقه با حرکت از پایین به بالا به‌طور زیگ‌زاگ، اجرا شده است (جوش الف). جوش افقی با ۶ بار عبور با سرعت ۶ اینچ (۱۵۰ میلی‌متر) بر دقیقه اجرا شده است (جوش ب). سرعت جوش بیشتر، باعث شده است که عرض ناحیه هم‌حرارت باریکتر گردد؛ ولی ۶ بار عبور باعث تجمع انقباض‌ها و در نتیجه افزایش انقباض نسبت به حالت الف، شده است. این پدیده پاسخی به این 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 به عامل 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.

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

در هنگام استفاده از جوش زیرپودری، به جای استفاده از عرض نوار فلز جوش، باید از عرض ذوب‌شده درز استفاده نمود.

مثال ۶-۱

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

حل:

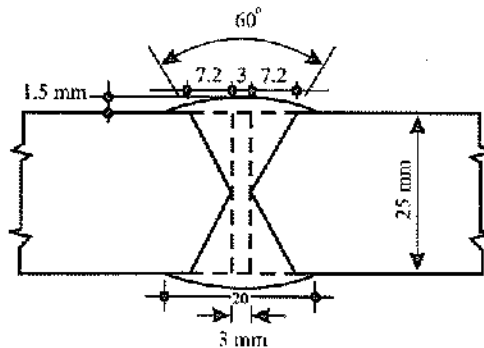
محاسبه سطح مقطع جوش

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

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

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

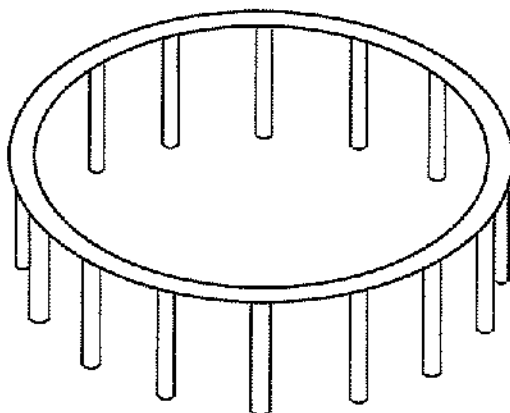
اگر مثال فوق با استفاده از نمودار فوقانی شکل ۶-۸ حل شود، مقدار انقباض حدود ۲ میلی‌متر به دست می‌آید که اختلافی با نتیجه حاصل دارد. برای توجیه این تناقض این نکته باید یادآوری گردد که در نمودار شکل ۶-۸ دهانه ریشه ۶ میلی‌متر منظور شده است (به جای ۳ میلی‌متر). اگر با این دهانه ریشه و گردنه بزرگتر، سطح مقطع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



شکل ۹-۶ مربوط به مثال ۶-۱.

مثال ۶-۲

یک حلقه فولادی از ورق ۲۵۰×۱۲ میلی‌متر، گنبدی به قطر $۴۱/۵$ متر را تحمل می‌کند. 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 ورق‌ها جوش شوند (شکل ۶-۱۰). جزئیات جوش در شکل ۶-۱۱ نشان داده شده است. در هنگام ساخت هیچ‌گونه تدابیری برای انقباض اتخاذ نشده بود. بعد از اجرا فهمیده شد که محیط این حلقه کوتاه و باعث شده که بالای ستون‌ها به اندازه $۱۲/۵$ میلی‌متر به سمت داخل کشیده شوند. آیا این جمع‌شدگی قطری به روش محاسباتی قابل پیش‌بینی بود یا نه.



شکل ۶-۱۰ مربوط به مثال ۶-۲.

سطح مقطع جوش (شکل ۶-۱۱)

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

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

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

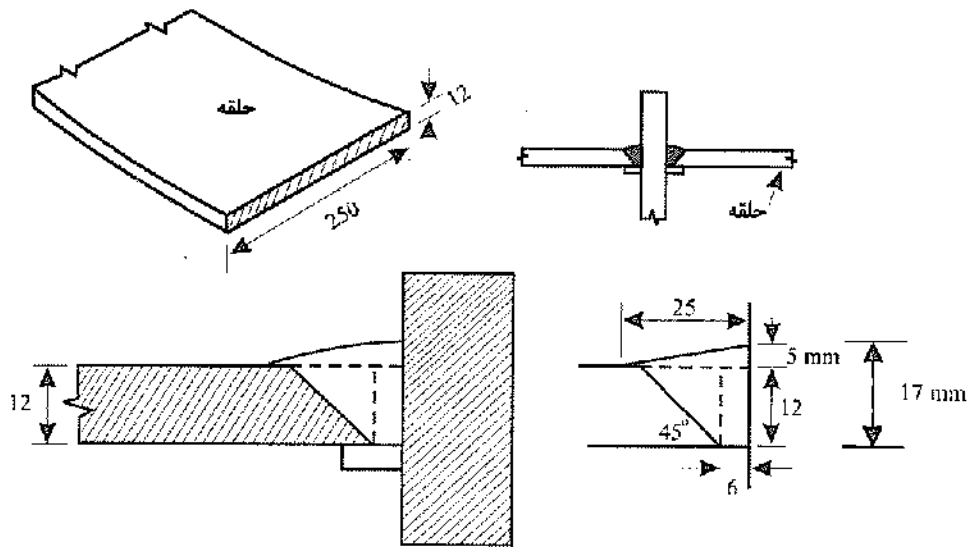
با توجه به وجود ۲۴ ستون، تعداد ۴۸ درز جوش شیاری وجود دارد.

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

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

(با مقدار اندازه‌گیری شده، انطباق منطقی‌ای دارد)

هرگونه تنظیم غلط درزجوش و یا گرده اضافی، باعث افزایش سطح مقطع و در نتیجه افزایش انقباض می‌گردد.



شکل ۶-۱۱ جزئیات درزجوش در مثال ۶-۲.

مثال ۶-۳

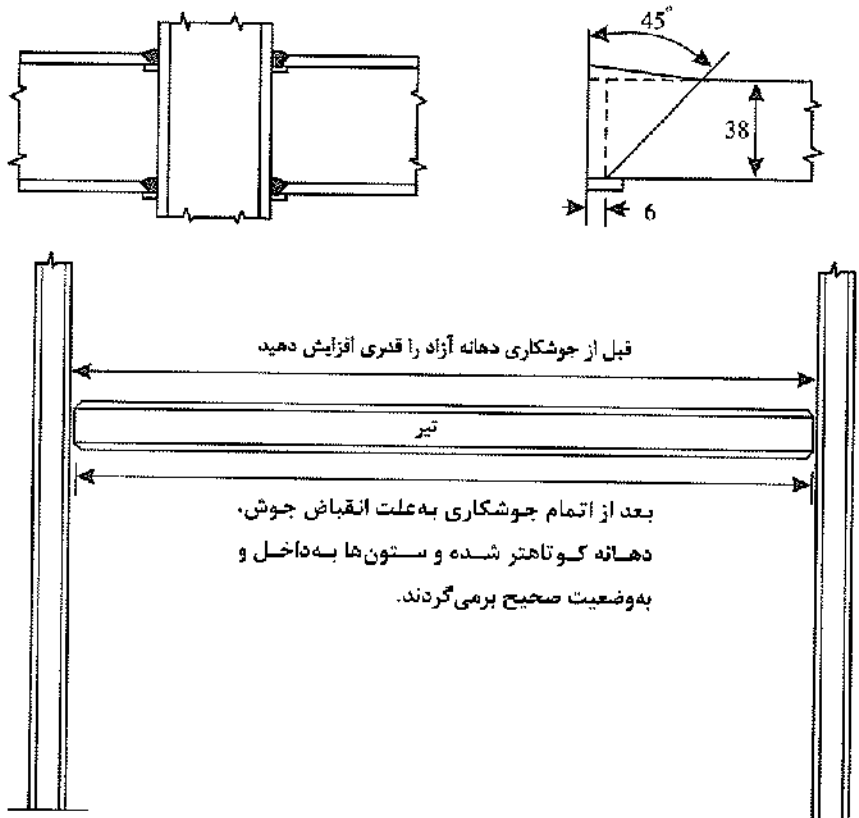
مطابق شکل تیری با اتصال مستقیم به ستونی متصل می‌گردد. مقطع جوش شیاری بال تیر به جان ستون در شکل نشان داده شده است. مطلوب است تعیین میزان انقباض.

حل:

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

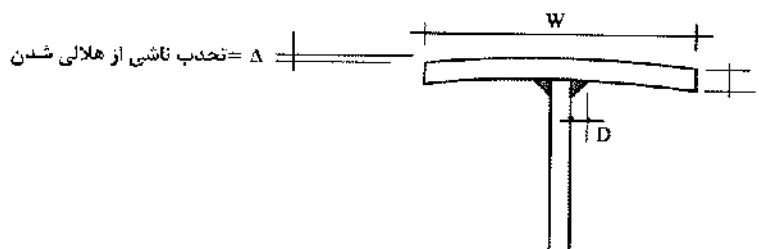
$$\Delta = 0.1 \frac{A_w}{t} = 0.1 \times \frac{10.4}{3.8} = 0.27 \cong 3 \text{ mm}$$

جوش ۱۰ میلی‌متر جان 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:

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

(۶-۲)

در رابطه فوق:

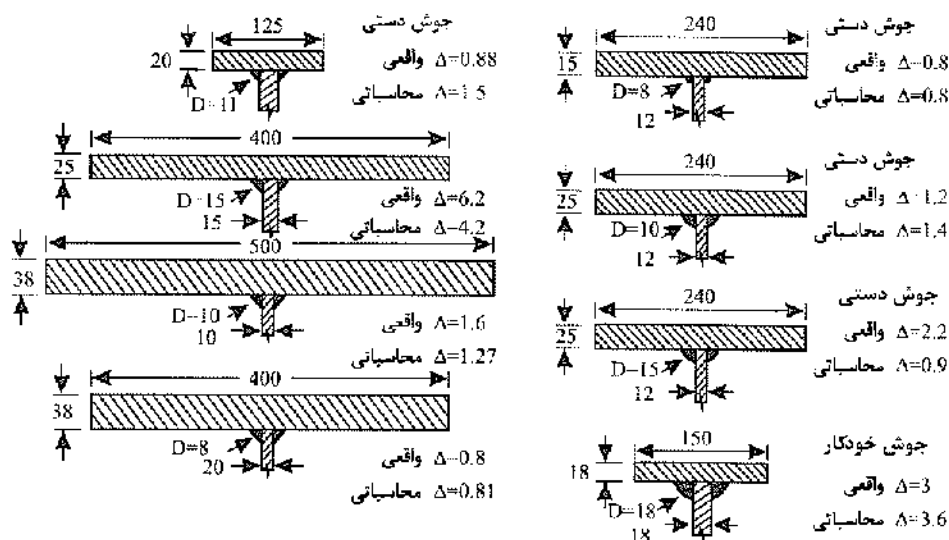
D = اندازه جوش (cm)

W = عرض بال (cm)

Δ = میزان تحدب عرضی (cm)

t = ضخامت بال (cm)

در شکل ۶-۱۲ مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر محاسباتی برای چندین نمونه جوش ورق بال به‌جان نشان داده شده است که حاکی از انطباق خوب رابطه نظری با نتایج واقعی است.



شکل ۶-۱۲ هلالی شدن، نسبت مستقیم با عرض بال و اندازه جوش و نسبت معکوس یا ضخامت بال دارد. (ابعاد بر حسب میلی‌متر)

۶-۷ شمشیری شدن (انحنای طولی)

به‌علت انقباض جوش‌های طولی نامتعادل نسبت به‌تار خنثی، انحنای طولی یا شمشیری شدن رخ می‌دهد (شکل ۶-۱۳). مقدار خیز Δ به‌علت 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)

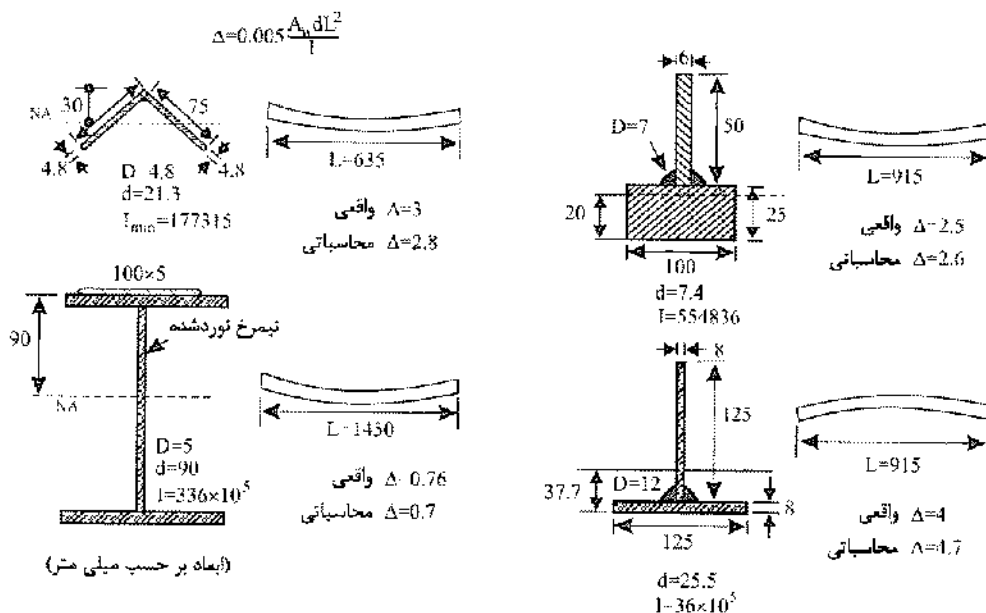
d = فاصله بین مرکز ثقل مقطع گرده جوش تا تار خنثی (cm)

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

I = ممان اینرسی عضو (cm^4)

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 به‌علت 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. به‌عنوان مثال به توالی

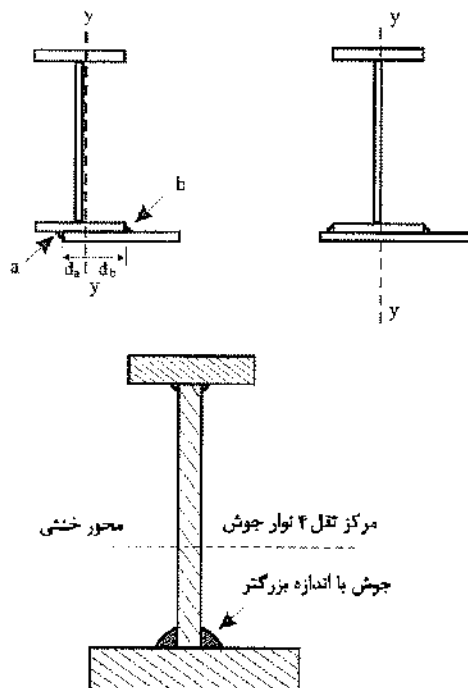


شکل ۶-۱۳ انطباق خوب رابطه ۶-۲ یا مقادیر اندازه‌گیری شده در عمل برای پدیده شمشیری شدن، (ابعاد بر حسب میلی‌متر)

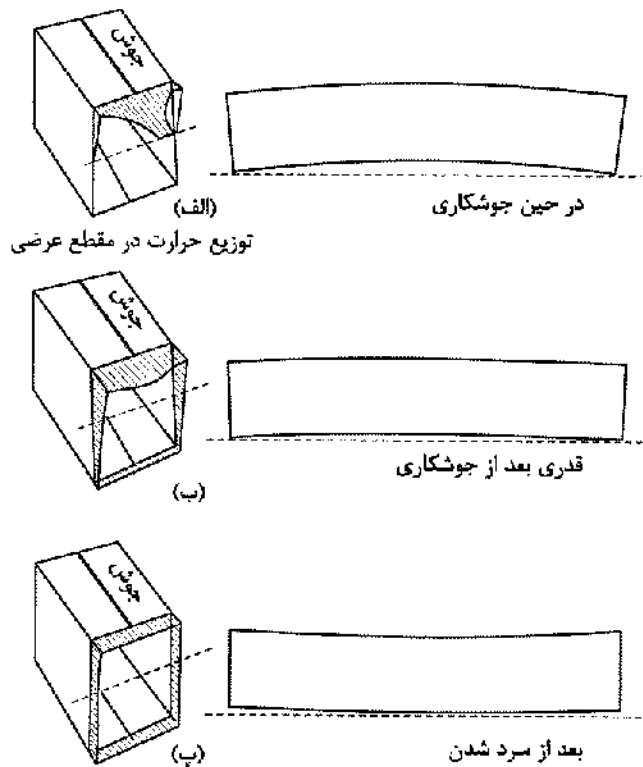
انجام عبور جوش‌ها در شکل ۶-۵ توجه نمایید. در این درز جوش، ابتدا عبور ۱ انجام می‌شود. عبور ۲ در سمت مقابل ورق را نمی‌تواند کاملاً به وضعیت تخت درآورد، لیکن عبور ۳ که در سمت عبور ۲ انجام می‌شود، تغییرشکل اولیه را کاملاً خنثی نموده و مقداری تغییرشکل مخالف نیز به وجود می‌آورد. عبور ۴ در سمت مخالف کاملاً 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.

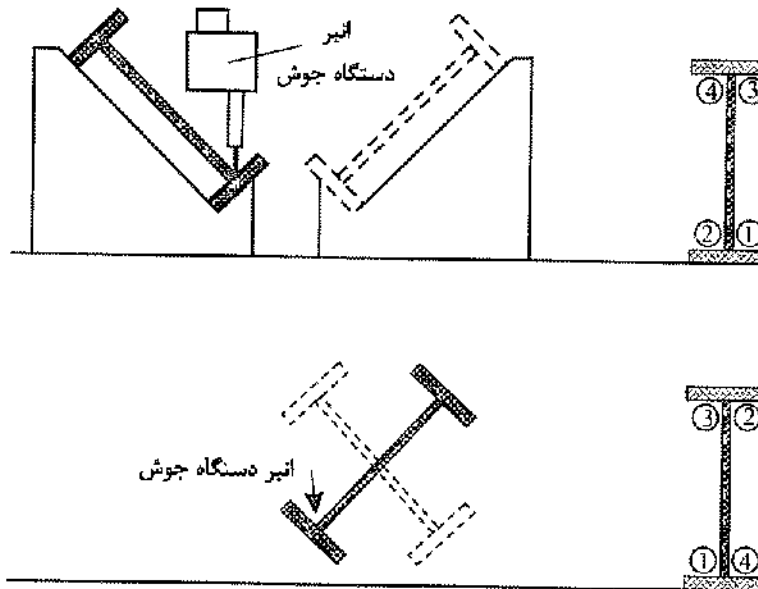


شکل ۶-۱۴ وقتی که جوش‌ها در حول تار خنثی متعادل نیستند، ارجح است که ابتدا جوش نزدیکتر به تار خنثی انجام شود، حتی بهتر است که اندازه جوش آن نیز به تناسب افزایش یابد.



شکل ۶-۱۵ در اتصال چند نیمرخ بیدکدیگر، جوش طرف دوم باید قبل از سرد شدن جوش طرف اول انجام شود و سپس هر دو جوش به صورت همزمان سرد گردند.

در شکل ۶-۱۶، روش انجام جوش خودکار اتصال بال به جان تیورورق بدون ایجاد اعوجاج نشان داده شده است. در صورتی که فقط از یک دستگاه جوش استفاده گردد، تیورورق 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.



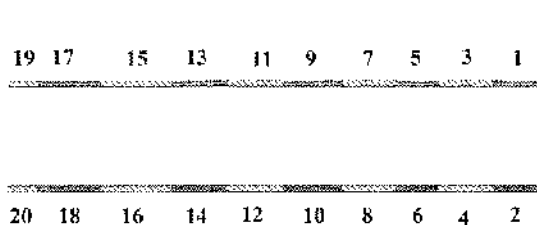
شکل ۶-۱۶ وضعیت و توالی جوشکاری در اتصال بال به جان تیورورق.

در هر سه مورد شکل ۶-۱۷، طول جوش به‌قسمت‌های 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.

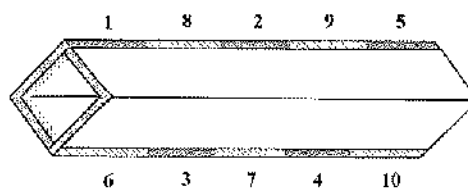
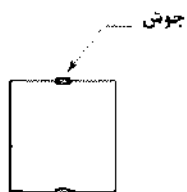
در هر دو مورد شکل ۶-۱۸، طول جوش به‌قسمت‌های ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر (در جوش با الکتروود دستی) و ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متری (در جوش با الکتروود ممتد) یا دو نفر جوشکار (به‌طور همزمان) جوشکاری می‌گردد.

در شکل ۶-۱۹، رواداری‌های مجاز ساخت و تغییرشکل‌های ناشی از جوشکاری، طبق آیین‌نامه AWS 'رایه شده است.

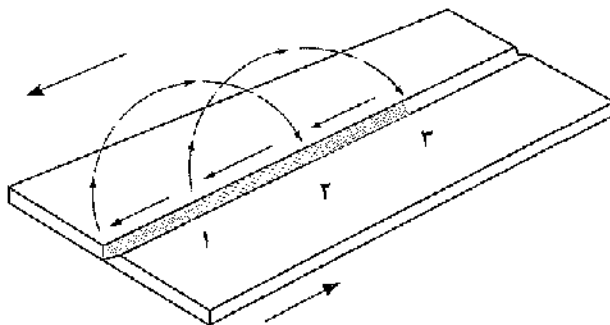
راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی



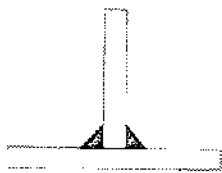
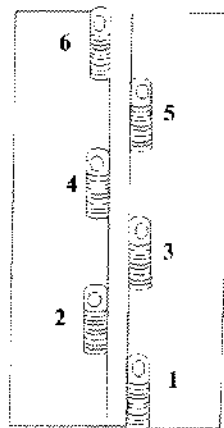
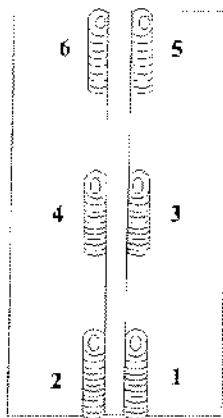
(ب) ترتیب و توالی جوشکاری ساخت قوطی از ناودانی



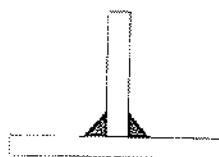
(لف) ترتیب و توالی جوشکاری ساخت قوطی از نبشی (برگشت به عقب پرشی)



(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

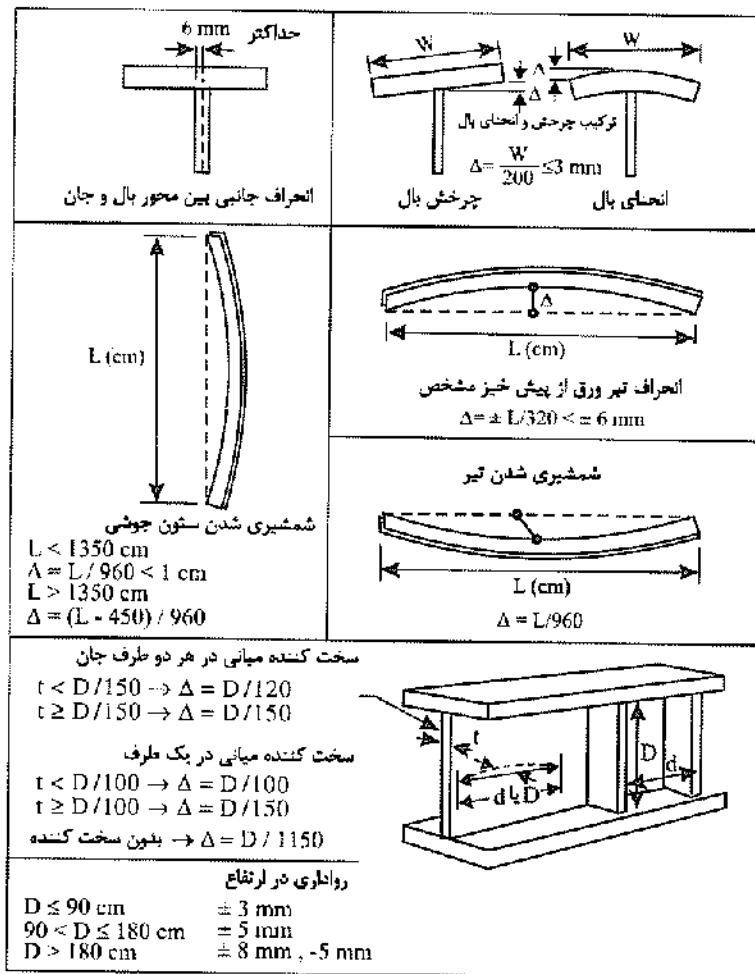


روش شطرنجی



روش زنجیری

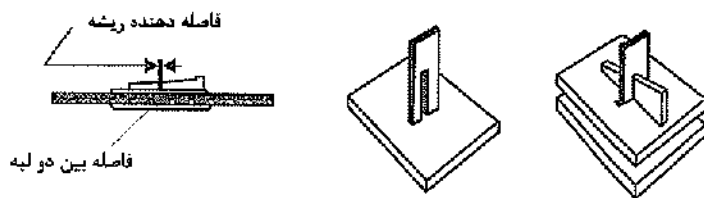
شکل ۶- ۱۸ ترتیب جوشکاری در اتصالات سپری جهت کنترل پیچیدگی



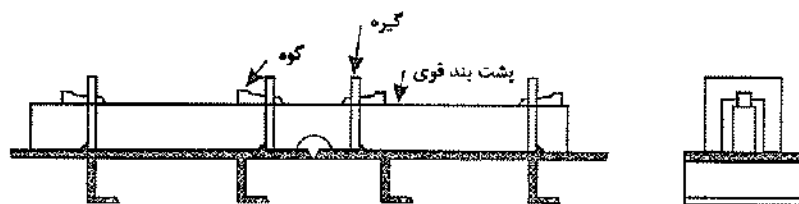
شکل ۶-۱۹. رواداری‌های مجاز ساخت و تغییر شکل‌های مجاز ناشی از جوشکاری طبق AWS.

شکل ۶-۸ همراستایی ورق‌ها

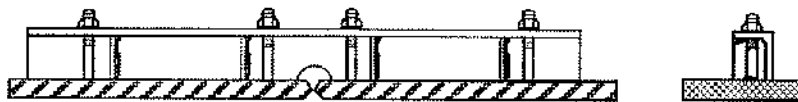
به‌منظور هم‌راستا نمودن ورق‌ها و حفظ هم‌راستایی آنها در حین جوشکاری، روش‌های مختلفی وجود دارد. یک روش ساده و متداول استفاده از گوه می‌باشد که در شکل ۶-۲۰ نشان داده شده است. در حالت ساده، گیره‌هایی به لبه یکی از ورق‌ها جوش شده و با فرو راندن گوه‌ای در حد فاصل گیره و ورق دوم، دو لبه ورق مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند. در قسمت تحتانی شکل ۶-۲۰ روش دیگری برای هم‌راستا نمودن ورق‌ها به کمک گوه نشان داده شده است. این روش لبه‌های ورق را در عرض بزرگتری به صورت مستقیم حفظ نموده و از اعوجاج ورق‌ها در حین جوشکاری نیز کم می‌کند. در شکل ۶-۲۱، در قسمت فوقانی از گوه و در قسمت تحتانی از فشار پیچ برای هم‌راستایی استفاده شده است.



شکل ۶-۲۰ همراستا نمودن ورق‌ها و حفظ همراستایی در لبه‌های آنها به کمک گیره و گوه.



استفاده از گوه برای ورق‌های نازک



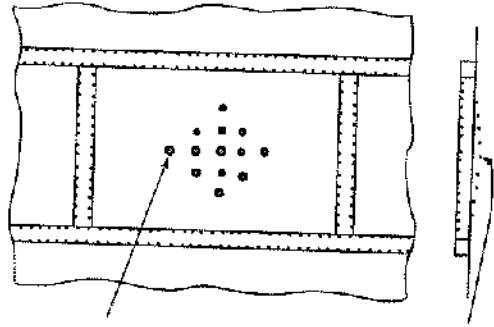
استفاده از پیچ برای ورق‌های ضخیم

شکل ۶-۲۱ روش دیگری برای همراستایی ورق‌ها در حین جوشکاری. در جزئیات فوقانی از فشار گوه و در قسمت تحتانی از فشار پیچ برای همراستا نمودن ورق‌ها استفاده شده است.

۶-۹ استفاده از حرارت برای رفع انقباض‌های جوشکاری

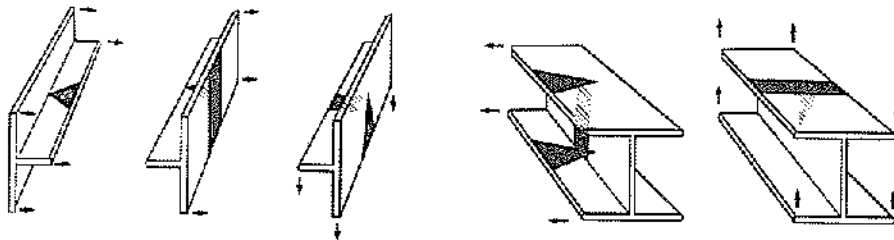
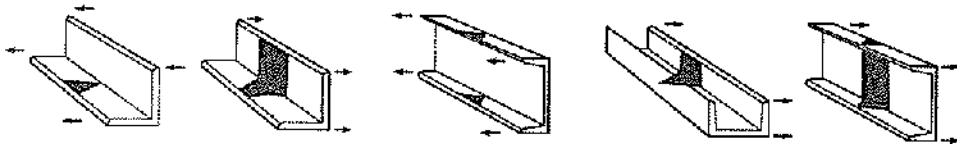
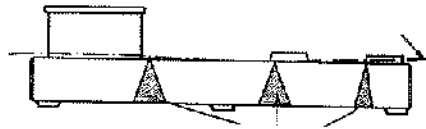
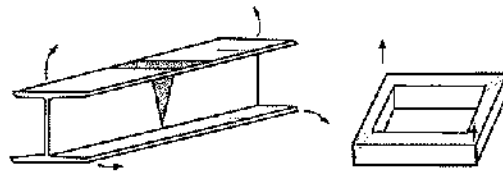
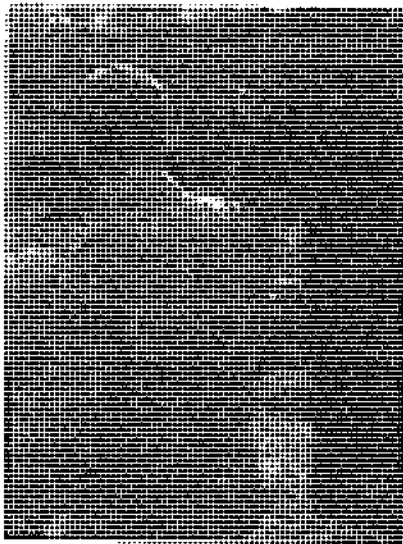
استفاده از حرارت شعله مشعل، روش دیگری برای کاهش و یا از بین بردن آثار انقباضی جوش است. حرارت مشعل باعث انبساط نواحی حرارت دیده می‌گردد. این نواحی توسط نواحی خنکتر احاطه شده است، در نتیجه در هنگام سرد شدن، کوتاهتر شده و تحت تنش کششی قرار می‌گیرد. تکرار عمل حرارت دادن، نهایتاً باعث انقباض می‌گردد. برای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



پدیده شدن قبل از حرارت دادن نقطه‌ای حرارت در این نقاط به‌کار برده می‌شود

(شکل ۶-۲۲ حرارت دادن نقطه‌ای برای تصحیح پدیده شدن)

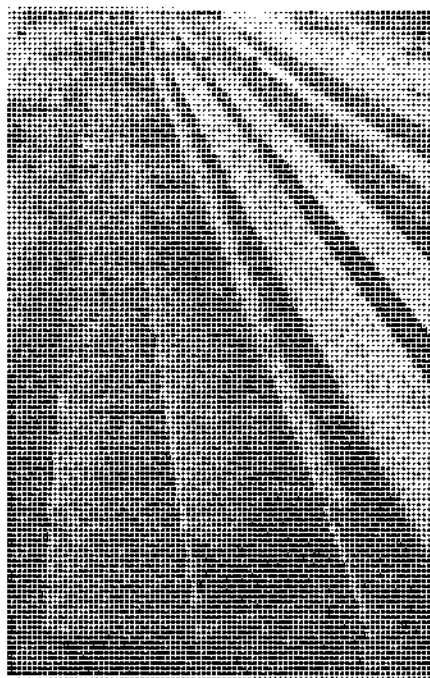


شکل ۶-۲۲ انواع حرارت دادن موضعی مثلثی برای تصحیح پیچیدگی.

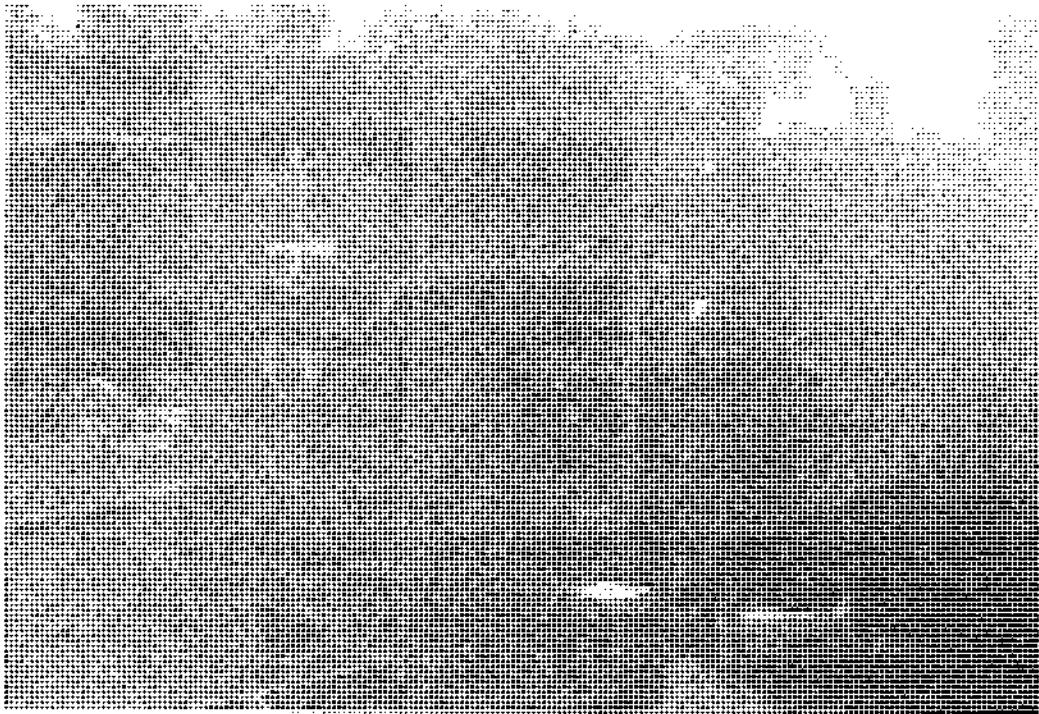
در شکل ۶-۲۳ روش گرم کردن مثلثی جهت اصلاح حرارتی ورق‌ها و مقاطع نشان داده شده است. در این روش در محل کمانش قطعه در چند نقطه با فاصله‌های مساوی به صورت مثلثی حرارت داده می‌شود. در حین گرم کردن، طول به علت انبساط حرارتی افزایش می‌یابد ولی پس از سرد شدن، قطعه از وجه گرم‌شده منقبض می‌شود. تعداد نقاط به صورت تجربی انتخاب می‌شود.



شکل ۶-۲۴ استفاده از گوه جهت جلوگیری از انقباض زاویه‌ای در جوش تیار (تسمه‌سازی).



شکل ۶-۲۵ استفاده از مهار جهت جلوگیری از هلالی شدن بال ستون.



شکل ۶-۲۶ استفاده از مهار پشت بند جهت جلوگیری از کاسه ای شدن صفحه ستون در کارگاه ساخت.



شکل ۶-۲۷ بستن پشت به پشت قطعات مشابه برای جلوگیری از بیچیدگی.

۶-۱۰ حرارت تولیدی در هنگام جوشکاری (حرارت القایی به علت جوشکاری)

۶-۱۰-۱ معرفی

حرارت تولیدی در هنگام جوشکاری با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$J = \frac{60EI}{V} \quad (۶-۴)$$

که در آن:

J = حرارت تولیدی بر حسب ژول (وات ثانیه) بر سانتی‌متر (یا ژول بر اینچ)

E = اختلاف پتانسیل قوس بر حسب ولت

I = شدت جریان جوشکاری بر حسب آمپر

V = سرعت جوشکاری بر حسب سانتی‌متر بر دقیقه (یا اینچ بر دقیقه)

چون تمام حرارت تولیدشده در قوس وارد ورق (فلز پایه) نمی‌شود، توصیه می‌شود از ضرایب بازده حرارتی زیر در روابط، نمودارها و نمودارها استفاده گردد:

۷۵ تا ۸۰ درصد برای جوشکاری دستی

۹۰ تا ۱۰۰ درصد برای جوش قوسی زیرپودری

برای مثال جریان با شدت ۲۰۰ آمپر و سرعت ۱۵ سانتی‌متر بر دقیقه، حرارتی در حدود ۱۹۰۰۰ ژول بر سانتی‌متر با فرض بازده ۸۰ درصد تولید می‌کند. اگر جوشکاری با شدت ۱۸۰ آمپر و سرعت ۵۵ سانتی‌متر بر دقیقه انجام شود، حرارت تولیدی به ۳۸۶۰ ژول بر سانتی‌متر کاهش پیدا خواهد کرد. اگر تحت شرایطی نیاز به پیش‌گرمایش باشد، ملاحظه می‌شود که در حالت دوم نیاز به پیش‌گرمایش بزرگتری می‌باشد. بنابراین در صورت استفاده از روش‌های جوشکاری که تولید حرارت بزرگتری می‌نماید، می‌توان از مقدار پیش‌گرمایش‌های استاندارد، به‌مقداری کاست، البته به شرطی که شرایط سخت برای سردشدن پس از انجام جوش وجود نداشته باشد.

به‌عنوان یک مثال عملی در اتصال ورق جان به ورق بال یک تیر I برای تولید جوشی به‌اندازه ۱۰ میلی‌متر، از جوش زیرپودری با شدت ۸۵۰ آمپر و سرعت ۵۰ سانتی‌متر بر دقیقه با حرارت تولیدی ۳۴۰۰۰ ژول بر دقیقه استفاده می‌شود. اگر جوش دو طرف جان به‌طور همزمان اجرا گردد، حرارت تولیدی به‌حدود دو برابر خواهد رسید که برقراری چنین وضعیتی مسلماً در کاهش حرارت پیش‌گرمایش تأثیر خواهد داشت.

در صورت اطمینان از حصول حرارت کافی و پیوسته در حین جوشکاری، این امکان وجود دارد که فقط قسمت ابتدایی کار پیش‌گرم شده و با شروع جوشکاری، عمل پیش‌گرمایش قطع شده و تنها به‌حرارت تولیدی در هنگام جوشکاری اکتفا گردد.

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:

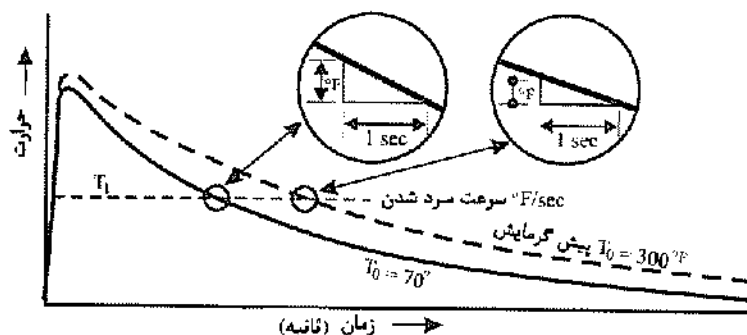
در اولویت اول:

- دمای اولیه ورق (T_0) (شامل اثر پیش‌گرمایش)
- 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.

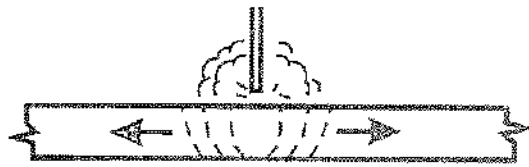


شکل ۶-۲۸ سرعت سرد شدن جوش.

مطالعات مربوط به سرعت خنک شدن اکثراً بر پایه دو حالت حدی قرار دارند:

۱- **ورق‌های نازک:** که در آنها ترکیب حرارت تولیدی و ضخامت ورق طوری است که دما در ضخامت ورق در هر نقطه ثابت بوده و حرارت در امتداد عرضی در دو جهت انتقال می‌یابد (شکل ۶-۲۹). برای چنین شرایطی سرعت سرد شدن برابر خواهد شد با:

$$R = K_1 \left(\frac{t}{j} \right)^2 (T_1 - T_0)^3 \quad (5-6)$$



شکل ۶-۲۹

۲- ورق‌های ضخیم:

که در آنها ترکیب حرارت تولیدی و ضخامت ورق طوری است که بتوان فرض نمود دمای سطح تحتانی ورق افزایش نمی‌یابد، به عبارت دیگر، حرارت مطابق شکل ۶-۳۰ در سه امتداد انتشار می‌یابد. در نتیجه سرعت سرد شدن برابر است با:

$$R = \frac{K_2}{j} (T_1 - T_0)^2 \quad (6-6)$$

که در آن:

R = سرعت خنک شدن در دمای T_1 (فارنهایت بر ثانیه)

T_1 = دمای که سرعت سرد شدن در آن مورد توجه می‌باشد (۵۷۲ درجه فارنهایت معادل ۳۰۰ درجه سلسیوس)

T_0 = دمای اولیه ورق یا دمای پیش‌گرمایش وقتی که از پیش‌گرمایش استفاده می‌گردد (فارنهایت)

K = ضریب هدایت حرارتی (برحسب بی تی یو بر ساعه بر فوت مربع سطح که بر گرادیان حرارتی تقسیم شده است. گرادیان حرارتی نیز برحسب درجه فارنهایت بر ضخامت بیان می‌گردد). مقدار K

برای فولاد نرمه در دمای ۵۷۲ درجه فارنهایت مساوی ۲۵/۹ است.

K_1 = ثابتی که نماینده K ، ρ و C در دمای T_1 است. مقدار آن برای فولاد نرمه مساوی ۱۶۱/۴۸ در دمای ۵۷۲ درجه فارنهایت است.

K_2 = ثابتی که نماینده K در دمای T_1 است. مقدار آن برای فولاد نرمه مساوی ۵/۹۶۱ در دمای ۵۷۲ درجه فارنهایت است.

ρ = چگالی برحسب یوند بر فوت مکعب. برای فولاد نرمه مقدار آن مساوی ۴۸۹/۶ یوند بر فوت مکعب است.

C = گرمای ویژه برحسب بی تی یو بر یوند بر درجه فارنهایت. مقدار آن برای فولاد نرمه مساوی ۰/۱۳۶ بی تی یو بر یوند در دمای ۵۷۲ درجه فارنهایت می‌باشد.

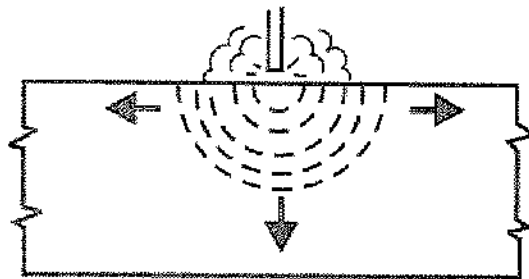
t = ضخامت واقعی ورق برحسب اینچ

a = گرمای تولیدی جوش (رابطه ۶-۴)

* جهت تبدیل دما برحسب درجه‌بندی فارنهایت به سلسیوس و برعکس از روابط زیر استفاده می‌تود.

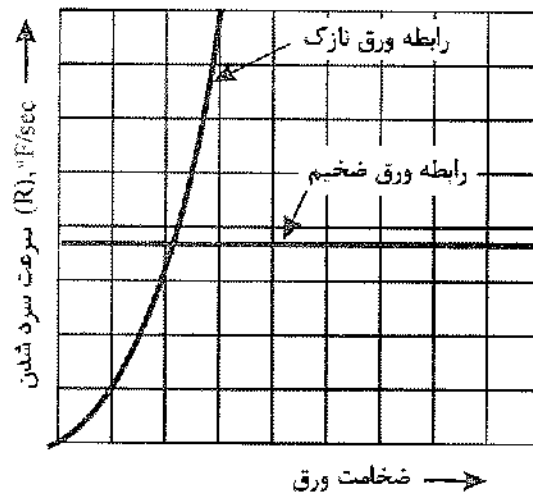
$$C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

$$F = 1.8C + 32$$



شکل ۶-۳۰

متأسفانه مرزبندی دقیقی بین ورق نازک و ورق ضخیم در ارتباط با سرعت خنک شدن وجود ندارد. شرایط واقعی غالباً بین شرایط حدی قرار دارند و اکثراً در تمام موارد باید از قضاوت مهندسی استفاده نمود. برای مثال جوشکاری بر روی ورقی به ضخامت ۱ اینچ یا جوش قوسی زیرپودری با شدت جریان ۱۰۰۰ آمپر و سرعت ۱۰ اینچ بر دقیقه به شرایط ورق نازک نزدیک خواهد شد. در مقابل جوشکاری دستی ورق سه چهارم اینچ در حالت تخت با شدت جریان ۱۲۰ آمپر و سرعت ۱۲ اینچ بر دقیقه به شرایط ورق ضخیم نزدیک خواهد شد. در شکل ۶-۳۱، روابط ۶-۵ و ۶-۶ در مقابل ضخامت ورق رسم شده‌اند.



شکل ۶-۳۱

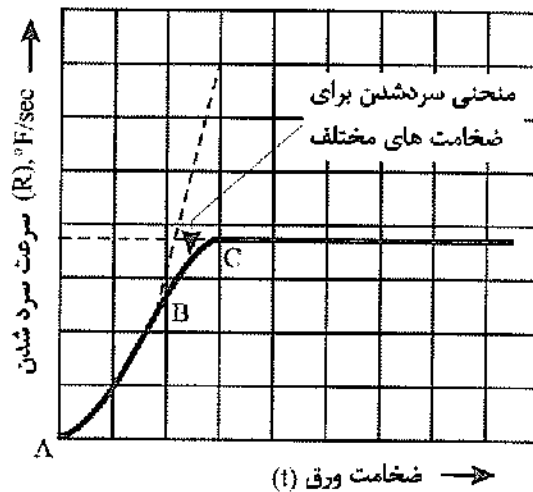
در رابطه ورق نازک، ضخامت ۱ با توان ۲ در سرعت خنک شدن تأثیر دارد و با افزایش ضخامت ورق، سرعت خنک شدن به سرعت افزایش می‌یابد. در مقابل در رابطه ورق ضخیم ملاحظه می‌گردد که خنک شدن تابعی از ضخامت نمی‌باشد. سرعتی که از رابطه ورق ضخیم به دست می‌آید، حداکثر سرعت خنک شدن بدون توجه به ضخامت

ورق می‌باشد. در نتیجه با تلفیق دو نمودار شکل ۶-۳۱، نمودار شکل ۶-۳۲ برای تعیین خنک شدن به دست می‌آید (نمودار با خط توپر).

نمودار شکل ۶-۳۲ را می‌توان با روابط زیر تعریف نمود:

از A تا B:

$$R = 161.48 \left(\frac{t}{J} \right)^2 (572 - T_0)^3 \quad (7-6)$$



شکل ۶-۳۲

از B تا C:

$$R = 5.961 \frac{(572 - T_0)^2}{J} \left(-27.09t^2 \frac{(572 - T_0)}{J} + 14.72t \sqrt{\frac{572 - T_0}{J}} - 1 \right) \quad (8-6)$$

از رابطه ۶-۷، سرعت پیش گرمایش T_0 به راحتی بر حسب سرعت خنک شدن محاسبه می‌شود. لیکن از رابطه

۶-۸ به سادگی امکان پذیر نیست، چون برای دمای پیش گرمایش بخصوصی ترسیم شده است. برای استفاده عملی

روابط ۶-۷ و ۶-۸ به صورت بی بعد زیر نوشته می‌شوند:

از A تا B (قسمت تحتانی)

$$\frac{t}{t_{me}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{T_1 - T_0/me}{T_1 - T_0} \right)^3} \quad (9-6)$$

از B تا C (قسمت فوقانی):

$$\frac{t}{t_{me}} = \sqrt{\frac{T_1 - T_0/me}{T_1 - T_0} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \left(\frac{T_1 - T_0/me}{T_1 - T_0} \right)^2} \right)} \quad (10-6)$$

که در آن:

$t =$ ضخامت واقعی (اینچ)

$t_{me} =$ حداکثر ضخامت مؤثر برحسب مقادیر J و R طبق رابطه زیر:

$$t_{me} = 0.4246 \sqrt[4]{\frac{J}{R}} \quad (۶-۱۱)$$

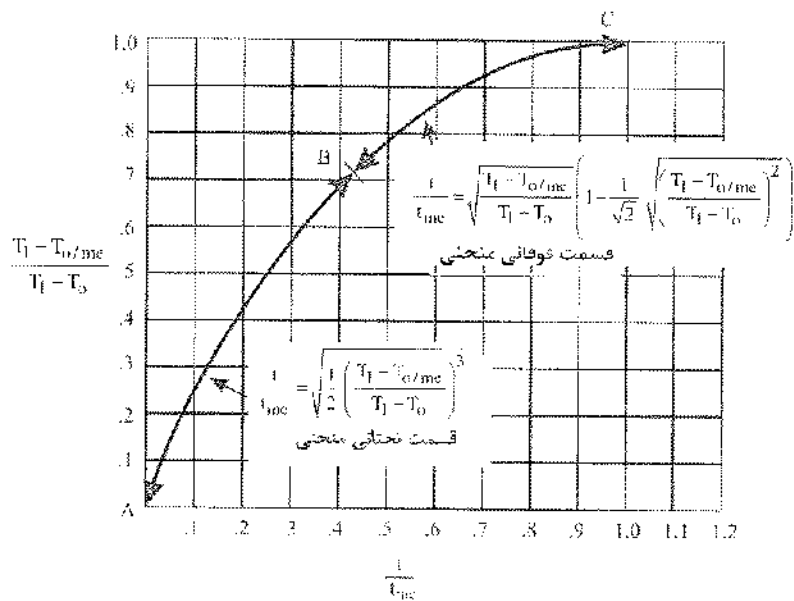
$T_1 =$ دمای تخمینی که در آن سرعت خنک شدن مورد نظر است ($572^\circ F$ مساوی $300^\circ C$)

$T_0 =$ دمای پیش‌گرمایش برای مقادیر مشخص J ، R ، t (درجه فارنهایت)

$T_0/me =$ حداکثر دمای مؤثر پیش‌گرمایش برای مقادیر معلوم J و R (درجه فارنهایت)

$$T_1 - T_0/me = \sqrt{\frac{RJ}{5.961}} \quad (۶-۱۲)$$

به کمک روابط ۶-۹ و ۶-۱۰ می‌توان نمودار شکل ۶-۳۳ را رسم نمود. از این نمودار می‌توان برای تعیین دمای پیش‌گرمایش T_0 استفاده نمود.

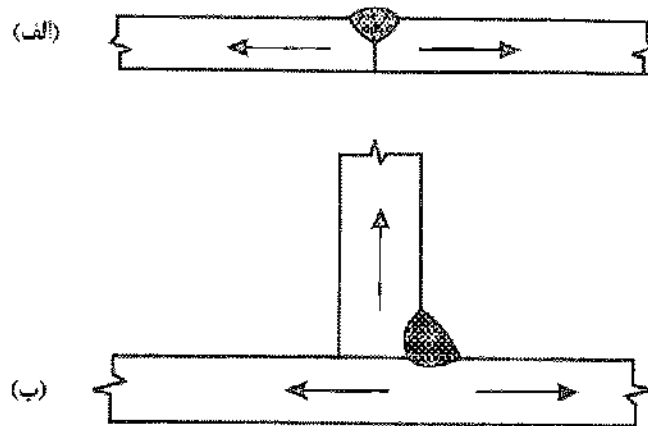


شکل ۶-۳۳

۶-۱۰-۳ جریان دمای دوبعدی در مقابل سه‌بعدی

مطالب ارائه‌شده در قسمت قبل مربوط به‌حالاتی می‌شد که برای انتقال حرارت دو راه خروجی وجود داشت (مانند شکل ۶-۲۴ الف)، مواردی پیش می‌آید که همانند شکل ۶-۲۴ ب، سه راه خروج حرارت وجود دارد. در صورت برخورد با این موارد، روش ارائه‌شده در فصل قبل باید به‌صورت زیر اصلاح گردد:

- ۱- استفاده از $\frac{2}{3}$ حرارت تولیدشده در هنگام جوشکاری (J) یا
- ۲- اصلاح ضخامت ورق ۱ برای منظور نمودن ورق سوم؛ برای این کار ضخامت هر ورق فرضی در حالت دوطبقه‌ای، مساوی نصف مجموع سه ورق موجود در نظر گرفته می‌شود.



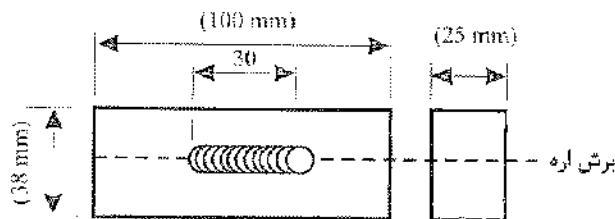
شکل ۶-۳۴

۶-۱۰-۴ کربن معادل

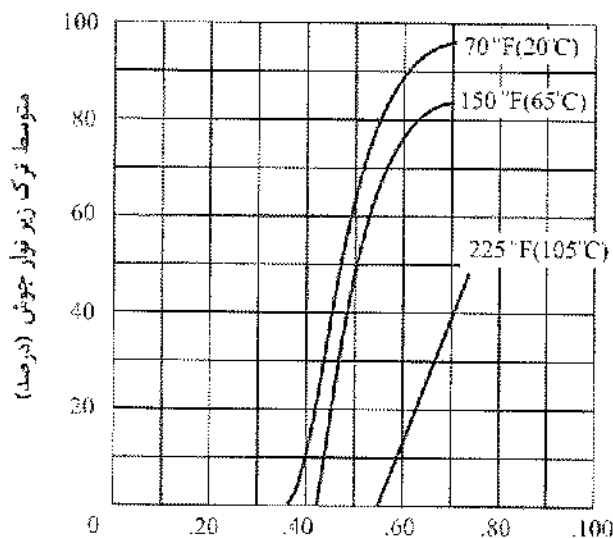
بر پایه تحقیقات انجام شده و با استفاده از معیار وقوع ترک در زیر نوار جوش، می‌توان تأثیر تمام عناصر شیمیایی موجود در فولاد را به اثر کربن تبدیل نمود. رابطه‌ای که برای این منظور به کار گرفته می‌شود، به رابطه کربن معادل معروف است. یکی از روابط پیشنهادی که قابل استفاده برای فولادهای کم کربن و کم آلیاژ در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

$$C_{eq} = C\% + \frac{Mn\%}{6} + \frac{Ni\%}{20} + \frac{Cr\%}{10} + \frac{Mo\%}{50} + \frac{V\%}{10} + \frac{Cu\%}{40} \quad (6-13)$$

شکل ۶-۳۵ یک نمونه آزمایشی از ورقی به ضخامت ۱ اینچ را نشان می‌دهد که در روی آن نوار جوشی به اندازه $\frac{1}{8}$ اینچ (۳ میلی‌متر) با الکتروود E6010 با شدت ۱۰۰ آمپر و ولتاژ ۲۵ ولت، جریان متناوب و با سرعت ۱۰ اینچ بر دقیقه انجام شده است. نمودار شکل ۶-۳۶ نشان‌دهنده درصد وقوع ترک‌های زیر نوار جوش بر حسب درصد کربن معادل می‌باشد. اگر همین نمونه با الکتروود کم‌هیدروژن E7018 انجام شود، هیچ‌گونه ترکی در زیر نوار جوش ملاحظه نمی‌شود. توجه شود که منحنی‌های ارائه شده در شکل ۶-۳۶ برای سه دمای پیش‌گرمایش مختلف می‌باشد.



شکل ۶-۲۵



$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{4} + \frac{Si}{4}$$

شکل ۶-۳۶

۶-۱۰-۵ سرعت خنک شدن و کربن معادل

برای هر ترکیبی از عناصر شیمیایی فولاد، سرعت خنک شدن حداکثری وجود دارد که باعث هیچ‌گونه ترک عمقی در زیر نوار جوش نمی‌شوند. هر چه درصد کربن معادل بزرگتر باشد، مقدار این سرعت حداکثر (مجاز) کمتر می‌شود. بنابراین نتیجه می‌شود هر چه درصد کربن معادل بزرگتر باشد، احتمال وقوع ترک‌های زیر نوار جوش (عمقی) بزرگتر شده و نیاز بیشتری به استفاده از الکتروود کم‌هیدروژن وجود دارد.

کنترل 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 می‌توان 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 می‌دهد.

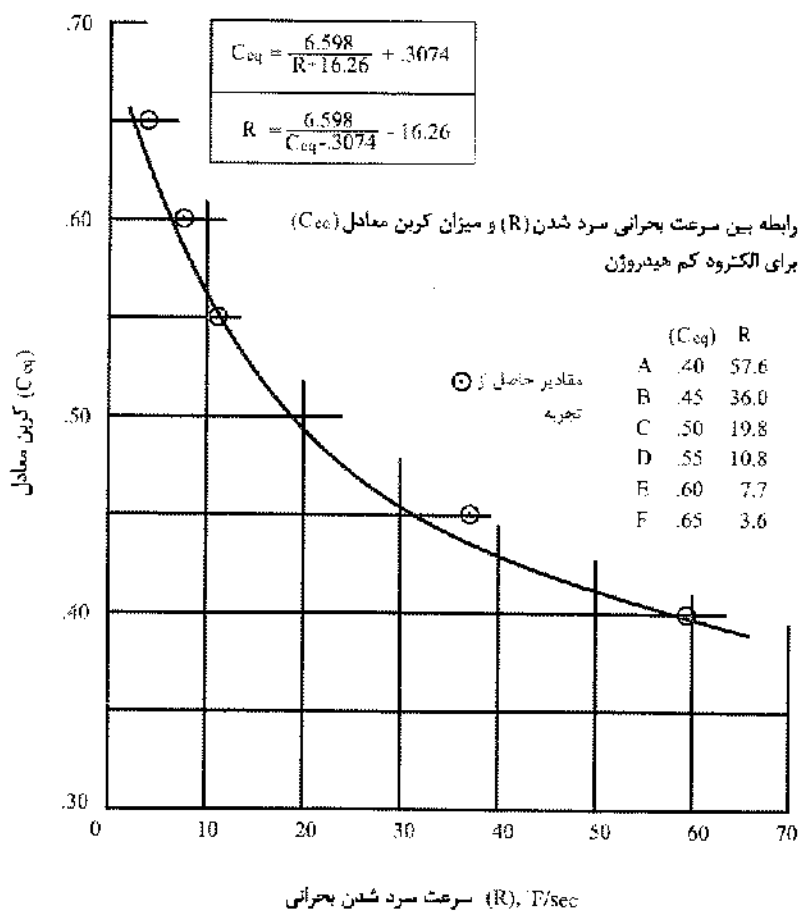
۶-۱۰-۶ تعیین دمای پیش‌گرمایش

به منظور تعیین دمای پیش‌گرمایش 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_{mc} را تعیین کنید.
- ۳- با استفاده از نتایج گام ۲ مقدار (t/t_{mc}) 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 پیش‌گرمایش لازم (T_0) به دست می‌آید.



شکل ۶-۳۷

مثال ۶-۴

$$J = 20000 \frac{\text{watt} \cdot \text{sec}}{\text{inch}}$$

$$R = 25^\circ \text{F/sec} (14^\circ \text{C/sec})$$

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

مطلوب است تعیین دمای پیش‌گرمایش (T_0)

گام ۱:

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

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 پیش‌گرمایش نسبی به دست می‌آید:

$$\frac{T_1 - T_{0/mc}}{T_1 - T_0} = 0.73$$

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

گام ۵: بنابراین

$$T_1 = 572^\circ \text{F}$$

$$572 - T_0 = 396.7$$

$$T_0 = 175.3^\circ \text{F} = 80^\circ \text{C}$$

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 به علت 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 به علت وجود دو ورق متعامد در محل درز جوش گوشه می‌باشد که سطح تبادل حرارت بزرگتری را به وجود 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 یخی لبه، افزایش می‌یابد.
- ۵ - مقدار آن متناسب با دمای القایی در هنگام جوش است.

انقباض زاویه‌ای می‌تواند با تدابیر زیر کاهش یابد

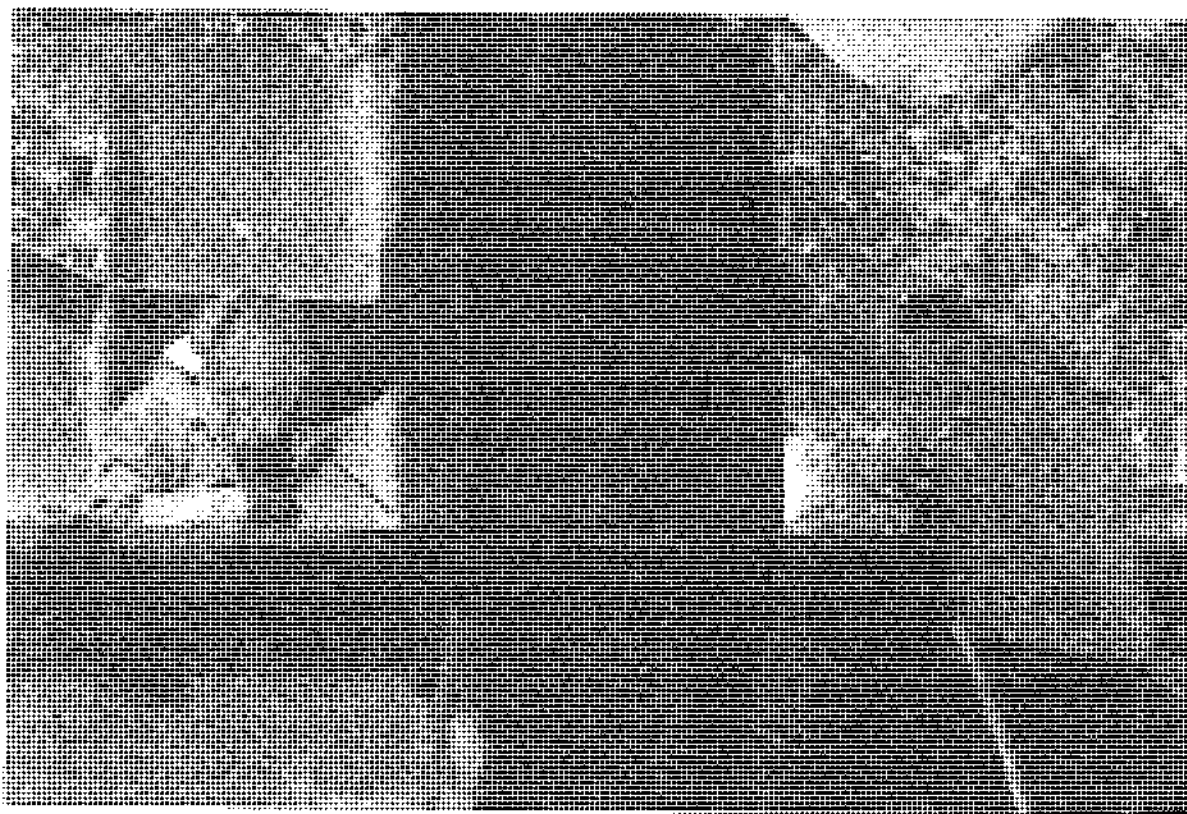
- ۱ - استفاده از جوش‌های جناغی (V) و لایه‌ای (U) دو طرفه.
- ۲ - انجام جوش‌های پشت و رو به صورت یک در میان.
- ۳ - پخ زدن لبه به منظور کاهش بازوی لنگر و در نتیجه کاهش اعوجاج.
- ۴ - استفاده از جوش‌های گوشه با اندازه کم. مقدار انحنای با توان $1/3$ اندازه جوش متناسب می‌باشد.
- ۵ - استفاده از ورق بال ضخیم‌تر.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

انحنای طولی اعضا به علت نوارهای طولی جوش (شمشیری شدن)

- ۱ - متعادل کردن جوش‌ها در حول محور خنثای مقطع به دو 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 نسبت 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، به طوری که عضو به صورت محدب درآمده و این تحدب در هنگام جوشکاری به صورت مستقیم درآید.
 - پ - تقسیم کردن عضو به مجموعه‌های کوچکتر، به طوری که که جوشکاری در مقطع در هر مجموعه به صورت متقارن باشد. اگر بال طولین‌تر یک عضو خمیده، حرارت داده شود، به صورت مستقیم درمی‌آید.

روش‌های مناسب برای کنترل اعوجاج

- ۱ - بستن عضو به‌شاسی کار و نگهداری آن در حین جوشکاری.
- ۲ - تنظیم لبه‌ها و ورق‌ها به صورت غیرهم‌راستا، به‌طوری‌که بعد از جوش به‌صورت مستقیم درآیند.
- ۳ - پیش‌انحنای عضو (پیش‌خیز)
- ۴ - بستن دو عضو به‌صورت پشت به پشت با مقداری پیش‌انحنا (استفاده از پشت‌بند).
- ۵ - استفاده از گیره و قالب (در نهایت باعث افزایش تنش پسماند می‌شود).
- ۶ - پیش‌بینی فاصله برای خنثی کردن انقباض در هنگام مونتاژ قطعات.
- ۷ - امکان آزادی حرکت برای قطعات در هنگام جوشکاری.
- ۸ - تقسیم قطعات اصلی به قطعات کوچکتر و سپس سر هم کردن قطعات.
- ۹ - ابتدا قطعات انعطاف‌پذیرتر جوش داده شوند، به‌طوری‌که راست کردن آنها ساده باشد.



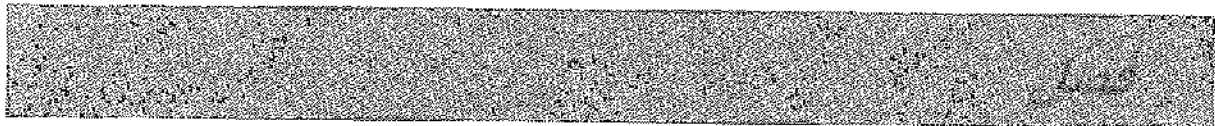
شکل ۶-۲۸ جوشکاری دستک روی ستون به‌صورت ضربدری توسط دو جوشکار.



شکل ۳۹-۶ استفاده از روش اصلاح حرزرتی در کارگاه ساخت جهت اصلاح ناگونمایی دستک روی ستون.



شکل ۴۰-۶ استفاده از میله به‌عنوان مهار جهت جلوگیری از اعوجاج زاویه‌ای در جوش ورق بادبند.

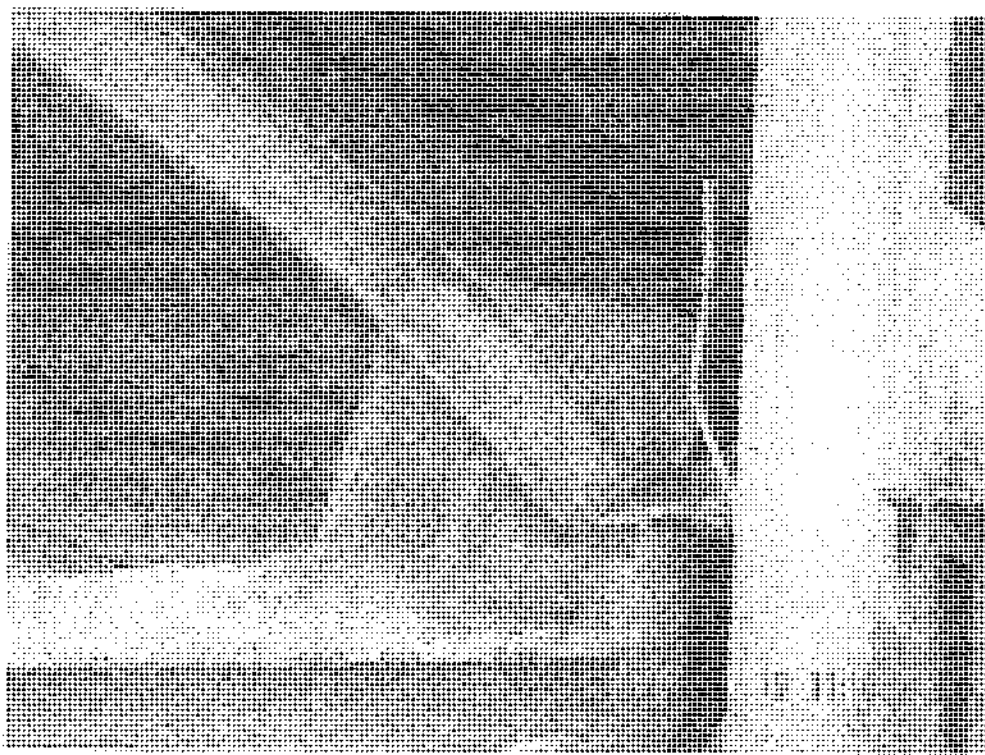


بازرسی جوش - بازرسی چشمی (عینی)

۱۹۱.....	۱-۷ مقدمه
۱۹۲.....	۲-۷ زمان شروع نظارت و بازرسی
۱۹۳.....	۳-۷ پنج دستورالعمل برای حصول کیفیت در جوش ساختمانی
۱۹۸.....	۴-۷ نظارت‌های پیشگیرانه (IPM)
۱۹۹.....	۵-۷ بازرسی عینی (V.I.)
۱۹۹.....	۱-۵-۷ اصول بازرسی چشمی (عینی) جوش
۲۰۵.....	۲-۵-۷ وظایف عمده بازرسی جوش
۲۰۶.....	۳-۵-۷ وسایل بازرسی چشمی (عینی) جوش
۲۰۷.....	۴-۵-۷ اندازه‌گیری جوش
۲۱۰.....	۶-۷ ضوابط پذیرش بازرسی چشمی (عینی) جوش
۲۱۳.....	۷-۷ رواداری‌های عیوب ظاهری جوش در بازرسی چشمی (عینی) طبق ISO 5817
۲۱۸.....	۸-۷ چک‌لیست بازرسی چشمی (عینی)

۱-۷ مقدمه

در عمل موارد متعددی وجود دارد که به علت عدم برآورده شدن مشخصات فنی، مقطع جوشکاری شده دچار گسیختگی شده و خسارات زیادی را به بار آورده است. اگر جوش مطابق مشخصات فنی و طبق دستورالعمل‌های کیفی اجرا شود، فقط در حالتی که نیروی وارده بزرگتر از مقاومت جوش است، می‌تواند گسیخته شود. اما اگر اجرای جوش همراه با عیب باشد، گسیختگی می‌تواند تحت نیروی کمتری نیز به وقوع پیوندد (شکل ۱-۷).



شکل ۱-۷ گسیختگی جوش در زلزله بم.

برای هر عیب جوش علتی منطقی و برای اصلاح و تعمیر آن نیز روشی منطقی وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت اغلب عیوب جوش مربوط به روش جوشکاری، صلاحیت جوشکار، آماده‌سازی درز و دستورالعمل جوشکاری بوده که در حین کار می‌تواند مورد بازرسی و ارزیابی قرار گیرد.

منشأ بعضی عیوب که در جوش و فلز پایه ممکن است یافت شود، عبارتند از:

- عیوبی که ممکن است طی ساخت مواد خام به‌وجود آیند (ناخالصی‌های سرباره، حفره‌های گازی، حفره‌های انقباضی، ترک‌های تنش و ...)

- عیوبی که ممکن است طی ساخت قطعات به‌وجود آیند (عیوب جوشکاری، عیوب عملیات حرارتی، ترک‌های ناشی از تنش‌های پسماند و ...)

- عیوبی که ممکن است طی مونتاژ قطعات به‌وجود آیند (مونتاژ نادرست، ترک‌های ناشی از تنش اضافی و ...)

- عیوبی که در مدت کاربری و حمل و نقل به‌وجود می‌آیند (خستگی، خوردگی، سایش، خزش، ناپایداری حرارتی و ...)

به‌کارگیری هر یک از سیستم‌های بازرسی متحمل هزینه است، اما اغلب استفاده مؤثر از روش‌های بازرسی مناسب، موجب صرفه‌جویی‌های مالی قابل ملاحظه‌ای خواهد شد. نه فقط نوع بازرسی، بلکه مراحل به‌کارگیری آن نیز مهم است. وقتی آزمایش‌های غیرمخرب، علاوه بر بازرسی عینی مورد نیاز باشد، باید اطلاعاتی از قبیل نوع جوش‌هایی که باید آزمایش شوند، درصدی از جوش‌ها که باید تحت آزمایش قرار گیرند و روش‌های آزمایش در مشخصات فنی ذکر شوند.

۷-۲ 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 به‌کیفیت 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):

۱ - روش جوشکاری (Process Selection)

۲ - آماده‌سازی مناسب لبه‌ها (Preparation)

۳ - دستورالعمل جوشکاری (Procedure)

۴ - پرسنل (Personnel)

۵ - بازرسی و تأیید جوش (Provc)

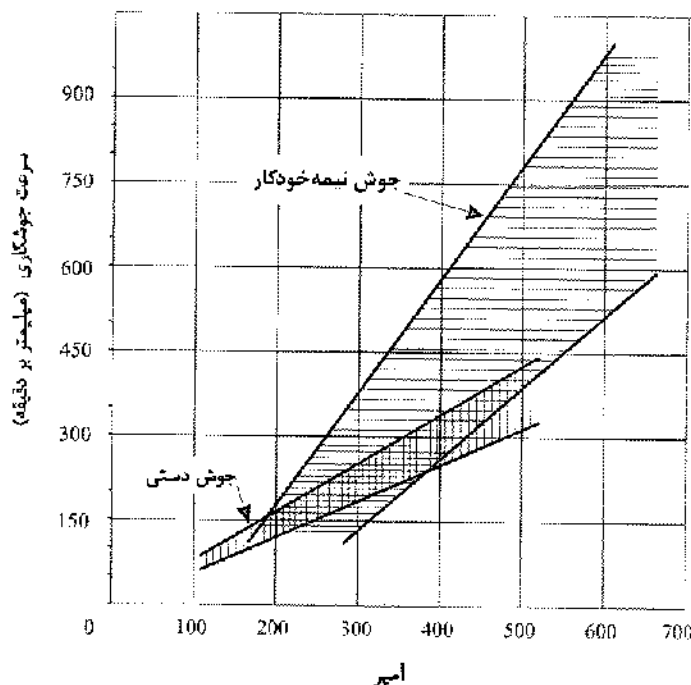
بازرسی‌های تضمین کیفیت (Q/A)

بازرسی‌های کنترل کیفیت (Q/C)

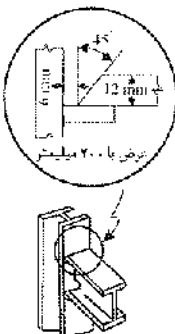
چهار عامل اول در رده بازرسی‌های تضمین کیفیت و عامل پنجم در رده بازرسی‌های کنترل کیفیت می‌باشد.

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، نیمه خودکار و یا تمام خودکار برای کار استفاده نمایند. این تصمیم‌گیری از نقطه نظر 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 به منظور انتخاب مناسب‌ترین آنها انجام شده است.



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

روش جوشکاری	الکتروود توپودری	زیرپودری	دستی	دستی
 <p>نوع الکتروود شدت جریان (آمپر) ولتاژ (ولت) قطبیت سرعت جوش (اینچ بر ساعت) زمان قوس (دقیقه) زمان تمیز کردن (دقیقه) زمان کل (دقیقه) مقایسه</p>	2.4NS.3M	780 FLUX	E6027	E6018
	۲۲۵ - ۲۵۰	۳۵۰ - ۳۷۵	۳۰۰ - ۳۵۰	۲۰۰ - ۲۲۵
	۳۰ - ۳۱	۲۰ - ۳۱		
	DC+	DC+	AC	DC+
	۱۲ - ۱۳	۱۰/۵ - ۱۱/۰	۹/۵ - ۱۰/۵	۵ - ۶
	۳/۲	۳/۸	۳/۹	۸/۳
	۱/۰	۰/۷	۱/۰	۲/۳
	۴/۲	۵/۴	۶/۹	۱۰/۶
۱/۰	۱/۱	۱/۲	۲/۵	

شکل ۷-۳ مقایسه‌ای بین سه روش جوشکاری برای انتخاب بهترین روش جوشکاری.

آماده‌سازی لبه‌ها (Preparation)

در درزهای لب به لب، آماده‌سازی لبه‌ها ایجاد تعادلی بین زاویه پخی لبه و دهانه ریشه می‌باشد. زاویه پخی زیاد، نیاز به دهانه ریشه کوچکتر و زاویه پخی کم نیز نیاز به دهانه ریشه بزرگتر دارد. نوع درز، وضعیت جوشکاری و دستورالعمل جوشکاری، در انتخاب زاویه پخی و دهانه ریشه مؤثر می‌باشند. در فصل ۱۲، درزهای پیش ارزیابی شده بر حسب روش جوشکاری آرایه شده است. برای حفظ اقتصاد جوش، زاویه پخی و دهانه ریشه باید در حداقل حفظ گردد و اندازه الکتروود نیز متناسب و سازگار با کار باشد. در شکل ۷-۴ حداکثر اندازه مجاز الکتروود طبق این نامه AWS آرایه شده است. بعد از انتخاب زاویه پخی، دهانه ریشه و اندازه الکتروود، قبل از شروع جوش‌های اصلی، باید یک سری جوش آزمایشی انجام شده و مورد آزمایش قرار گیرد.

دستورالعمل جوشکاری (WPS)^۱

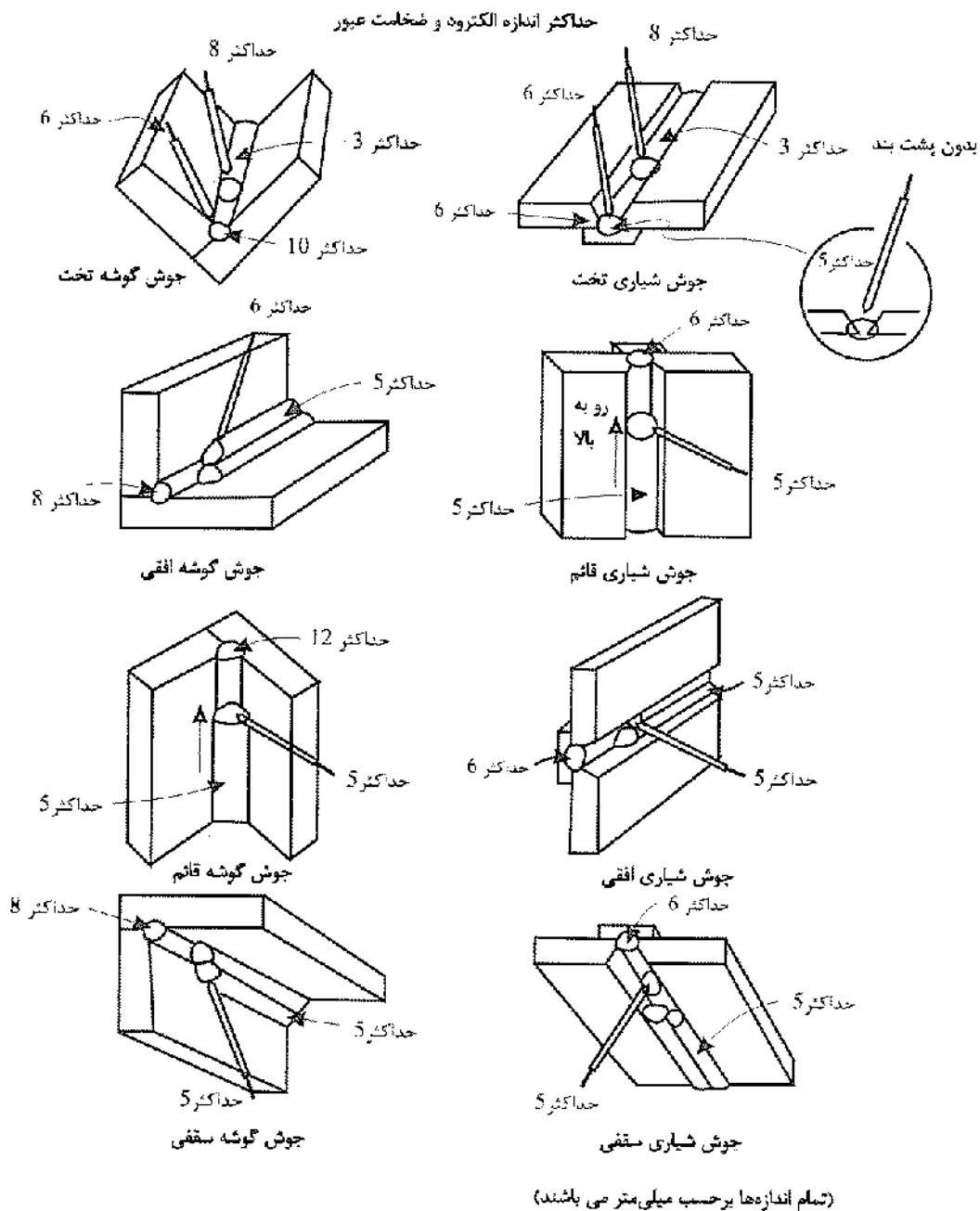
اتصالات مهم هر سازه نیاز به یک دستورالعمل جوشکاری که جزئیات آن به‌طور کامل مورد مطالعه قرار گرفته و طرح‌ریزی شده است، دارند.

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 روانداری‌های 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

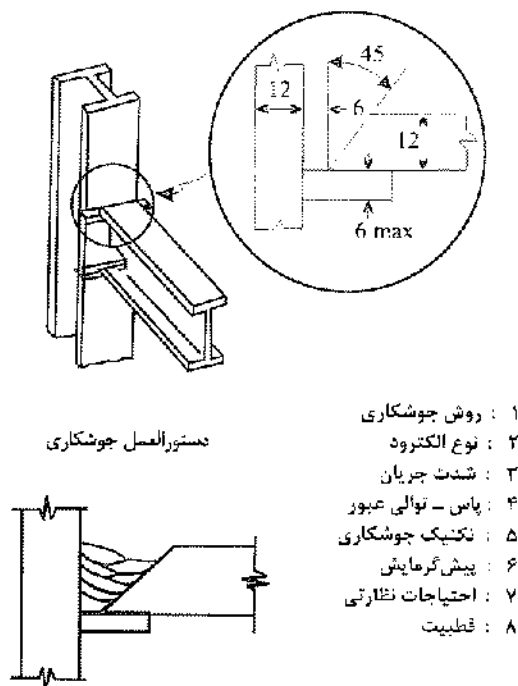
1. Welding Procedure specification

- 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.



شکل ۷ - ۴ حداکثر اندازه مجاز الکتروود طبق AWS.

در شکل ۵ - ۷ یک نمونه از دستورالعمل جوشکاری ارائه شده است. هر چند که انتخاب دستورالعمل جوشکاری مناسب به‌زمان اولیه نیاز دارد، لیکن باید به‌نتایج آن که ایجاد یکنواختی و هماهنگی بین تمام جوشکاران و جلوگیری از اعمال سلیقه‌های شخصی است، توجه داشت. در شکل ۶ - ۷ فرم استاندارد دستورالعمل جوشکاری نشان داده شده است.



۵ - ۷ مشخصات لازم برای درج در دستورالعمل جوشکاری.

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.

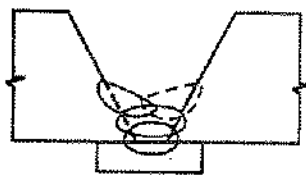
انجام این آزمایش برای تشخیص صلاحیت کافی است. لیکن اغلب این سؤال پیش می‌آید که آیا این آزمایش قابلیت جوشکار را برای انجام جوش واقعی در کارگاه نشان می‌دهد یا نه. غالباً با انجام یک آزمایش در کارگاه، فرایند تشخیص صلاحیت تمام می‌شود. همچنین اگر در مشخصات فنی انجام آزمایش پرتونگاری لازم باشد، بهتر است این 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 تمام خودکار، ممکن است صلاحیت جوشکار خیلی مهم نباشد، لیکن باید جوشکار برای کار با دستگاه مورد آزمایش قرار گیرد.

نام شرکت		شماره تجدیدنظر		تاریخ		نوسط	
شماره دستورالعمل		تأییدکننده		تاریخ			
روش جوشکاری		<input type="checkbox"/> دستی		<input type="checkbox"/> نیمه خودکار		<input type="checkbox"/> خودکار	
نوع درز		وضعیت		جوش شیماری		گوشه	
نوع: <input type="checkbox"/> یکرو <input type="checkbox"/> دورو		جوشکاری قائم: <input type="checkbox"/> سربالا <input type="checkbox"/> سرباين		خواص الکتریکی			
پشت‌بند: <input type="checkbox"/> بله <input type="checkbox"/> خیر		نوع انتقال (GXAW):		مدار کوناه <input type="checkbox"/> قطره‌ای <input type="checkbox"/> پاشیدنی <input type="checkbox"/>			
مصالح پشت‌بند		جریان: <input type="checkbox"/> AC <input type="checkbox"/> DCEP <input type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/> ضربه‌ای <input type="checkbox"/>		غیره			
بازشدگی ریشه		الکتروود تنگستن (GTAW):		اندازه			
زاویه شیار		نوع					
شیارزنی پشت: <input type="checkbox"/> بله <input type="checkbox"/> خیر <input type="checkbox"/> روشن							
فلز پایه		تکنیک جوشکاری		تعداد الکتروود			
مشخصات فنی		زنجیری <input type="checkbox"/> زنگ‌زاگ <input type="checkbox"/>		فواصل الکتروود: طولی			
نوع یا رده		یک‌پاسه <input type="checkbox"/> چندپاسه <input type="checkbox"/>		عرضی			
ضخامت		تعداد الکتروود		زاویه			
مصالح الکتروود		تکنیک جوشکاری		فاصله با قطعه کار			
مشخصات فنی AWS		زنجیری <input type="checkbox"/> زنگ‌زاگ <input type="checkbox"/>		تمیزی میان پاس			
رده طبق AWS		تعداد الکتروود					
یوش		فواصل الکتروود: طولی					
نوع پودر		عرضی					
تاریخ		زاویه					
ترکیب		فاصله با قطعه کار					
نوع روکش الکتروود		تمیزی میان پاس					
پیش‌گرمایش		عملیات پس‌گرمایش					
دمای پیش‌گرمایش، حداقل		درجه حرارت					
دمای عیان پاس، حداقل		زمان					
حداکثر							
هندسه درز		الکتروود		جریان		mm/min	
سرعت حرکت		قطر		نوع و قطبیت		ولتاژ	
عبور		رده		آمپراژ		سرعت حرکت	
۱							
۲							
۳							

شکل ۷-۶. فرم استاندارد دستورالعمل جوشکاری (W.P.S).

اگر از موارد استثنا بگذریم، یک جوشکار با جردان 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 جردان 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.

علایم 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. ضرره‌های اقتصادی این تصور نادرست در هنگام مردود شدن جوش در بازرسی نهایی روشن می‌شود.

پیش‌آزمایش

بعد از تعیین روش جوشکاری، آماده کردن لبه‌ها، دستورالعمل جوشکاری و انتخاب پرستل مناسب، باید نمونه‌های واقعی از کار منطبق با شرایط واقعی، جوش شده و مورد آزمایش‌های مخرب یا غیرمخرب قرار گیرند. انجام بعضی از این آزمایش‌ها در مورد نمونه‌های واقعی ممکن است امکان‌پذیر نباشد.

۷-۴ نظارت پیشگیرانه (PM)

به‌طور خلاصه باید به این نکته توجه نمود که اگر انجام بازرسی به‌بعد از اتمام جوش واگذار گردد، خیلی دیر خواهد بود. اگر بعد از اتمام جوش، وقوع ترک، بریدگی لبه جوش، اندازه غلط، ذوب ناقص یا سایر معایب مشاهده گردد، رفع آنها خیلی گران‌قیمت خواهد بود. باید با استفاده از اقدامات پیشگیرانه (مثلاً رعایت پنج دستورالعمل و انجام بازرسی در حین جوشکاری) از وقوع چنین معایبی جلوگیری نمود.

در یک نظارت پیشگیرانه تمام عوامل دست‌اندرکار، مسئولیت کار را بین یکدیگر تقسیم کرده و با برقراری یک نظارت سیستماتیک، در حین و بعد از اتمام جوشکاری، با بازرسی عینی، عیوب احتمالی مورد بررسی قرار گرفته و

روش‌هایی برای رفع عیوب اتخاذ می‌گردد. در این خصوص تهیه چکلیست کمک خوبی در رسیدن به هدف خواهد بود. در انتهای فصل یک چکلیست کامل ارائه گردیده است.

۷-۵ بازرسی عینی (V.I) (در ۱۵ صفحه)

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 فرایند جوشکاری را پوشش دهد.

بازرسی عینی قبل از جوشکاری

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

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

- ۵- تنظیم برنامه ثبت نتایج؛
- ۶- کنترل مصالح فلز پایه و فلز جوش؛
- ۷- کنترل پختی، هندسه، همراستایی و جفت و جوری درزها؛
- ۸- کنترل پیش‌گرمایش لازم؛
- ۹- کنترل عملیات برشکاری و تضاریس ناشی از برشکاری؛
- 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 نوز ریشه (پاس ریشه)؛
- ۲- کنترل هندسه درز جوش قبل از جوشکاری روی دیگر؛
- ۳- دمای پیش‌گرمایش و دمای پاس‌های میانی؛
- ۴- توالی جوش‌ها؛
- ۵- کنترل ظاهر جوش؛
- ۶- تمیزکاری جوش و گل جوش بین دو پاس متوالی؛
- ۷- کنترل آمپراژ، ولتاژ و سرعت حرکت دست جوشکار؛
- ۸- نوسان عرضی دست جوشکار (حداکثر ۲/۵ برابر ضخامت مفتول الکتروده).

(۱۹۵-۹۳۵)

بازرسی عینی بعد از جوشکاری

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

- ۱- ظاهر نهایی جوش؛
- ۲- اندازه نهایی جوش؛
- ۳- طول جوش؛
- ۴- دقت‌های ابعادی؛
- ۵- میزان اعوجاج؛
- ۶- اصلاحات حرارتی؛
- ۷- عیوب ظاهری شامل:
 - ۱- ۷- تخلخل ظاهری (تخلخل سوزنی)
 - ۲- ۷- عدم امتزاج کامل
 - ۳- ۷- عدم نفوذ کامل جوش در فلز پایه

(ظردار ۹۳-۵)

۷. بازرسی جوشی - بازرسی چشمی (عینی)

۴-۷ بریدگی یزی جوش

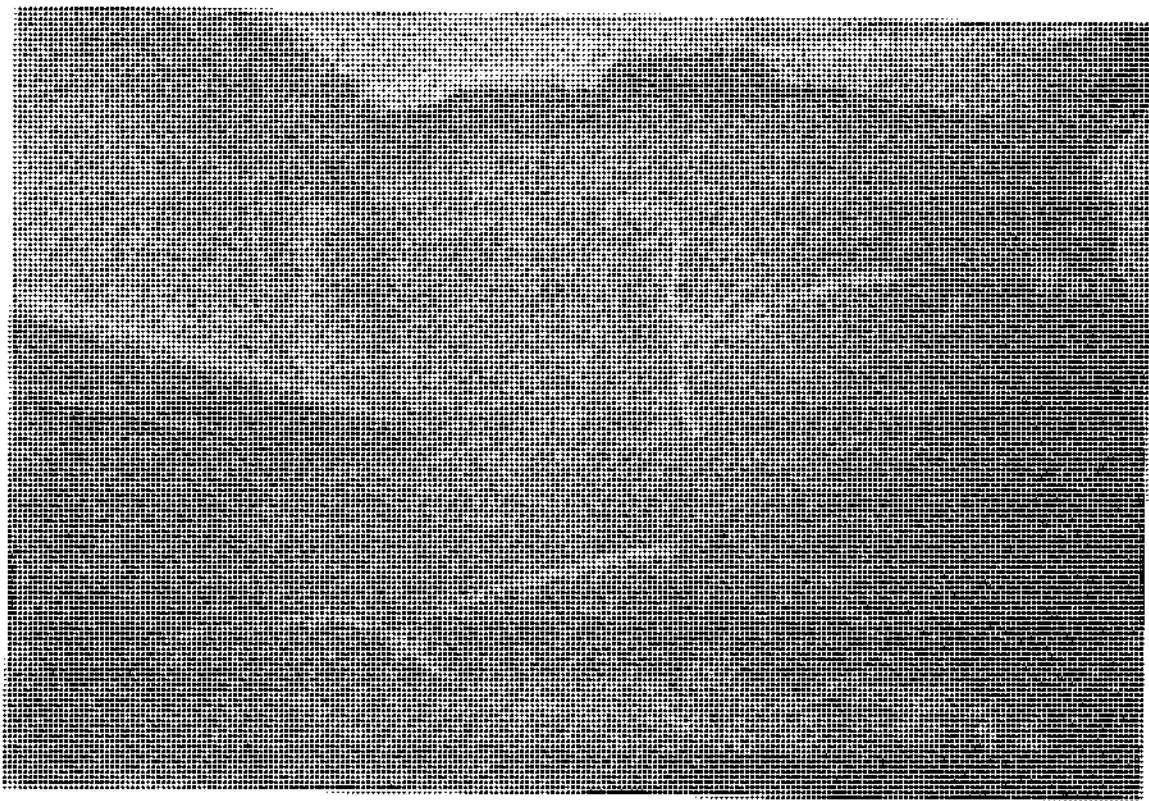
۵-۷ لوجه

۶-۷ ترک‌های سطحی

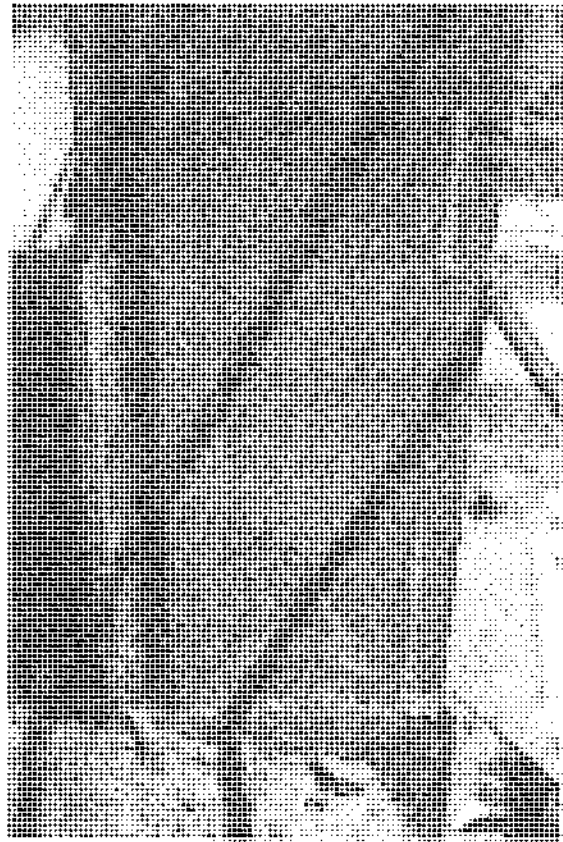
۷-۷ گرده بیش از حد جوش

۸- عملیات تنش‌زدایی

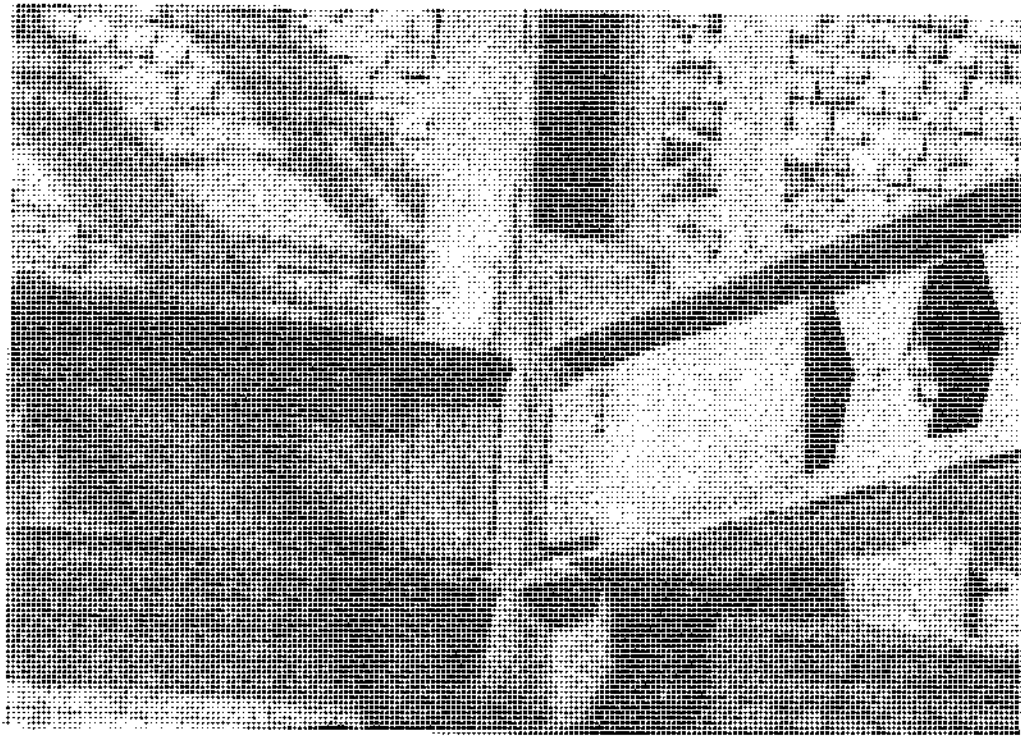
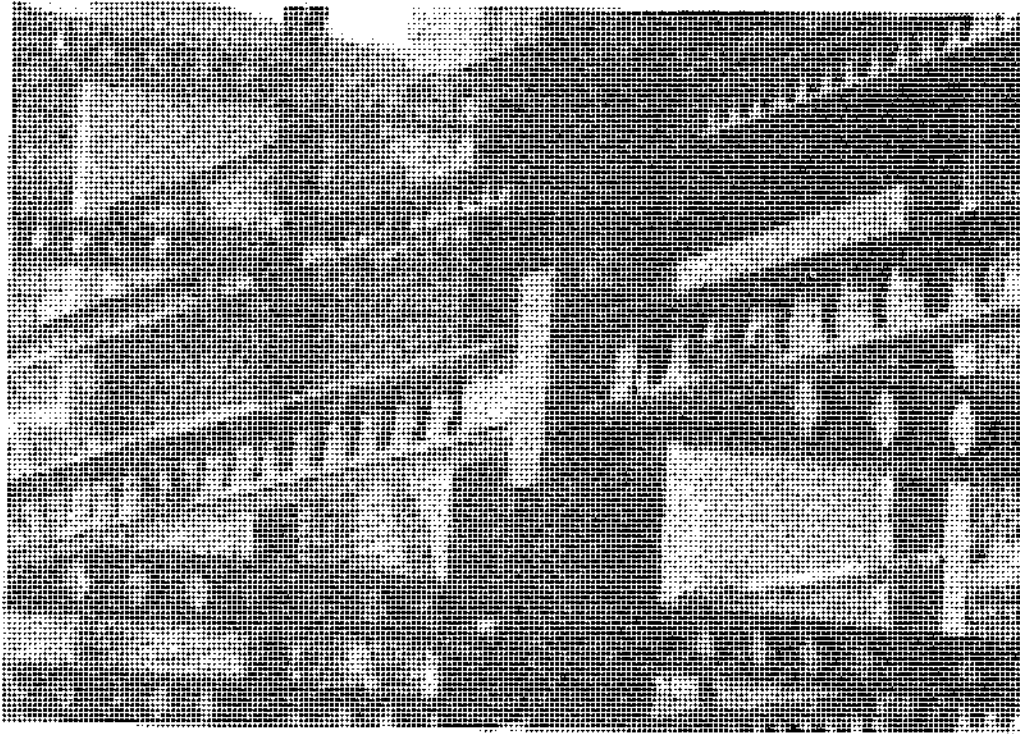
بازرس جوش باید مجهز به ابزاری شامل اندازه‌گیر جوش^۲، متر، کولیس، چراغ‌قوه و ذره‌بین باشد. در شکل ۷-۸ نمونه‌هایی از جوش‌های مردود شده و در شکل ۷-۹ و ۷-۱۰ نمونه‌هایی از جوش‌های قبول شده در بازرسی عینی نشان داده شده است.



شکل ۷-۸ نمونه جوش‌های مردود شده در بازرسی عینی.



شکل ۷-۸ نمونه جوش‌های مردود شده در بازرسی عینی (ادامه).



شکل ۷-۹ نمونه جوش‌های پذیرفته شده در بازرسی عینی.



شکل ۷-۱۰ نمونه جوش‌های پدیدرفته شده در بازرسی عینی.

۷-۵-۲ وظایف عمده بازرسی جوش

عمده مسئولیت‌های بازرسی 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 پیتز پذیرفته نباشند.
- ۱۲ - تهیه گزارش‌های بازرسی چشمی، عدم تطابق‌ها، چک‌لیست‌های کنترل روزانه و پیگیری عیوب
- ۱۳ - تفسیر نقشه‌های جوشکاری و مشخصات
- ۱۴ - بررسی سفارش خرید به منظور 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 مینا 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 بازرسی جوش دارای شخصیت حرفه‌ای با توانایی و درک خوب باشد، بازرسی 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 بازرسی نباید خود را مستحق امتیازات ویژه بداند.

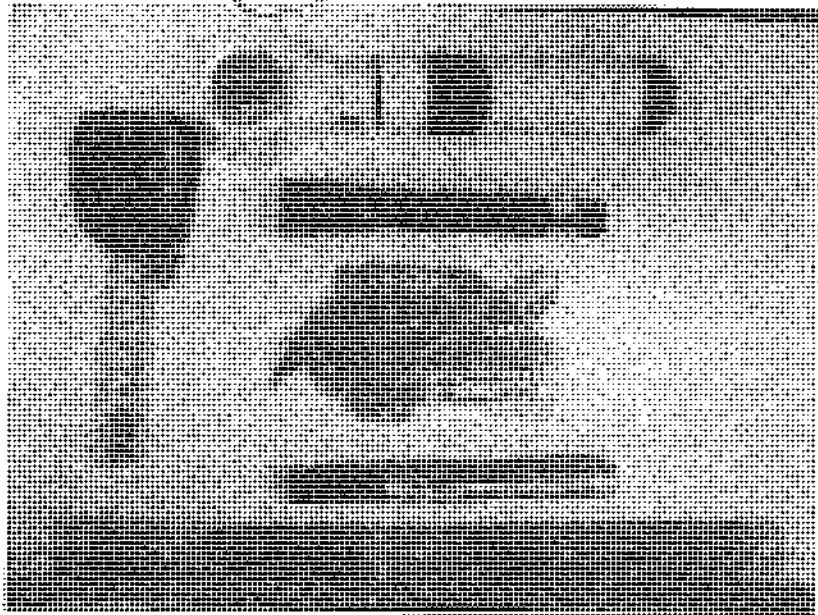
بازرس باید در مورد کارگاه ساخت بی طرف باشد، بی معطلی تصمیم بگیرد، بدون آنکه تحت تأثیر نظر دیگران واقع شود و با آنکا به حقایق تصمیم بگیرد و تحت تأثیر عقاید مختلف، تصمیم قبلی خود را به آسانی عوض نکند.

۷-۵-۲ 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 می‌گیرند، به شرح زیر معرفی می‌شوند:

- ۱- وسایل اندازه‌گیری خطی
- ۲- آمپر متر
- ۳- دماسنج رنگی (گیج حرارتی)
- ۴- دماسنج سطحی
- ۵- گیج‌های جوش (گرده‌سنج جوش)
- ۶- چراغ‌ها و آینه‌های بازرسی
- ۷- متر نواری
- ۸- کولیس
- ۹- ذره بین با قدرت بزرگ‌نمایی ۲ تا ۱۰ برابر
- ۱۰- وسیله‌ای برای نشانه‌گذاری جوش
- ۱۱- برای بازرسی چشمی جوش‌هایی با اشکات حساس، مانند آینه‌ها، لوله‌ها، اسکوپ‌ها، فیبرهای نوری و دوربین‌ها، دوربین‌های مستقیم است استفاده شود.

خود را ۶ تا ۷

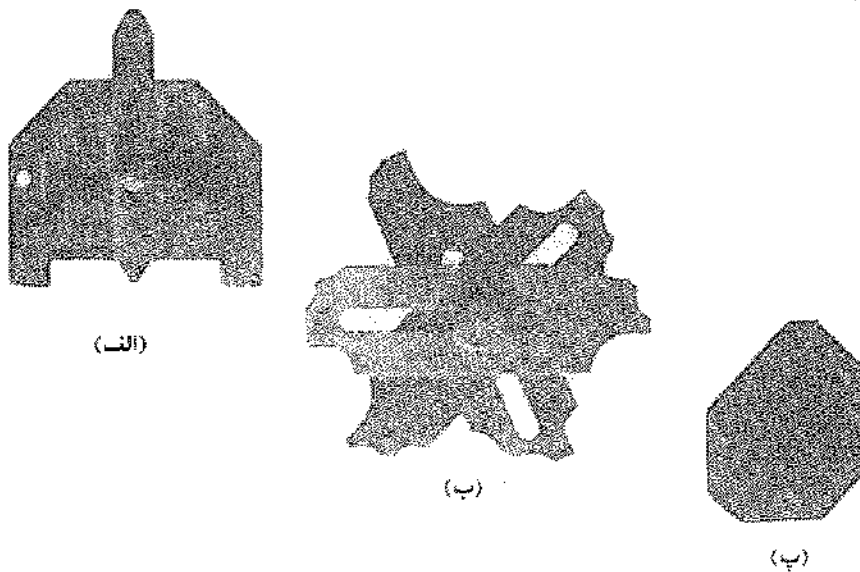


شکل ۷-۱۱ وسایل بازرسی چشمی جوش.

۷ - ۵ - ۴ اندازه‌گیری جوش

اندازه‌تادرست جوش و هندسه غلط، معایبی هستند که با بازرسی‌های عینی و به‌کمک وسایل اندازه‌گیری جوش، آشکار می‌شوند. وسایل اندازه‌گیری جوش ابزاری هستند که جوشکار توسط آنها می‌تواند از فرارگیری ابعاد جوش تکمیل شده در محدوده مشخص طرح هندسی، اطمینان حاصل کند. شکل ۷ - ۱۲ سه نوع از این وسایل را نشان می‌دهد: (الف) دستگاه ترکیبی اندازه‌گیری جوش گوشه و یا شیار؛ (ب) دستگاه اندازه‌گیری جوش گوشه؛ (پ) نوع دومی از دستگاه اندازه‌گیری جوش گوشه که در کارگاه ساخته می‌تود.

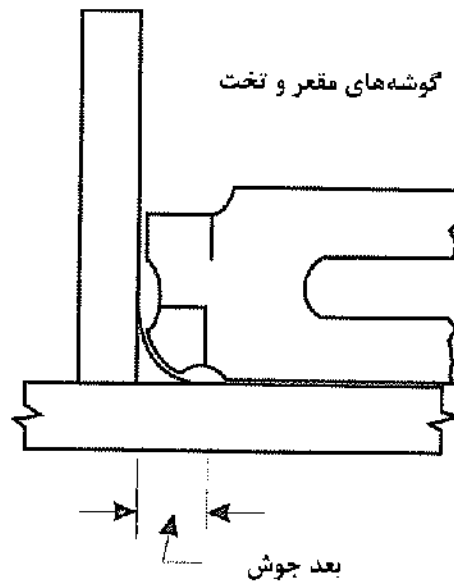
شکل‌های ۷ - ۱۳ و ۷ - ۱۴ روش کاربرد دستگاه اندازه‌گیری جوش گوشه را که در شکل ۷ - ۱۲ - ب معرفی شد، شرح می‌دهند. شکل ۷ - ۱۵ روش کاربرد دستگاه کارگاهی اندازه‌گیری جوش گوشه معرفی شده در شکل ۷ - ۱۲ - پ را شرح می‌دهد.



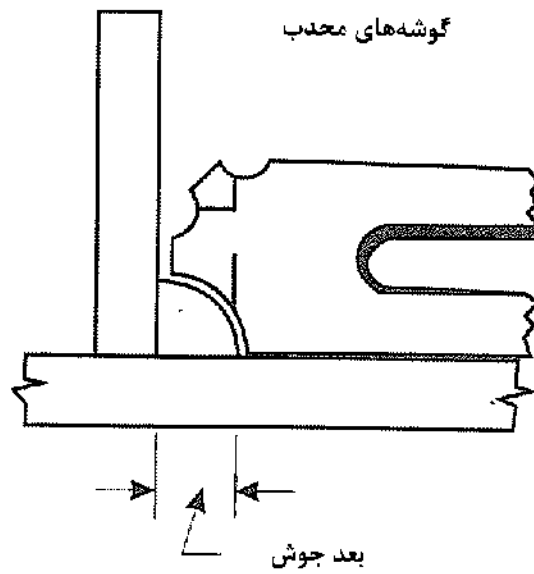
شکل ۷ - ۱۲ سه نوع از وسایل اندازه‌گیری جوش که عموماً توسط جوشکاران و بازرسان برای تعیین اندازه جوش به‌کار می‌روند.

آزمایش مناسب در عمل

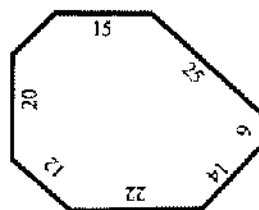
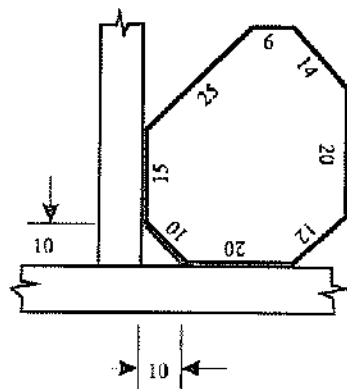
جوشکاری نیازمند بازرسی‌های عینی به‌طور پیوسته در خلال پیشرفت کار می‌باشد. جوش تکمیل شده باید از لحاظ صحت ابعاد و طرح جوش، معایب سطحی و تابیدگی و اعوجاج قطعه جوش‌شده، مورد آزمایش و اندازه‌گیری دقیق قرار گیرد. توجه خاصی باید بر روی چاله‌های پر نشده جوش، شروع و توقف ناقص جوشکاری، ترک‌های عمقی و ترک‌های موجود در لبه (کنج) جوش اعمال شود. جدول‌های ۷ - ۱ و ۷ - ۲ روش‌های مناسب بازرسی و آزمایش‌های تعیین معایب فلز جوش و پایه را توصیف می‌کنند.



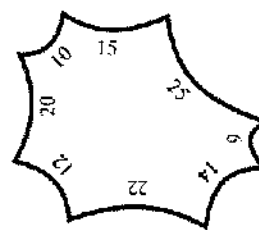
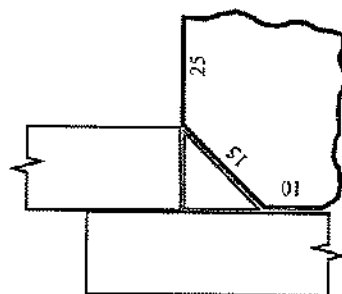
شکل ۷-۱۳ روش کاربرد ابزار اندازه‌گیری جوش گوشه جهت تعیین بعد جوش گوشه تخت و مقعر.



شکل ۷-۱۴ روش کاربرد ابزار اندازه‌گیری جوش گوشه جهت تعیین بعد جوش گوشه محدب.



(الف) مناسب برای رویه تخت



(ب) مناسب برای رویه محدب

شکل ۷-۱۵ روش کاربرد دستگاه اندازه‌گیری کارگاهی جوش گوشه.

اصول ترمو سونو ۹۵

جدول ۷-۱ روش‌های ارزیابی برای جوش‌های گوشه و شیار

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

۱ - از ابزار اندازه‌گیری جوش گوشه استفاده کنید.

۲ - آزمایش‌های مخرب وجود ترک‌های داخلی را آشکار خواهد کرد.

۳ - آزمایش پرتونگاری نوع ترک‌های 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 شکل پذیری سختی نامناسب شکست ضربه‌ای ترکیب ساختمانی نامناسب مقاومت خوردگی کم	کلیه آزمایش‌های کشش فلز جوش، کشش عرضی، برش جوش گونه، 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

۷-۶ ضوابط پذیرش بازرسی چشمی (عینی) جوش

پس از آشنایی با ضوابط ارزیابی و بازرسی جوش و همچنین آشنایی با عیوب جوشکاری این سؤال پیش می‌آید که پس از بازرسی، تحت چه شرایطی می‌توان جوش را قابل قبول دانست. همان‌طور که در ساخت اعضای ساختمانی ضوابطی برای رواداری‌های هندسی وجود دارد، وجود هر عیب در جوش به معنای مردود اعلام نمودن آن نیست و تحت رواداری‌هایی می‌توان عیوبی را در جوش پذیرفت.

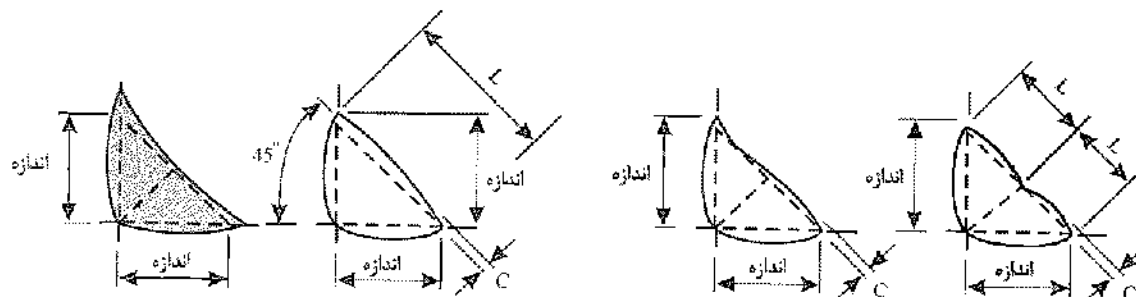
جوشی تحت آزمایش‌های غیرمخرب قرار می‌گیرد که در بازرسی‌های عینی مورد پذیرش قرار گرفته باشد. شرایط

پذیرش AWS به شرح زیر می‌باشد:

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 به اندازه 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 به مقدار ۱/۵ میلی‌متر کوچکتر از اندازه نقشه باشد. در جوش گوشه متصل کننده بال به جان، در طولی معادل دو برابر عرض بال از انتهای تیر، هیچ‌گونه کمبود اندازه مجاز نیست.
- ۸ - در درزهای لب به لب 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 به محض 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.

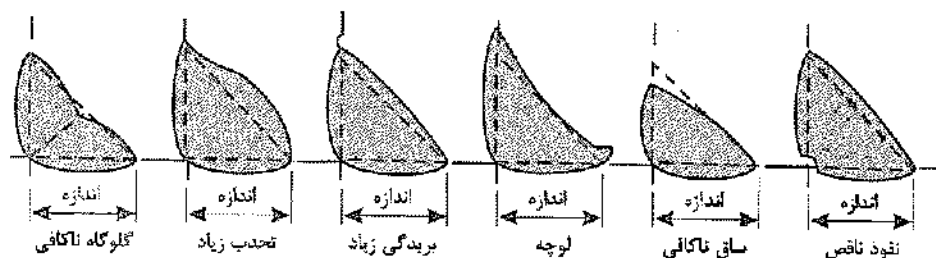


(الف) مقطع مطلوب برای جوش گوشه

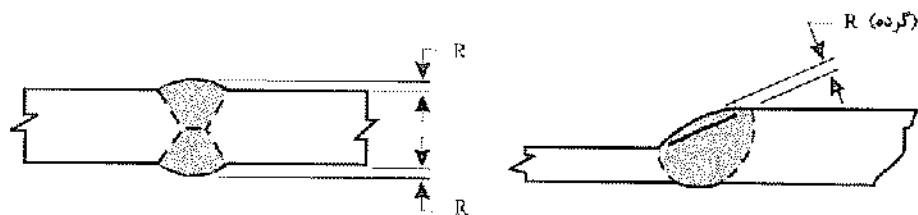
(ب) مقطع قابل پذیرش جوش گوشه

توجه: میزان تحدب C نباید از مقدار زیر تجاوز نماید:

اندازه وتر (L)	حداکثر تحدب (mm)
$L \geq 8 \text{ mm}$	1.5 mm
$8 \text{ mm} < L < 25 \text{ mm}$	3 mm
$L > 25 \text{ mm}$	5 mm



(ب) مقاطع غیر قابل پذیرش جوش گوشه

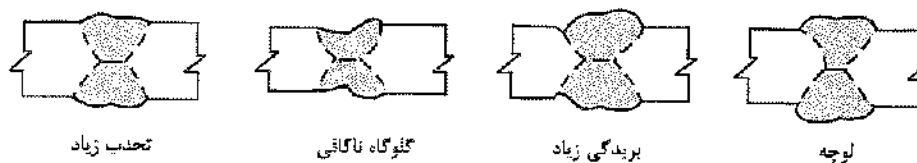


درز لب به لب (ورق یا ضخامت یکسان)

درز لب به لب (دو ورق غیر هم ضخامت)

توجه: میزان گرده جوش نباید بیش از 3 میلی متر باشد.

(ت) مقاطع جوش های شیاری قابل پذیرش در درزهای لب به لب



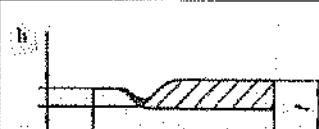

(ث) مقاطع غیر قابل پذیرش جوش شیاری در درزهای لب به لب

نکته: کلیه جوش‌ها باید شرایط پذیرش در بازرسی چشمی را مطابق بخش ۶-۷ برآورده نمایند.

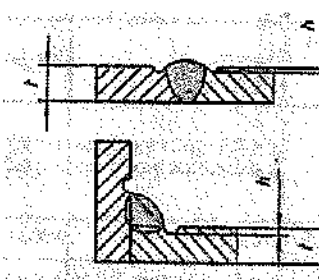

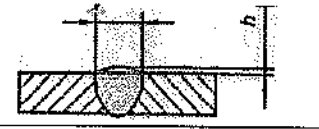
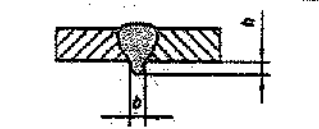
شکل ۷-۱۶ مقطع قابل پذیرش جوش‌ها.

۷ - ۷ رواداری‌های عیوب ظاهری جوش در بازرسی چشمی (عینی) طبق ISO 5817

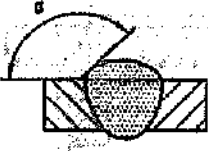
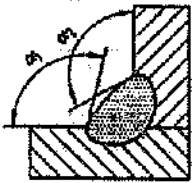
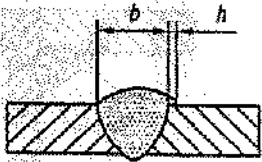
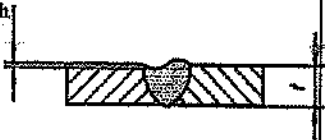
جدول ۷ - ۳ رواداری‌های عیوب جوش مطابق ISO 5817

رده پذیرش			ضخامت mm	توضیحات	نوع عیب	مرجع در ISO	ردیف
D	C	B					
۱ - عیوب سطحی							
مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5	-	ترک	100	1.1
مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5	-	ترک ستاره‌ای	104	1.2
$d \leq 0.3s$ $d \leq 0.3a$	مجاز نیست	مجاز نیست	0.5 تا 3	بزرگترین اندازه یک تخلخل منفرد برای: - جوش لب به لب - جوش گوشه	تخلخل سطحی	2017	1.3
$d \leq 0.3s$, max. 3 mm $d \leq 0.3a$, max. 3 mm	$d \leq 0.2s$, max. 2 mm $d \leq 0.2a$, max. 2 mm	مجاز نیست	> 3	بزرگترین اندازه یک تخلخل منفرد برای: - جوش لب به لب - جوش گوشه			
$h \leq 0.2t$	مجاز نیست	مجاز نیست	0.5 تا 3		تخلخل انتهایی چاله جوش	2025	1.4
$h \leq 0.2t$ max. 2 mm	$h \leq 0.1t$ max. 1 mm	مجاز نیست	> 3				
مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5	-	ذوب ناقص دیواره	401	1.5
مجاز است	مجاز است	مجاز نیست		فقط با آزمایشات میکروسکوپی فابن رویت است	ذوب ناقص میکروسکوپی		
عیوب کوچک $d \leq 0.2t$, max. 2 mm	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5	فقط برای جوش‌های لب به لب یک‌طرفه	نفوذ ناقص در ریشه جوش	4021	1.6
							

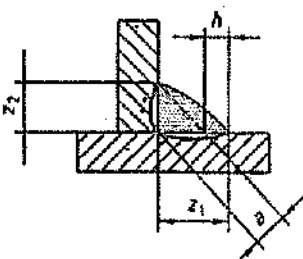
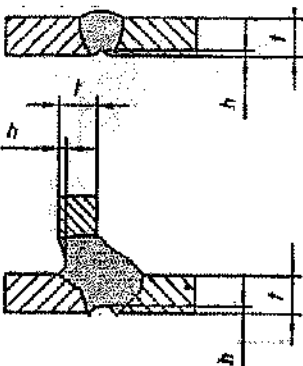
جدول ۷-۳ روانداری‌های عیوب جوش مطابق ISO 5817 (ادامه)

رده پذیرش			ضخامت mm	توضیحات	نوع عیب	مرجع در ISO	ردیف
D	C	B					
عیوب کوچک $h \leq 0.2t$	عیوب کوچک $h \leq 0.1t$	مجاز نیست	0.5 تا 3 مجاز نیست	<p>باید سطح انتقال به صورت نرم و نه تیز باشد. این عیب به صورت یک عیب منظم دیده شده است.</p> 	<p>بریدگی کناره جوش ممتد بریدگی کناره جوش منقطع</p>	5011 5012	1.7
$h \leq 0.2t$ max, i mm	$h \leq 0.1t$ max, 0.5mm	$h \leq 0.05t$ max, 0.5mm	>3				
$h \leq 0.2mm$ +0.1t	عیوب کوچک $h \leq 0.1t$	مجاز نیست	0.5 تا 3	<p>باید محل انتقال به صورت نرم و نه تیز باشد.</p> 	<p>کفیدگی جوش در جوش شیار</p>	5013	1.8
عیوب کوچک $h \leq 0.2t$, max, 2mm	عیوب کوچک $h \leq 0.1t$, max, 1mm	عیوب کوچک $h \leq 0.05t$, max, 0.5mm	>3				
$h \leq 1mm + 0.25b$ max, 10mm	$h \leq 1mm + 0.15b$ max, 7mm	$h \leq 1mm + 0.1b$ max, 5mm	≥ 0.5	<p>باید محل انتقال به صورت نرم و نه تیز باشد.</p> 	<p>گرده جوش اضافی در جوش‌های نب پهلب</p>	502	1.9
$h \leq 1mm + 0.25b$ max, 5mm	$h \leq 1mm + 0.15b$ max, 4mm	$h \leq 1mm + 0.1b$ max, 3mm	≥ 0.5				
$h \leq 1mm + 1.0b$ max, 5mm	$h \leq 1mm + 1.0b$ max, 5mm	$h \leq 1mm + 0.2b$ max, 3mm	>3		<p>نفوذ اضافی جوش</p>	504	1.11
$h \leq 1mm + 0.6b$	$h \leq 1mm + 0.3b$	$h \leq 1mm + 0.1b$	0.5 تا 3				

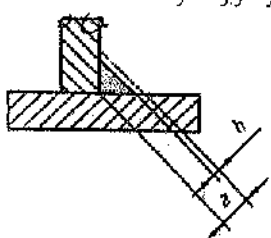
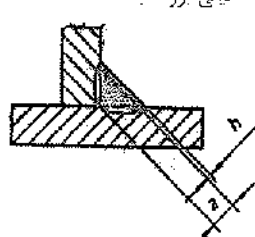
جدول ۷ - ۳ رواداری‌های عیوب جوش مطابق ISO 5817 (ادامه)

رده پذیرش			ضخامت mm	توضیحات	نوع عیب	مرجع در ISO	ردیف
D	C	B					
$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$	$\alpha \geq 150^\circ$	≥ 0.5	جوش‌های لب به لب 	پنجه جوش نامناسب	505	1.12
$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$	$\alpha \geq 150^\circ$	≥ 0.5	جوش‌های گوشه  $\alpha_1 \geq a$ $\alpha_2 \geq a$			
$h \leq 0.2b$	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5		روپهم افتادگی جوش	506	1.13
عیب کوچک $h \leq 0.25t$	عیب کوچک $h \leq 0.1t$	مجاز نیست	$0.5t \leq 3$	باید محل انتقال به صورت نرم و نه تیز باشد. 	عدم پشردگی سطح جوش‌های شیار	509 511	1.14
عیوب کوچک $h \leq 0.25t$ max, 2.0mm	عیوب کوچک $h \leq 0.1t$ max, 1.0mm	عیوب کوچک $h \leq 0.05t$ max, 0.5mm	> 3				
مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5	-	سوختی (burn through)	510	1.15

جدول ۷-۳ رواداری‌های عیوب جوش مطابق ISO 5817 (ادامه)

رده پذیرش			ضخامت mm	توضیحات	نوع عیب	مرجع در ISO	ردیف
D	C	B					
$h \leq 2\text{mm} + 0.2a$	$h \leq 2\text{mm} + 0.15a$	$h \leq 2\text{mm} + 0.15a$	≥ 0.5	در مواردی که تقارن جوش گوشه تعیین نشده باشد. 	ساق جوش نامساوی	512	1.16
$h < 2\text{mm} + 0.1t$	عیوب کوچک $h \leq 0.1t$	مجاز نیست	0.5 تا 3	باید سطح انتقال نرم و نه تیر باشد. 	تغیر ریشه جوش	515	1.17
عیوب کوچک $h \leq 0.2t$ max. 2mm	عیوب کوچک $h \leq 0.1t$ max. 1mm	عیوب کوچک $h < 0.05t$ max. 0.5mm	> 3				
به‌طور محدود مجاز است.	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5	شکن‌گیری استنچی در ریشه جوش که به‌علت حباب‌زایی در فلز جوش در لحظه انجماد جوش آن اتفاق می‌افتد.	تخلخل ریشه جوش	516	1.18

جدول ۷-۳ رواداری‌های عیوب جوش مطابق ISO 5817 (ادامه)

رده پذیرش			l mm	توضیحات	نوع عیب	مرجع در ISO	ردیف
D	C	B					
مجاز است، و محدوده آن وابسته به نوع عیب به وجود آمده در اثر شروع مجدد نامناسب می‌باشد.	مجاز نیست	مجاز نیست	>0.5	-	شروع مجدد نامناسب	517	1.19
عیوب کوچک $h \leq 0.2mm + 0.1a$	عیوب کوچک $h \leq 0.2mm$	مجاز نیست	$0.5 \leq l \leq 3$	برای فرایندهایی با مقیاس عمق نفوذ بیشتر کاربرد ندارد.			
عیوب کوچک $h \leq 0.5mm + 0.1a$, max. 2mm	عیوب کوچک $h \leq 0.3mm + 0.1a$, max. 1mm	مجاز نیست	>3		گلوی جوش ناگافی	5213	1.20
نامحدود	$h \leq 1mm + 0.2a$ max. 4mm	$h < 1mm + 1.5a$, max. 3mm	≥ 0.5	ضخامت گلوی جوش واقعی جوش گوشه خیلی بزرگ باشد. 	گلوی جوش اضافی	5214	1.21
مجاز است، به شرطی که بر خواص فلز مینا تأثیری نداشته باشد.	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5	-	لتر قوس (لکه قوس)	601	1.22
حد پذیرش بستگی به کاربرد دارد مانند نوع مواد، حفاظت از خوردگی و ...			≥ 0.5	-	پاشش جوش	602	1.23

۷-۸ چک‌لیست بازرسی چشمی (عینی)

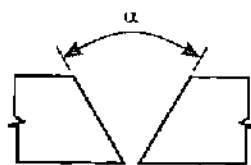
نکاتی که قبل، حین و بعد از جوشکاری باید مورد بازرسی عینی قرار گیرند:

●●● کنترل قبل از جوشکاری

●●● کنترل در حین جوشکاری

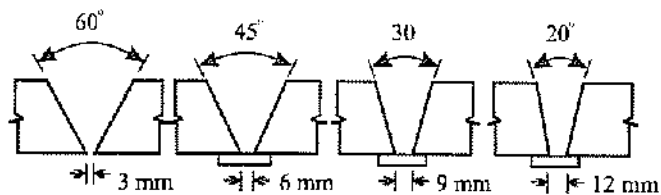
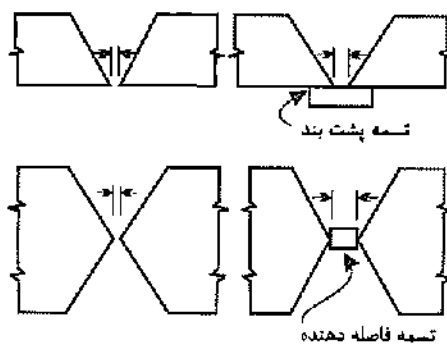
●●● کنترل بعد از جوشکاری

۱- زاویه پخی (Included angle) ●●●



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

۲- دهانه ریشه (Root opening) ●●●

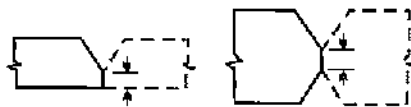


در صورت عدم استفاده از تسمه پشت‌بند، امکان سوختن ریشه در عبور (پانس) اول وجود دارد. در نتیجه، در این حالت دهانه ریشه قدری کاهش داده می‌شود. در صورتی که امکان سنگ زدن ریشه از پشت کار وجود داشته باشد،

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.

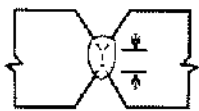
تذکر: برای دستیابی به ذوب کامل ریشه و لبه‌ها، زاویه پخی و دهانه ریشه، اثر عکس روی یکدیگر دارند. یعنی هر چه زاویه پخی کم باشد، باید دهانه ریشه افزایش داده شود و هر چه دهانه ریشه کم باشد، باید زاویه پخی افزایش داده شود. در عمل باید به کمک آزمون و خطا، مطلوب‌ترین حالت تعیین شود.

۳ - ضخامت ریشه (Root face) ○○○

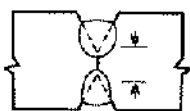


(اول سنگ زنی ۱۵ سانت)

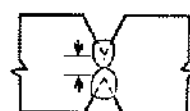
رعایت ضخامت ریشه به منظور جلوگیری از سوختن ریشه می‌باشد و معمولاً در جوش‌های خودکار زیرپودری مفرور می‌گردد. ضخامت ریشه دارای یک مقدار حداقل و یک مقدار حداکثر است و در صورت عدم رعایت مقدار حداقل، ریشه جوش می‌سوزد و در صورت عدم رعایت مقدار حداکثر، ذوب ریشه کامل نخواهد بود.



(پ) ضخامت ریشه مناسب
باعث نفوذ مناسب می‌شود

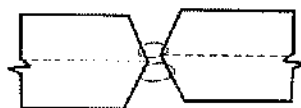


(ب) ضخامت ریشه زیاد باعث
عدم نفوذ کامل می‌شود



(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) ○○○

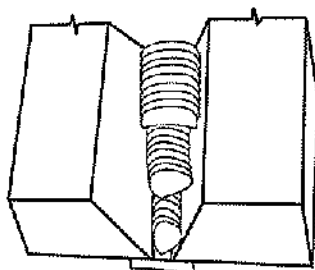
نوع و اندازه الکترود باید برای نوع فلز مورد جوش، وضعیت جوشکاری، وظیفه جوش، ضخامت ورق، اندازه درز و غیره مناسب باشد.

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، به طوری که با جوش اصلی تداخلی نداشته باشند. در ورق‌های ضخیم، برای اجرای خال جوش‌ها باید از الکترودهای کم‌هیدروژن استفاده نمود.

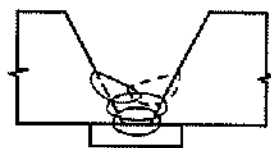
۹ – ذوب خوب (Good Fusion) ○○○

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

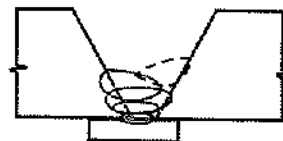
۱۰ – پیش‌گرمایش و درجه حرارت پاس‌های میانی**○○○ (Proper Preheat and interpass temperature)**

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) ○○○



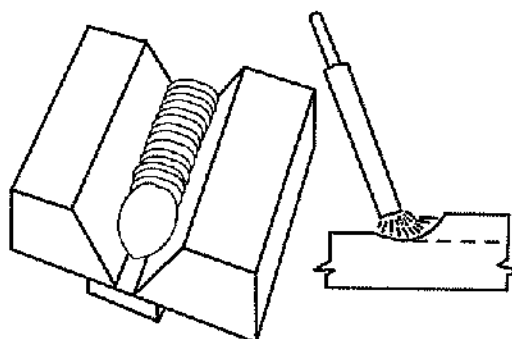
(الف) هیچ مشکلی برای عبور
بعدی وجود ندارد



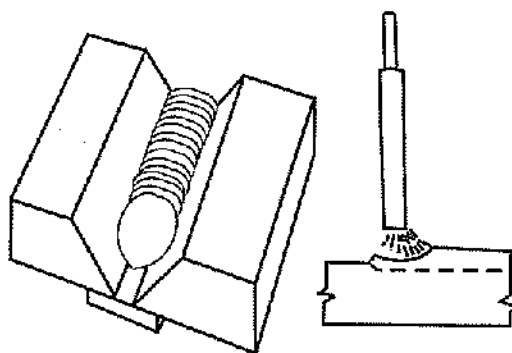
(ب) به علت فضای محدود امکان
تولید حفرات هوا وجود دارد

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) ○○○

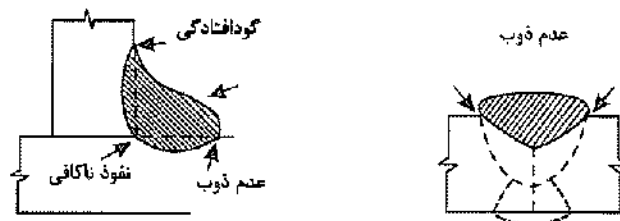


اگر سرعت حرکت خیلی آهسته باشد، فلز جوش ذوب شده و گِل جوشکاری، به سمت جلوی الکتروود فرار کرده و شروع به سرد شدن می‌نمایند. در نتیجه جوش اصلی که به‌روی این قسمت اجرا می‌گردد، شانس نفوذ کافی به‌ریشه را از دست می‌دهد.

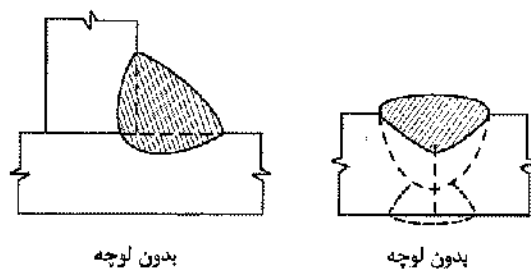


اگر سرعت حرکت افزایش داده شود، امکان فرار مواد مذاب به‌جلوی الکتروود وجود نداشته و نفوذ کامل صورت می‌گیرد.

۱۳ - لوچه (شره) جوش (Over lap) ○○○

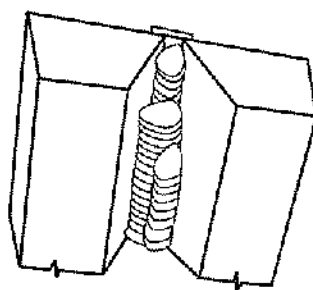


اگر سرعت نوک الکتروود خیلی آهسته باشد، هم مقادیر زیادی از فلز جوش در حال رسوب، از لبه‌های نواری جوش به سمت بیرون سرریز (شره) کرده و هم جوشی کامل به وجود نمی‌آید. عمل سرریز به سهولت در حین جوشکاری قابل مشاهده بوده و روش اصلاح آن افزایش سرعت جوشکاری است (شکل زیر).

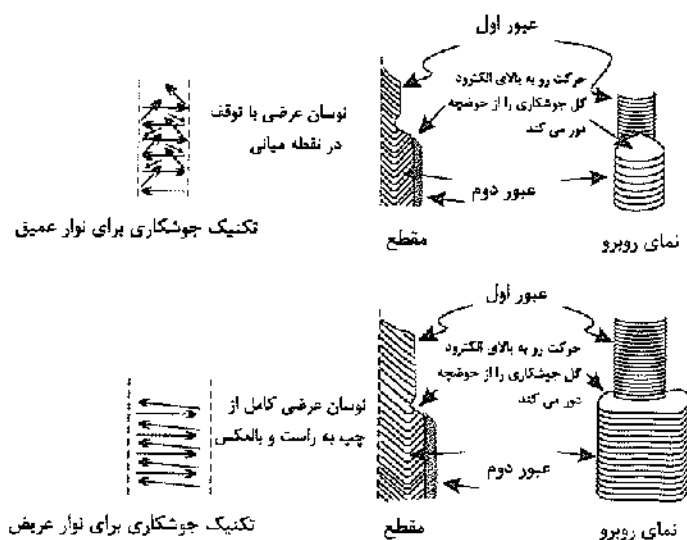


۱۴ - غلتاندن حوضچه مذاب نوک الکتروود در جوش‌های سربالا (قائم)

○○○ (Tilt of crater in vertical welding)



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



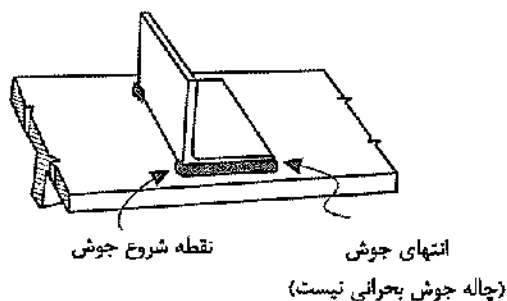
۱۵ - چاله انتهای جوش (Filled crater)

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 الکتروود، چاله انتهای جوش قبلی را با جوش پر 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 پر شود.

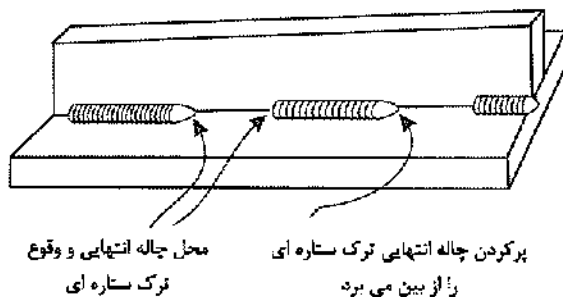
مثال: در جوش گوشه ورق فوقانی اتصال صلب به بال تیر، در شروع و ختم جوش باید دقیق بود تا چاله ایجاد نشود.

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.



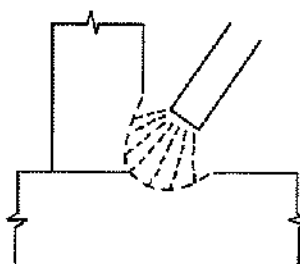
راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

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. مکت جوشکار در انتها و کمی برگشت دست به عقب مشکل را حل می‌نماید.

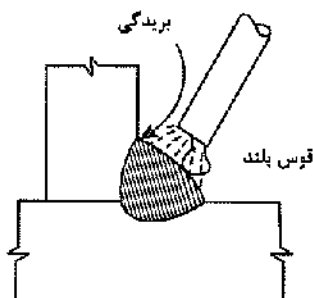


۱۶ - بریدگی لبه‌های جوش (Under cut) ○○○

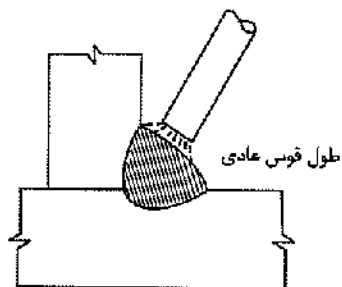
الف: قوس الکتریک قادر به ذوب قسمت‌هایی از فلز پایه می‌باشد.



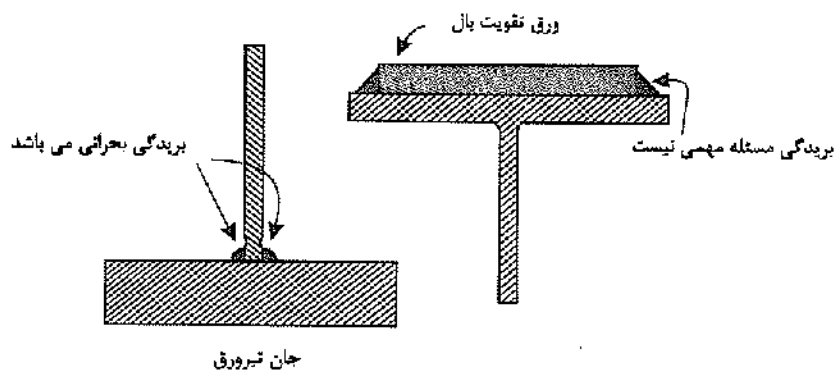
ب: اگر طول قوس بلند باشد (فاصله نوک الکترود تا سطح جوش)، مصالح جوش نمی‌تواند تمام فضای ذوب شده را پر کند، در نتیجه در لبه جوش گودافتادگی یا بریدگی به وجود می‌آید.



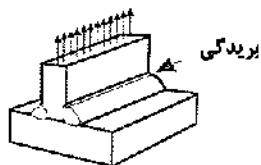
پ: با کاهش طول قوس (نزدیک کردن نوک الکتروود به سطح جوش)، مصالح جوش تمام فضای ذوب شده را پر می‌کند.



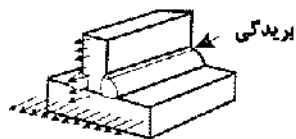
با توجه به اینکه بریدگی به راحتی با اصلاح دستورالعمل جوشکاری قابل اصلاح است، وقوع آن قابل پذیرش نیست. اما این سؤال پیش می‌آید که بریدگی در چه مواردی مضر بوده و باید اصلاح گردد.
 ۱ - اگر بریدگی باعث کاهش عمده در ضخامت یا سطح مقطع گردد، وقوع آن مردود است.



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

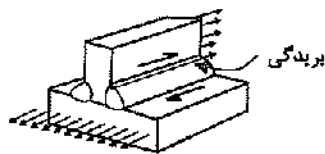


در شکل رو به رو بریدگی زیان بار است.

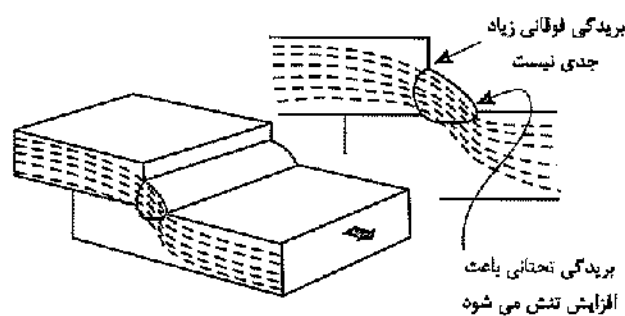


در شکل رو به رو بریدگی خیلی مضر نیست.

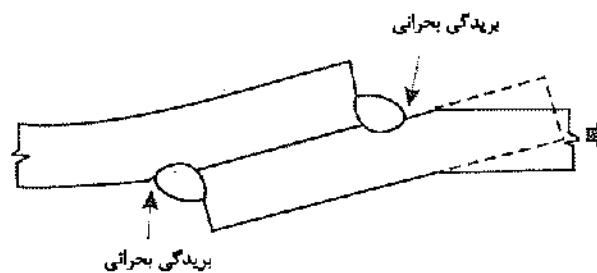
در شکل رو به‌رو نیز تنش برشی به‌موازات بریدگی عمل نموده و زیان‌بار نخواهد بود.



طبق آیین‌نامه AWS، در حالتی که نیرو به‌طور عرضی بر بریدگی اعمال می‌گردد، بریدگی تا عمق $0/25$ میلی‌متر و در صورتی که نیرو به‌موازات بریدگی باشد، تا عمق $0/8$ میلی‌متر قابل قبول است. به‌عنوان آخرین مطلب، توجه گردد که بریدگی تحتانی باعث افزایش تنش می‌شود.

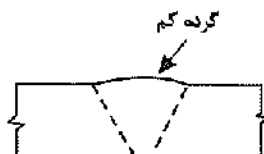


هر گونه برون‌محوری، باعث ایجاد تنش خمشی در بریدگی تحتانی می‌گردد.



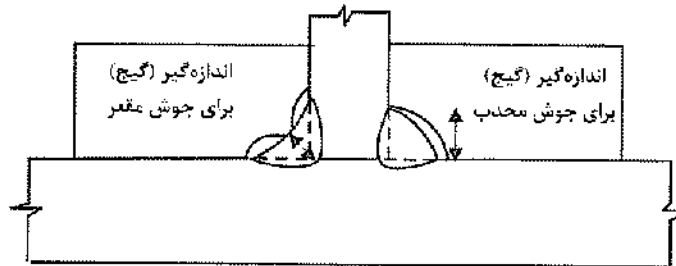
۱۷ - گرده در جوش‌های شیاری (Slight Reinforcement on Groove Welds) ○○○

وجود گرده تا $1/5$ میلی‌متر در جوش‌های شیاری قابل پذیرش است. مقادیر بیشتر باعث افزایش مخارج و کاهش مقاومت خستگی می‌گردد.



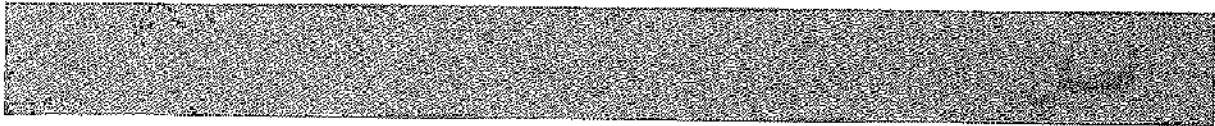
۱۸ - اندازه جوش گوشه (Full size of fillet weld) ○○○

با استفاده از اندازه‌گیری‌های 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.



آزمایش‌های ارزیابی



۲۳۱	.....	معرفی	۱ - ۸
۲۳۱	.....	آزمایش‌های ارزیابی و تأیید	۲ - ۸
۲۳۲	.....	آزمایش‌های مخرب	۳ - ۸
۲۵۷	.....	آزمایش‌های غیرمخرب	۴ - ۸
۳۰۱	.....	برنامه‌ریزی آزمایش‌های غیرمخرب	۵ - ۸
۳۰۲	.....	ضوابط پذیرش عیوب داخلی جوش مطابق ISO 5817	۶ - ۸

۸-۱ معرفی

از هنگام کاربرد جوشکاری به‌عنوان ابزار ساخت اسکلت‌های فولادی، مقاوم بودن درز اتصال جوش‌شده در مقابل شرایط بهره‌برداری و شرایط بحرانی (مثل نیروهای زلزله) امر مهمی گردید. به‌همین جهت در کنار گسترش کاربرد جوش، باید روش‌هایی جهت ارزیابی کیفیت جوش و ارزیابی صلاحیت فنی جوشکار و در نهایت بازرسی و تأیید کار تمام‌شده، تدوین گردد.

قابلیت اعتماد از عملکرد سازه ایجاب می‌نماید که فلز جوش و درز جوشکاری‌شده از لحاظ مقاومت، سلامت و دیگر خصوصیات مورد نظر سازه‌ای و عاری بودن از عیوب جوشکاری مورد آزمایش و ارزیابی قرار گیرد.

۸-۲ آزمایش‌های ارزیابی و تأیید

آزمایش‌های جوش با اهداف عمده زیر انجام می‌شوند:

الف) آزمایش‌های ارزیابی شامل:

- ۱- آزمایش‌های ارزیابی و تأیید صلاحیت دستورالعمل جوشکاری (W.P.S)
- ۲- آزمایش‌های ارزیابی، تعیین صلاحیت و رده‌بندی جوشکاران

ب) آزمایش‌های تأیید شامل:

- ۳- آزمایش‌های بازرسی و تأیید

آزمایش‌های ردیف ۱ و ۲ در قالب برنامه تضمین کیفیت بوده و در قالب آزمایش‌های مخرب و غیرمخرب انجام می‌شوند. به‌عنوان مثال در آزمایش ارزیابی دستورالعمل جوشکاری (W.P.S)، یک قطعه با درز جوشی با طول محدود

(حدود ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) مطابق با مشخصات و روش رایج شده در دستورالعمل جوشکاری (که از طرف پیمانکار رایج شده) توسط یک جوشکار با صلاحیت، جوشکاری می‌شود و پس از تأیید در آزمایش‌های غیرمخرب نمونه‌هایی از این قطعه اخذ شده و تحت آزمایش‌های مکانیکی نظیر کشش و یا خم که در قسمت‌های بعدی به‌طور کامل در مورد آنها بحث می‌گردد، قرار می‌گیرد. در صورت قابل پذیرش بودن نتایج، نوع الکتروود، شدت جریان، اختلاف پتانسیل، قطبیت، هندسه درز، تعداد پاس‌ها و تمام اطلاعاتی از این قبیل که در دستورالعمل جوشکاری معرفی شده است، قابل پذیرش خواهد بود. این آزمایش‌ها در برنامه QA قرار می‌گیرد.

آزمایش‌های ارزیابی و رده‌بندی جوشکاران (پیوست ۲) نیز که و بیش مطابق فوق است و در این آزمون‌ها، یک جوش که دستورالعمل آن مورد تأیید است، توسط جوشکار در وضعیت مورد نظر انجام می‌گردد. از قطعه جوشکاری شده نمونه‌هایی اخذ شده و تحت آزمایش‌های مکانیکی تا نقطه خرابی قرار می‌گردد. برحسب نتایج حاصل، صلاحیت جوشکار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در ارزیابی جوشکار، می‌توان از آزمایش‌های غیرمخرب UT و RT نیز استفاده نمود.

آزمایش‌های بازرسی و تأیید اساساً با آزمایش‌های فوق متفاوت است و غالباً در رده آزمایش‌های غیرمخرب قرار می‌گیرند. هدف از انجام آزمایش‌های بازرسی و تأیید، اطمینان از کیفیت جوشی است که مقاومت آن در ارزیابی دستورالعمل جوشکاری به‌تأیید رسیده و توسط جوشکاری انجام می‌شود که صلاحیت آن نیز مورد تأیید است. آزمایش‌های بازرسی و تأیید از بازرسی عینی درز جوش و نحوه نگهداری الکتروودها آغاز شده و با بازرسی در حین عملیات جوشکاری ادامه می‌یابد و در نهایت به‌بازرسی عینی درز جوش شده و بالاخره با انجام آزمایش‌های تکمیلی نظیر پرتونگاری، فراصوت، نفوذ و پودر مغناطیسی به‌تمام می‌رسد. نتیجه کار می‌تواند مبین بی‌عیبی و قابل پذیرش بودن کار و یا مردود بودن و تعمیر شدن کار باشد. این آزمایش‌ها در برنامه Q.C قرار می‌گیرد.

۸-۳ آزمایش‌های مخرب

آزمایش‌های مخرب عبارتند از آزمایش‌های مکانیکی روی نمونه جوش شده جهت تعیین مقاومت و سایر خواص مکانیکی. روش‌های آزمایش از این نوع نسبتاً ارزان‌قیمت و بسیار کاربردی هستند، به‌همین جهت در سطح وسیعی جهت ارزیابی دستورالعمل جوشکاری و صلاحیت جوشکار به‌کار می‌روند. آزمایش مخرب معمولاً روی نمونه اخذ شده از ورق یا لوله جوش‌نده انجام می‌شود که در حقیقت نمونه‌ای از مصالح و دستورالعمل‌های جوشکاری به‌کار رفته در کارگاه یا کارخانه می‌باشند. آزمایش‌های مخرب در برنامه تضمین کیفیت مورد توجه قرار می‌گیرند.

۸-۳-۱ مراحل انجام آزمایش‌های مخرب

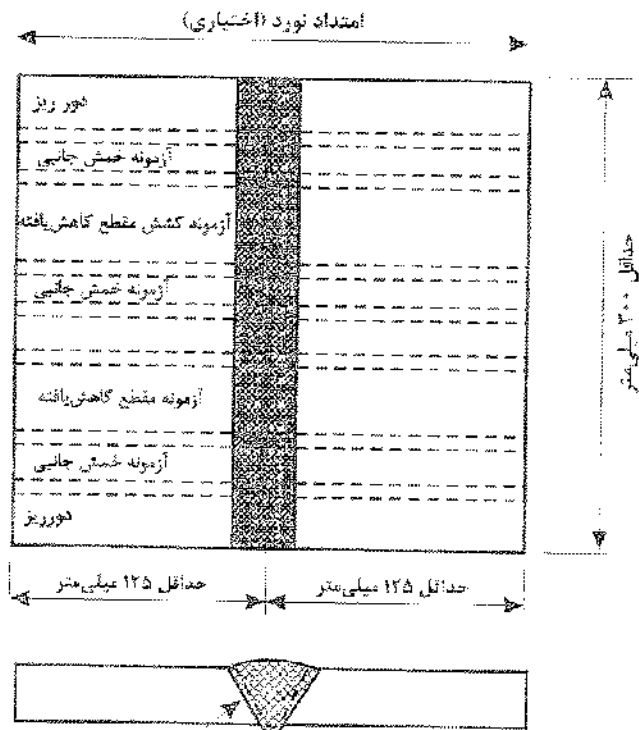
در آزمایش‌های مخرب، ابتدا جوش با مشخصات مورد نظر روی ورق یا قطعه آزمون^۱ در وضعیت مورد نظر توسط

1. Test plate or test piece

جوشکار اجرا می‌شود.

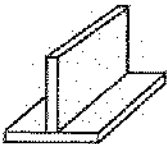



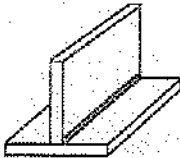
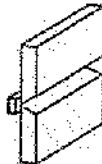
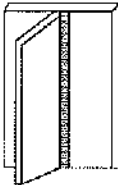
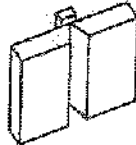
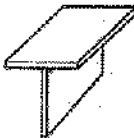

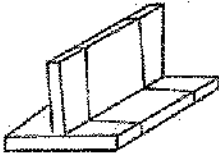
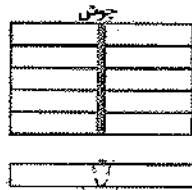
در صورتی که هدف آزمایش مصالح و یا wps باشد، جوشکار باید دارای صلاحیت مربوطه باشد. سپس از این نمونه، آزمونه‌هایی^۱ با عرض منخص بریده می‌شود و هر آزمونه تحت آزمایش خاصی قرار می‌گیرد. مطابق شکل‌های ۸-۱ تا ۸-۹، مراحل انجام آزمایش‌های غیرمخرب به شرح زیر است:

- 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 (ششم دو قطعه هر یک به عرض ۱۲۵ میلی‌متر می‌باشد).
- ۳- انجام جوش در وضعیت موردنظر توسط جوشکار (تخت، افقی، قائم و با سقفی) در ورق آزمایشی.
- ۴- تهیه آزمونه از نمونه آزمایشی با برش آن در عرضی حدود ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر.
- ۵- انجام آزمایش‌های لازم بر روی آزمونه‌ها.



شکل شماره فقط به منظور نمایش می‌باشد
هندسه واقعی شماره متعلق بر جوش مورد ارزیابی است

شکل ۸-۱ قطعه آزمون و برش‌های لازم برای تهیه آزمونه‌ها.

	آزمون جوش گوشه	آزمون جوش شیاری
آزمون آماده‌سازی درز		
وضعیت تخت		
وضعیت افقی		
وضعیت قائم (سربالا)		
وضعیت بالای سر (سقفی)		
آماده‌سازی نمونه		

شکل ۸-۲ نمونه آزمایشی و وضعیت‌های جوشکاری.



شکل ۸-۳ تجهیزات تهیه نمونه آزمایشی.

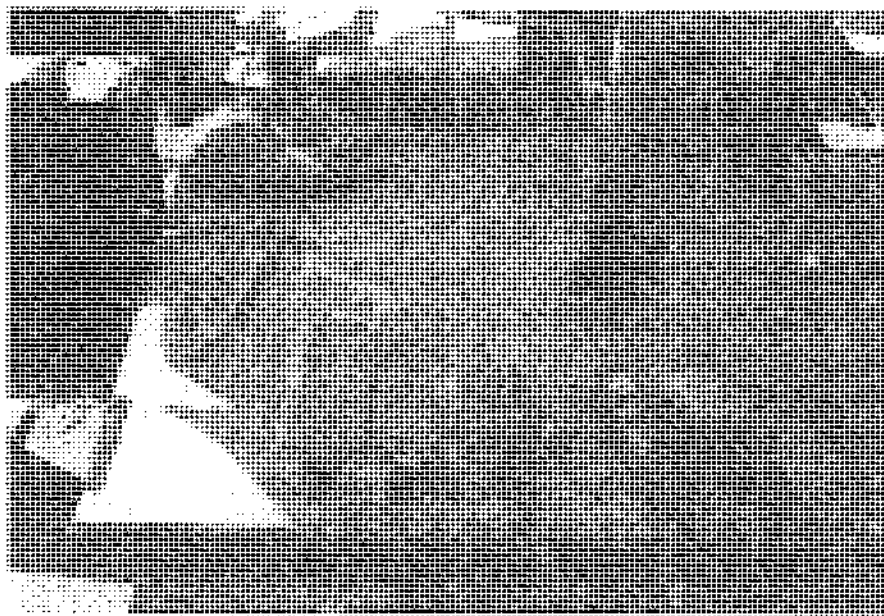
تجهیزات شامل دو بخش است:

(الف) قطعه آزمون و منعلقات:

- قطعه آزمون: که قبل از انجام آزمون، عملیاتی شامل: بریدن، پخش‌سازی لبه و تمیزکاری بر روی آن انجام شده.
- قید یا گیره: که جهت مهار اتصال و جلوگیری از تغییرشکل و انطباق دو لبه قطعه استفاده می‌شود.
- ناودان انتهایی: در ابتدا و انتهای درز جوش جهت جلوگیری از شره کردن، ذوب ناقص لبه‌های کار مونتاژ می‌گردد.

(ب) تجهیزات جوشکاری و فردی جوشکاران:

دستگاه جوش، کابل و اتبر جوشکاری، الکتروود (متناسب با جنس فولاد و خواص مورد نظر و وضعیت جوشکاری) فرچه برقی یا دستی، ماسک جوشکاری، دستکش و در صورت لزوم تجهیزات مربوط به پیش‌گرم.



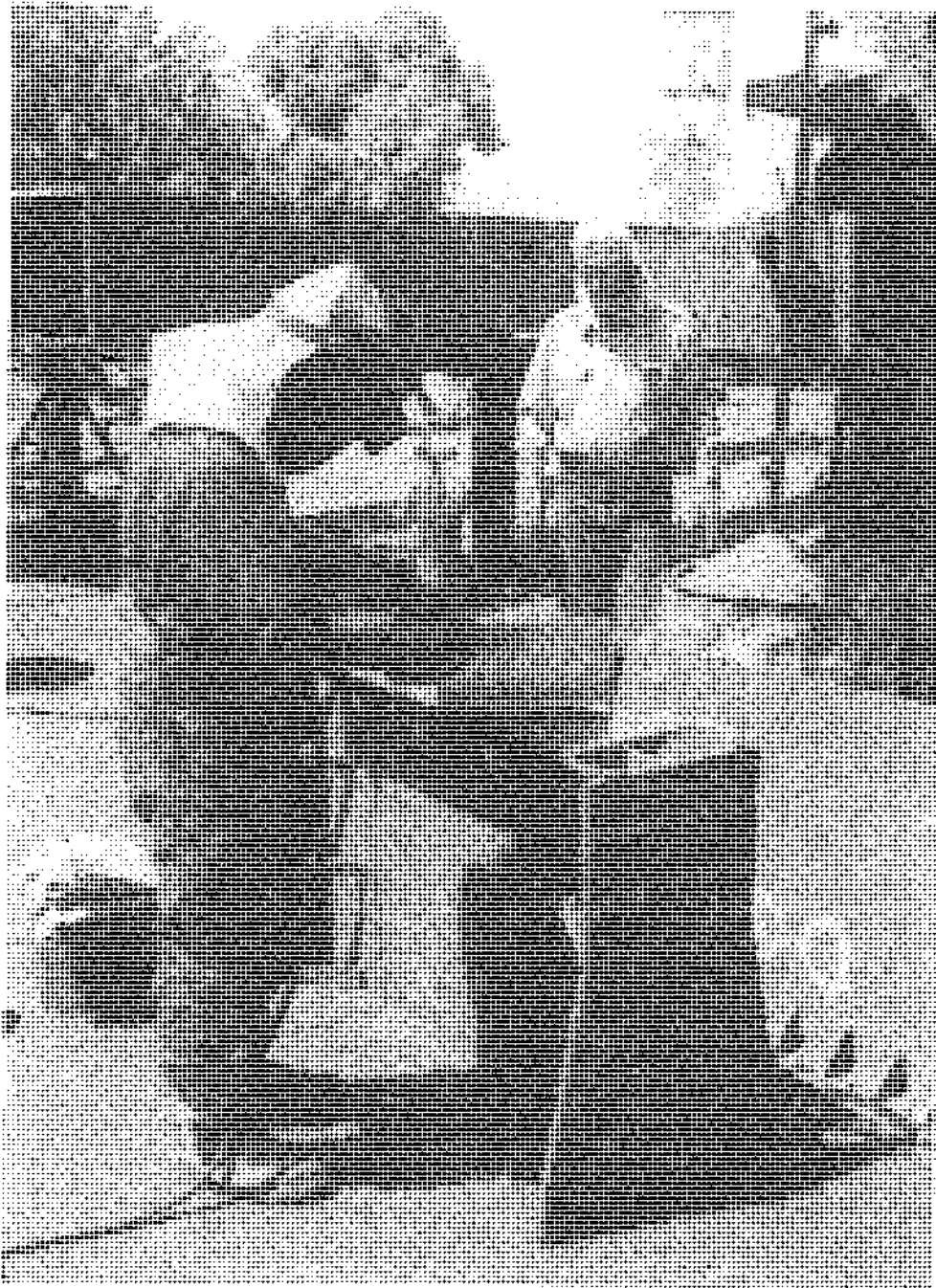
شکل ۸-۴ قطعه آزمون آماده برای جوشکاری.



شکل ۸-۵ جوشکار در حین انجام جوش شیاری در وضعیت تخت (A).



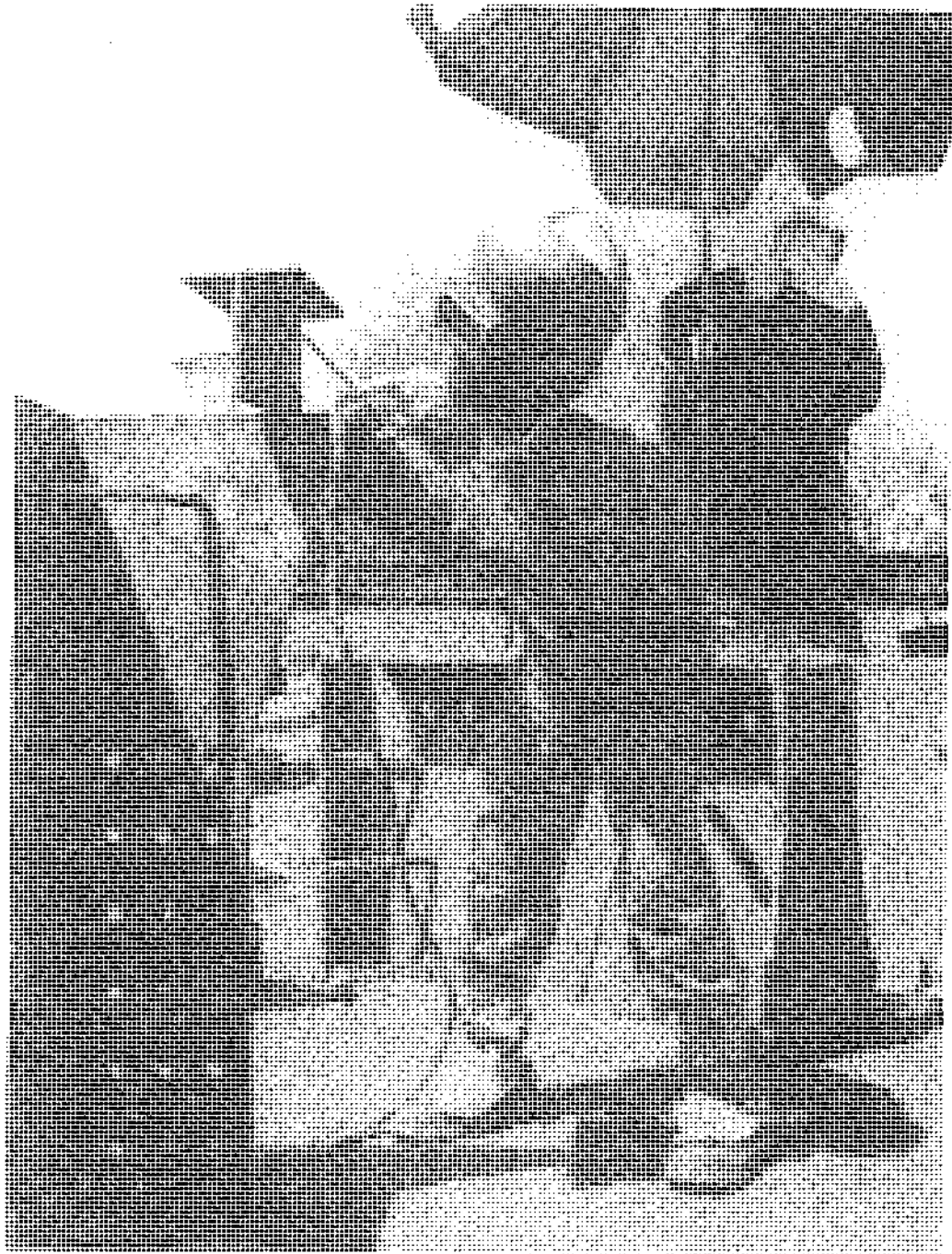
شکل ۸ - ۶ انجام جوش گونه آزمایشی در وضعیت تخت (F) (۱)



شکل ۸-۷ انجام جوش گوشه آزمایشی در وضعیت افقی (۲ F).



شکل ۸-۸ انجام جوش گواشه آزمایشی در وضعیت سر بالا (۳ F).



شکل ۸-۹. انجام جوش گوشه آزمایشی در وضعیت سقفی (۴F).

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 به‌قابلیت‌شان 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 کش 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 می‌تود و در نتیجه تغییرشکل جوش فراتر از نقطه تسلیم شده و موجب گسیختگی در منطقه فلز جوش می‌گردد.

جوشکاری ورق‌ها. انتخاب صحیح الکتروود، اولین گام در تولید جوش سالم می‌باشد. با توجه به اینکه ورق‌ها عموماً در تمام وضعیت‌ها جوشکاری می‌شوند، الکتروود 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 سیم‌جوش 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 تسریع 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 اثرانی خواهد شد که به‌تسکست 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

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 فرار 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 ایجاد شده در کنج‌های نمونه در حین انجام آزمایش شامل این مطلب نیست.

۸-۳-۳ آزمایش‌های مخرب جوش شیاری

پس از تهیه نمونه آزمایشی و برش آن به قطعات کوچکتر و تهیه آزمون‌ها، آزمایش‌های لارم روی آنها انجام می‌شود.

آزمایش‌های مخرب جوش شیاری عبارتند از:

(الف) آزمایش کشش مقطع کاهش‌یافته

(ب) آزمایش خمش هدایت‌شده

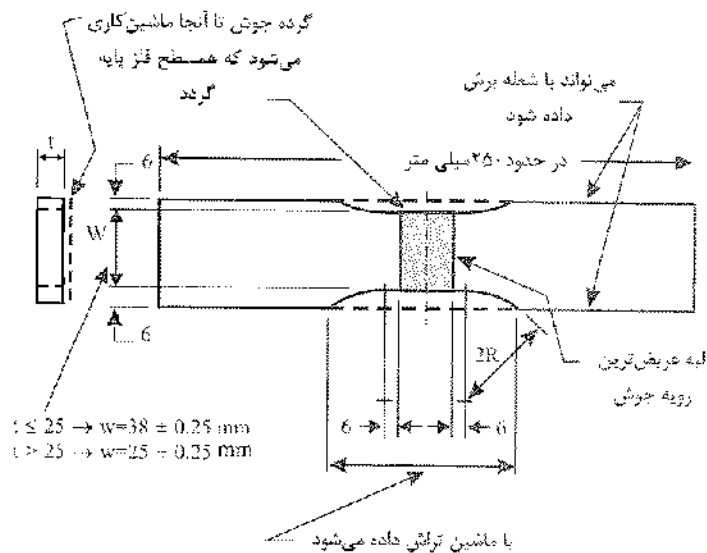
(پ) آزمایش شکست نمونه زخم‌دار

(ت) آزمایش کشش روی نمونه تمام مصالح

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 ارائه شده است.



شکل ۸-۱۰ آزمایش کشش مقطع کاهش‌یافته.

روش آزمایش: این آزمایش با اعمال نیروی کششی طولی بر نمونه انجام می‌شود و مقدار بار تا آنجا افزایش می‌یابد که موجب شکست نمونه یا جدا شدن آن بدو قسمت مجزا شود. این عمل معمولاً با استفاده از ماشین آزمایش کشش انجام می‌شود. قبل از انجام آزمایش، کمترین عرض و ضخامت ورق در محل کاهش مقطع برحسب میلی‌متر یا سانتی‌متر اندازه‌گیری می‌شود. نمونه آزمایشی تحت اثر بار کششی گسیخته شده و حداکثر بار وارده در لحظه گسیختگی برحسب کیلونیوتن یا تن تعیین می‌گردد.

سطح مقطع عرضی طبق رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\text{ضخامت} \times \text{عرض} = \text{سطح مقطع عرضی}$$

مقاومت کششی جوش برحسب N/mm^2 یا kg/cm^2 از تقسیم حداکثر بار اندازه‌گیری شده بر سطح مقطع عرضی به‌دست می‌آید.

در انجام یک آزمایش دقیق، محاسبات فوق لازم است، ولی برای آزمایشی که در آن فقط تعیین مقاومت تر بودن اتصال جوشی نسبت به ورق مورد نظر است، گرده جوش حذف نمی‌شود و نمونه آزمایشی تا حد گسیختگی کشیده می‌شود. در کنار انجام این نوع آزمایش هیچ‌گونه محاسبه‌ای انجام نمی‌گردد.

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.

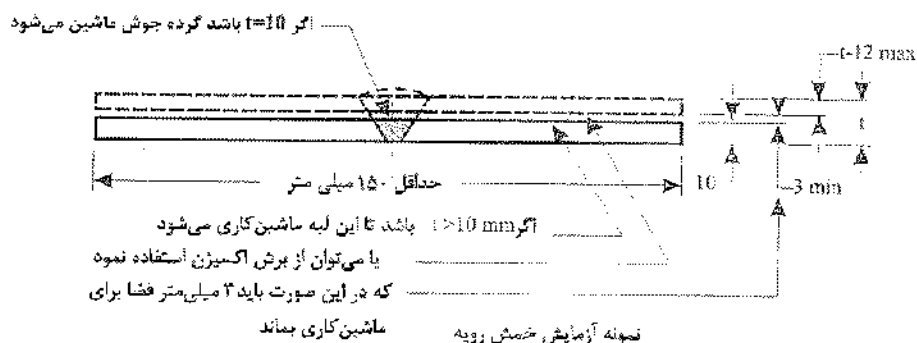
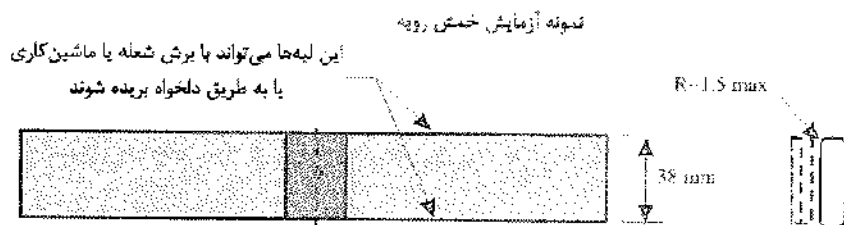
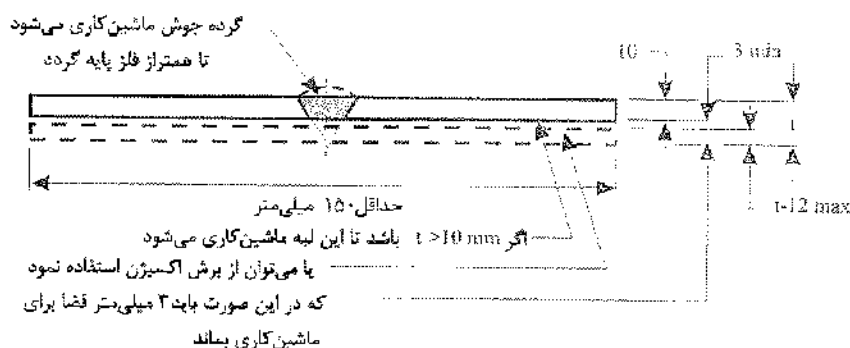
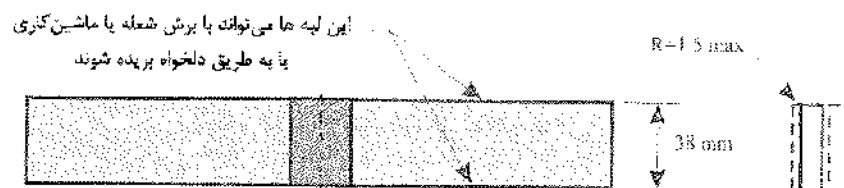
(ب) آزمایش خمش هدایت‌شده

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 شباری 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 دنگر 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.

اندازه و شکل نمونه‌های آزمایش، هندسه نمونه‌های آزمایشی مطابق شکل‌های ۸ - ۱۱ تا ۸ - ۱۳ می‌باشد.

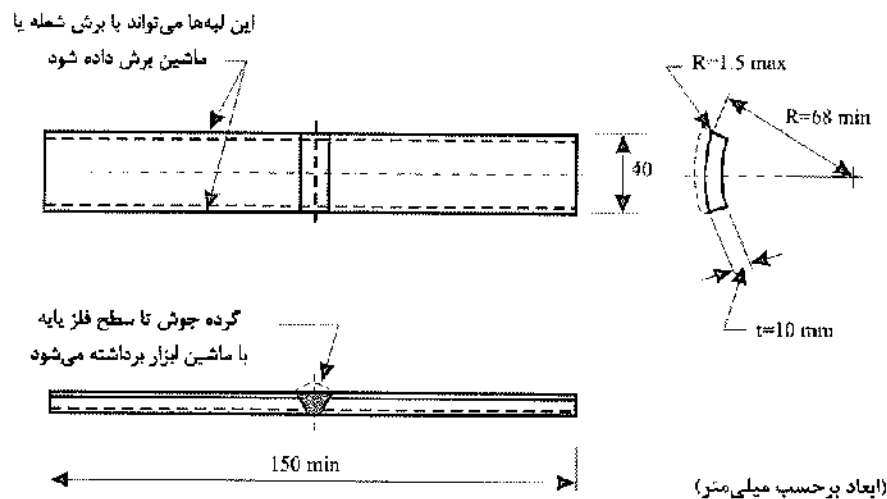
روش آزمایش. نمونه در داخل دستگاهی با مشخصات نشان داده شده در شکل ۸ - ۱۴ قرار گرفته و با اعمال فشار سنبه، خمیده می‌شود. توجه کنید که برای ورق و لوله یک اندازه وجود دارد. از هر وسیله‌ای، اعم از دستی، مکانیکی، الکتریکی و یا هیدرولیکی می‌توان برای رانش سنبه به‌داخل گیره استفاده نمود (شکل ۸ - ۱۵).



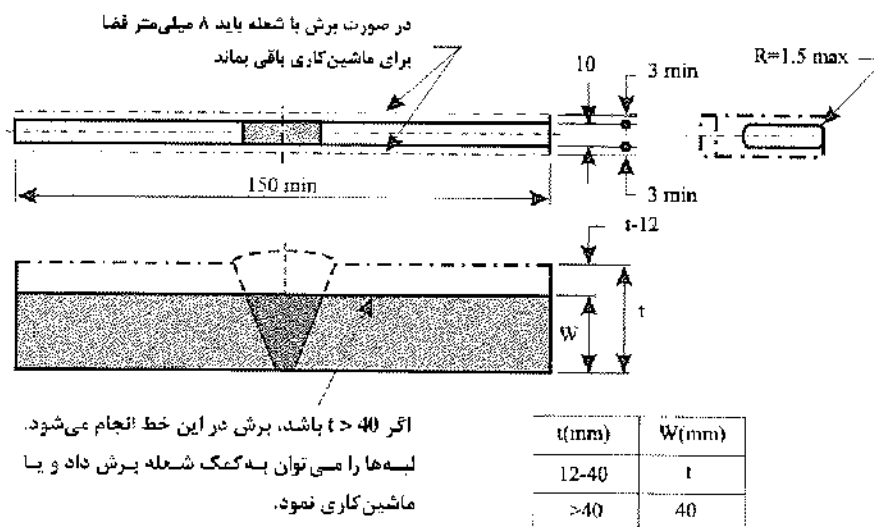
توجه: انجام آزمایش‌های خمش رویه و خمش بر روی ورق‌های نازکتر از ۱۰ میلی‌متر امکان‌پذیر نیست.

شکل ۸ - ۱۱ نمونه‌های آزمایش خمش رویه و خمش ریشه.

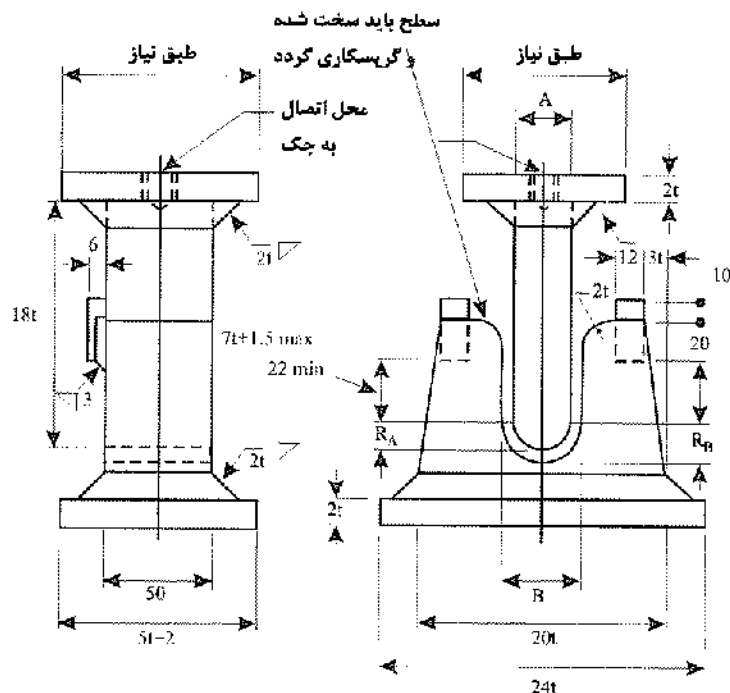
نمونه آزمایشی بر روی شکاف دستگاه طوری قرار داده شود که جوش در وسط دهانه قرار گیرد. نمونه‌های آزمایش خمش رویه طوری قرار می‌گیرند که سطح جوش به سمت شکاف، و نمونه‌های آزمایش خمش ریشه طوری قرار می‌گیرند که ریشه جوش به سمت شکاف، و نمونه‌های آزمایش خمش جانبی طوری قرار می‌گیرند که گونه دارای معایب و شکاف‌های 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 $\frac{1}{8}$ میلی‌متر از میان فضای انحنای تحتانی گیره و نمونه آزمایشی عبور نکند. سپس نمونه آزمایشی از داخل گیره خارج می‌شود.



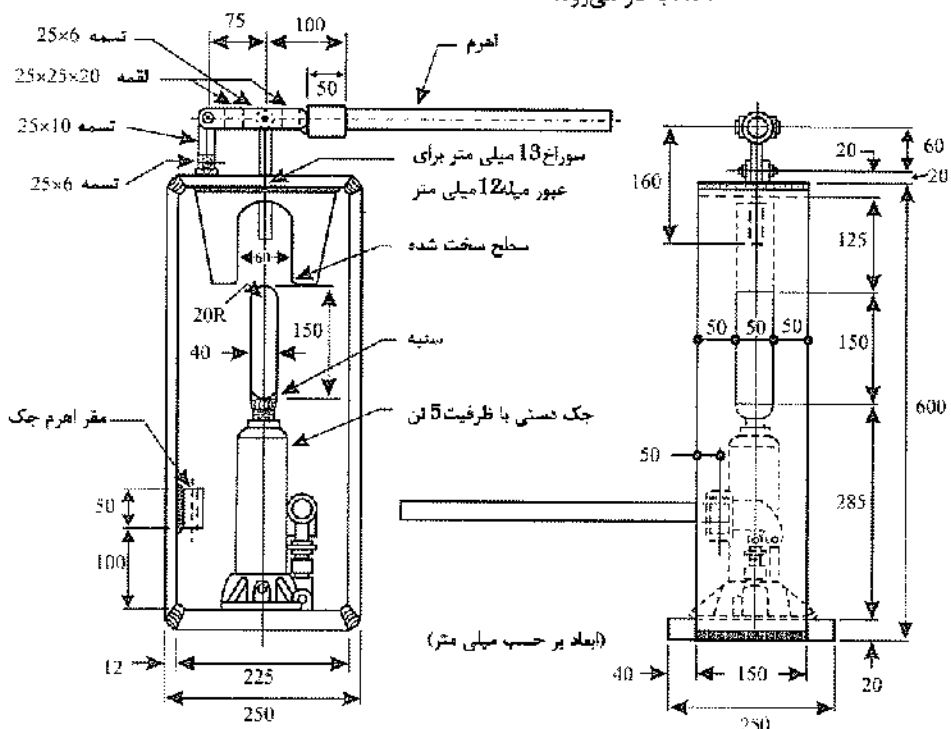
شکل ۸ - ۱۲ نمونه آزمایشی خمش رویه و خمش ریشه جوش در لوله‌ها.



شکل ۸ - ۱۳ نمونه آزمایشی خمش جانبی.



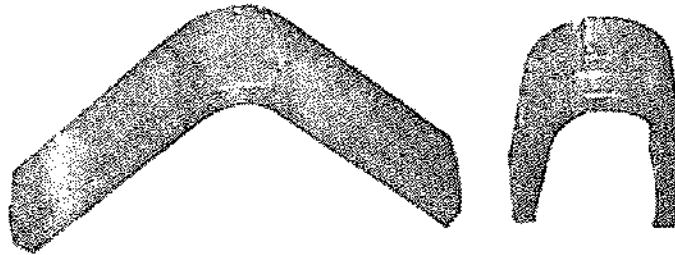
شکل ۸- ۱۴ دستگاه مورد استفاده در آزمایش خمش هدایت شده که برای ارزیابی صلاحیت جوشکاران در جوشکاری طبق ضوابط آیین‌نامه AWS و API به کار می‌رود.



شکل ۸- ۱۵ دستگاه آزمایش خمش هدایت شده با جک دستی قابل تهیه در کارگاه‌های جوشکاری و آموزشگاه‌های جوشکاری.

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.

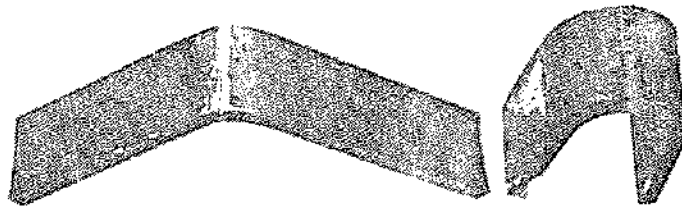


شکل ۸-۱۶ نمونه‌های آزمایش خمش رویه. نمونه سمت

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

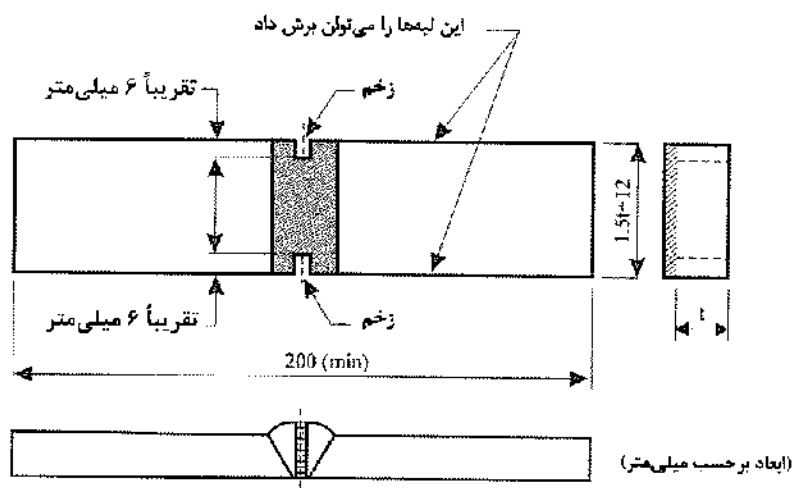
سمت چپ قبل از خمش کامل ترک خورده و شکسته شده

است. به‌نقود 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.

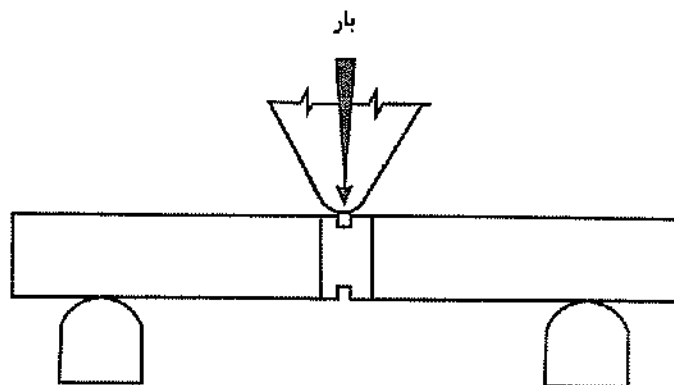
اندازه و شکل نمونه‌ها. مطابق شکل ۸-۱۸ می‌باشد.



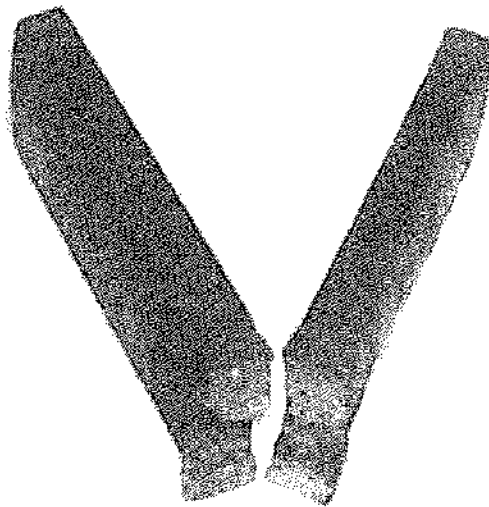
شکل ۸ - ۱۸ آزمون شکست نمونه زخم‌دار (ورق).

روش انجام آزمایش. گرده جوش از روی نمونه مورد آزمایش برداشته نمی‌شود. شیاری در هر دو وجه نمونه به کمک اره 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 معایی 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 سربزه و اختلاط اکسید و سربزه 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 جوش‌شده 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

(ب) آزمایش خمش هدایت‌شده جوش گوشه

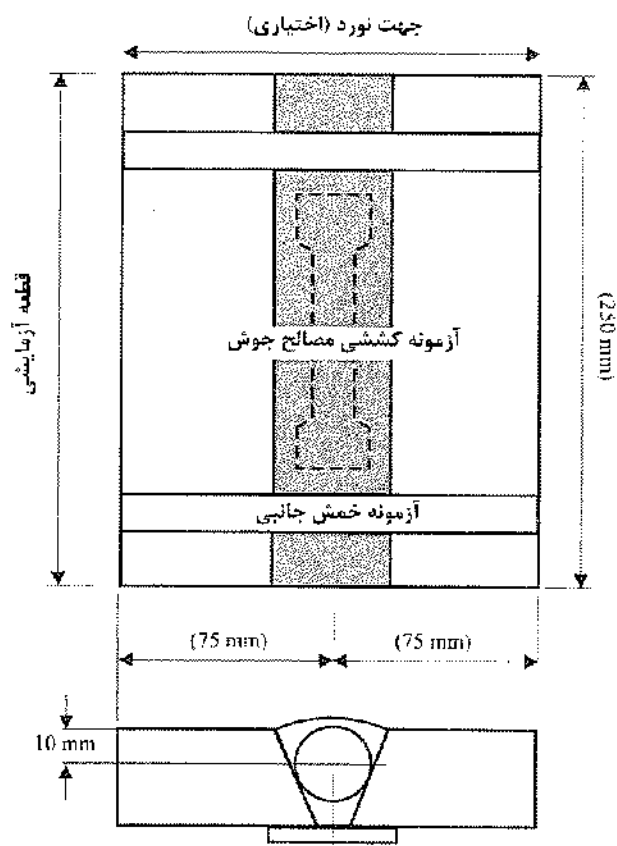
(پ) آزمایش شکست نمونه کنج

الف) آزمایش کشش مستقیم برای برش طولی و برش عرضی

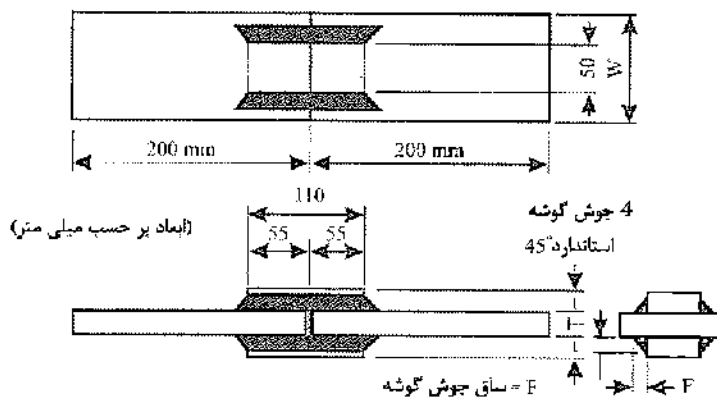
این آزمایش‌ها مقاومت برشی جوش گوشه را تعیین می‌کنند و معمولاً برای ارزیابی نحوه اجرای جوشکاری به کار می‌روند.

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.

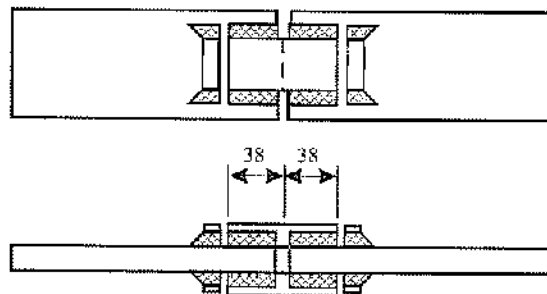


شکل ۸ - ۲۱ نمونه آزمایش کشش تمام مصالح.



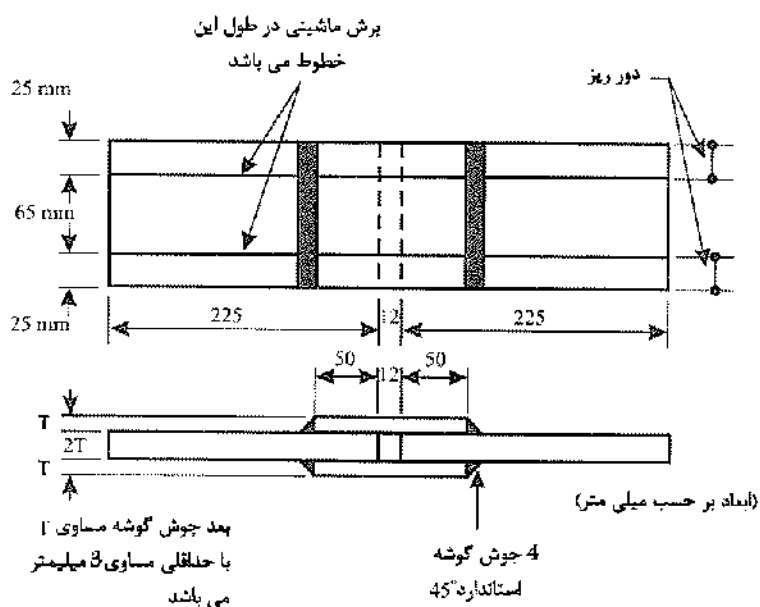
ابعاد				
ساق جوش	3	6	10	12
ضخامت (t) (میلی متر)	10	12	20	25
ضخامت (T) (میلی متر)	10	10	25	32
عرض (W) (میلی متر)	75	75	75	90

شکل ۸ - ۲۲ نمونه آزمایش برش طولی جوش گوشه.



برای ابعاد دیگر شکل قبل را ببینید

شکل ۸-۲۳ نمونه آزمایش برش طولی جوش گوشه که برای آزمایش آماده‌سازی شده است.



شکل ۸-۲۴ نمونه آزمایش برش عرضی جوش گوشه.

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

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

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

$$\text{تنش برشی جوش عرضی (نیرو بر واحد طول)} = \frac{\text{ظرفیت برشی جوش عرضی (نیرو بر واحد طول)}}{\text{ندازه گلوی جوش عرضی (واحد طول)}} \quad (۸-۲)$$

الف - ۳) جوش طولی. ظرفیت برشی جوش برحسب kg/cm یا N/mm از رابطه زیر به دست می‌آید:

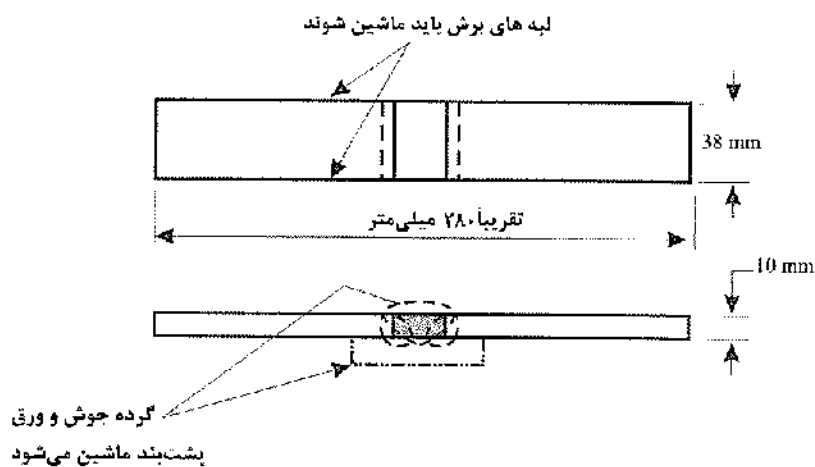
$$(۳-۸) \quad \frac{\text{حداکثر بار}}{\text{کل طول جوش}} - (\text{نیرو بر واحد طول}) \text{ ظرفیت برشی جوش طولی}$$

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

ب) آزمایش خمش هدایت‌شده جوش گوشه^۲

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 هدایت‌شده 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 به‌داخل قالب استفاده نمود. نمونه آزمایشی به‌گونه‌ای 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.

پدیرش نتایج. سطح محدب نمونه از لحاظ ظهور ترک‌های سطحی و دیگر معایب، بعد از آزمایش کنترل می‌شود. نمونه‌هایی که طول ترک ایجادشده در آنها در هر جهت دلخواه بعد از انجام آزمایش خمش بیش از $1/5$ تا 3 میلی‌متر اندازه‌گیری شود، مردود می‌باشد. ترک‌های یا طول کمتر از $1/5$ میلی‌متر که در کنج‌های نمونه در حین آزمایش ایجاد می‌شود، شامل محدودیت فوق نیستند.

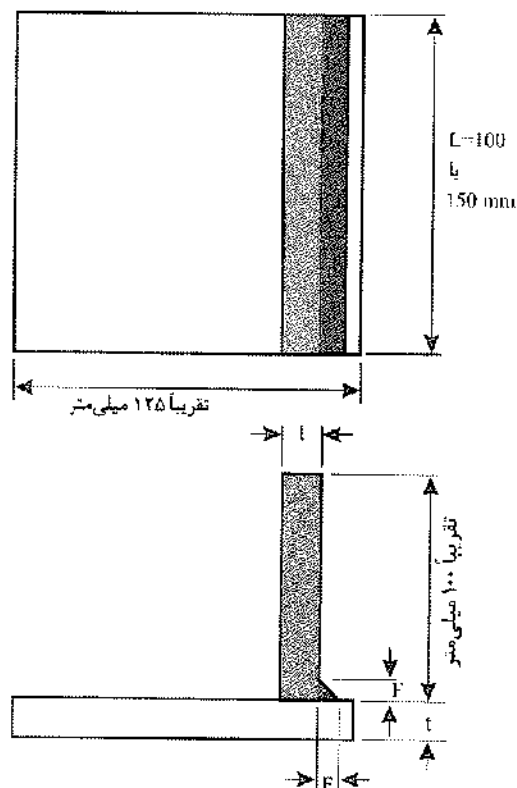
پ) آزمایش شکست جوش گوشه

این آزمایش با هدف تعیین سلامت جوش گوشه انجام می‌شود.

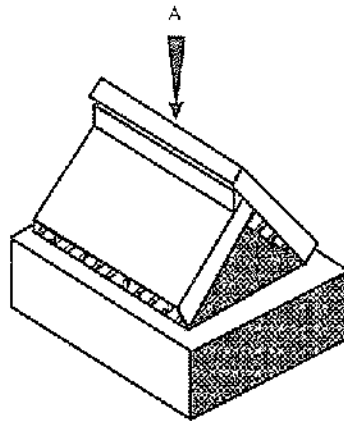
اندازه و شکل نمونه آزمایشی. نمونه آزمایشی برای ارزیابی جوشکاران طبق آیین‌نامه AWS در شکل ۸ - ۲۶ نشان داده شده است.

روش آزمایش. نمونه آزمایشی با اتصال یک ورق به‌ورق 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.

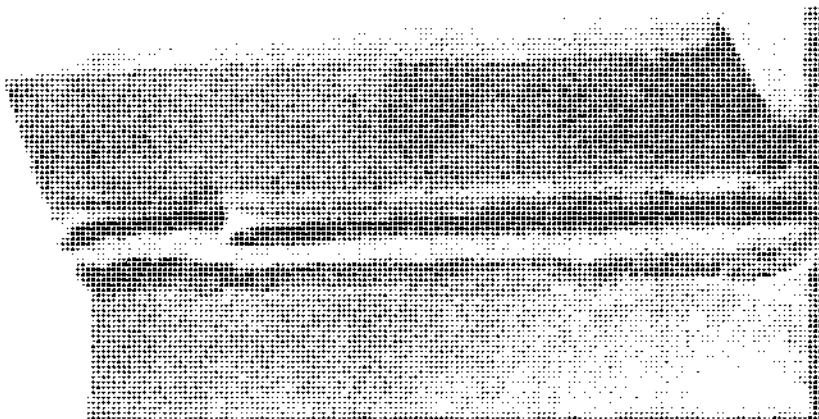
پذیرش نتایج (روش AWS). جوش طبق شکل ۸ - ۲۸ باید در ناحیه گلو گسیخته شود. جوش انجام‌شده باید دارای نفوذ کامل در ریشه بوده و فاقد اثر حبس سرباره یا حفره گازی باشد.



شکل ۸ - ۲۶ نمونه آزمایش شکست جوش گوشه.



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



شکل ۸- ۲۸ یک نمونه گسیخته شده در آزمایش شکست جوش گوشه. ملاحظه کنید که جوش در قسمت مرکزی شکست است. این نفوذ و توزیع یکنواخت فلز جوش را نشان می‌دهد.

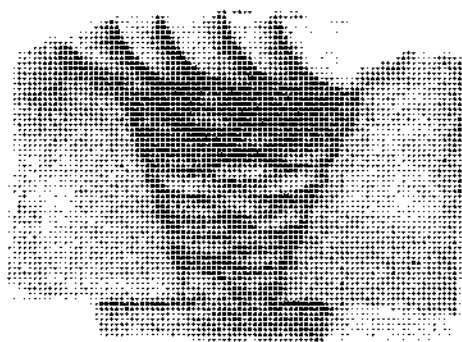
۸- ۳- ۵ آزمایش‌های دیگر

علاوه بر آزمایش‌های مخرب که در قسمت‌های قبل شرح داده شد، روش‌های آزمایش دیگر نیز در صنعت جوشکاری نظیر آزمایش حک، ضربه و خستگی وجود دارند.

۸- ۳- ۱- ۵- ۱ آزمایش حک

اغلب باید مقطعی از جوش تهیه شده و پس از حک‌کاری برای عیب‌یابی مورد بررسی قرار گیرد. روش حک‌کاری 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 متاورژی ناحیه تفتیده (HAZ)



شکل ۸ - ۲۹ نمونه حک‌کاری شده فولاد کرم‌دار که جوش شیاری چند پایه 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.

اسید نیتریک. این محلول از اختلاط ۱ واحد اسید نیتریک غلیظ و ۳ واحد حجمی آب به‌دست می‌آید. در هنگام استفاده از اسیدنیتریک دقت کنید زیرا موجب سوختگی شدید خواهد شد. همیشه اسید نیتریک را با مخلوط کردن در آب رقیق کنید.

اسید نیتریک تهیه‌شده ممکن است توسط یک میله شیشه‌ای (نظیر لوله پیتوت آزمایشگاه) بر روی سطح جوش پرداخت شده و در دمای معمولی اتاق ریخته شود، یا ممکن است نمونه مورد نظر در محلول جوشیده مستغرق شود. در هنگام آزمایش از تهویه مناسب هوای اتاق مطمئن باشید. انجام حک‌کاری با اسید نیتریک باید سریع انجام شود. پس از حک‌کاری، نمونه باید بلافاصله توسط آب گرم شسته شود. پس از آن آب اضافی را خشک کرده و سطح حک‌کاری‌شده را در الکل قرار دهید. سپس نمونه را خارج کرده و با قرار دادن نمونه در معرض وزش هوای گرم آن را خشک کنید. ظاهر جوش ممکن است با پوششی از لایه نازک و شفاف محافظت شود.

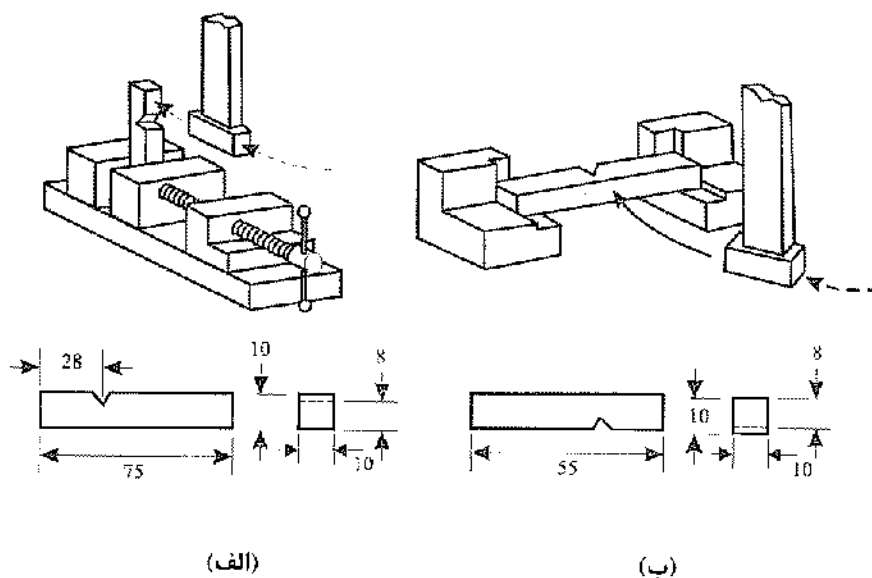
۸-۳-۵-۲ آزمایش ضربه

هدف از انجام آزمایش ضربه، تعیین مقاومت ضربه‌ای جوش و فلز پایه در یک سازه جوش شده 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 به خاطر فقدان طاقت ضربه‌ای مصالح است.

(۱) (۲) (۳) (۴) (۵) (۶) (۷) (۸) (۹) (۱۰) (۱۱) (۱۲) (۱۳) (۱۴) (۱۵) (۱۶) (۱۷) (۱۸) (۱۹) (۲۰) (۲۱) (۲۲) (۲۳) (۲۴) (۲۵) (۲۶) (۲۷) (۲۸) (۲۹) (۳۰) (۳۱) (۳۲) (۳۳) (۳۴) (۳۵) (۳۶) (۳۷) (۳۸) (۳۹) (۴۰) (۴۱) (۴۲) (۴۳) (۴۴) (۴۵) (۴۶) (۴۷) (۴۸) (۴۹) (۵۰) (۵۱) (۵۲) (۵۳) (۵۴) (۵۵) (۵۶) (۵۷) (۵۸) (۵۹) (۶۰) (۶۱) (۶۲) (۶۳) (۶۴) (۶۵) (۶۶) (۶۷) (۶۸) (۶۹) (۷۰) (۷۱) (۷۲) (۷۳) (۷۴) (۷۵) (۷۶) (۷۷) (۷۸) (۷۹) (۸۰) (۸۱) (۸۲) (۸۳) (۸۴) (۸۵) (۸۶) (۸۷) (۸۸) (۸۹) (۹۰) (۹۱) (۹۲) (۹۳) (۹۴) (۹۵) (۹۶) (۹۷) (۹۸) (۹۹) (۱۰۰)

آزمون‌های شاریبی و ایزود

دو روش استاندارد برای آزمایش ضربه وجود دارد: آزمایش ایزود و آزمایش شاریبی. در این روش‌ها نمونه آزمایشی با یک ضربه می‌شکند و مقاومت ضربه‌ای نمونه برحسب واحد نیرو \times طول که واحد کار و انرژی است، سنجیده می‌شود. (در فیزیک کار به صورت 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 شاریبی (شکل ب) و روش اعمال بار در هر روش. نمونه‌های زخم‌دار (شیار ۷) مطابق شکل دارای زاویه پخی ۴۵ درجه و شعاع کف معادل ۰/۲۵ میلی‌متر در محل شیار می‌باشند.

۸-۴ آزمایش‌های غیرمخرب

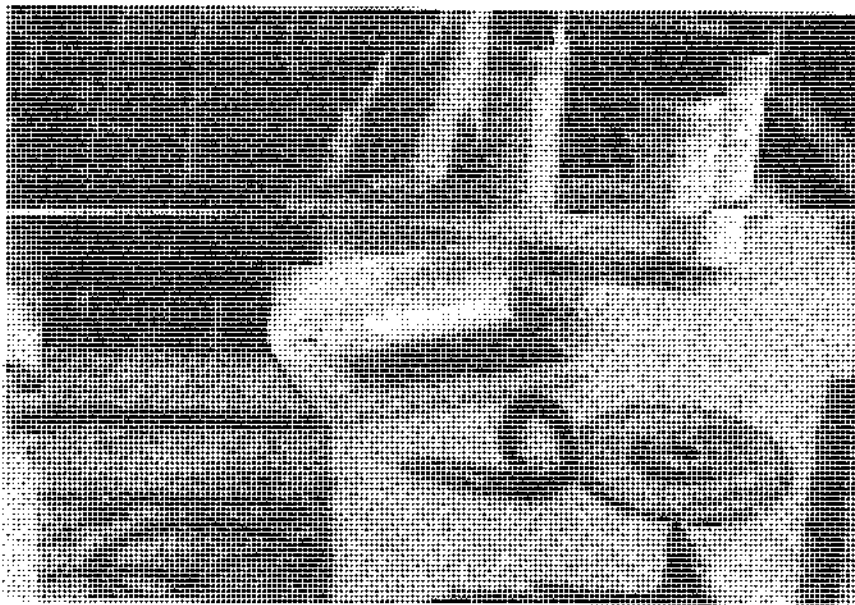
آزمایش‌های غیرمخرب در برنامه کنترل کیفیت (QC) قرار می‌گیرند و از آن برای تأیید جوش تمام‌شده استفاده می‌شود. انواع آزمایش‌های غیرمخرب عبارتند از:

۸-۴-۱ بازرسی با مواد نافذ^۱ (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

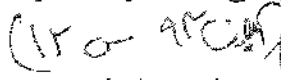
سطح مورد بازرسی باید در ابتدا از لکه‌های روغن، گریس و مواد ناخالص و خارجی توسط ماده آماده‌ساز (پرایمر) تمیز شود. سپس ماده نافذ قرمز رنگی روی سطح پاشیده می‌شود که در داخل ترک‌ها و سایر ناهمواری‌ها نفوذ می‌کند. رنگ اضافی از روی سطح پاک‌شده و سپس یک مایع فوق‌العاده فرار حاوی ذرات ریز سفید رنگ بر روی سطح پاشیده می‌شود. این ماده به‌نام ماده ظهور (ظاهرکننده) خوانده می‌شود. (این ماده در رنگ‌های ۲۳ و ۲۴ موجود است.)
تبخیر مایع فرار باعث برجای ماندن گرد خشک سفید رنگ بر روی ماده قرمز نفوذ کرده در ترک‌ها می‌گردد و بر اثر عمل موبینگی، ماده قرمز از ترک بیرون کشیده شده و یودر سفید کاملاً قرمز می‌شود. به‌همین جهت ترک مورد نظر به‌وضوح 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 بازمینی 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 مغناطیسی شونده 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 مغناطیسی شده 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 در 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 MT و PT 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.

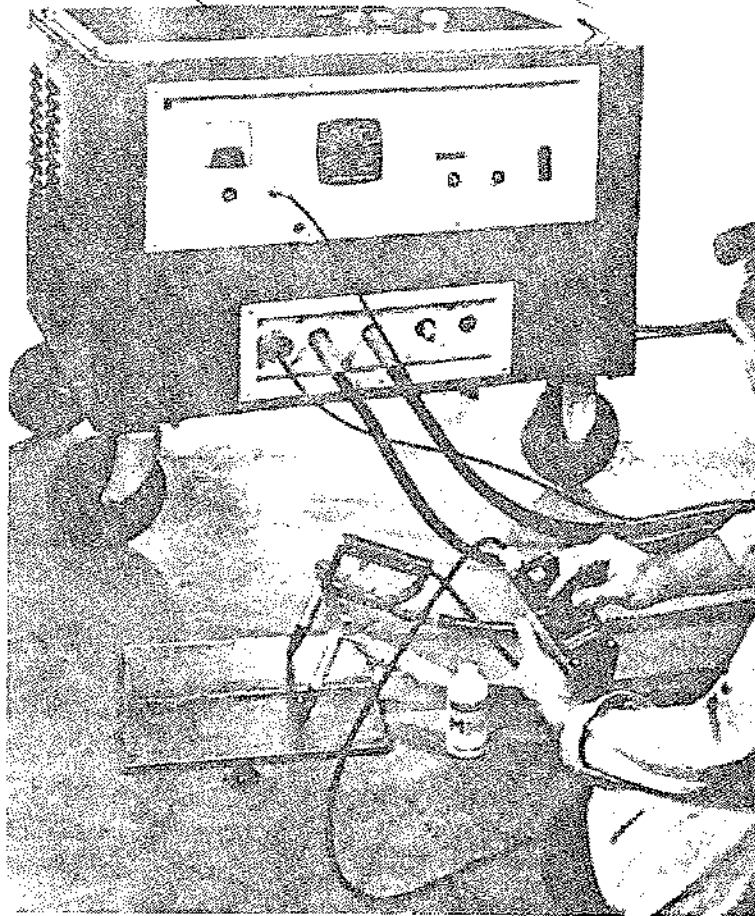
۸-۴-۳ آزمون فراصوتی^۶

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 ارزیابی 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.

5. Magnetic Particle testing (MT)

6. Ultrasonic Testing

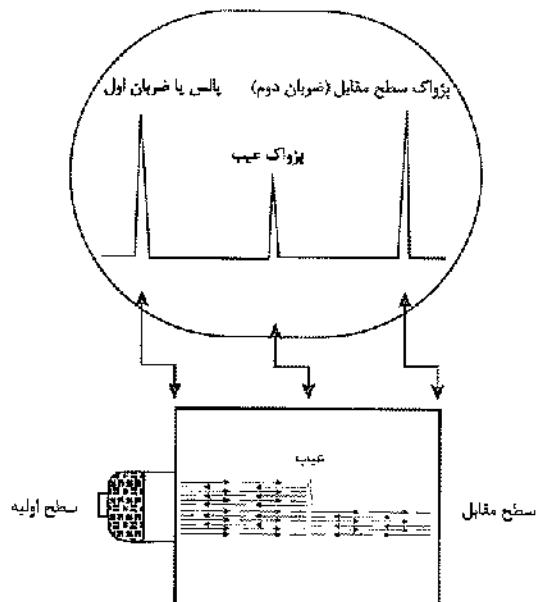
آزمایش فراصوتی با انتشار امواج از یک فرستنده (بلور کوارتز تحت جریان متناوب)، که مشابه یک موج صوتی ولی با فرکانس بالاتری است، انجام می‌شود. موج‌های فراصوتی از داخل قطعه مورد آزمایش عبور داده می‌شوند و با هرگونه تغییر در تراکم داخلی قطعه، منعکس می‌شوند. امواج منعکس شده توسط گیرنده جذب شده و پس از تقویت، 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 (پروپ) روی مصالح مورد نظر قرار داده می‌شود (حداقل سطح پروپ 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 (پروپ) پیدا شود، ضربان سومی بین ضربان اول و دوم بر روی صفحه نمایش ثبت می‌شود (شکل ۸ - ۳۳).

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.



شکل ۸ - ۳۴ کاربرد یک دستگاه آزمایش فراصوتی قابل حمل در کنترل جوش ساختمانی در طبقه ۷۶ یک آسمان خراش.

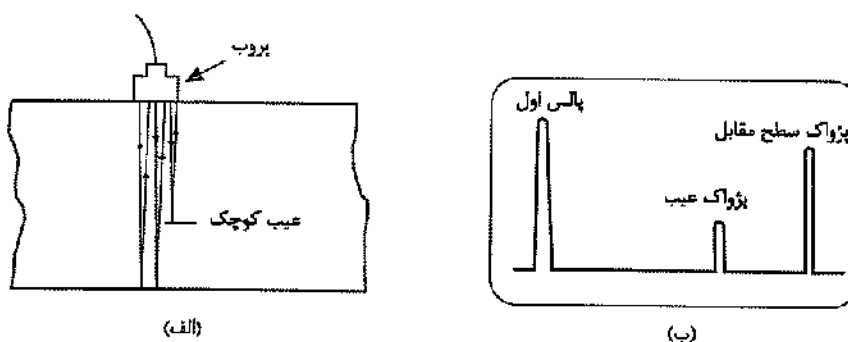
۸-۳-۱ نوع نمایش تصویری در آزمون فراصوتی

اطلاعاتی را که طی آزمون فراصوتی به دست می‌آیند به چند طریق می‌توان به صورت تصویر نمایش داد.

۵ نمایش تصویری A

معمول‌ترین سیستمی که مورد استفاده قرار می‌گیرد نمایش تصویری روبشی "A" است. یک موج ناقص در سمت چپ صفحه اسیلوسکوپ ظاهر می‌شود که مربوط به پالس اولیه است، موج‌های ناقص دیگری نیز در سمت چپ صفحه اسیلوسکوپ ظاهر می‌شوند که مربوط به علامت پژواک‌های دریافتی هستند. ارتفاع پژواک معمولاً متناسب با اندازه سطح بازتاب است، ولی مسافتی که پژواک طی می‌کند و اثرات تضعیف درون ماده روی آن تأثیر دارد. در هر صورت، با فرض یک مبنای خطی زمان، موقعیت خطی پالس (پژواک) متناسب با فاصله سطح بازتاب از پروب است. این نوع نمایش تصویری در تکنیک‌های بازرسی با پروب دستی معمول است.

از معایب نمایش تصویری روبشی "A" این است که تبت دائم تصویر ممکن نیست، مگر اینکه از تصویر اسیلوسکوپ عکس گرفته شود. البته دستگاه‌های جدید پیشرفته دارای وسایل ثبت دیجیتال هستند.

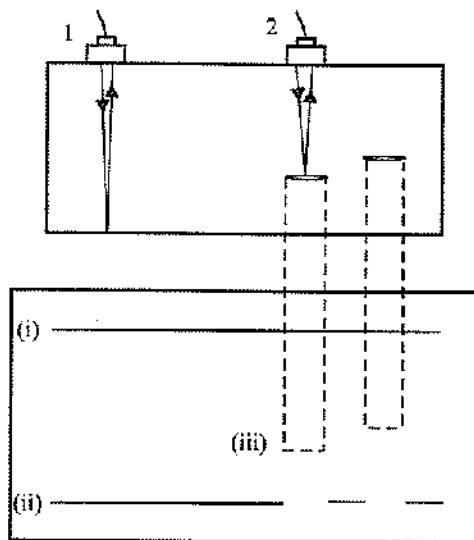


شکل ۸-۳۵ نمایش تصویری روبشی "A": (الف) بازتاب‌هایی که از دیواره پشتی قطعه و یک عیب داخلی به دست آمده‌اند؛ (ب) نحوه نمایش تصویری روبشی "A".

۶ نمایش تصویری B

با نمایش تصویری روبشی "B" می‌توان موقعیت عیب درون قطعه را ثبت کرد. این سیستم در شکل ۸-۳۶ نشان داده شده است. لازم است که بین موقعیت پروب و اثر عیب، ارتباط مختصاتی به وجود بیاید. استفاده از نمایش تصویری روبشی "B" به تکنیک‌های آزمون اتوماتیک و نیمه‌اتوماتیک محدود می‌شود.

هنگامی که پروب در موقعیت (۱) است علایم روی صفحه اسیلوسکوپ مطابق شکل هستند، (i) نشان‌دهنده پالس اولیه و (ii) نمودار دیواره پشتی قطعه است. وقتی که پروب به موقعیت (۲) می‌رسد، خط (iii) روی تصویر نشان‌دهنده عیب است. این طرز نمایش از مقطع قطعه کار می‌تواند روی یک نمودار کاغذی ثبت عکاسی، و یا اینکه روی مانیتور ثابت نمایش داده شود.



شکل ۸ - ۳۶ نمایش تصویری روبشی "B".

۸-۴-۳-۲ تکنیک‌های بازرسی در آزمون فراصوتی

وجود یک عیب در داخل یک ماده را می‌توان با استفاده از تکنیک امواج فراصوتی عبوری با بازتابی پیدا کرد.

● روش بازتابی با پروب عمودی

این روش در آزمون فراصوتی از معمولی‌ترین تکنیک‌هاست و در شکل ۸-۳۵ یا ۸-۳۶ نمایش داده شده است. تمام یا بخشی از پالس توسط عیب داخل ماده، بازتاب یافته و به وسیله پروب دریافت می‌شود. این پروب به صورت فرستنده و گیرنده عمل می‌کند. فاصله زمانی بین ارسال پالس و دریافت پژواک برای محاسبه فاصله عیب از پروب به کار می‌رود. روش بازتابی نسبت به روش عبوری دارای مزایای معینی است که عبارتند از:

الف) قطعه کار به هر شکلی می‌تواند باشد.

ب) فقط دسترسی به یک طرف قطعه کار مورد نیاز است.

پ) فقط یک نقطه تماس وجود دارد و در نتیجه مقدار خطا حداقل می‌شود.

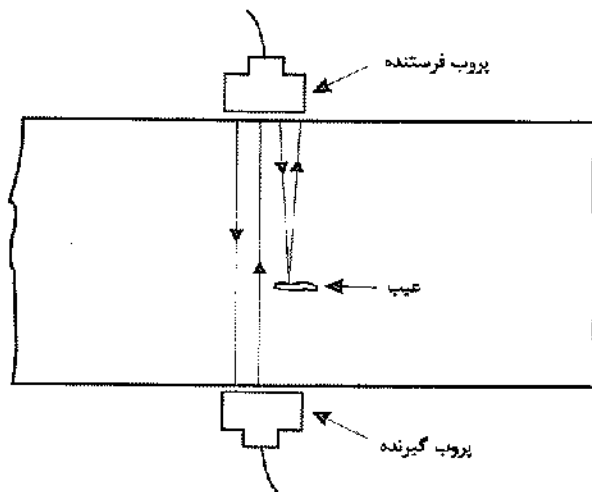
ت) فاصله عیب‌ها از پروب می‌تواند اندازه‌گیری شود.

● روش عبوری با پروب عمودی

در این روش فرستنده با استفاده از روغن کویپلنت با سطح قطعه کار تماس برقرار می‌کند. یک پروب دریافت‌کننده روی سطح مقابل ماده نصب می‌شود (شکل ۸-۳۷).

اگر در داخل ماده هیچ‌گونه عیبی وجود نداشته باشد، علامتی با یک شدت معین به‌گیرنده خواهد رسید. اگر

مابین پروب فرستنده و گیرنده عیبی وجود داشته باشد، شدت علامت دریافتی کاهش خواهد یافت. این امر به علت بازتاب جزئی پالس عیب است که بدین ترتیب می‌توان به وجود عیب پی برد.



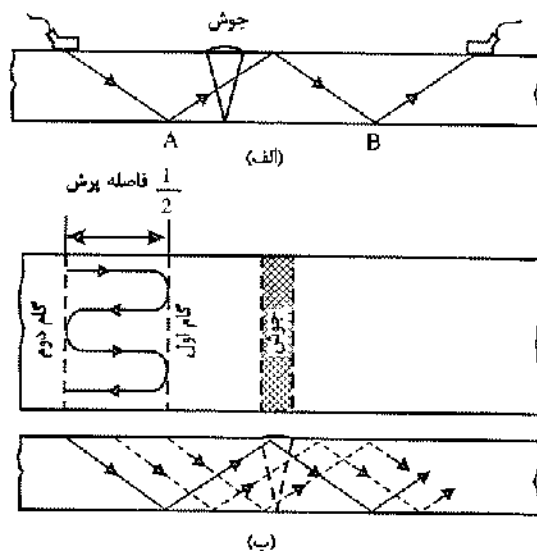
شکل ۸ - ۳۷ روش عبوری با پروب عمودی.

این روش معایبی دارد که عبارتند از:

- (الف) قطعه کار باید دارای دو سطح موازی باشد و به هر دو سطح آن نیز باید دسترسی داشت.
- (ب) دو عدد پروب مورد نیاز است لذا جفت کردن آنها ممکن است عمل سیال اتصالی را کم بهره کند.
- (پ) باید دقت کافی به خرج داد تا دو پروب کاملاً در مقابل یکدیگر قرار گیرند.
- (ت) علایمی از عمق عیب نمی‌توان به دست آورد.

● روش عبوری با پروب زاویه‌ای

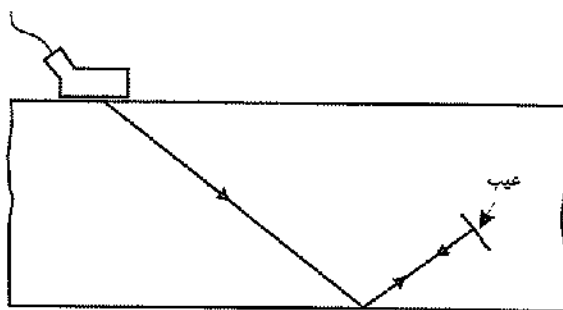
وضعیت‌های بخصوص آزمون وجود دارند که در آنها امکان به کارگیری از پروب‌های عمودی برای شناسایی عیب وجود ندارد و تنها راه حل معقول این است که از یک پروب زاویه‌ای استفاده شود. مثال خوبی از این روش بازرسی جوش‌های لب به لب صفحات هم امتداد است. اگر در منطقه جوش عیبی وجود داشته باشد، شدت علامت دریافتی کاهش خواهد یافت. فاصله AB را فاصله پیرش می‌نامند و برای رویش کامل ناحیه جوش، پروب‌ها باید مطابق شکل روی سطح قطعه جابه‌جا شوند. در عمل هر دو پروب باید در یک حامل نصب شوند تا همیشه فاصله درستی از هم داشته باشند (شکل ۸ - ۳۸).



شکل ۸ - ۳۸ روش عبوری با پروب زاویه‌ای: (الف) موقعیت پروب‌ها و فاصله پرش؛ (ب) روش رویش برای بازرسی کامل یک جوش لب‌به‌لب.

● روش بازتابی با پروب زاویه‌ای

همچنان که در شکل ۸ - ۳۹ دیده می‌شود با به‌کاربردن یک پروب زاویه‌ای در حالت بازتابی می‌توان عیب‌ها را ردیابی کرد. ذکر این نکته مهم است، هنگامی که در این‌گونه آزمون‌ها از پروب زاویه‌ای استفاده می‌شود، آشکارساز عیب باید به‌دقت با استفاده از یک قطعه مرجع، کالیبره شود. طراحی و استفاده از قطعات مرجع در بخش بعدی شرح داده می‌شود.



شکل ۸ - ۳۹ روش بازتابی با پروب زاویه‌ای.

۸-۴-۳-۲ اصول تشخیص عیوب در آزمایش فراصوتی

بازرسی آزمایش فراصوتی باید درک خوبی از فرآیند آزمایش فراصوتی و محدودیت‌های آن جهت اطمینان از به‌کارگیری پارامترهای مناسب آزمایش داشته باشند. بازرسی فراصوتی باید انواع عیوب و ناپیوستگی‌های ممکن را که

احتمال دارد در فرآیند تولید به وجود آمده باشد، بشناسد. شناخت متغیرها و انتخاب تجهیزات مناسب، امکان دستیابی شرایط بهینه آزمایش را افزایش می‌دهد.

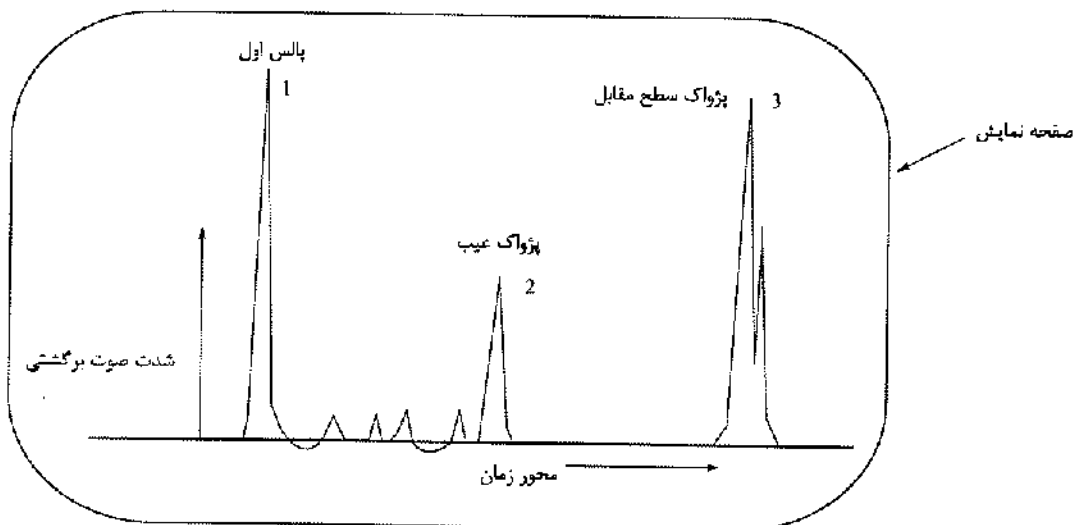
برای رسیدن به حساسیت مناسب، طول موج پرتوهای فراصوتی و دامنه فراوانی سیگنال منتشرشده باید به‌طور صحیحی انتخاب شود، طول موج صوت نباید بزرگتر از دو برابر کوچکترین اندازه عیوب (عمود بر جهت انتشار صوت) باشد. گاهی اوقات، اندازه، شکل، نوع، جهت‌گیری و محل ناپیوستگی بر قابلیت آن جهت ایجاد انعکاس فراصوتی مؤثر است. با فرض اینکه طول آنددر کوتاه باشد که بتوان موج بازتاب ناپیوستگی را دید، ناپیوستگی مدور، مانند تخلخل، کمترین پژواک و عیوب تخت بیشترین پژواک را دارند.

الگوهای اسکن باید براساس دانش انتشار موج و محل انجام بازرسی انتخاب گردد.

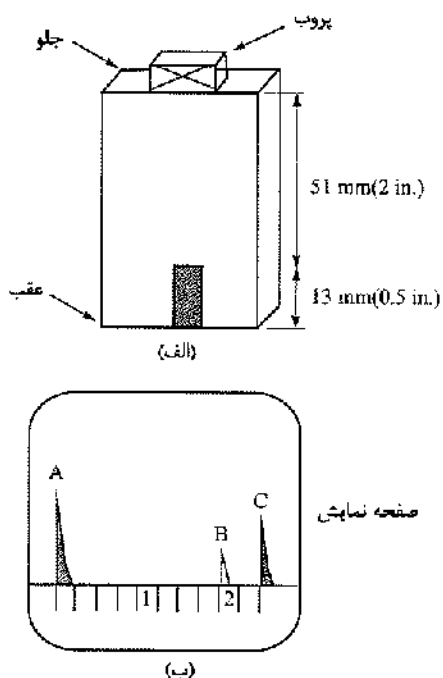
الف - تخمین اندازه عیوب

در صفحه نمایشی نوع A، امواج برگشتی (پژواک) از نمونه مورد آزمایش به پالس‌های (سیگنال‌های) الکتریکی قابل نمایش روی صفحه دستگاه تبدیل می‌شوند. فراوانی این امواج برگشتی متناسب با ارتفاع پالس نشان داده شده روی صفحه نمایش می‌باشد، در حالی که فاصله تا عیب (زمان برگشتی) در محور افقی دستگاه از سمت چپ به راست خوانده شود (شکل ۸ - ۴۰). در شکل ۸ - ۴۱ - الف واحد جستجوگر را روی قطعه مرجع با ارتفاع ۶۴ میلی‌متر که در کف آن سوراخی با ارتفاع ۱۳ میلی‌متر است، نشان می‌دهد. در شکل ۸ - ۴۱ - ب، نمایش اسکن این عیب در عمق ۲ اینچی از سطح می‌باشد. ارتفاع پالس برگشتی، شدت امواج برگشتی را نشان می‌دهد. محور عمودی روی صفحه نمایش (شکل ۸ - ۴۲) جهت اندازه‌گیری فراوانی سیگنال‌های متناسب با درصدی از ارتفاع به کار می‌رود.

ممکن است که ناپیوستگی، جهت نامناسبی با جهت امواج صوتی منتشرشده داشته باشد، بنابراین باید واحد جستجوگر دستگاه (پروپ) را با مهارت لازم حرکت داده تا بیشترین و بالاترین پالس برگشتی از ناپیوستگی حاصل گردد. در حالت استفاده از پروپ نرمال (عمودی) این عمل با حرکت جلو و عقب دست انجام می‌شود و در پروپ‌های زاویه‌دار حرکت دست به‌صورت عقب جلو کردن یا حرکت دایره‌ای در اطراف محل ناپیوستگی انجام می‌شود.

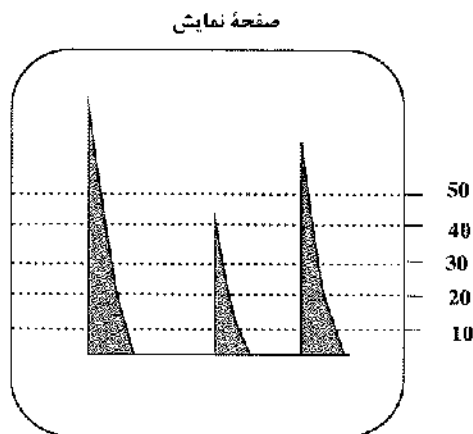


شکل ۸ - ۴۰ - محورهای افقی و عمودی صفحه نمایش دستگاه فراصوتی.



شکل ۸ - ۴۱ بلوک مرجع و نمایش مرتبط با آن.

تخمین اولیه اندازه ناپیوستگی معمولاً با مقایسه کردن بیشترین پالس به‌دست آمده از این عیب با عیوب ساختگی در بلوک‌های مرجع استاندارد به‌دست می‌آید. به علت اینکه فراوانی امواج برگشتی با تغییر هر دو عامل فاصله از عیب و سطح عیب متناسب است، باید از یک منحنی فاصله - فراوانی به‌دست آمده از قطعات مرجع با اندازه یکسان جهت مقایسه استفاده شود. پیژواک عیب با این منحنی‌ها مقایسه شده و اندازه عیوب تخمین‌زده می‌شود.

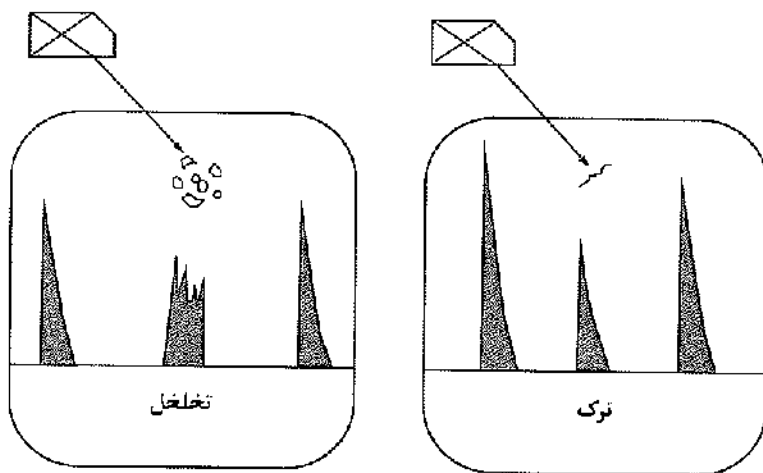


شکل ۸ - ۴۲ مقیاس محور عمودی صفحه نمایش.

اندازه‌های تخمین‌زده شده در این روش اغلب از اندازه واقعی عیب کوچکتر است، زیرا پژواک به‌دست آمده متأثر از عواملی نظیر جهت‌گیری عیب و ناصافی سطح، مقاومت قطعه و یا شکل عیب می‌باشد. به‌طور مثال ممکن است پژواک یک عیب سرپاره یا آخال محیوس شده در داخل قطعه با اندازه‌ای به‌مراتب بزرگتر از یک حفره تخت، کوچکتر باشد؛ که دلیل آن وجود مقاومت ظاهری بسیار پایین‌تر عیب و فلز پایه می‌باشد.

ب - ارزیابی الگوهای پژواک عیوب

از روی شکل و عرض پژواک بازگشتی روی صفحه نمایش، می‌توان به‌طور تقریبی نوع عیب را پیش‌بینی نمود. این اطلاعات غیرعینی بوده و با این فرض می‌باشد که تکنیک آزمایش طوری انتخاب شده که امواج بازگشتی در حالت بیشینه ممکن (با فرض اینکه بازتابنده یک شکل ساده و نامنظمی داشته باشد) می‌باشد. به‌عنوان مثال، شکل ۸ - ۴۳ شکل عمومی پژواک‌های به‌دست آمده از عیوب تخلخل و عیوب ترک مانند را نشان می‌دهد.



شکل ۸ - ۴۳ پژواک به‌دست آمده از عیوب رایج تخلخل و ترک.

۸-۴-۳-۴ قطعات مرجع

در آزمون‌های فراصوتی نشانه‌های حاصل از ناپیوستگی‌ها با نشانه‌های به‌دست آمده از استانداردهای مرجع مقایسه می‌گردند. قطعات مرجع متعددی برای آزمون‌های فراصوتی وجود دارند که هر یک از آنها با هدف خاصی ساخته شده است.

۱) واسنجی (کالیبراسیون) دستگاه به‌دو منظور انجام می‌گیرد:

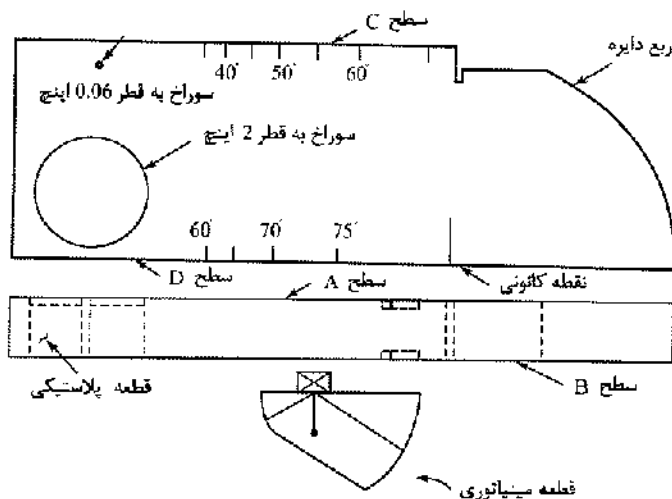
(۱) اطمینان از عملکرد صحیح مجموعه دستگاه و پروب؛

(۲) تعیین معیار رد و قبول ناپیوستگی.

مقایسه پالس‌های حاصل از ناپیوستگی‌های موجود در نمونه‌های مورد آزمون با پالس‌های ناشی از عیوب مصنوعی که با اندازه و عمق مشخصی در داخل قطعات مرجع استاندارد تعبیه می‌شود، می‌تواند معیار خوبی برای

تشخیص نوع عیب باشد. توجه داشته باشید که تخمین اندازه ناپیوستگی، متأثر از عوامل دیگری چون نوع ناپیوستگی، جهت قرار گرفتن آن و... نیز می‌باشد.

مواد خام مورد استفاده برای ساخت قطعات مرجع با دقت از میان نمونه‌هایی انتخاب می‌شوند که به وسیله امواج فراصوتی بازرسی شده و از نظر میزان استهلاک صوت، اندازه دانه‌بندی، و نوع عملیات حرارتی از استانداردهای معینی برخوردارند. ناپیوستگی‌ها ممکن است به شکل سوراخ‌های کف تخت^۷، سوراخ‌های جانبی^۸ و یا شیارهای سطحی در قطعات مرجع ایجاد شوند. قطعات مرجع با دقت بسیار بالایی ساخته شده و مورد آزمایش قرار می‌گیرند تا اطمینان حاصل شود که تنها ناپیوستگی موجود در این قطعات ناپیوستگی‌ای است که عمداً در قطعه تعبیه شده است.



شکل ۸ - ۴۴ قطعات مرجع IIW و مینیاتوری.

قطعه مرجع IIW^۹ و قطعه مرجع مینیاتوری^{۱۰} که در شکل ۸ - ۴۴ نشان داده شده‌اند، نمونه‌هایی از قطعات مرجع مورد استفاده در صنعت ساختمان هستند که به‌طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی دیگر از قطعات مرجع، قطعه ASME برای کالیبراسیون لوله‌ها^{۱۱} است. مشخصات این قطعه در کد ASME برای بویلرها و مخازن تحت فشار^{۱۲} آمده است و بسیاری از صنایع از این قطعه استفاده می‌کنند. بسته به جنس قطعه، راستای قرار گرفتن ناپیوستگی و نوع کاربرد، قطعات دیگری نیز برای کالیبراسیون دستگاه‌ها ساخته شده است.

7. Flat- Bottomed Holes (FBH)

8. Side- Drilled Holes

۹. IIW مخفف نام مؤسسه International Institute of Welding است. به‌قطعه IIW، قطعه (یا بلوک) V1 نیز گفته می‌شود.

۱۰. به‌قطعه مینیاتوری، قطعه V2 یا بلوک قله‌های نیز گفته می‌شود. در انگلیسی به‌قطعه مینیاتوری Rump as Blok نیز می‌گویند.

11. ASME Piping Calibration Block

12. ASME Boiler and Pressure Vessel Code

۸-۴-۳-۵ مراحل انجام آزمون فراصوت

در آزمون‌های فراصوتی نیز مانند دیگر آزمون‌های غیرمخرب، برای دستیابی به نتایجی یکسان و تکرارپذیر، باید مراحل خاصی دنبال شود. این مراحل عبارتند از:

۱- واسنجی (کالیبراسیون)

۲- انجام آزمون

۳- تفسیر نتایج

۸-۴-۳-۶ واسنجی (کالیبراسیون) دستگاه فراصوتی

واسنجی دستگاه فراصوتی یکی از مراحل اساسی در انجام آزمون است. واسنجی عبارت است از تنظیم دستگاه به نحوی که کاربر از تشخیص صحیح ناپیوستگی‌های مورد نظر اطمینان داشته باشد. برای واسنجی سیستم فراصوتی باید ابتدا دستگاه به همان نحوی که در انجام آزمون‌های واقعی به کار برده می‌شود، آماده گردد. سپس دستگاه به نحوی تنظیم می‌شود که از ناپیوستگی مصنوعی ایجاد شده در یک قطعه مرجع، پاسخ‌های مناسبی به دست آید. نوع، اندازه و محل قرار گرفتن ناپیوستگی‌های مصنوعی در قطعه مرجع معلوم هستند.

۸-۴-۳-۱ مراحل انجام واسنجی

دستگاه‌های فراصوتی باید در فواصل زمانی معینی از نظر الکترونیکی توسط کارخانه سازنده کالیبره شوند تا از عملکرد صحیح و خطی بودن پاسخ دستگاه اطمینان حاصل گردد. پس از واسنجی الکترونیکی دستگاه طبق استانداردهای موجود، کاربر می‌تواند با اطمینان خاطر دستگاه را برای انجام آزمون فراصوتی کالیبره و یا تنظیم نماید. پس از انجام مراحل فوق، می‌توان اطمینان داشت که اندازه‌گیری‌های به عمل آمده صحیح و دقیق هستند. اگر دستورالعمل صریحی برای رد یا قبول قطعه وجود نداشته باشد، مرحله انجام واسنجی دستگاه باید با دقت بیشتری انجام گیرد. واسنجی دستگاه با استفاده از قطعات خاصی به نام قطعات مرجع استاندارد^{۱۳} انجام می‌شود. در بعضی موارد، عیوب واقعی نیز در نمونه‌هایی از قطعات مورد آزمون ایجاد می‌کنند تا ناپیوستگی‌هایی را که احتمال تشکیل آنها در قطعه وجود دارد شبیه‌سازی کنند.

در واسنجی دستگاه فراصوتی، فراهم بودن لوازم و شرایط زیر ضروری است:

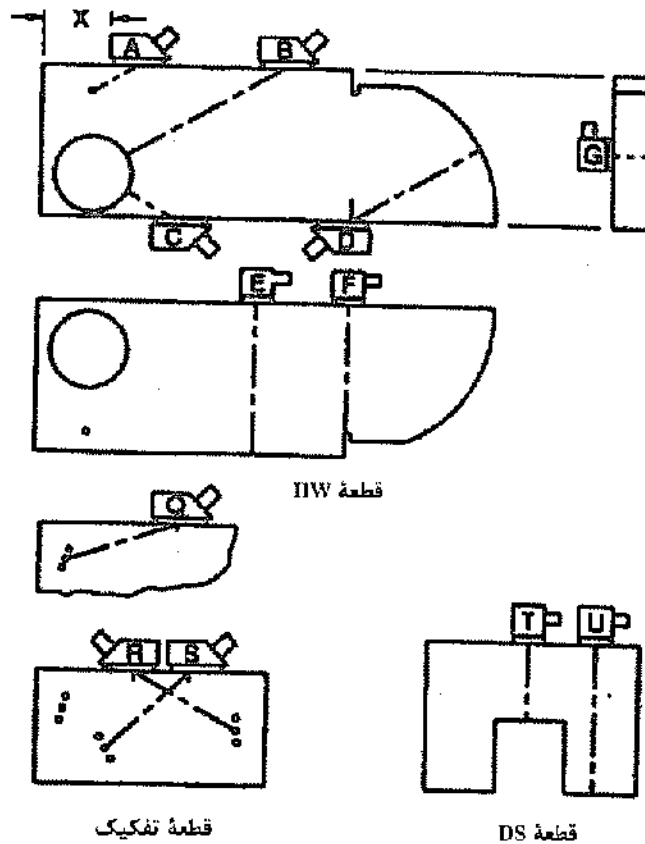
• دستگاه فراصوتی: یکی از انواع مختلف دستگاه‌های فراصوتی که معمولاً به صورت تجاری در بازار موجود است.

• پروب: پروب با فرکانس اسمی مناسب.

• منبع تغذیه: جریان متناوب برق شهر که ولتاژ آن توسط مبدل ولتاژ تنظیم می‌گردد.

• ماده واسط (Couplant)

● **قطعات مرجع:** برای واسنجی دستگاه لازم است مجموعه قطعات مرجع مساحت - دامنه و مجموعه قطعات مرجع فاصله - دامنه در دسترس باشند. از مجموعه قطعات اصلی ASTM که به‌نوعی هر دو مجموعه مساحت - دامنه و فاصله - دامنه را در یک مجموعه فراهم می‌سازند نیز می‌توان استفاده کرد.



شکل ۸ - ۴۵ وضعیت پروب برای کالیبراسیون روی قطعه IIW.

۸ - ۴ - ۳ - ۶ - ۲ واسنجی دستگاه فراصوتی به روش AWS روی قطعه IIW (بلوک VI)

الف) واسنجی با پروب نرمال

۱ - واسنجی مقیاس طولی:

مطابق شکل ۸ - ۴۵ پروب در وضعیت G قرار داده می‌شود. دستگاه باید طوری تنظیم شود که به‌ترتیب فواصل ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر را نشان دهد. مقیاس افقی صفحه نمایش دستگاه باید بعد از هر ۴۰ ساعت کار مورد ارزیابی مجدد قرار گیرد.

۲ - واسنجی مقیاس قائم (دامنه Amplitude)

مطابق شکل ۸ - ۴۵ پروب در وضعیت G قرار داده می‌شود. دگمه دستی بل آنقدر تنظیم می‌شود که ارتفاع پژواک سطح مقابل به ۵۰ و ۷۵ درصد ارتفاع صفحه‌نمایش برسد. دگمه تنظیم دستی بل باید در فواصل ۲ ماه واسنجی شود.

۲ - تفکیک (Resolution)

مطابق شکل ۸ - ۴۵ پروب در وضعیت F قرار داده می‌شود. پروب در دستگاه باید قادر به تشخیص جداگانه هر سه فاصله باشد.

ب - واسنجی با پروب زاویه‌ای

۱ - تعیین نقطه ورود موج از پروب (نقطه شاخص Index Point) به این ترتیب که:

مطابق شکل ۸ - ۴۵ پروب در وضعیت D قرار داده می‌شود. سپس پروب حرکت داده می‌شود تا پژواکی با دامنه حداکثر به دست آید. نقطه‌ای از پروب که در امتداد خط شعاعی از قطعه تنظیم قرار می‌گیرد، نقطه شاخص می‌باشد.

۲ - کنترل زاویه انتشار موج:

مطابق شکل ۸ - ۴۵ پروب باید در وضعیت B (برای زوایای ۴۰ تا ۶۰ درجه) و یا وضعیت C (برای زوایای ۶۰ تا ۷۰ درجه) قرار گیرد و به طرف سوراخ ۵۰ میلی‌متر هدف‌گیری شود.

برای زاویه انتخابی، باید آنقدر جلو و عقب شود تا پژواک رسیده از سوراخ حداکثر گردد. در این صورت نقطه شاخص در روی عمودی در قطعه تنظیم قرار دارد که با اختلاف ± 2 درجه باید مساوی زاویه انتشار صوت باشد.

۳ - واسنجی مقیاس افقی دستگاه

مطابق شکل ۸ - ۴۵ پروب باید در وضعیت D بر روی قطعه تنظیم قرار گیرد (با هر زاویه‌ای). سپس دستگاه طوری واسنجی می‌شود که به ترتیب با قراردادن نقطه شاخص در روی اعداد ۱۰۰ و ۲۰۰ در روی قطعه تنظیم، این اعداد در روی صفحه نشان داده شود.

۴ - واسنجی مقیاس قائم و حساسیت - تعیین تراز مرجع

مطابق شکل ۸ - ۴۵ پروب باید در وضعیت A قرار گیرد و به سمت سوراخ ۱/۵ میلی‌متر هدف‌گیری شود و آنقدر عقب جلو شود تا حداکثر پژواک دریافت شود. سپس با کمک دگمه دسی‌بل، موج پژواک تبدیل به خط افقی می‌شود. حداکثر قرائت برحسب دسی‌بل، تراز مرجع (Reference level) می‌باشد.

۵ - تفکیک

مطابق شکل ۸ - ۴۵ پروب باید در روی قطعه تفکیک RC در وضعیت Q (برای پروب ۷۰ درجه) یا در وضعیت R (برای پروب ۶۰ درجه) و یا در وضعیت S (برای پروب ۴۵ درجه) قرار گیرد. در این حالت دستگاه باید سه سوراخ را به تفکیک نشان دهد.

۶ - فاصله تقرب تفکیک

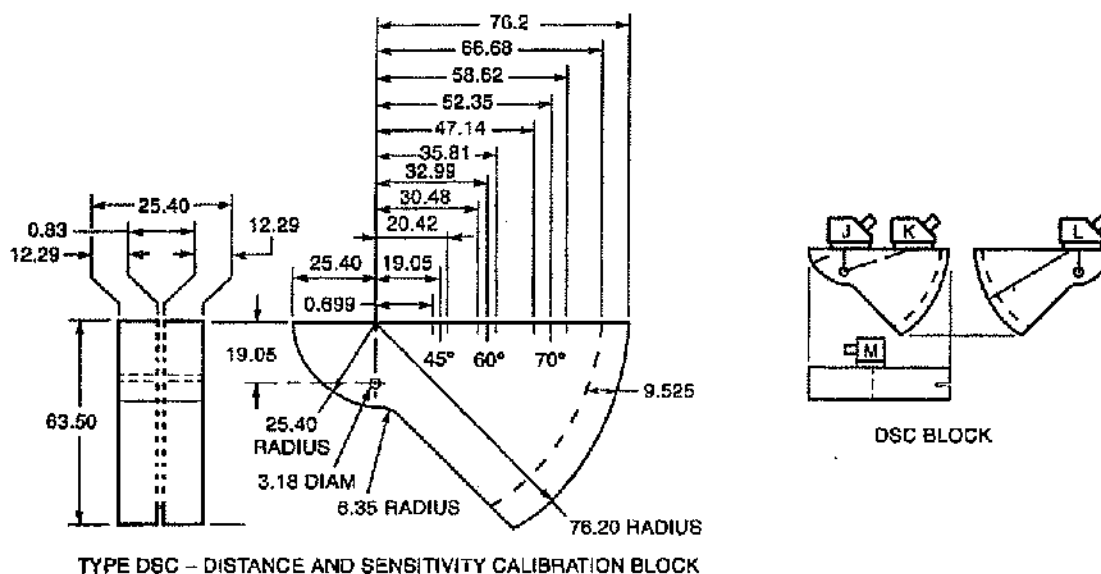
حداقل فاصله مجاز بین پنجه پروب و لبه قطعه کالیبراسیون باید به صورت زیر باشد.

برای پروب ۷۰ درجه $X = 50 \text{ mm}$

برای پروب ۶۰ درجه $X = 37 \text{ mm}$

برای پروب ۴۵ درجه $X = 25 \text{ mm}$

۸-۴-۳-۶-۳-۲ واسنجی دستگاه فراصوتی به روش AWS روی قطعه DSC (بلوک V2)



شکل ۸-۴۶ وضعیت پروب برای کالیبراسیون روی قطعه DSC (بلوک V2).

الف - واسنجی با پروب نرمال

۱ - کالیبراسیون مقیاس طولی

مطابق شکل ۸-۴۶ پروب در وضعیت M قرار داده می‌شود. دستگاه باید طوری تنظیم شود که به ترتیب فواصل ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر را نشان دهد. مقیاس افقی صفحه نمایش دستگاه باید بعد از هر ۴۰ ساعت کار مورد ارزیابی مجدد قرار گیرد.

۲ - کالیبراسیون مقیاس قائم (دامنه Amplitude)

مطابق شکل ۸-۴۵ پروب در وضعیت M قرار داده می‌شود. دکمه دسی‌بل آنقدر تنظیم می‌شود که ارتفاع پژواک سطح مقابل به ۵۰ و ۷۵ درصد ارتفاع صفحه نمایش برسد. دکمه تنظیم دسی‌بل باید در فواصل ۲ ماه واسنجی شود.

ب - واسنجی با پروب زاویه‌ای

۱ - تعیین نقطه ورود موج از پروب (نقطه شاخص) به این ترتیب که:

مطابق شکل ۸-۴۶ پروب در وضعیت A یا L قرار داده می‌شود. سپس پروب حرکت داده می‌شود تا پژواکی با دامنه حداکثر به دست آید. نقطه‌ای از پروب که در امتداد خط شعاعی از قطعه تنظیم قرار گیرد، نقطه شاخص می‌باشد.

۲ - کنترل زاویه انتشار موج

مطابق شکل ۸ - ۴۶ پروب باید در وضعیت K برای زوایای ۴۵ تا ۷۰ درجه قرار گیرد و به طرف سوراخ هدف‌گیری شود. برای زاویه انتخابی، باید آنقدر جلو و عقب شود تا پژواک رسیده از سوراخ حداکثر گردد. در این صورت نقطه شاخص در روی علامت عمودی در قطعه تنظیم قرار دارد که با اختلاف ± 2 درجه باید مساوی زاویه انتشار صوت باشد.

۳ - واسنجی مقیاس افقی دستگاه

مطابق شکل ۸ - ۴۶ پروب باید در وضعیت L در روی قطعه تنظیم قرار گیرد (با هر زاویه‌ای). سپس دستگاه طوری واسنجی می‌شود که به ترتیب با قرار دادن نقطه شاخص در روی اعداد ۷۵ و ۱۸۰ در روی قطعه تنظیم، این اعداد در روی صفحه نشان داده شود.

پروب باید در وضعیت L در روی قطعه تنظیم قرار گیرد (با هر زاویه‌ای). سپس دستگاه طوری واسنجی می‌شود که به ترتیب با قرار دادن نقطه شاخص در روی اعداد ۲۵ و ۲۳۰ در روی قطعه تنظیم، این اعداد در روی صفحه نشان داده شود.

۴ - واسنجی مقیاس قائم و حساسیت - تعیین تراز مرجع

مطابق شکل ۸ - ۴۶ پروب باید در وضعیت L قرار گیرد و به سمت شکاف 0.18 میلی‌متری هدف‌گیری شود و آنقدر عقب و جلو شود تا حداکثر پژواک دریافت شود. سپس با کمک دکمه دسی‌بل، موج پژواک تبدیل به خط افقی می‌شود. حداکثر قرائت بر حسب دسی‌بل تراز مرجع می‌باشد.

۸ - ۴ - ۳ - ۷ انجام آزمون

پس از واسنجی سیستم فراصوتی، می‌توان آزمون قطعات را آغاز نمود. در هنگام انجام آزمون، دسترسی کامل به تمامی دکمه‌های تنظیم دستگاه وجود ندارد، زیرا تغییر بعضی از این تنظیم‌ها موجب از بین رفتن کالیبراسیون شده و ممکن است کالیبراسیون مجدد دستگاه را ایجاد نماید. آزمون‌های فراصوتی به یکی از دو روش تماسی و یا غوطه‌وری انجام می‌گیرند. در آزمون‌های تماسی، پروب مستقیماً بر روی قطعه قرار داده می‌شود. لایه بسیار نازکی از ماده واسطه، برای تسهیل عبور موج از پروب به سطح قطعه، بین دو سطح اعمال می‌گردد. در بعضی موارد نیز گوه‌های پلاستیکی، صفحات سایش و یا پوسته‌های انعطاف‌پذیر^{۱۴}، بر روی پروب سوار می‌شوند. در آزمون‌های تماسی معمولاً پالس اولیه و بازتاب سطح رویی قطعه بسیار نزدیک به یکدیگر ظاهر می‌گردند.

در آزمون‌های غوطه‌وری، از یک پروب ضد آب استفاده می‌شود. این پروب در فاصله قابل توجهی از سطح قرار می‌گیرد و پرتو فراصوتی از میان ستونی از آب به طرف قطعه فرستاده می‌شود. با توجه به کم بودن سرعت امواج فراصوتی در آب، مسیر آب بر روی صفحه اسیلوسکوپ به صورت فاصله‌ای نسبتاً طولانی بین پالس اولیه و بازتاب سطح رویی ظاهر می‌گردد. نحوه دقیق انجام آزمون در دستورالعمل انجام آزمون توضیح داده می‌شود.

۸-۴-۳-۷-۱ آماده شدن برای انجام آزمون

آمادگی برای انجام آزمون فراصوتی با بررسی قطعه و تشخیص روش مناسب برای ارزیابی و سنجش آن آغاز می‌گردد. پس از این مرحله باید تجهیزات لازم برای انجام آزمون انتخاب گردد. انتخاب روش مناسب برای انجام آزمون بستگی به عوامل گوناگونی دارد. برای مثال، نمونه مورد آزمون ممکن است بسیار بزرگ باشد به نحوی که امکان قراردادن آن در مخزن وجود نداشته باشد. در مواردی که اندازه نمونه بسیار بزرگ است و یا اصولاً امکان جابه‌جا کردن آن وجود ندارد (مانند سازه‌های ساختمانی)، دستگاه فراصوتی به محلی که نمونه در آنجا قرار دارد برده می‌شود و آزمون به روش تماسی انجام می‌شود. در این گونه موارد از دستگاه‌های فراصوتی قابل حمل استفاده می‌شود. عوامل دیگری که در انجام آزمون باید مدنظر قرار گیرند عبارتند از: زبری سطح، شکل هندسی، جنس قطعه، نحوه اتصال قطعات به یکدیگر (جوش، چسب، پرچ و غیره)، و تعداد قطعاتی که باید مورد آزمون قرار گیرند. هنگامی که نیاز به انجام آزمون بر روی تعداد زیادی از قطعات مشابه باشد و همچنین تهیه گزارش ثبت‌شده‌ای از آزمون‌ها مورد نیاز باشد، استفاده از روش غوطه‌وری که در آن روبش قطعه و ثبت نتایج به صورت خودکار انجام می‌شود مناسب خواهد بود. اگر تنها ارزیابی یک قطعه خاص مورد نظر باشد، استفاده از دستگاه‌های فراصوتی قابل حمل و انجام آزمون به روش تماسی مناسب‌تر است. به هر صورت برای هر موردی نیاز به مطالعه و بررسی برای یافتن بهترین و عملی‌ترین روش انجام آزمون و تهیه دستورالعمل انجام آزمون می‌باشد.

برای انجام هر آزمونی لازم است فرکانس مورد نظر، پروب مناسب، و استاندارد مرجع مورد نیاز انتخاب گردد. قطعه مورد آزمون نیز باید برای شناسایی ناپیوستگی‌های احتمالی موجود در آن، به خوبی بازرسی شود. برای مثال، در قطعات آهنگری شده، ناپیوستگی تورق به موازات جهت پتک‌کاری ظاهر می‌شوند. ناپیوستگی‌های ناشی از تورق در ورق‌های فلزی معمولاً در سطح ورق بوده و در امتداد جهت نورد قرار می‌گیرند. در صورت امکان، باید قطعه تقلیدی ساخته شود و در آن عیوب واقعی در نقاط حساسی از قطعه ایجاد شوند تا با بررسی این عیوب بتوان آزمون واقعی را شبیه‌سازی کرد.

۸-۴-۳-۷-۲ اقدامات قبل از انجام آزمایش فراصوتی

- ۱- قبل از انجام آزمایش، اپراتور باید از هندسه درز، ضخامت مصالح، روش جوشکاری و انجام هرگونه تعمیر آگاه گردد.
- ۲- اپراتور انجام آزمایش باید تحت آزمون قرار گرفته و توانایی انجام آزمایش و اجرای آیین‌نامه‌ها را داشته باشد.
- ۳- اپراتور باید از شارژ بودن دستگاه و کالیبره بودن آن اطمینان حاصل نماید.
- ۴- سطحی که قرار است پروب روی آن بلغزد باید عاری از هرگونه پاشش جوش، پوسیدگی، ناهمواری سطحی، رنگ و فلزهای شل باشد و باید تماس خوبی با پروب برقرار نماید.
- ۵- قبل از قرار دادن پروب روی سطح، باید روی سطح قطعه روغن واسطه (گیریس یا گلیسرین و...) مالیده شود.
- ۶- باید پروب مناسب مطابق جدول‌های استاندارد با توجه به ضخامت قطعه انتخاب گردد.
- ۷- کالیبراسیون حساسیت و مقیاس افقی دستگاه با استفاده از بلوک‌های استاندارد نظیر بلوک V1 و V2 انجام شود.

۸ - تعیین تراز مرجع (Reference level)

۹ - تعیین ضریب کاهندگی (c)

۱۰ - تعیین ضخامت قطعه مورد آزمایش و تنظیم آن روی دستگاه

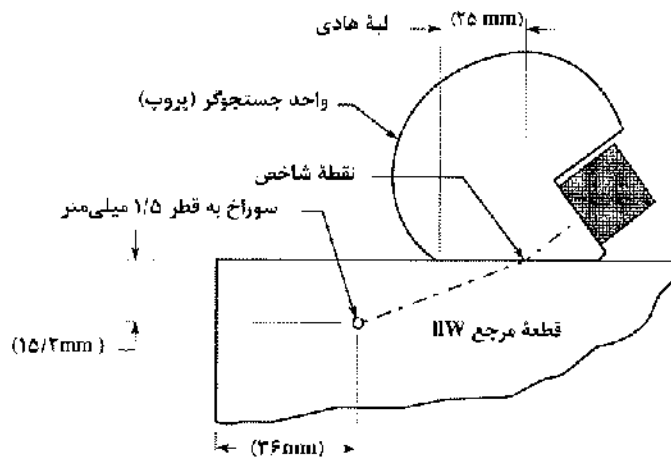
۸-۴-۳-۷-۳ شرایط انجام آزمایش فراصوتی

مطابق استاندارد AWS D1-1، آزمایش جوش‌های شیاری و ناحیه تفتیده (IIAZ) در ورق‌های با ضخامت ۸ تا ۲۰۰ میلی‌متر قابل استفاده می‌باشد. دستگاه فراصوت باید از نوع ضربانی (Pulse-echo) یا مبدلی (transducer) با دامنه ارتعاشی ۱ تا ۶ مگاهرتز و صفحه نمایش از نوع روبشی "A" باشد.

دستگاه‌های آزمایشی باید دارای هشداردهنده‌هایی برای خالی بودن باتری باشند.

پایدارکننده‌های داخلی دستگاه باید تغییر ولتاژی در حدود ۱۵ درصد اسمی را با تغییراتی در حدود $\pm 1\text{db}$ نمایش دهد. دستگاه باید دارای دکمه تنظیم دسی‌بل با گام ۱ یا ۲ دسی‌بل باشد.

مبدل دستگاه در حالت زاویه‌ای متشکل از دو واحد جداگانه و یا یک واحد یکپارچه با فرکانس بین ۲ تا ۲/۵ مگاهرتز می‌باشد. ابعاد پروب باید به گونه‌ای باشد که فاصله بین لبه هادی و نقطه شاخص از ۲۵ میلی‌متر بیشتر نباشد (شکل ۸ - ۴۷).



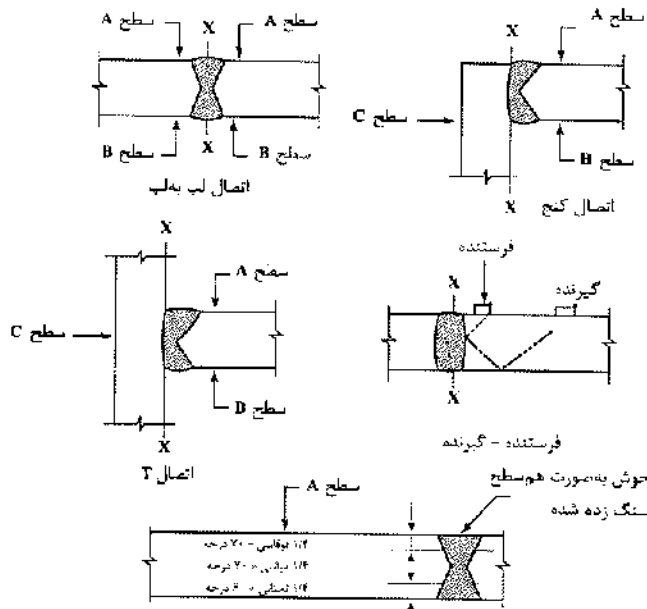
شکل ۸ - ۴۷

پس از انجام اقدامات اولیه قبل از آزمایش فراصوتی، اکنون لازم است با پروب مناسب انتخاب‌شده از روی جدول

۸ - ۱ اقدام به انجام آزمایش فراصوتی مطابق یکی از الگوهای روبش مناسب نشان داده شده در شکل ۸ - ۴۸ نماییم.

جدول ۸ - ۱ زاویه آزمایش

نوع جوش	ضخامت مصالح (میلی‌متر)									
	۸	> ۳۸	> ۴۵	> ۶۵	> ۹۰	> ۱۱۵	> ۱۳۰	> ۱۶۵	> ۱۷۸	
	۳۸	۴۵	۶۵	۹۰	۱۱۵	۱۳۰	۱۶۵	۱۷۸	۲۰۰	
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
نیم به نیم	۱ O	۱ F	۱G یا F	۱G یا F	۲ یا F	۲ یا F	۸ یا F	۹ یا F	۱۲ یا F	۱۲ یا F
T (پرسی)	۱ O	۱ F یا XF	۲ یا XF	۲ یا XF	۲ یا XF	۲ یا XF	۱۰ یا XF	۱۱ یا XF	۱۳ یا XF	-
کنج	۱ O	۱ F یا XF	۲ یا XF	۲ یا XF	۲ یا XF	۲ یا XF	۸ یا XF	۹ یا XF	۱۳ یا XF	-
گاز الکتریکی	۱ O	۱ O	۱G یا ۱**	۱G یا ۱**	۲ یا ۲*	۲ یا ۲*	۱۱ یا ۱۱	۱۱ یا ۱۱	۱۱ یا ۱۱	۱۱ یا ۱۱
سرباره الکتریکی	۱ O	۱ O	۲ یا ۲*	۲ یا ۲*	۲ یا ۲*	۲ یا ۲*	۱۵ یا ۱۵	۱۵ یا ۱۵	۱۵ ^{۰۰} یا ۱۵ ^{۰۰}	۱۵ ^{۰۰} یا ۱۵ ^{۰۰}

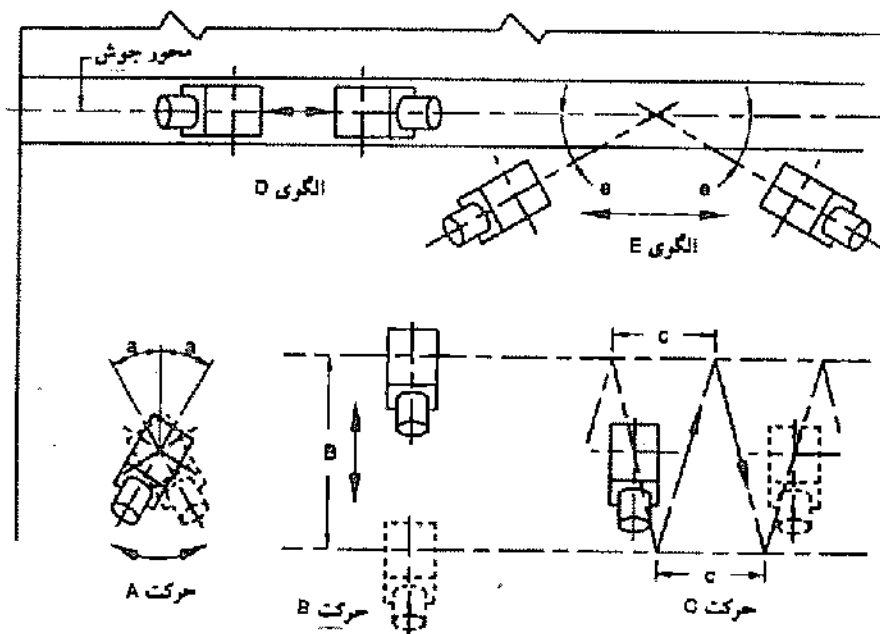


تذکر: ۱- در صورت امکان، تمان آزمون‌ها باید در سطح A و ساق انجام شود.

روش کار محدودده ضخامت				روش کار محدودده ضخامت			
شماره	نیمه میانی	۱/۴ فوقانی	۱/۴ تحتانی	شماره	نیمه میانی	۱/۴ فوقانی	۱/۴ تحتانی
۹	۶۰°	۷۰° G A	۷۰°	۱	۷۰°	۷۰°	۷۰°
۱۰	۶۰°	۶۰° B	۶۰°	۲	۶۰°	۶۰°	۶۰°
۱۱	۷۰°**	۴۵° B	۴۵°	۳	۴۵°	۴۵°	۴۵°
۱۲	۷۰° G B	۴۵°	۷۰° G A	۴	۷۰°	۷۰°	۶۰°
۱۳	۴۵°	۴۵° B	۴۵°	۵	۷۰°	۴۵°	۴۵°
۱۴	۴۵°	۷۰° G A	۴۵°	۶	۶۰°	۷۰° C A	۷۰°
۱۵	۷۰° G B	۷۰° A B	۷۰° G A	۷	۶۰°	۶۰° B	۶۰°
				۸	۶۰°	۷۰° G A	۶۰°

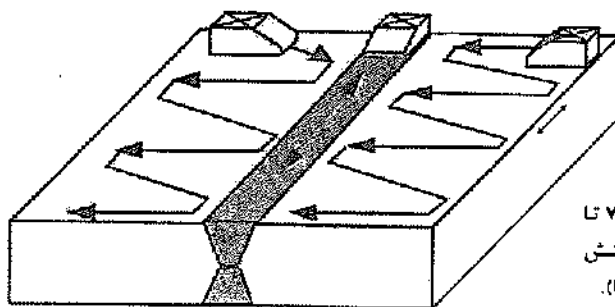
راهنما:

- X= آزمون از سطح C.
- G= سطح جوش هم‌سطح شده است.
- O= لازم نیست.
- سطح A = سطحی که اولین روش از آن انجام می‌شود.
- سطح B = سطح مقابل A.
- سطح C = سطح مکان جوش در اتصالات T و کنجی.
- * در صورتی لازم است که در صفحه نمایش محل ترک را در فصل مشترک فلز جوش و فلز پایه نشان دهد.
- ** از تنظیم فاصله صفحه نمایش ۳۸۰ میلی‌متر تا ۵۱۰ میلی‌متر استفاده شود.
- P= برای تعیین محل دقیق ترک باید از روش فرستنده - گیرنده استفاده شود.
- T= فصل مشترک فلز جوش و فلز پایه باید به وسیله پروب ۶۰، ۷۰ و ۶۰، ۷۰ مورد ارزیابی قرار گیرد.



توضیح:

- ۱- الگوی رویش همواره نسبت به محور جوش متقارن است به استثنای الگوی D که به طور مستقیم در روی محور جوش انجام می‌شود.
- ۲- در صورت امکان، آزمایش باید از هر دو طرف محور جوش انجام شود.



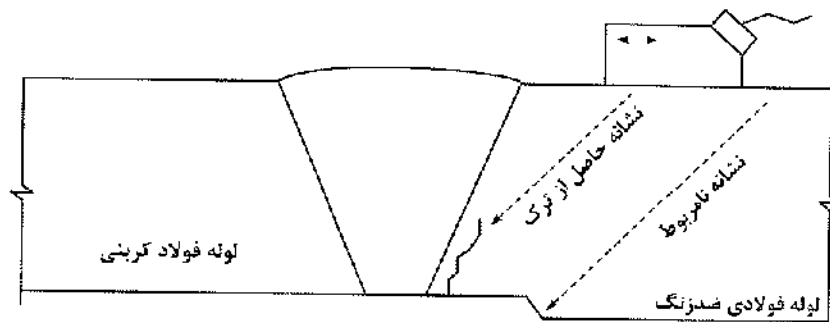
مسیر حرکت پروب

جهت رویش جوش که در هر گام ۷۵ تا ۸۰ درصد عرض پرتوهای صوتی را پوشش می‌دهد (۲۰ درصد همپوشانی بین گام‌ها).

شکل ۸-۴۸. پلان الگوهای رویش.

۸-۴-۳-۸ تفسیر نتایج

پس از انجام آزمون فراصوتی، نتایج به دست آمده باید مورد بررسی قرار گرفته و تفسیر شوند. به هنگام تفسیر نتایج، عوامل متعددی باید مدنظر قرار گیرند.



شکل ۸ - ۴۹ قطعه تقلیدی و نشانه‌های نامربوط دیده شده در آن.

در بعضی از موارد تفسیر نتایج حاصل از آزمون‌های فراصوتی به راحتی قابل انجام نیست. تفسیر صحیح نتایج تنها با در نظر گرفتن شرایط انجام آزمون و مرتبط ساختن نشانه‌های مشاهده شده با ناپیوستگی‌های احتمالی امکان پذیر است. تشدید صوتی، زبری سطح، گوشه‌های تیز، تغییر در خواص ماده و نیز زاویه تابش موج، همگی عواملی هستند که در هنگام ارزیابی اندازه و محل قرار گرفتن ناپیوستگی باید به آنها توجه نمود. چنین تغییراتی می‌توانند سیگنال‌ها یا نشانه‌های نامربوط (جعلی) در صفحه نمایش به وجود آورند. ساده‌ترین روش برای تفسیر نتایج آزمون، مقایسه آنها با نشانه‌های حاصل از ناپیوستگی‌های موجود در قطعات مرجع یا قطعات تقلیدی است. یک کاربر ماهر یاد می‌گیرد که نشانه‌های حاصل از عیوب واقعی را از نشانه‌های نامربوط بازشناسد (شکل ۸ - ۴۹).

ضوابط پذیرش عیوب در آزمایش فراصوتی

در صورت مشاهده علائم ناپیوستگی در صفحه نمایش، باید با تنظیم دکمه دسی‌بل دستگاه، حداکثر علائم قابل حصول از ناپیوستگی تعیین گردد. مقدار تنظیم بر حسب دسی‌بل، تراز تشخیص عیب (a) نامیده می‌شود و از آن برای محاسبه درجه عیب (d) استفاده می‌شود.

ضریب کاهندگی (c) نیز از تفریق ۲۵ میلی‌متر از طول مسیر صوت (S) (طول مستقیم پیموده شده صوت برای ردیابی عیب) و تقسیم نتیجه آن بر ۲۵ و ضرب نتیجه حاصل در ۲ به دست می‌آید. این ضریب باید به نزدیکترین مقدار دسی‌بل گرد گردد.

ضریب کاهندگی (C)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
طول میر (S)	۳۷/۵	۵۰	۶۲/۵	۷۵	۸۷/۵	۱۰۰	۱۱۲/۵	۱۲۵

$$C = \frac{S - 25}{25} \times 2$$

$$S = \frac{V \cdot t}{2}$$

t: زمان (ms)

V: شدت صوت (km/s)

پس از اندازه‌گیری مقادیر a، b و c، درجه عیب (d) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$d = a - b - c$$

پس از تعیین درجه عیب، عدد به‌دست آمده را با ستون متناسب در جدول ۸ - ۲ مقایسه شده و رده عیب تعیین می‌شود. سپس از جدول ۸ - ۳ با توجه به رده عیب، طول مورد پذیرش برای بارهای استاتیکی تعیین می‌شود. محل و عمق ناپیوستگی‌ها باید در روی جوش علامت زده شوند.

جدول ۸ - ۲ ضوابط پذیرش بازرسی فراصوت در سازه‌های تحت بارهای استاتیکی

رده ناپیوستگی و حفرات*	ضخامت جوش بر حسب میلی‌متر و زاویه پروب**				
	۲۰ تا ۸	۲۸ تا ۲۰	بزرگتر از ۶۴ تا ۲۸	بزرگتر از ۱۰۰ تا ۶۴	بزرگتر از ۲۰۰ تا ۱۰۰
	۷۰°	۷۰°	۷۰° ۶۰° ۴۵°	۷۰° ۶۰° ۴۵°	۷۰° ۶۰° ۴۵°
رده A	+۵ و کمتر	+۲ و کمتر	+۲ +۱ -۲ و کمتر و کمتر و کمتر	-۵ -۲ ۰ و کمتر و کمتر و کمتر	-۷ -۴ -۱ و کمتر و کمتر و کمتر
رده B	+۶	+۳	-۱ -۲ +۴ ۰ ۱۳ +۵	-۴ -۱ +۱ -۲ ۰ -۲	-۶ -۲ ۰ -۵ -۲ +۱
رده C	+۷	-۴	+۱ +۴ -۶ +۲ ۱۵ +۷	-۲ تا +۱ +۳ +۲ +۲ +۴	-۴ تا -۱ تا +۲ +۲ ۱۲ +۳
رده D	+۸ و بیشتر	-۵ و بیشتر	+۳ +۶ +۸ و بیشتر و بیشتر و بیشتر	+۳ +۳ +۵ و بیشتر و بیشتر و بیشتر	-۳ +۳ +۴ و بیشتر و بیشتر و بیشتر

* برای دیدن رده ناپیوستگی به جدول ۸ - ۳ مراجعه نمود.

** ضخامت جوش، ضخامت قطعه نازک‌تر است.

۱ - ناپیوستگی‌های رده B و C باید به اندازه ۲L از یکدیگر فاصله داشته باشند. L طول بزرگترین ناپیوستگی است.

۲ - ناپیوستگی‌های رده B و C باید به اندازه ۲L از لبه فاصله داشته باشند. L طول ناپیوستگی است.

جدول ۸ - ۳ رده شدت ناپیوستگی و حفرات

A	ناپیوستگی‌های وسیع	هر عیبی در این رده مرهود است (بدون توجه به طول)
B	ناپیوستگی‌های متوسط	هر عیبی در این رده با طول بزرگتر از ۲۰ میلی‌متر مرهود است.
C	ناپیوستگی‌های کوچک	هر عیبی در این رده با طول بزرگتر از ۵۰ میلی‌متر مرهود است.
D	ناپیوستگی‌های ریز	هر عیبی در این رده بدون توجه به طول یا محل قابل پذیرش است.

تراز رویش

° مسیر تابش (میلی‌متر)	بالای تراز مرجع (db)
۶۰ تا	۱۴
۱۲۵ تا ۶۰	۱۹
۲۵۰ تا ۱۲۵	۲۹
۲۸۰ تا ۲۵۰	۳۹

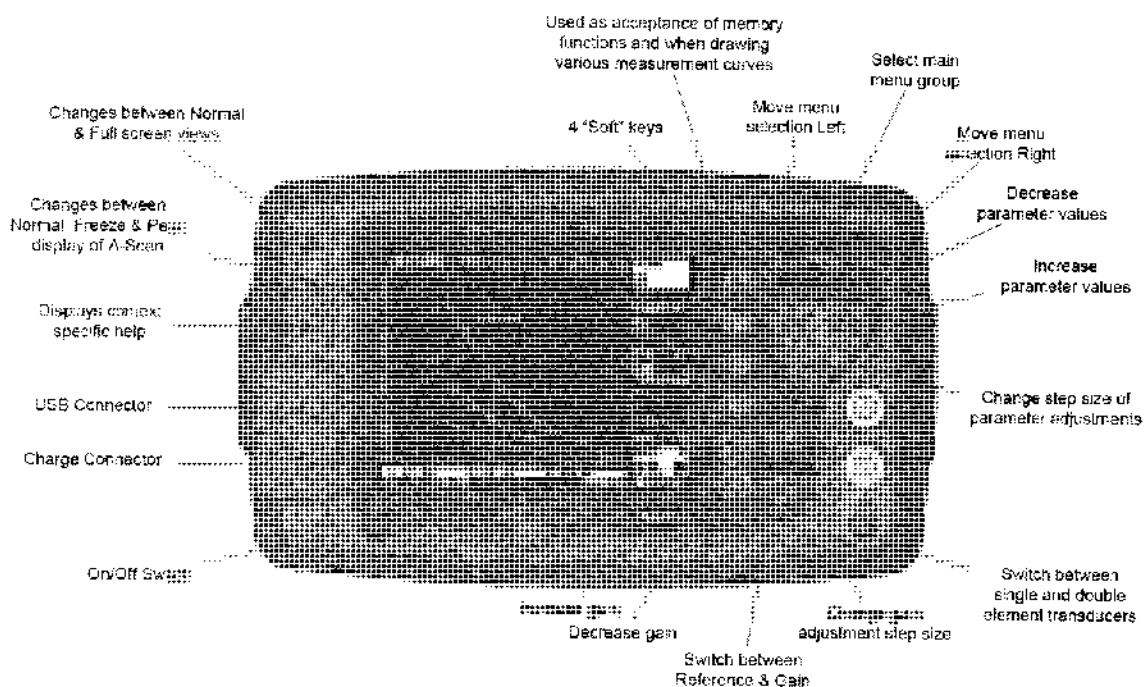
* این ستون طول مسیر تابش است نه ضخامت قطعه

۸-۲-۳-۹ معرفی دستگاه‌های عیب‌یاب فراصوتی بازتابی (دیجیتال)

دستگاه‌های عیب‌یاب فراصوتی دارای مدارهای الکترونیکی مشابهی هستند. نمونه‌ای از این دستگاه‌ها در شکل ۸-۵۰ نشان داده شده است. سازندگان مختلف، نام‌های یکسانی را برای نامگذاری دکمه‌های کنترل دستگاه به کار نمی‌برند. دفترچه راهنمای دستگاه شامل نحوه استفاده و نگهداری از دستگاه، مروری بر آزمون‌های فراصوتی و اصول حاکم بر آنها و سایر اطلاعات لازم می‌باشد. در صورت مغایرت اطلاعات داده شده در این کتاب با آنچه در دفترچه راهنمای دستگاه آمده است، دفترچه راهنما باید ملاک قرار گیرد.

یک دستگاه فراصوتی شامل قسمت‌های اصلی زیر است:

- **منبع تغذیه:** مدارهایی که جریان برق را برای قسمت‌های مختلف دستگاه تأمین می‌کنند، منبع تغذیه را تشکیل می‌دهند. جریان برق از طریق برق شهر و یا از طریق باطری نصب‌شده بر روی دستگاه تأمین می‌گردد.
- **پروپ:** پروپ شامل بلوره، بدنه و کابل رابط است. بلوره انرژی الکتریکی را به انرژی فراصوتی تبدیل نموده و سبب ایجاد موج در قطعه می‌گردد. علاوه بر این، پروپ امواج بازتابیده از داخل قطعه را نیز دریافت نموده و آنها را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کند. این سیگنال‌ها پس از تقویت بر روی صفحه اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شوند.
- **پالس‌ساز/گیرنده:** پالس‌ساز یا مولد پالس، منبع تولید پالس‌های الکتریکی بسیار کوتاه ولی با انرژی زیاد است (فاصله زمانی ایجاد این پالس‌ها توسط زمان‌سنج کنترل می‌شود). پالس‌های الکتریکی از طریق کابل رابط به پروپ فرستاده می‌شوند. پالس‌های برگشتی از قطعه نیز توسط پروپ دریافت شده و به دستگاه فرستاده می‌شوند تا در آنجا پس از تقویت بر روی صفحه اسیلوسکوپ نمایش داده شوند.
- **صفحه نمایش:** صفحه نمایش معمولاً یک لامپ کاتدی یا یک صفحه نمایش دیجیتالی است. این صفحه دارای یک مولد جاروب است و کنترل‌های لازم برای تنظیم چگونگی نمایش سیگنال‌های دریافتی بر روی آن تعیین شده است.
- **زمان‌سنج:** تمامی سیگنال‌های زمانی توسط زمان‌سنج به پالس‌ساز ارسال می‌شوند و لذا به زمان‌سنج «مولد نرخ» و یا «سرعت» نیز گفته می‌شود.



شکل ۸-۵۰ نمونه‌ای از یک دستگاه فراصوتی دیجیتالی.

۸-۴-۳-۹-۱ دکمه‌های کنترل

دکمه‌های کنترل متنوعی برای تنظیم قسمت‌های مختلف دستگاه از جمله منبع تغذیه، پالس‌ساز، زمان‌سنج و صفحه نمایش بر روی دستگاه تعبیه شده است. نامگذاری به‌کار برده شده در ذیل ممکن است در تمامی دستگاه‌های فراصوتی یکسان نباشد.

• **منبع تغذیه:** منبع تغذیه معمولاً توسط یک دکمه روشن/خاموش (ON/OFF) و یک فیوز کنترل می‌شود. پس از روشن کردن دستگاه در طول زمان گرم شدن آن، مدارهای برقی توسط اجزاء تأخیر زمانی^{۱۵} محافظت می‌شوند.

• **پالس‌ساز / گیرنده:** طول پالس انرژی فراصوتی که به‌داخل قطعه ارسال می‌شود توسط دکمه طول پالس (PULSE LENGTH) تنظیم می‌شود. هنگامی تنها از یک پروب برای انجام آزمون استفاده می‌شود، هر دو مدار ارسال و دریافت پالس به پروب وصل می‌شوند. در حالتی که دو پروب برای انجام آزمون مورد استفاده قرار گیرند (آزمون عبوری)، کابل‌ها به دو محل مختلف بر روی دستگاه وصل می‌شوند که یکی از این دو محل با حرف T (محل اتصال فرستنده) و دیگری با حرف R (محل اتصال گیرنده) مشخص می‌گردد. دکمه‌ای به نام MODE روی دستگاه وجود دارد که می‌توان آن را روی یکی از دو حالت THRU (عبوری) و یا PULSE-ECHO

15. Time - Delay

(بازتابی) قرار داد. تنظیمی با نام FREQUENCY نیز روی دستگاه وجود دارد که محدوده فرکانس را برحسب مگاهرتز تعیین می‌کند. با استفاده از این تنظیم می‌توان محدوده فرکانسی را برای انجام آزمون تنظیم کرد. دکمه GAIN حساسیت دستگاه را کنترل می‌کند و معمولاً دارای دو تنظیم COARSE (درشت) و FINE (ریز) است. در صورتی که تنها یک دکمه برای کنترل حساسیت وجود داشته باشد، این دکمه SENSITIVITY نامیده می‌شود. برای حذف اغتشاشات کم دامنه و داشتن تصویری واضح، دکمه‌ای به نام REJECT روی دستگاه تعبیه شده است. این دکمه نشانه‌هایی را که دامنه آنها از حد معینی (که این حد قابل تنظیم است) کمتر باشد از روی صفحه نمایش حذف خواهد کرد. باید توجه داشت که در صورت استفاده از این ویژگی دستگاه، محدوده افقی صفحه نمایش دیگر خطی نخواهد بود و بدین لحاظ به‌هنگام استفاده از این تنظیم چراغ قرمز کوچکی جهت یادآوری این امر روشن شده و یا به‌نحو دیگری فعال بودن این ویژگی نمایش داده می‌شود.

- **صفحه نمایش:** دکمه‌های تنظیم صفحه نمایش و طرز کار آنها به شرح زیر است:
 - _ VERTICAL (فائق): محل قرار گرفتن خط پایه را در امتداد محور قائم تنظیم می‌کند.
 - _ HORIZONTAL (افقی): محل قرار گرفتن خط پایه را در امتداد محور افقی تنظیم می‌کند.
 - _ INTENSITY (شدت): میزان روشنی خط پایه و نشانه را تنظیم می‌کند.
 - _ FOCUS (تمرکز): میزان تمرکز پرتو الکترونی را تنظیم می‌کند (در لامپ کاتدی).
 - _ ASTIGMATISM (استیگماتیسم): عدم وضوح یا استیگماتیسم ناشی از تغییر زمان جاروب شدن پرتوالکترونی در طول صفحه نمایش را تصحیح می‌کند (در لامپ کاتدی).
 - _ POWER (قدرت): دستگاه را روشن یا خاموش می‌کند.
 - _ SCALE ILLUMINATION (روشنی درجه‌بندی): میزان روشنی درجه‌بندی صفحه نمایش را تنظیم می‌کند.
- **زمان سنج:** مدار زمان سنج معمولاً شامل قسمتی است که با آن نرخ تکرار پالس^{۱۶} تنظیم می‌شود. فرکانس تولید پالس‌هایی که به سایر مدارها فرستاده می‌شوند توسط این مدار کنترل می‌شود. نرخ تکرار پالس براساس جنس ماده و ضخامت آن تنظیم می‌شود. دکمه تأخیر (DELAY) نیز به منظور قراردادن پالس اولیه در منتهی‌الیه سمت چپ صفحه و قراردادن پژواک سطح پشتی (یا تعدادی از پژواک‌های سطح پشتی) در سمت راست صفحه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

• **سایر دکمه‌های کنترل:** دکمه‌های کنترل دیگری که روی بعضی از دستگاه‌ها وجود دارند عبارتند از:

- _ DAC یا STC: دکمه DAC (تصحیح فاصله - دامنه) یا TVG (کنترل حساسیت - زمان) روی بعضی از دستگاه‌ها با نام TCG (بهره تصحیح شده در زمان)^{۱۷} یا TVG (بهره تغییر یافته در زمان)^{۱۸} نیز ظاهر می‌شود.

16. Pulse Repetition Rate

17. Time Corrected Gain

18. Time Corrected Gain

این دکمه به منظور جبران افت دامنه نشانه‌های حاصل از بازتابندهایی که در فواصل زیادی از سطح قرار دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورت استفاده از این دکمه، دامنه نشانه حاصل از یک ناپیوستگی معین، صرفنظر از طول مسیر صوتی طی شده، یکسان خواهد بود.

- **میرایی (DAMPING):** با زیاد کردن میرایی، طول پالس الکتریکی کم می‌شود. در واقع با افزایش میرایی، طول دسته موجی^{۱۹} که به پروب فرستاده می‌شود کم می‌شود. افزایش میرایی، حساسیت سیستم را بهبود می‌بخشد.

- **انتخاب صفحه نمایش (DISPLAY SELECTOR):** با استفاده از دکمه انتخاب صفحه نمایش می‌توان یکی از دو حالت VIDEO یا RADIO FREQUENCY را انتخاب کرد. در حالت RF شکل کامل پالس بر روی صفحه نمایش ظاهر می‌گردد در حالی که در حالت VIDEO شکل یکسوشده پالس بر روی صفحه، نمایش داده می‌شود. حالت VIDEO در دستگاه‌های فراصوتی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- **هشداردهنده پنجره‌ای (GATED ALARM):** دستگاه‌هایی که به هشداردهنده پنجره‌ای مجهز هستند، هنگام دریافت نشانه‌ای که دامنه آن بیش از میزان مجاز باشد، کاربر را با ارسال علائم هشداردهنده آگاه می‌سازند. پنجره^{۲۰} مورد نظر را می‌توان روی نشانه‌هایی که از منطقه خاصی از قطعه ارسال می‌شوند قرار داد. نشانه‌هایی که داخل این پنجره قرار می‌گیرند و دامنه آنها از حد معینی بیشتر است، موجب فعال شدن علائم هشداردهنده می‌شوند. علائم هشداردهنده می‌توانند صوتی (زنگ خطر) و یا تصویری (چشمک‌زدن یا روشن شدن چراغ) باشند. از علائم هشداردهنده به منظور کنترل سایر دستگاه‌ها از طریق سیستم کنترلی بازخورد^{۲۱} استفاده می‌شود. هشداردهنده پنجره‌ای معمولاً دارای سه دکمه کنترل به شرح زیر است:

• **شروع (START) یا تأخیر (DELAY):** با استفاده از این دکمه محل قرار گرفتن ابتدای مختصات صفحه نمایش تنظیم می‌گردد.

• **طول (LENGTH) یا عرض (WIDTH):** با استفاده از این دکمه، طول پنجره یا محل قرار گرفتن گوشه انتهایی آن تنظیم می‌شود.

• **سطح هشدار (ALARM LEVEL) یا آستانه (THRESHOLD):** دکمه سطح (LEVEL) یا آستانه (THRESHOD) ارتفاع پنجره را تنظیم می‌کند. به محض بیشتر شدن دامنه نشانه از ارتفاع پنجره (ارتفاع ممکن است + یا - باشد)، سیستم هشداردهنده فعال می‌گردد.

19. Wave Train

20. Gate

21. Feedback

۸-۴-۳-۹-۲ مراحل عیب‌یابی

۱- یک مبدل (پروپ مناسب)، ترجیحاً 2.3 MHZ انتخاب نمایید.

۲- دستگاه را روشن کنید.

۳- در منوی کالیبراسیون پارامترهای زیر را ثبت نمایید.

عدد 0.000 در Zero

- شدت صوت در ماده مورد آزمایش را در VEL تنظیم نمایید.

- عدد 125 را در Range یا عدد مناسب دیگری که محدوده آزمایش را پوشش دهد.

ضخامت قطعه: t زاویه پروپ: α $Range = 1.2 (2t / \cos \alpha)$

عدد 0.000 در Delay.

عدد 50.0 در Gain.

۴- در منوی امپلی‌فایر (AMP) پارامترهای زیر را تنظیم نمایید.

- منوی آشکارسازی (Detect) را روی کامل (Full) قرار دهید.

- منوی تنظیم ماکزیمم فرکانس تکراری (PRF) را روی 50HZ قرار دهید.

۵- در منوی بازه ۱ (Gate 1) پارامترهای زیر را تنظیم نمایید.

- منوی حالت (State) را روی حالت ON+VE قرار دهید، تا وقتی شدت اکوی عیب از خط آستانه بیشتر شد هشدار دهد.

- منوی شروع (Start) را روی 10.0 قرار دهید. این منو جهت تعیین موقتی شروع بازه (Gate) نسبت به پالس اولیه استفاده می‌شود.

- منوی عرض بازه (Width) را روی عدد 50.0 یا عدد مناسبی که محدوده آزمایش را پوشش دهد قرار دهید.

- منوی سطح بازه (Level) را روی عدد 50.0 تنظیم نمایید. این منو سطح خط آستانه را تعیین می‌نماید.

۶- در منوی تنظیم اندازه‌گیری (MFAS) پارامترهای زیر را تنظیم نمایید.

- منوی حالت اندازه‌گیری (mode) را روی حالت (Depth) عمق تنظیم نمایید. در این حالت بازه ۱ (Gate1)

به‌عنوان عمق یا ضخامت قطعه عمل می‌نماید.

- منوی Trigger را روی حالت Flank قرار دهید.

- منوی Hud را روی حالت خاموش قرار دهید.

- منوی T-min را روی حالت خاموش قرار دهید.

دستگاه UT اکنون آماده عیب‌یابی اولیه می‌باشد.

با استفاده از یک بلوک کالیبراسیون مناسب، پارامتر Gain را جهت حساسیت صحیح تعیین نمایید. سایر

پارامترها را نیز جهت بهینه‌سازی کالیبراسیون انجام دهید.

۸-۴-۳-۹-۳ انجام آزمون فراصوتی با استفاده از منوی AWS

منوی AWS جهت بازرسی ناپیوستگی‌هایی که براساس استاندارد AWS D1-1 ارزیابی می‌شوند، استفاده می‌شود. استفاده از این منو، روش مناسب جهت محاسبه اتوماتیک (IR) a که در استاندارد تعریف شده است، می‌باشد. منوی AWS می‌تواند به صورت ترکیبی با حالت مثلثاتی (Trigonometry) استفاده شود که به طور همزمان فاصله مسیر مستقیم (beam path)، فاصله افقی و فاصله عمودی را در پایین صفحه نمایش نشان دهد. منوی AWS با منوی DAC روشن عمل نخواهد کرد.

جهت تنظیم کردن اندازه‌گیری‌های منوی AWS، مراحل زیر باید انجام شود:

- ۱- دستگاه را برای آزمایش جوش و تنظیم با حالت مثلثات (Trigonometry) با پیروی کردن از مراحل کاری مربوطه کالیبره می‌کنیم.
- ۲- در منوی MEAS، AWS را انتخاب کرده و منوی MODE را روی حالت SET قرار می‌دهیم.
- ۳- خط مرجع را در منوی REF روی مرجع مطلوب (معمولاً 80%) تنظیم می‌کنیم.
- ۴- پروب را روی بلوک آزمایش قرار داده و بلندترین سیگنال را می‌گیریم.
- ۵- CURSOR روی صفحه نمایش را روی حالت Adjust قرار می‌دهیم.
- ۶- وقتی که سیگنال به حالت بیشینه رسید کلید OK را فشار می‌دهیم.

دستگاه فراصوتی اکنون جهت تعیین اندازه‌گیری IR مطابق AWS D1-1 کالیبره شده است.

۸-۴-۳-۱۰ نشانه‌های حاصل از ناپیوستگی‌ها*

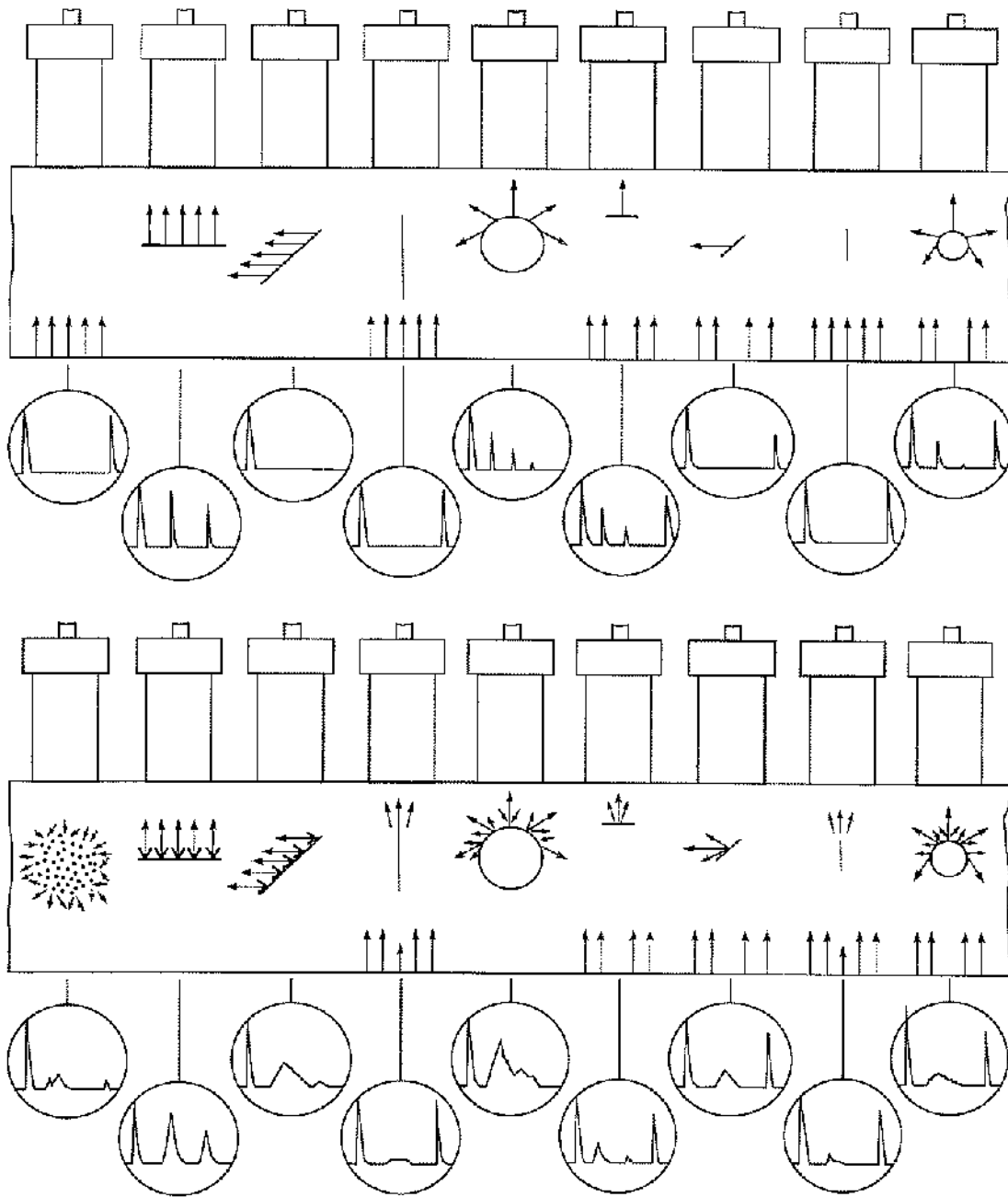
نشانه‌های حاصل از ناپیوستگی‌های جوش

نشانه‌های به دست آمده از آزمون‌های فراصوتی تماسی معمولاً به علت وجود ناپیوستگی‌هایی چون ناخالصی‌های فلزی، ترک، درزه^{۲۲}، پکیدگی و پوسته شدن^{۲۳} حاصل از نورد می‌باشد که در شکل‌های ۸-۵۱ و ۸-۵۲ به صورت شماتیک نشان داده شده‌اند.

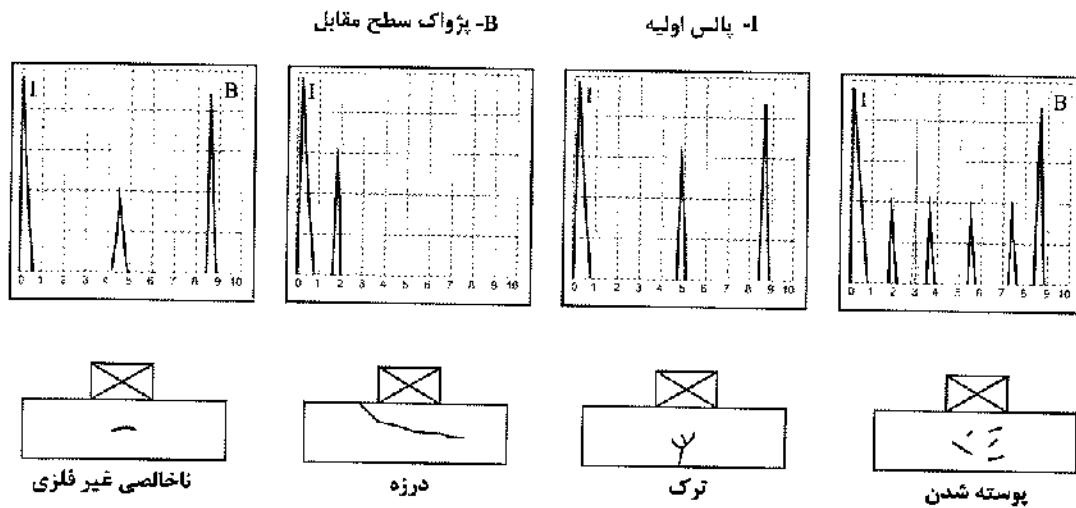
* بمنقل از کتاب «آزمون فراصوتی» نوشته دکتر فرهنگ هتور، انتشارات نوپردازان، تابستان ۱۳۸۴

22. Seam

23. Flaking

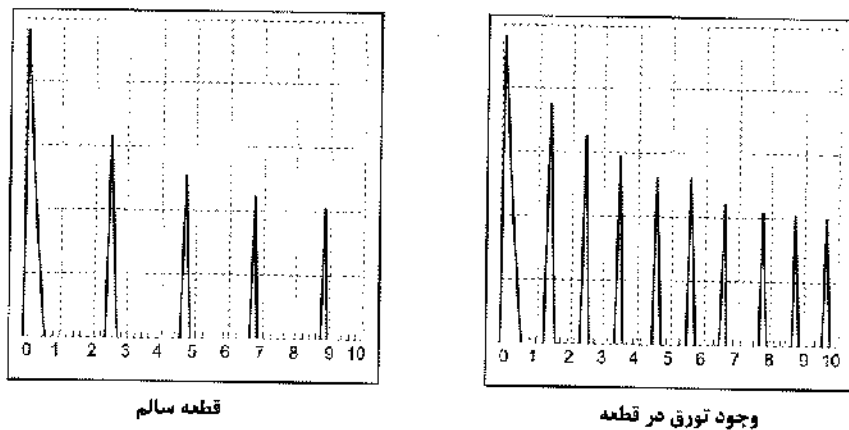


شکل ۸ - ۵۱ شکل عمومی بازتاب‌ها و نشانه‌های حاصل از ناپیوستگی‌ها (قابل استناد نیست).



شکل ۸-۵۲ نشانه‌های حاصل از ناپیوستگی‌هایی که به‌طور معمول در آزمون‌های تماسی مشاهده می‌شوند.

همان‌طور که در شکل ۸-۵۳ دیده می‌شود، وجود تورق در ورق‌های نوردشده موجب کاهش فاصله پژواک‌های متوالی حاصل از سطح مقابل قطعه می‌گردد. در سمت چپ شکل ۸-۵۳ پژواک حاصل از سطح مقابل برای یک ورق بدون عیب و در سمت راست آن پژواک‌های حاصل از قسمتی که تورق در آن روی داده است نشان داده شده‌اند.

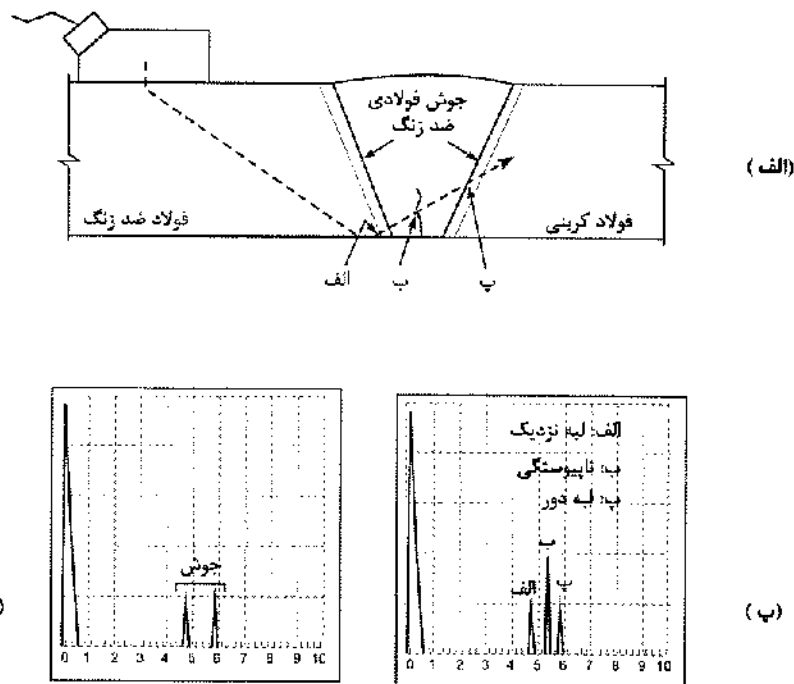


شکل ۸-۵۳ تأثیر تورق بر روی بازتاب‌های سطح پشی.

در آزمون اتصالات جوش با پرتو زاویه‌ای، ندیدن هیچ‌گونه نشانه‌ای بر روی صفحه نمایش، دلالت بر عدم وجود ناپیوستگی در جوش دارد. به‌محض قرار گرفتن یک ناپیوستگی در مسیر پرتوها، نشانه‌ای بر روی صفحه نمایش ظاهر خواهد شد. البته واضح است که همه نشانه‌های مشاهده‌شده لزوماً ناشی از وجود ناپیوستگی در جوش نمی‌باشند و در بعضی از موارد این نشانه‌ها ممکن است کاملاً نامربوط باشند. نشانه‌های غیرواقعی از این نوع ممکن است به‌علل

ماتلورژیکی به وجود آیند که در این حال این نشانه‌ها از منطقه‌ای که مذاب به قطعه وصل شده است ارسال می‌شوند (شکل ۸ - ۵۴ - ب).

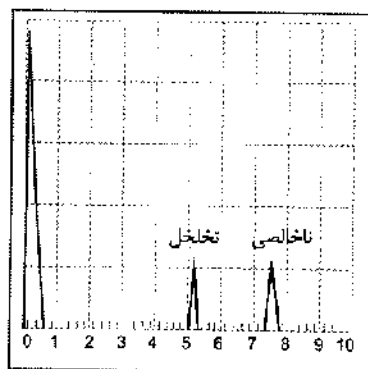
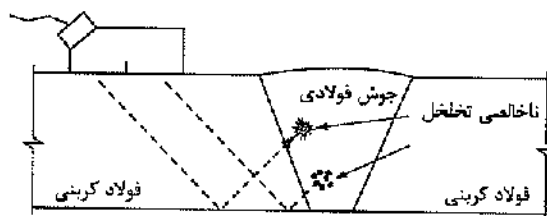
در شکل ۸ - ۵۴ - پ بازتاب‌های حاصل از منطقه متأثر از حرارت^{۲۴} (ناحیه تفتیده) در ناحیه تماس مذاب و قطعه، هنگامی به وجود می‌آید که مواد غیرمشابهی که ترکیبات آلیاژی متفاوتی دارند به یکدیگر جوش داده شده باشند (مثلاً فولاد کربنی به فولاد ضدزنگ). اتصال جوشی به خودی خود یک ماده ریخته‌گری است که در قالبی که توسط پخ‌های ایجاد شده در قطعات به وجود آمده ریخته شده است و موجب بازتاب امواج فراصوتی و ایجاد نشانه‌هایی بر روی صفحه نمایش می‌گردد. مناطق متأثر از حرارت (HAZ) ممکن است یا هیچ نشانه‌ای ایجاد نکنند و یا نشانه‌های قابل توجهی پدید آورند که هر دو آنها، به نوع قطعات جوشکاری شده و نوع الکتروود بستگی دارد.



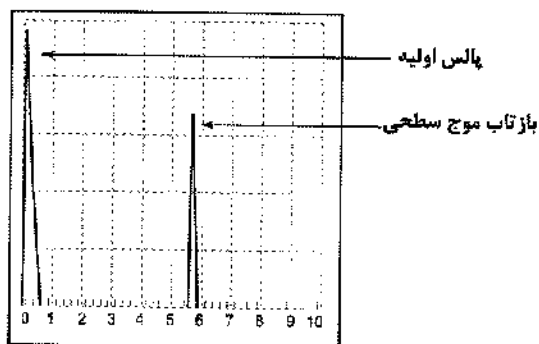
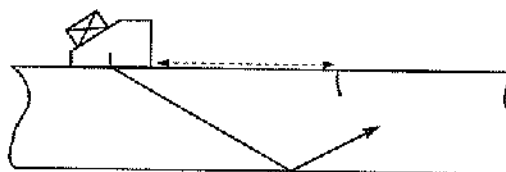
شکل ۸ - ۵۴ نشانه‌های مشاهده شده در یک اتصال جوشی.

معمولاً در اتصالات جوشی، ناپیوستگی‌هایی نظیر مک و یا ناخالصی وجود دارد. نشانه‌های حاصل از این‌گونه ناپیوستگی‌ها در شکل ۸ - ۵۵ نشان داده شده است.

در بعضی موارد، به‌هنگام انجام آزمایش توسط یک پروپ زاویه‌ای، تشخیص ترک‌های سطحی در قطعه نیز امکان‌پذیر خواهد بود. در شکل ۸ - ۵۶، نشانه حاصل از یک ترک سطحی در قطعه‌ای که توسط یک پروپ زاویه‌ای بازرسی می‌شود نشان داده شده است.



شکل ۸ - ۵۵ نشانه‌های حاصل از مک و یا ناخالصی در اتصال جوشی.



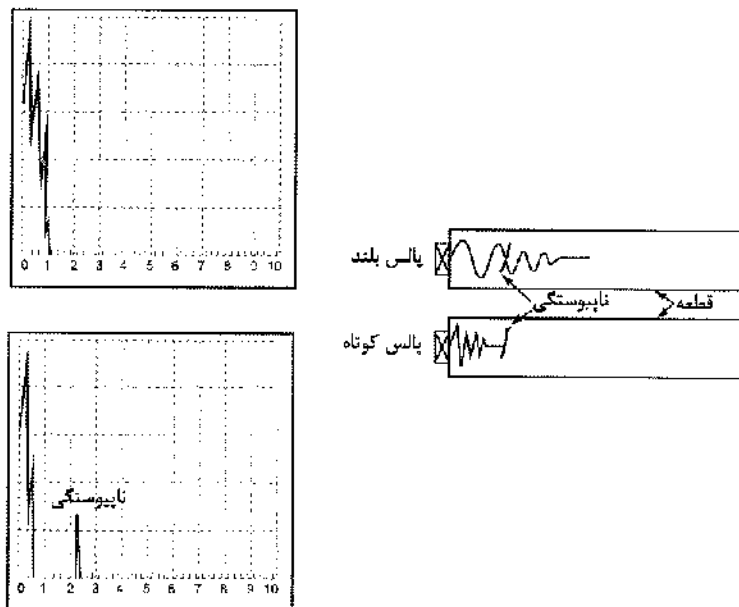
شکل ۸ - ۵۶ استفاده از پروپ زاویه‌ای و تشخیص ترک سطحی در قطعه.

نشانه‌هایی که در منطقه مرده قرار می‌گیرند

منطقه مرده که در نزدیکی سطح رویی قطعه قرار دارد، منطقه‌ای است که در آن هیچ‌گونه سیگنال قابل‌قبولی نمی‌توان به‌دست آورد، زیرا تمامی سیگنال‌هایی که از این منطقه به پروپ باز می‌گردند توسط پالس اولیه پوشانده شده‌اند. در بسیاری از آزمون‌های تماسی، نشانه حاصل از سطح رویی قطعه توسط پالس اولیه پوشانده می‌شود^{۲۵}. به‌همین لحاظ

۲۵ - چنین مشکلی در آزمون‌های غوطه‌وری وجود ندارد زیرا در آزمون‌های غوطه‌وری پالس اولیه و نشانه حاصل از سطح رویی قطعه توسط فاصله مس‌آب از یکدیگر جدا می‌شوند.

در آزمون‌های تماسی که به روش پرتو مستقیم انجام می‌گیرند معمولاً مشاهده و تشخیص ناپیوستگی‌هایی که در نزدیکی سطح قرار دارند امکان‌پذیر نیست. کوتاه کردن پالس باعث کاهش طول منطقه مرده می‌گردد و شانس بیشتری را برای تشخیص ناپیوستگی‌های نزدیک به سطح فراهم می‌سازد. در شکل ۸ - ۵۷ دو پالس کوتاه و بلند که برای تشخیص ناپیوستگی‌ای در نزدیکی سطح مورد استفاده قرار گرفته‌اند نشان داده شده است. با استفاده از یک خط تأخیری که معمولاً یک استوانه پلاستیکی است، و یا با استفاده از پروپ‌های دوقلو، می‌توان قابلیت تفکیک سیگنال‌ها در نزدیکی سطح را بهبود بخشید.



شکل ۸ - ۵۷ مقایسه پالس‌های کوتاه و بلند

نشانه‌های ناشی از اندازه دانه‌بندی

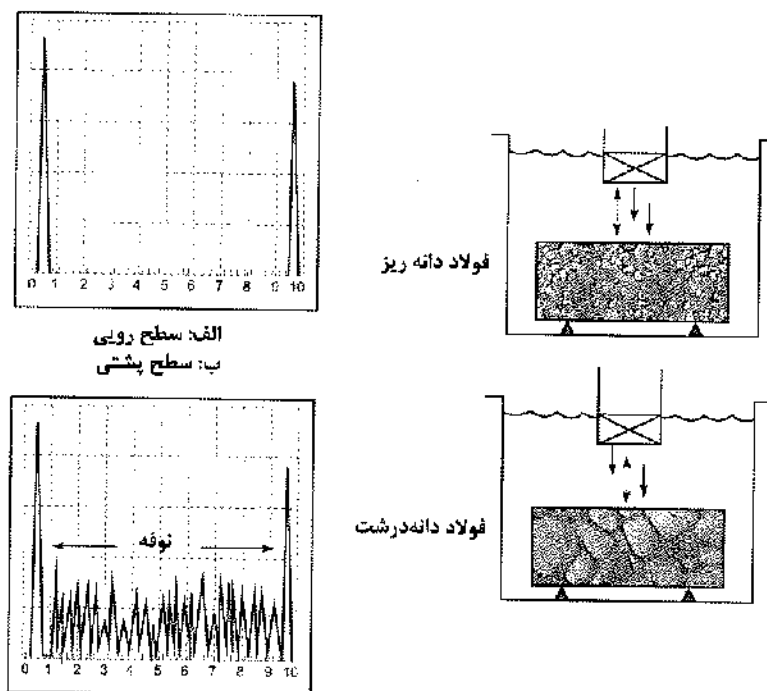
همان‌گونه که در شکل ۸ - ۵۸ نشان داده شده است، درشت بودن دانه‌بندی قطعه نیز ممکن است موجب ایجاد سیگنال‌های اضافی^{۲۶} بر روی صفحه نمایش گردد. اگر دانه‌بندی قطعه ریز باشد، سیگنال‌های مزاحم بر روی صفحه نمایش ظاهر نخواهند شد. در بعضی موارد که اندازه دانه‌ها به‌طور غیرطبیعی بزرگ است، پژواک سطح مقابل کاملاً از روی صفحه نمایش محو می‌گردد. چنین وضعیتی معمولاً زمانی روی می‌دهد که انجام عملیات آهنگری بر روی قطعه، در دمایی مناسبی به‌کار نرفته باشد و یا در هنگام انجام عملیات کارگرم و یا تابکاری^{۲۷} از دمایی بالایی استفاده شده باشد. اغلب چنین ساختاری که دانه‌هایی با اندازه‌های مختلف در آن وجود دارد در فولادهای ضدزنگ آستنیتی^{۲۸} دیده می‌شود و موجب کاهش قابل توجهی در نسبت سیگنال به نوفه^{۲۹} می‌گردد.

۲۶ - به‌این‌گونه سیگنال‌های مزاحم که به‌صورت پیوسته در طول خط پایه بر روی صفحه نمایش دیده می‌شوند *Grass یا Hash* گفته می‌شود.

27. Annealing

28. Austenitic stainless steel

29. Signal - to - Noise Ratio



شکل ۸ - ۵۸ تأثیر اندازه دانه‌بندی بر روی نشانه‌های فراصوتی.

نشانه‌های نامربوط^{۳۰}

تمامی نشانه‌هایی که دامنه و شکل آنها با حرکت دادن پروپ در طول قطعه تغییر نمی‌کند، مظنون به‌قرار گرفتن در دسته سیگنال‌های نامربوط هستند. بازتاب‌های حاصل از گوشه‌های گرد قطعه و سطوح مقعر آن ممکن است نشانه‌هایی را بر روی صفحه نمایش در فاصله بین نشانه‌های حاصل از سطوح رویی و مقابل ایجاد نمایند. در بعضی مواقع این‌گونه نشانه‌ها به‌عنوان نشانه‌های حاصل از ناپیوستگی تلقی می‌شوند.

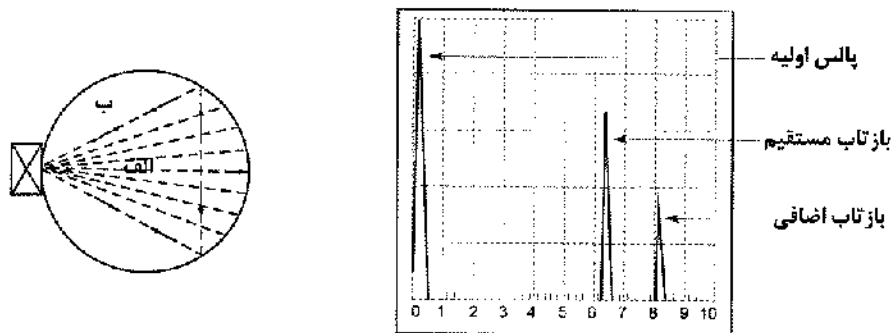
در بعضی مواقع در نزدیکی لبه قطعاتی که سطح مقطع آنها مستطیل شکل است، بازتاب‌هایی از لبه‌ها مشاهده می‌شود بدون اینکه افتی در بازتاب سطح پشتی دیده شود. این‌گونه نشانه‌ها معمولاً هنگامی ظاهر می‌شوند که پروپ در فاصله ۱۳ میلی‌متر از لبه قطعه قرار داشته باشد. قطعاتی که دارای سطوح صاف و براق هستند نیز در بعضی موارد نشانه‌های گمراه‌کننده‌ای ایجاد می‌کنند.

اگر برای بازرسی قطعه‌ای با دانه‌بندی درشت از فرکانس‌های بالا استفاده شود، احتمال ظاهر شدن سیگنال‌های اضافی بر روی صفحه نمایش وجود دارد.

برای کاستن یا از بین بردن این سیگنال‌های مزاحم، می‌بایست فرکانس کاهش داده شود و یا در صورت امکان از پروپ‌های زاویه‌ای که مسیر صوتی کوتاه‌تری دارند استفاده گردد.

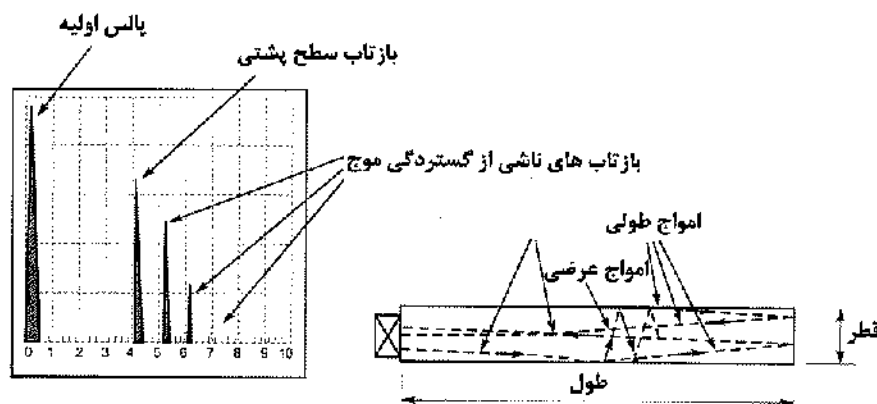
هنگامی که قطعات استوانه‌ای بازرسی می‌شوند (خصوصاً وقتی سطح پروپ انحنای لازم را برای جفت شدن به‌قطعه ندارد) سیگنال‌های اضافی بر روی صفحه نمایش ظاهر خواهند شد. همان‌طور که در شکل ۸ - ۵۹ نشان داده شده است، این سیگنال‌ها بعد از نشانه سطح پشتی ظاهر می‌شوند.

30. Non Relevant Indications



شکل ۵۸ - سیگنال‌های نامربوط به دست‌آمده از یک نمونه استوانه‌ای شکل.

به هنگام بازرسی قطعات طولی، در اثر برخورد پرتوها با دیواره‌های جانبی قطعه، تغییر حالت در موج حاصل می‌شود. در این حالت، موج طولی به موج عرضی تبدیل شده و پس از بازتاب‌های متوالی از دیواره قطعه، سرانجام به پروپ باز می‌گردد (شکل ۵۸ - ۶۰).



شکل ۶۰ - نشانه‌های مزاحم در یک قطعه طولی.

با زیاد کردن قطر پروپ (و در نتیجه کاستن گستردگی پرتو) می‌توان این مشکل را تا حدی کم نمود. در مورد قطعات طولی، به علت آنکه سرعت امواج عرضی کمتر از سرعت امواج طولی در قطعه است و نیز به لحاظ طولانی بودن مسیر امواجی که از سطح جانبی قطعه بازتابیده شده‌اند، تمامی نشانه‌های مزاحم بعد از اولین نشانه حاصل از سطح پشتی مزبور همچنان بر روی صفحه نمایش باقی خواهند ماند. در اثر مرور زمان و استفاده زیاد از پروپ، بلوره پیزوالکتریک آن ممکن است آسیب ببینند. در چنین حالتی ممکن است طول پالس اولیه بیشتر از میزان عادی آن نگردد. از آنجا که طولانی شدن طول پالس اولیه موجب کاهش توانایی سیستم در تشخیص ناپیوستگی‌ها می‌گردد، چنین پروپی باید تعمیر شده و یا کنار گذاشته شود.

محو پژواک سطح مقابل

نایبوستگی‌هایی که اندازه آنها در مقایسه با سطح مقطع دسته پرتو بزرگ باشد، تقریباً تمام انرژی فراصوتی را باز می‌تابانند و در نتیجه نشانه حاصل از سطح پشتی قطعه از روی صفحه نمایش محو می‌گردد. ابعاد این گونه نایبوستگی‌ها با حرکت دادن پروپ بر روی سطح قطعه و مشاهده نقاطی که در آنها نشانه حاصل از نایبوستگی همچنان بر روی صفحه نمایش دیده می‌شود، قابل اندازه‌گیری است. ارزیابی دقیق‌تر ابعاد نایبوستگی و تفکیک نایبوستگی‌های مجاور، با آزمودن قطعه از سطوح مختلف آن قابل انجام است.

در صورتی که علیرغم عدم وجود نایبوستگی قابل ملاحظه‌ای در درون قطعه، دامنه پژواک سطح مقابل به صورت قابل توجهی کاهش یابد، علت وقوع این پدیده باید به‌دقت مورد بررسی قرار گیرد. در این حالت، کاهش دامنه و یا محو کامل سیگنال حاصل از سطح مقابل ممکن است به یکی از علل زیر باشد:

- ۱ - درستی دانه‌بندی
- ۲ - وجود مک و تخلخل
- ۳ - وجود ناخالصی‌های ریز در قطعه

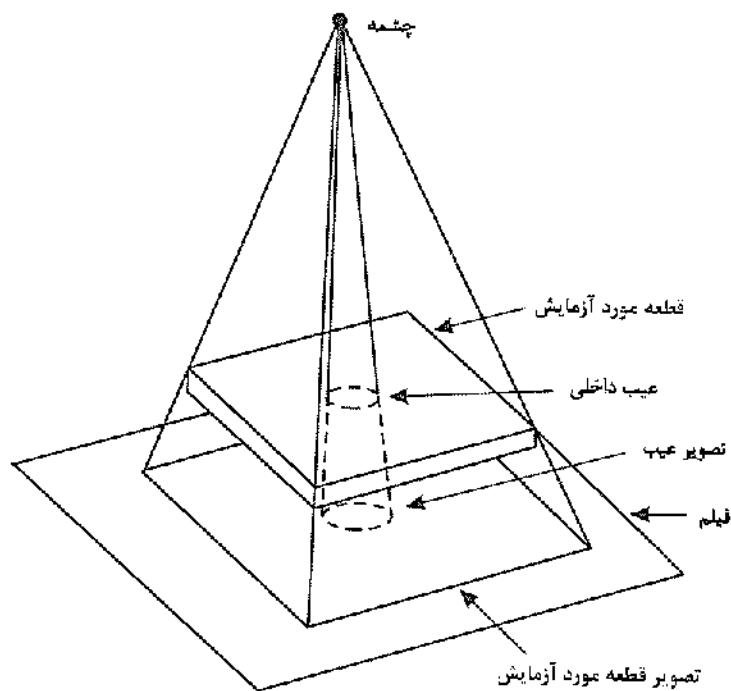
۸-۴-۴ آزمون پرتونگاری^{۳۱} (RT)

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 به‌خاطر طول موج کوتاه خود می‌تواند در ضخامت‌های نسبتاً زیادی از مواد نفوذ کند، در ضمن زمان تابش^{۳۲} اشعه به‌قطعه مورد پرتونگاری در مورد اشعه گاما نسبت به اشعه X بسیار طولانی‌تر می‌باشد. فیلم‌های به‌دست آمده از پرتونگاری با اشعه X به نام ایکس‌نگار و فیلم‌های به‌دست 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 به‌سطح فیلم می‌رسد و عیوب فلز جوش، به‌صورت 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).

31. Radiographic Inspection

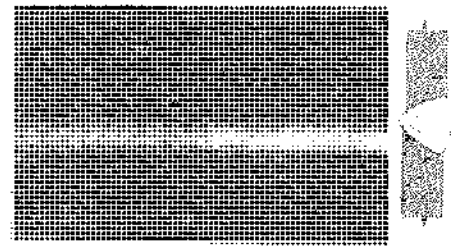


شکل ۸-۶۱ طرح شماتیک آزمایش پرتونگاری.

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 عرض 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 ($E = B$ = اندازه جوش).

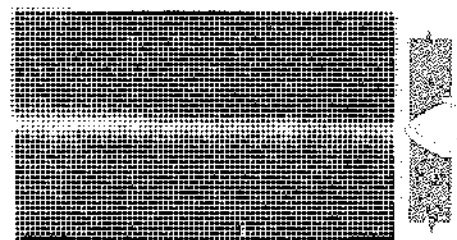
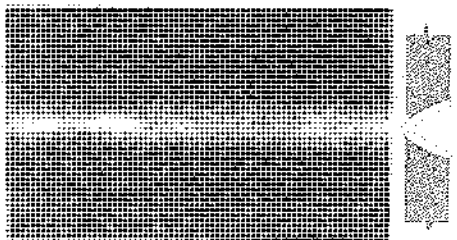
- (۱) حفره سوزنی که اندازه آن بزرگتر از اندازه نشان داده شده در شکل ۸-۶۳ باشد.
- (۲) حفراتی که فاصله آنها کوچکتر از حداقل فاصله نشان داده شده در شکل ۸-۶۳ باشد.
- (۳) حفرات گرد با اندازه بزرگتر از $E/3$ یا ۶ میلی‌متر. در صورتی که ضخامت قطعه بزرگتر از ۵۰ میلی‌متر باشد، محدودیت ۶ میلی‌متر می‌تواند به ۱۰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



نام عیب: عدم همترازی به‌همراه ذوب ناقص ریشه
(Misalignment With Lack of Root Fusion)

نام عیب: عدم همترازی خطی (Linear Misalignment)

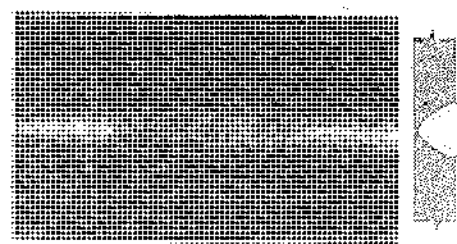
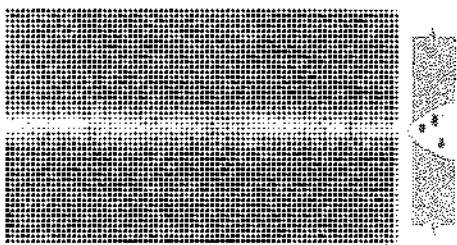
فرآیند جوشکاری: SMAW فرآیند جوشکاری: SMAW



نام عیب: سوختگی کنار جوش در ریشه
(Internal Undercut)

نام عیب: سوختگی کنار جوش در سطح (External Undercut)

فرآیند جوشکاری: SMAW فرآیند جوشکاری: SMAW

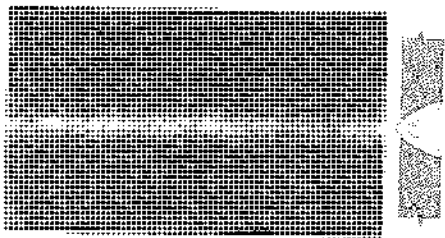


نام عیب: نفوذ ناقص در اثر Stop-Start ضعیف در یاس ریشه
(Penetration Faults Due to Poor Restart)

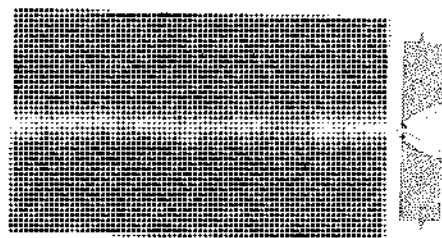
فرآیند جوشکاری: SMAW فرآیند جوشکاری: SMAW

شکل ۸-۶۲ تصاویر آزمایش پرتونگاری.

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی



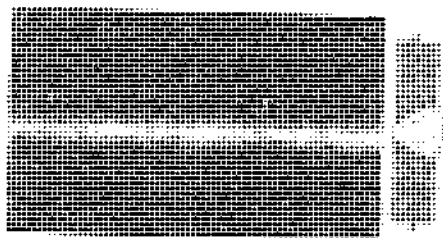
(Lack of Side wall Fusion)



نام عیب: حفرات گازی پراکنده (Scattered Porosity)

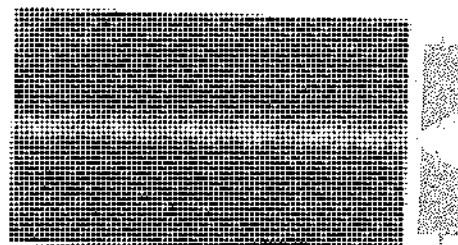
نام عیب: عدم ذوب دیواره

فرآیند جوشکاری: SMAW فرآیند جوشکاری: GMAW



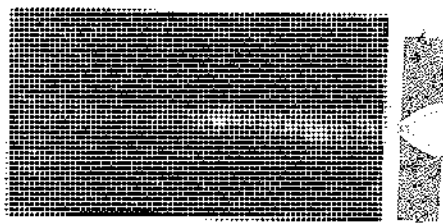
(Elongated Slag Inclusion)

نام عیب: سرباره حبس شده خطی



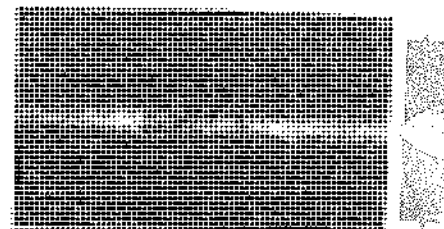
نام عیب: عدم ذوب بین پاسی (Lack of Interrun Fusion)

فرآیند جوشکاری: SMAW فرآیند جوشکاری: GMAW



(Root Pass Aligned Porosity)

نام عیب: حفرات گازی خطی شده در پاس ریشه

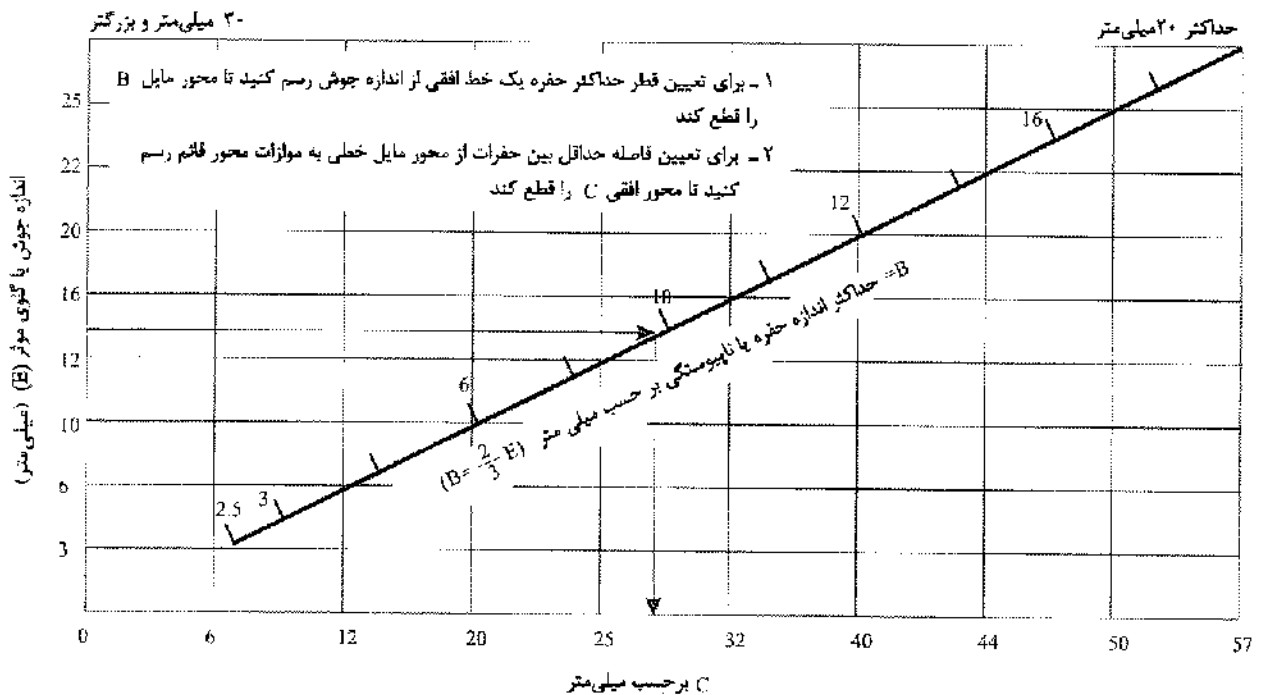


نام عیب: حفرات گازی خوشه‌ای (Cluster Porosity)

فرآیند جوشکاری: SMAW فرآیند جوشکاری: GMAW

شکل ۸-۶۲ تصاویر آزمایش پرتونگاری (ادامه).

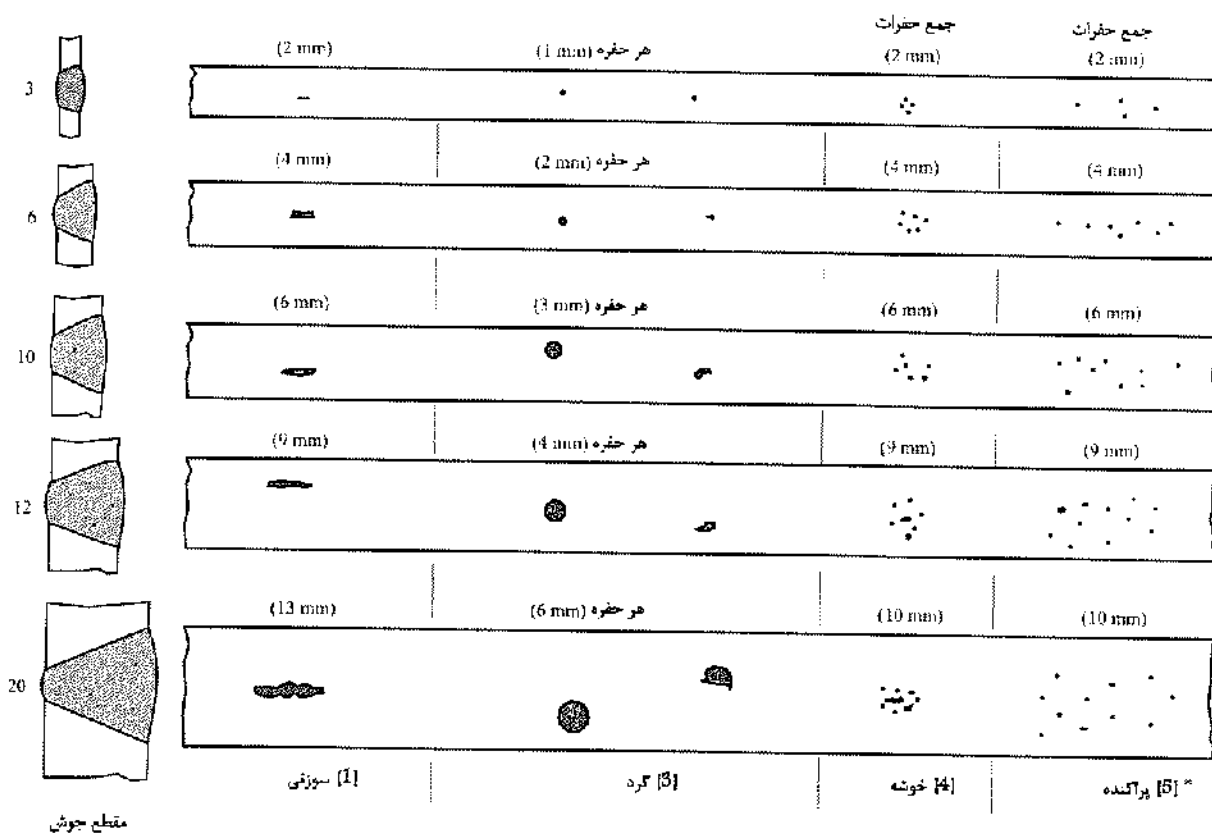
(۴) خوشه حفرات گرد که مجموع بزرگترین بُعد آنها، بزرگتر از اندازه مجاز حفره تک طبق شکل ۸ - ۶۳ است. فاصله حداقل هر خوشه تا خوشه یا حفره تک بعدی یا انتها و یا لبه جوش متقاطع، مساوی مقدار C در شکل ۸ - ۶۳ می‌باشد.



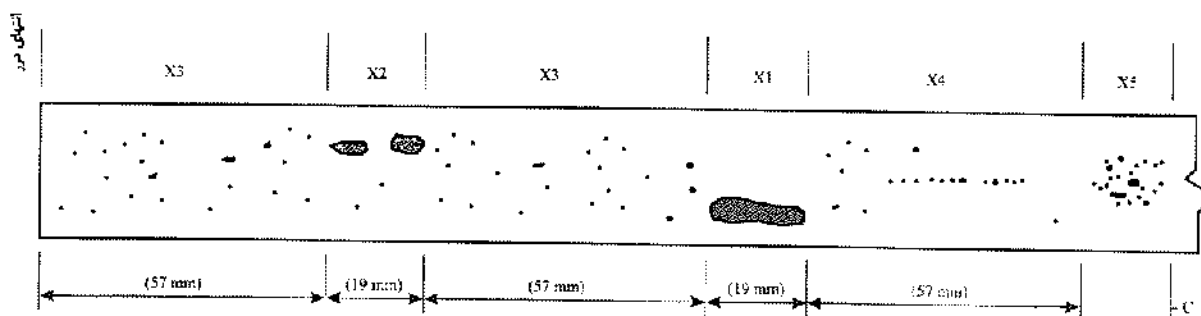
شکل ۸ - ۶۳ شرایط پذیرش ناپیوستگی یا حفرات سوزنی آشکار شده در عکس‌های پرتونگاری برای جوش‌ها تحت بار استاتیکی.

- (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 ۸ - ۴ - ۴ - ۱ به صورت تصویری نشان داده شده است.

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی



شکل ۸ - ضوابط پذیرش نتایج بازرسی پرتونگاری



شکل ۸ - ضوابط پذیرش نتایج بازرسی پرتونگاری

۸-۴-۵ آزمایش جریان گردابی^{۳۳}

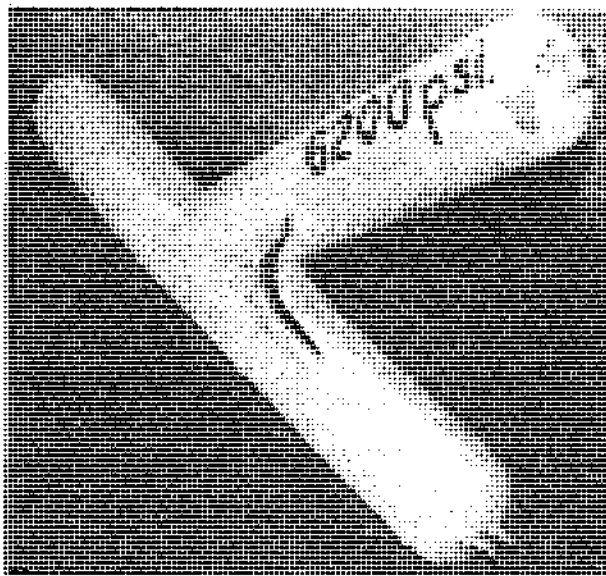
آزمایش جریان گردابی (یا جریان القایی): جریان الکتریکی که در داخل یک جسم فلزی بر اثر قرار گرفتن آن در داخل یک میدان مغناطیسی القا می‌شود (مشابه روش ذرات مغناطیسی، از انرژی الکترومغناطیسی جهت آشکارسازی معایب و نواقص در مصالح استفاده می‌کند).

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 یا 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.



شکل ۸-۶۶ یک واحد لوله که تحت آزمایش نشت با فشار هیدرولیکی قرار گرفته است. جوش تحت فشاری معادل 425 kg/cm^2 گسیخته است.

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 به‌شبهه غیرمخرب وجود دارد که انتخاب هر نوع بستگی به نوع مصالح مورد آزمایش دارد.

برینل

آزمایش سختی برینل شامل اثرگذاری یک گلوله فولادی سخت بر روی قطعه فلزی مورد آزمایش تحت یک فشار معین و زمان از پیش تعریف شده می‌باشد (شکل ۸-۶۷). قطر اثر گلوله روی قطعه اندازه‌گیری می‌شود و براساس این قطر یک عدد برینل از جدول مربوطه استخراج می‌شود. اثر گلوله برینل بر روی قطعه مورد آزمایش معمولاً بزرگ است، بنابراین، این روش در مورد تعیین سختی سطوح بزرگ و زمانی که اثرگذاری روی سطح مجاز باشد، به‌کار می‌رود.



شکل ۸-۶۷ یک دستگاه آزمایش سختی برینل.

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 پرمقاومت ($F_y > 6000 \text{ kg/cm}^2$)، بازرسی‌ها ۴۸ ساعت بعد از خنک شدن جوش آغاز می‌شود.

۸-۵ برنامه‌ریزی آزمایش‌های غیرمخرب

یکی از سؤالات مهمی که در برنامه‌ریزی آزمایشات جوش پیش می‌آید، تعیین درصدی از جوش‌ها می‌باشند که باید مورد آزمایش غیرمخرب قرار گیرند. در تعیین میزان آزمایش‌ها دو واقعیت اثر متقابل بر هم دارند، هزینه آزمایش‌ها، و سلامتی و ایمنی جوش‌ها. بدون شک روشی که با حداقل هزینه، حداکثر ایمنی مطلوب را به‌وجود آورد، مورد توجه خواهد بود. در جدول ۸-۴ دستورالعملی که در اکثر قراردادهای ساخت قطعات فولادی مورد استناد قرار می‌گیرد، ارائه شده است.

جدول ۸-۴ میزان آزمایش‌های غیرمخرب هنگام تولید*

نوع آزمایش	نوع جوش مورد آزمایش
بازرسی عینی	۱- صد در صد گنیف جوش‌ها
پرتونگاری یا فراصوت	۲- صد در صد جوش‌های لب به لب عرضی بال‌های کششی، اعضای کششی خرابها، $\frac{1}{8}$ ارتفاع جان تیرها در مجاورت بال کششی* و جوش شباری ورق روسری و زیرسری ستون در اتصال صلب تیر به ستون
پرتونگاری یا فراصوت	۳- ده درصد جوش‌های لب به لب طولی بال‌های کششی و اعضای کششی خرابها
پرتونگاری یا فراصوت	۴- بیست درصد جوش‌های لب به لب عرضی و طولی در بال‌های فشاری و اعضای فشاری خرابها
پرتونگاری یا فراصوت	۵- بیست درصد جوش‌های لب به لب عرضی جان تیرها که شامل بند ۲ فوق نمی‌باشد و جوش‌های لب به لب طولی جان تیرها
براده مغناطیسی یا رنگ نافذ	۶- ده درصد جوش گوشه بال به جان و سخت‌کننده‌ها
رنگ نافذ	۷- صد درصد جوش‌های گوشه اتصالات مهاربندها و اتصالات تیر به ستون*

* در صورت حصول نتایج مثبت، مهندس ناظر می‌تواند دستور تقلیل آزمایشات را تا سقف ۳۰ درصد صادر نماید. در صورت بروز نامنظمی در نتایج آزمایش و حضور جوش‌های معیوب، درصد بازرسی مجدداً به وضعیت جدول برمی‌گردد.

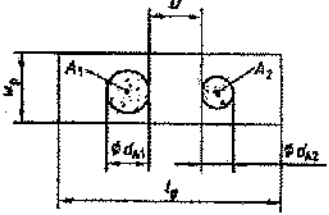
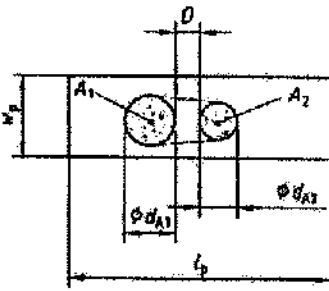
۸ - ۶ ضوابط پذیرش عیوب داخلی جوش مطابق ISO 5817

در قسمت‌های گذشته این فصل ضوابط پذیرش آزمایش‌های پرتونگاری و اولتراسونیک طبق آیین‌نامه AWS (انجمن جوش آمریکا) در قسمت‌های مربوطه ذکر گردید. در این قسمت ضوابط پذیرش عیوب داخلی (از هر آزمایشی که به‌دست آمده) طبق ISO 5817 مطابق جدول ۸ - ۵ ارائه می‌گردد.

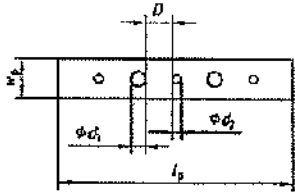
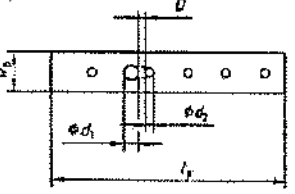
جدول ۸ - ۵ ضوابط پذیرش عیوب داخلی جوش مطابق ISO5817

ردیف	مرجع در ISO	نوع عیب	توضیحات	ضخامت mm	رده پذیرش		
					D	C	B
عیوب داخلی							
2.1	100	ترک‌ها	همه انواع ترک‌ها به‌جز ترک‌های مویی و ترک‌های ستارم‌ای چاله جوش	≥ 0.5	مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست
2.2	1001	ترک‌های مویی	هر ترکی که فقط تحت میکروسکوپ (با بزرگنمایی $\times 50$) قابل رؤیت باشد.	≥ 0.5	مجاز است	پذیرش آن به نوع فلز پایه با توجه خاص به حساسیت ترک بستگی دارد.	
2.3	2011 2012		شرایط و محدودیت‌های زیر باید برآورده شوند.				
		تخلخل گازی با توزیع یکنواخت	a1) حداکثر ابعاد سطح عیوب (شامل عیوب سیستماتیک) نسبت به سطح تصویر شده توجه: تخلخل در سطح تصویر به تعداد لایه‌ها بستگی دارد.	≥ 0.5	جوش تک‌پاسی: جوش تک‌پاسی: جوش تک‌پاسی: $\leq 2.5\%$ جوش چندپاسی: جوش چندپاسی: جوش چندپاسی: $\leq 5\%$	جوش تک‌پاسی: جوش تک‌پاسی: جوش تک‌پاسی: $\leq 1\%$ جوش چندپاسی: جوش چندپاسی: جوش چندپاسی: $\leq 2\%$	جوش تک‌پاسی: جوش تک‌پاسی: جوش تک‌پاسی: $\leq 1\%$ جوش چندپاسی: جوش چندپاسی: جوش چندپاسی: $\leq 3\%$
			a2) حداکثر ابعاد سطح مقطع عیوب (شامل عیوب سیستماتیک) نسبت به سطح شکست (قسط در مورد آزمایشات ارزیابی جوشکاران، فرایند جوشکاری و تولید قابل استفاده است).	≥ 0.5	$\leq 2.5\%$	$\leq 1.5\%$	$\leq 1\%$
			b) حداکثر ابعاد یک تخلخل منفرد برای: - جوش لب به لب - جوش گوشه	≥ 0.5	$d \leq 0.4s$, but max 5 mm $d \leq 0.4a$, but max 5 mm	$d < 0.3s$, but max 4 mm $d \leq 0.3a$, but max 4 mm	$d \leq 0.2s$, but max 3 mm $d \leq 0.2a$, but max 3 mm

جدول ۸-۵ ضوابط پذیرش عیوب داخلی جوش مطابق ISO5817 (ادامه)

رده پذیرش			ضخامت mm	توضیحات	نوع عیب	مرجع در ISO	ردیف
D	C	B					
				<p>مورد اول: ($D > d_{A2}$)</p>  <p>مورد دوم: ($D < d_{A2}$)</p>  <p>مجموع سطح حفرات مختلف ($A_1 + A_2 + \dots$) نسبت به سطح ارزیابی $A_p \times A_w$ (مورد اول) طول مرجع برای l_p به میزان ۱۰۰ میلی‌متر است.</p> <p>اگر D از d_{A1} یا d_{A2} کوچکتر باشد، هر کدام که کوچکتر باشد، یک پوشی که سطح این حفرات را در بر بگیرد $A_1 + A_2$ باید به عنوان یک عیب در نظر گرفته شود (مورد دوم)</p>	تخلخل خوشه‌ای (تخلخل موضعی)	2013	2.4

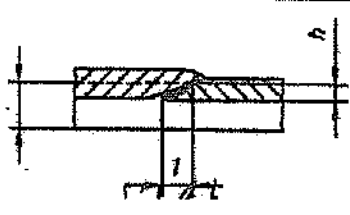
جدول ۸ - ۵ ضوابط پذیرش عیوب داخلی جوش مطابق ISO5817 (ادامه)

رده پذیرش			ضخامت <i>mm</i>	توضیحات	نوع عیب	مرجع در ISO	ردیف
D	C	B					
				ترابط و محدودیت‌های ابعادی زیر باید برای این عیوب برآورده شوند	تخلخل خوشه‌ای (تخلخل موضعی)	2013	2.4
$\leq 16\%$	$\leq 8\%$	$\leq 4\%$	≥ 0.5	a) حداکثر ابعاد مجموع سطوح تصویرشده عیوب (شامل عیوب سیستماتیک)			
$d \leq 0.4s$, but max 4 mm	$d \leq 0.3s$, but max 3 mm	$d \leq 0.2s$, but max 2 mm	≥ 0.5	b) حداکثر ابعاد یک حفره منفرد در - جوش‌های لب به لب - جوش گوشه			
				مورد اول: ($D > d_2$) 	تخلخل خطی	2014	2.5
				مورد دوم: ($D < d_2$) 			

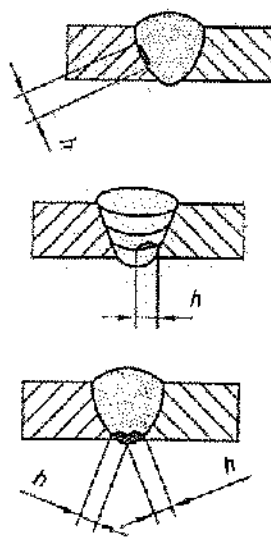
جدول ۸-۵ ضوابط پذیرش عیوب داخلی جوش مطابق ISO5817 (ادامه)

رده پذیرش			ضخامت mm	توضیحات	نوع عیب	مرجع در ISO	ردیف
D	C	B					
				مجموع سطح حفرات مختلف نسبت به سطح $\left[\frac{d_1^2 \times \pi}{4} + \frac{d_2^2 \times \pi}{4} + \dots \right]$ رزیایی $L_p \times w_p$ (مورد اول) اگر D کوچکتر از قطر کوچکتر یکی از حفرات همسایه باشد، سطح کامل دو حفره بهم چسبیده باید به عنوان مجموع عیوب در نظر گرفته شود. (حدود ۲)	تخلخل خطی	2014	2.5
جوش تک پاسی: $\leq 8\%$	جوش تک پاسی: $\leq 4\%$	جوش تک پاسی: $\leq 2\%$	≥ 0.5	شرایط و محدودیت‌های زیر برای عیوب باید برآورده شود. (a1) حداکثر ابعاد سطح عیوب (شامل عیوب سیستماتیک) نسبت به سطح تصویر شده			
جوش چند پاسی: $\leq 16\%$	جوش چند پاسی: $\leq 8\%$	جوش چند پاسی: $\leq 4\%$	≥ 0.5	(a2) حداکثر ابعاد سطح مقطع عیوب (شامل عیوب سیستماتیک) نسبت به سطح شکست (فقط برای آزمایشات ارزیابی جوشکاران، فرآیندهای جوشکاری و تولید کاربرد دارد).			
$d \leq 0.4s,$ but max 4 mm	$d \leq 0.3s,$ but max 3 mm	$d \leq 0.2s,$ but max 2 mm	≥ 0.5	(b) حداکثر ابعاد یک حفره منفرد برای - جوش لب به لب - جوش گوشه			
$d \leq 0.4a,$ but max 4 mm	$d \leq 0.3a,$ but max 3 mm	$d \leq 0.2a,$ but max 2 mm					

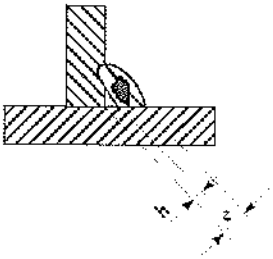
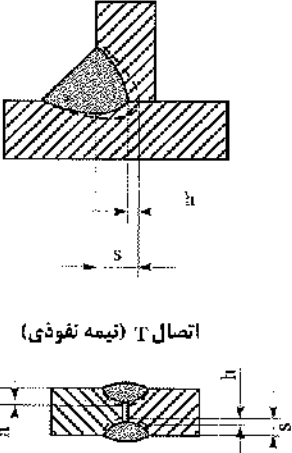
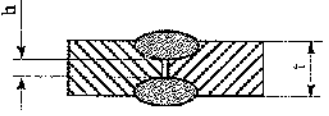
جدول ۸ - ۵ ضوابط پذیرش عیوب داخلی جوش مطابق ISO5817 (ادامه)

رده پذیرش			ضخامت mm	توضیحات	نوع عیب	مرجع در ISO	ردیف
D	C	B					
$h \leq 0.4s$, but max 4 mm $l \leq s$, but max 75 mm	$h \leq 0.3s$, but max 3 mm $l \leq s$, but max 50 mm	$h \leq 0.2s$, but max 2 mm $l \leq s$, but max 25 mm	≥ 0.5	- جوش لب به لب	حفرات گرمی شکن کشیده شده	2015 2016	2.6
$h \leq 0.4a$, but max 4 mm $l \leq a$, but max 75 mm	$h \leq 0.3a$, but max 3 mm $l \leq a$, but max 50 mm	$h \leq 0.2a$, but max 2 mm $l \leq a$, but max 25 mm	≥ 0.5	- جوش گوشه			
عیوب کوچک مورد تأیید است، اما نباید از سطح بیرون باشد. - جوش لب به لب $h \leq 0.4s$, but max 4 mm - جوش گوشه $h \leq 0.4a$, but max 4 mm	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5	-	حفرات انقباض	202	2.7
$h \text{ or } l \leq 0.2t$ $h \text{ or } l \leq 0.2t$, but max 2 mm	مجاز نیست	مجاز نیست	0.5 to 3 > 3		سوراخ چاله جوش	2024	2.8
$h \leq 0.4s$, but max 4 mm $l \leq s$, but max 75 mm	$h \leq 0.3s$, but max 3 mm $l \leq s$, but max 50 mm	$h \leq 0.2s$, but max 2 mm $l \leq s$, but max 25 mm	≥ 0.5	- جوش لب به لب	آخال جامد آخال سرباره آخال گداز آور آخال اکسیدی	300 301 302 303	2.9
$h \leq 0.4a$, but max 4 mm $l \leq a$, but max 75 mm	$h \leq 0.3a$, but max 3 mm $l \leq a$, but max 50 mm	$h \leq 0.2a$, but max 2 mm $l \leq a$, but max 25 mm	≥ 0.5	- جوش گوشه			

جدول ۸-۵ ضوابط پذیرش عیوب داخلی جوش مطابق ISO5817 (ادامه)

رده پذیرش			ضخامت mm	توضیحات	نوع عیب	مرجع در ISO	ردیف
D	C	B					
$h \leq 0.4s$, but max 4 mm	$h \leq 0.3s$, but max 3 mm	$h \leq 0.2s$, but max 2 mm	≥ 0.5	- جوش لب به لب	آخال فلزی به غیر از مس	304	2.10
$h \leq 0.4a$, but max 4 mm	$h \leq 0.3a$, but max 3 mm	$h \leq 0.2a$, but max 2 mm	≥ 0.5	- جوش گوشه			
مجاز نیست	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5	-	آخال مسی	3042	2.11
عیوب کوچک مورد تأیید است. - جوش لب به لب $h \leq 0.4s$, but max 4 mm - جوش گوشه $h \leq 0.4a$, but max 4 mm	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5		ذوب ناقص 401 ذوب ناقص دیواره 4011 ذوب ناقص یک پاسی 4012 ذوب ناقص ریشه جوش 4013	2.12	

جدول ۸ - ۵ ضوابط پذیرش عيوب داخلی جوش مطابق ISO5817 (ادامه)

رده پذیرش			ضخامت mm	توضیحات	نوع عيب	مرجع در ISO	ردیف
D	C	B					
عيوب کوچک $h \leq 0.2a_1$ but max 2mm	مجاز نیست	مجاز نیست	>0.5	 <p>اتصال T (جوش گوشه)</p>	نفوذ ناقص	402	2.13
عيوب کوچک butt joint $h \leq 0.2s$ but max 2mm T-joint $h \leq 0.2a_1$ but max 2mm	عيوب کوچک butt joint $h \leq 0.1s$ but max 1.5mm fillet joint $h \leq 0.1a_1$ but max 1.5mm	مجاز نیست	≥ 0.5	 <p>اتصال T (نیمه نفوذی)</p> <p>اتصال لب به لب (نیمه نفوذی)</p>			
عيوب کوچک $h \leq 0.2t_1$ but max 2mm	مجاز نیست	مجاز نیست	≥ 0.5	 <p>اتصال لب به لب (نفوذی کامل)</p>			

مسائل اجرایی در کارهای فولادی

۳۱۱.....	۱-۹ عملیات اجرایی در کارهای فولادی
۳۱۲.....	۲-۹ تهیه نقشه‌های ساخت
۳۱۳.....	۳-۹ عملیات برشکاری و آماده‌سازی لبه‌ها
۳۲۱.....	۴-۹ ساخت اعضا
۳۵۶.....	۵-۹ عملیات تمیزکاری و رنگ
۳۶۰.....	۶-۹ عملیات حمل
۳۶۲.....	۷-۹ عملیات پیش‌مونتاز و مونتاز در پای کار
۳۶۳.....	۸-۹ عملیات واداشتن، نصب، خال‌جوش و اتصالات موقت
۳۶۴.....	۹-۹ شاقولی کردن ستون‌ها، هم‌محور کردن تیرها و تکمیل اطلاعات
۳۶۸.....	۱۰-۹ نصب کف ستون
۳۶۹.....	۱۱-۹ رواداری نصب ستون

اسکلت فولادی مجموعه‌ای است از نیمرخ‌های فولادی، ورق و نیمرخ‌های ورقی که باید به کمک اتصالات و وسایل اتصال مناسب نظیر جوش، پیچ و یا پرچ به یکدیگر متصل شوند.

۹-۱ عملیات اجرایی در کارهای فولادی

ترتیب عملیات اجرایی در کارگاه فولادی به شرح زیر است:

- ۱ - تهیه نقشه‌های ساخت با توجه به نقشه‌های محاسباتی
 - ۲ - عملیات برشکاری و سوراخ‌کاری
 - ۳ - عملیات ساخت اعضا
 - ۴ - تمیزکاری و رنگ
 - ۵ - حمل
 - ۶ - عملیات پیش‌مونتاژ و مونتاژ در پای کار
 - ۷ - عملیات واداشتن، نصب، خال‌جوش و اتصالات موقت
 - ۸ - تنظیم نهایی، شاقولی کردن ستون‌ها، هم‌محور کردن تیرها و تکمیل اتصالات
 - ۹ - بازرسی و تأیید نهایی
 - ۱۰ - رنگ‌آمیزی و لکه‌گیری
- در ادامه موارد فوق مورد بحث قرار می‌گیرند.

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 شناسی‌های مناسبی که ورق یا پروفیل را در وضعیت تخت و نواز قرار می‌دهند، ساخته می‌شوند. در شکل ۹-۲ تصویری از شناسی‌های برش نشان داده شده است.



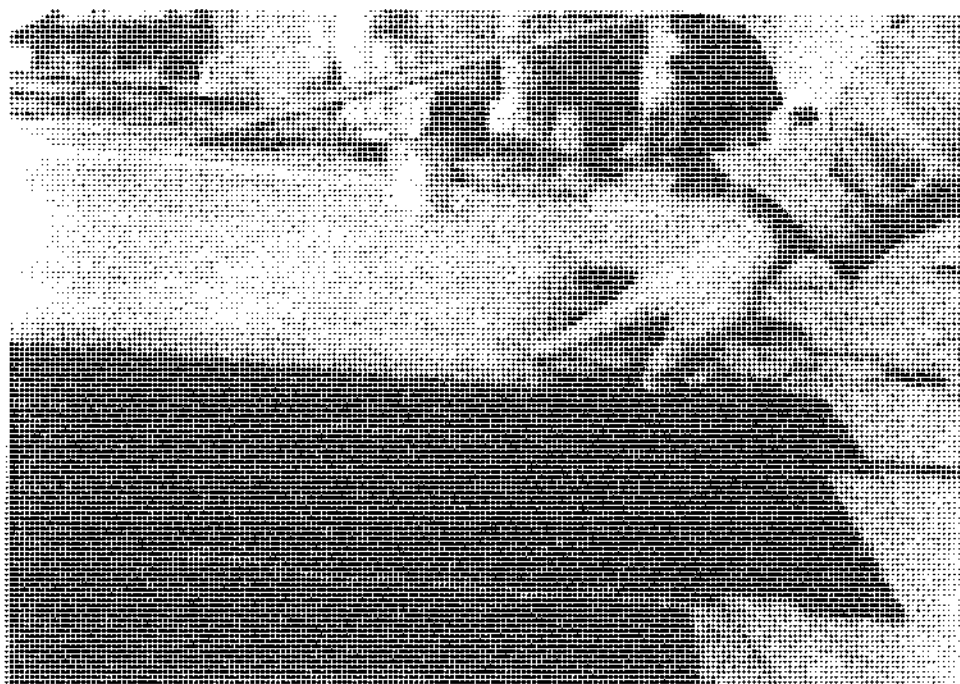
شکل ۹-۲ شناسی‌کشی برای برشکاری.

بعد از استقرار ورق در روی شناسی 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 لب‌زن انجام داد. با توجه به اینکه لب‌زن، 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 شاتیرهایی که دارای انحنا افقی می‌باشند، ورق‌های بال با انحنای مشخصی به وسیله برش هوا بریده می‌شود.

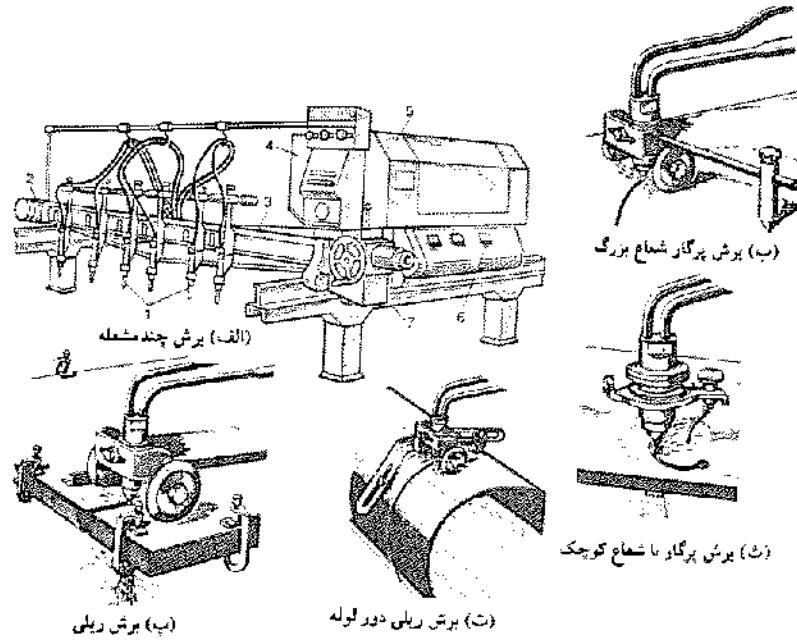
در شکل‌های ۹-۵ و ۹-۶ دستگاه‌ها و تکنیک‌های مختلف برش قطعات فولادی نشان داده شده است.



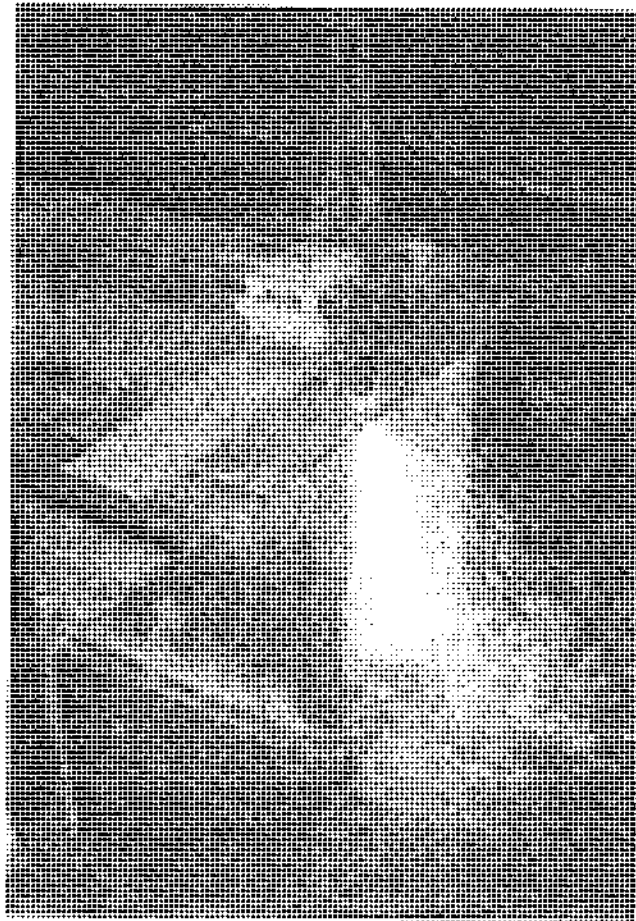
شکل ۹-۳ عملیات برشکاری با دستگاه برش خودکار. برشکاری باید در هر دو لبه انجام شود، وگرنه باعث شمشیری شدن ورق بریده شده می‌شود.



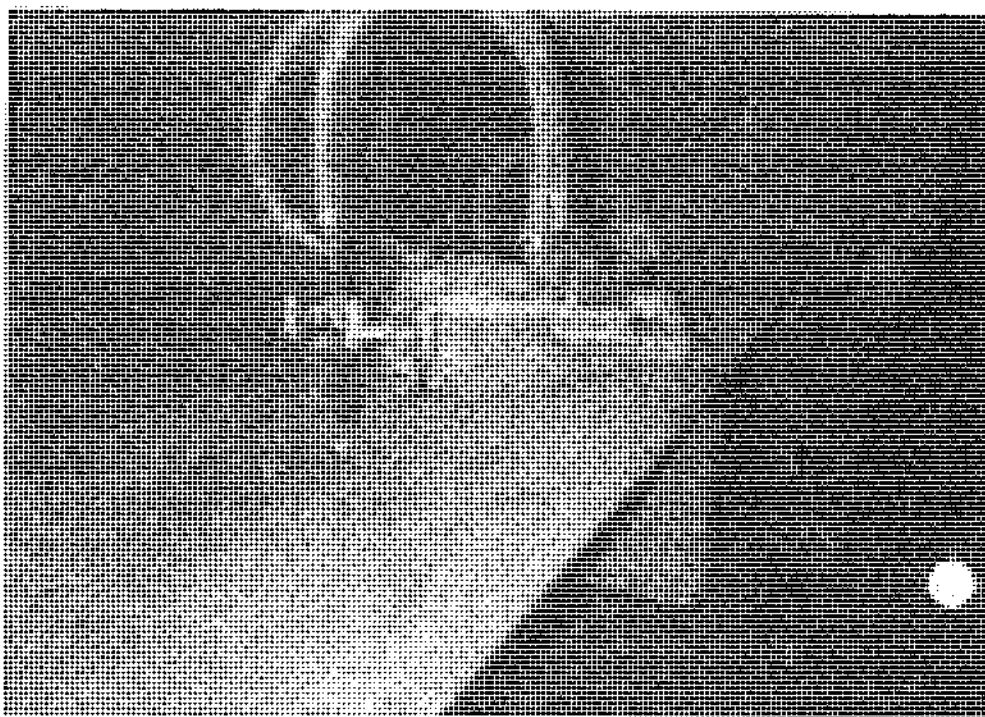
شکل ۹-۴ آماده‌سازی لبه‌ها.



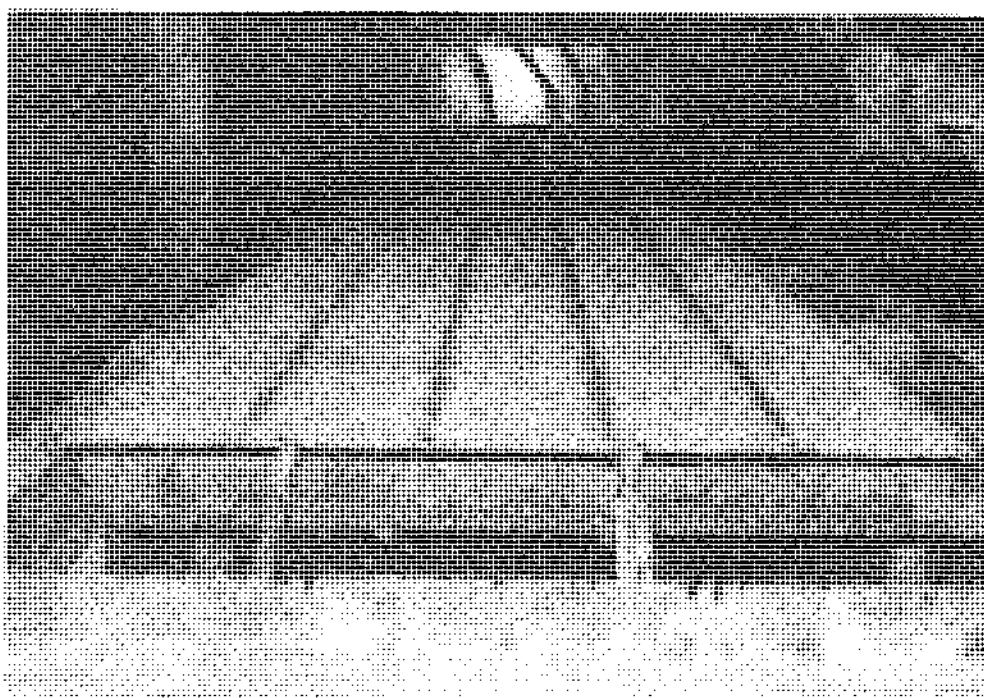
شکل ۹-۵ وسایل مختلف برش.



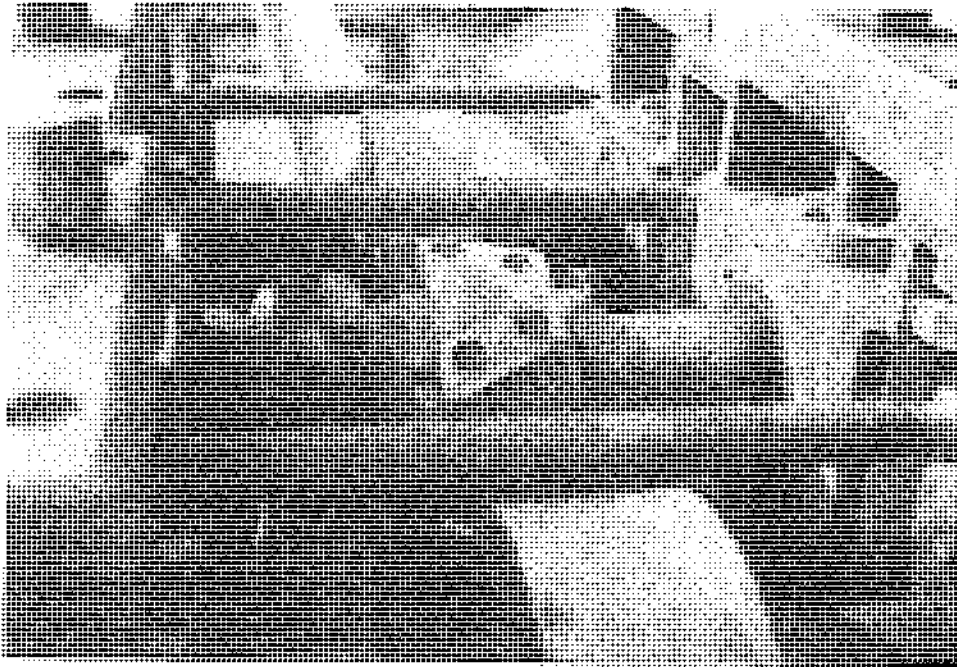
شکل ۹-۶ الف برش انتهای ستون و گونیا کردن آن بعد از ساخت کامل عضو.



شکل ۹-۶ پ دستگاه برش پرگازی.



شکل ۹-۶ پ دستگاه برش چندشعنه. در سمت چپ عکس به برش لبه گرد ورق (لبه فابریک) توجه نمایید. برش و دورریز لبه گرد ورق به علت وجود ترک‌های حین نورد لازم است.



شکل ۹-۶-ج برش تیر لانه‌زنبوری به کمک تیغه برش.



شکل ۹-۶-چ برش تیر لانه‌زنبوری به کمک تیغه برش (ادامه).

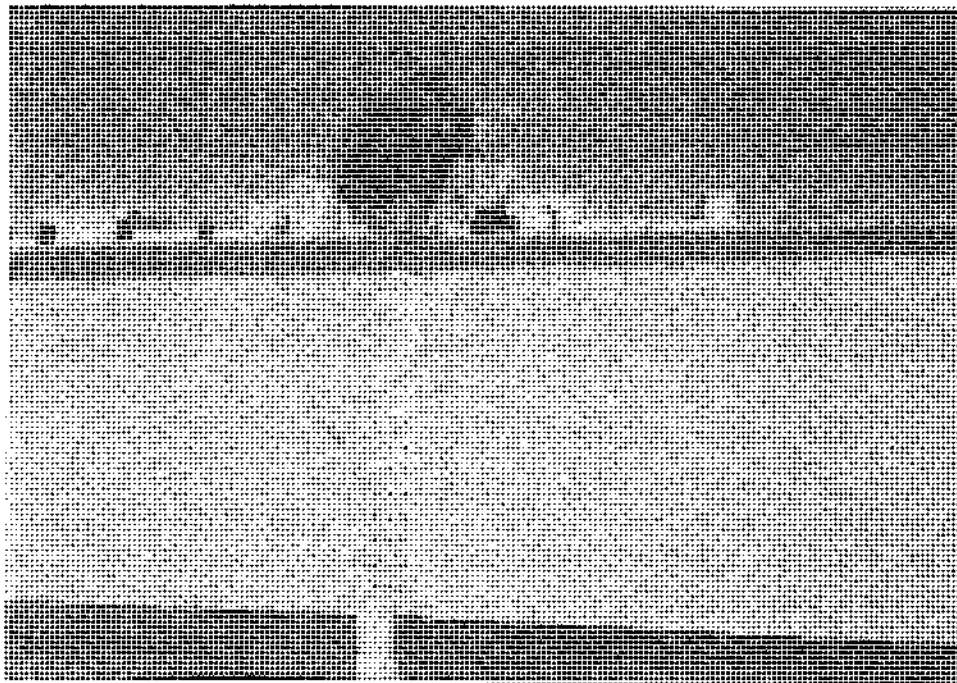
عملیات سوراخ کاری

پس از عملیات برش، در صورت نیاز عملیات سوراخ کاری انجام می شود. انجام عملیات سوراخ کاری به دو روش ممکن است:

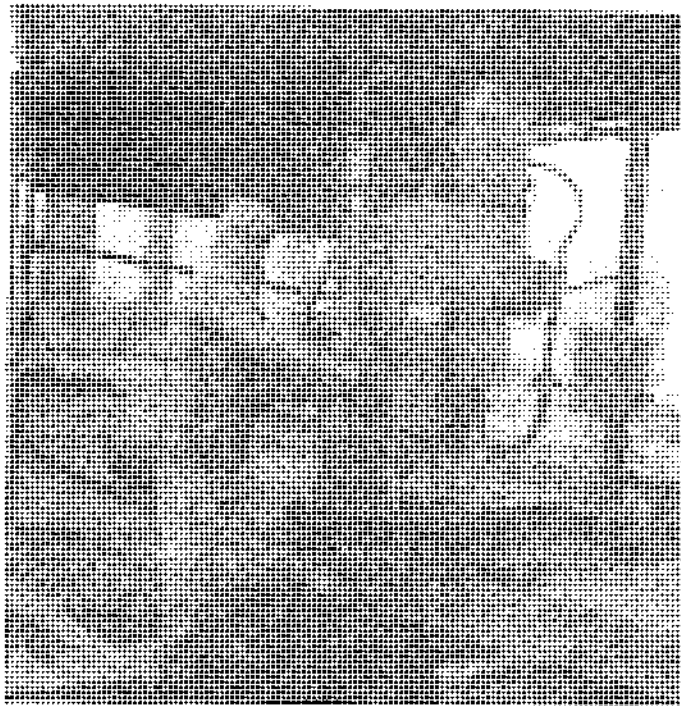
۱ - مته (شکل های ۹ - ۷ - الف و ب)

۲ - دستگاه پانچ (ضربه زن) (شکل ۹ - ۷ - ت)

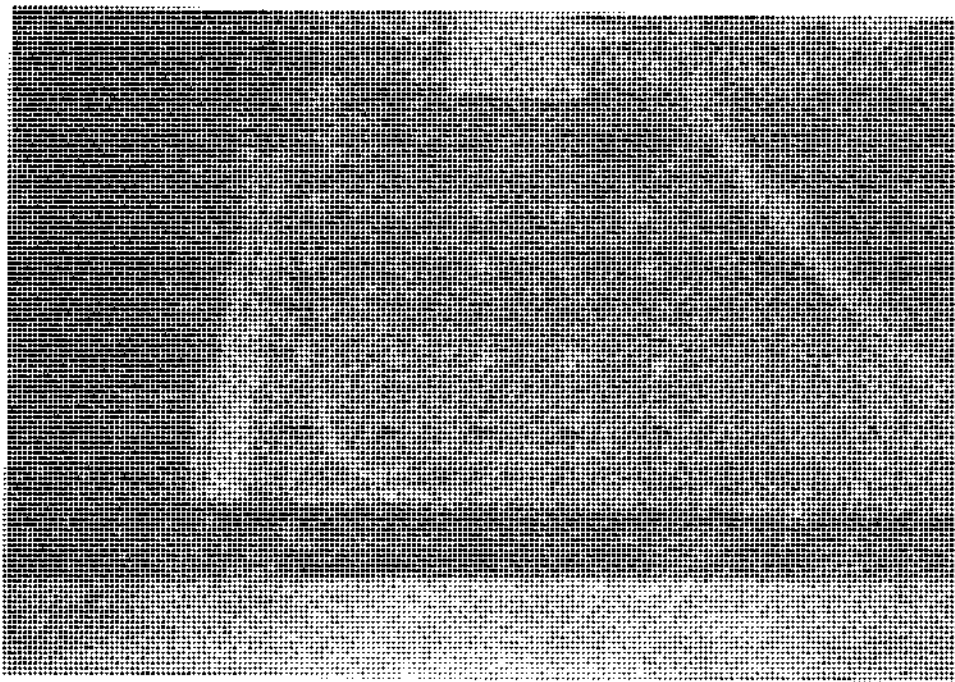
سوراخ ایجاد شده توسط مته از کیفیت بسیار خوبی برخوردار است ولی عملیات مربوطه پرهزینه می باشد. عملیات مته کاری معمولاً توسط مته های رادیال انجام می شود (شکل ۹ - ۷ - ب) که دارای بازده خوبی می باشد. هر صورتی که ضخامت ورق در حد کم یا متوسط (تا حدود ۱۵ میلی متر) باشد، انجام سوراخ ها توسط دستگاه سوراخ زن (پانچ) انجام می شود. آزمایشات نشان می دهند که در پیرامون سوراخ های ایجاد شده توسط دستگاه سوراخ زن، ترک های میکروسکوپی وجود دارد که در محاسبات تأثیر این ترک را با افزودن قطر سوراخ به مقدار ۲ میلی متر منظور می نمایند. راه حل میانه این است که ابتدا سوراخی با قطر کوچکتر توسط دستگاه سوراخ زن ایجاد شود و سپس توسط مته کاری گشاد شده و به قطر مورد نظر افزایش یابد.



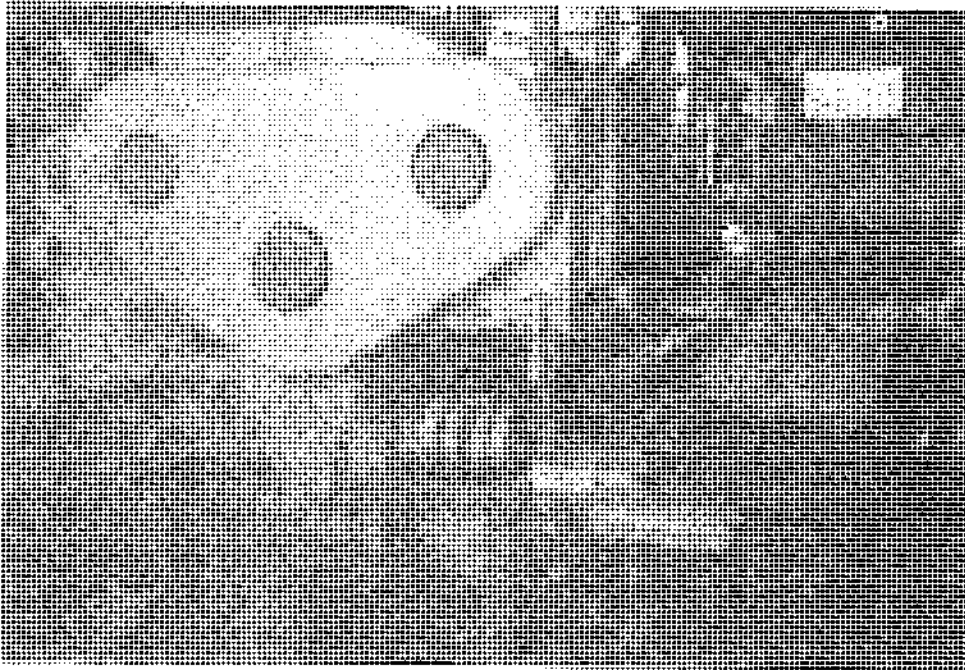
شکل ۹ - ۷ - الف مته منطاطیسی.



شکل ۹-۷-ب عند رادیال.



شکل ۹-۷-پ خط‌کشی قطعه برای انجام عملیات سوراخ‌کاری.



شکل ۹-۷- ت برشکاری توسط برش ضربه‌زن.

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- تسمه‌سازی - یعنی یکسره کردن ورق‌ها و انجام جوش درزهای آنها در روی شاسی و بزرسی 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 سخت‌کننده‌های ستون‌های جمع‌های
- ۵- مونتاژ صفحه ستون یا فلنج تیر
- ۶- تابگیری
- ۷- مونتاژ سخت‌کننده‌ها و سایر الحاقیات هسته ستون یا مونتاژ وجه چهارم در ستون‌های جمع‌های
- 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 ردیف‌های ۲ و ۳ عوض می‌شود؛ یعنی ورق‌های بال و جان مونتاژ می‌شوند و سپس جوش درزها انجام می‌شود. این کار هر چند ممکن است از نظر کنترل تغییر شکل‌ها مفید باشد، لیکن به علت به وجود آمدن دو عیب عمده زیر غیرمجاز می‌باشد:

۱- ایجاد تنش‌های پسماند با توجه به‌قیدهای موجود در مقابل تغییر شکل‌های حرارتی جوش و فلز جوش شده.

۲- دشواری اجرای جوش درزها به‌صورت پوسته و بی‌عیب.

۹-۴-۱ تسمه‌سازی

تسمه‌سازی فقط در مورد اعضای ساخته‌شده از ورق به‌کار می‌رود. از آنجایی که ورق به‌صورت رول برش نخورده و یا اغلب به‌طول ۶ متری برش‌خورده در بازار موجود می‌باشد و از طرفی اکثر دستگاه‌های برش گیوتین قابلیت برش ورق تا طول ۶ متر را دارا می‌باشند، جهت ساخت اعضای سازه نظیر ستون‌ها و یا حتی شاه‌تیرها که دارای طول بیش از ۶ متر می‌باشند تسمه‌سازی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

در تسمه‌سازی باید از تسمه ورق‌های صاف و بدون پیچیدگی و یا شمشیری استفاده نمود. مونتاژ و یا سر هم کردن صحیح تسمه‌ها و رعایت محل قرارگیری بندهای جوش در قطعه‌نهایی از نکات بسیار مهم در کیفیت نهایی و کارایی تیورورق‌ها می‌باشد.

در مرحله مونتاژ، تسمه‌ها روی یک شاسی مسطح در راستای یک سری صفحات عمودی کوچک (به‌صورت لچکی) که از قبل به‌صورت ریسمانی در یک راستا قرار گرفته‌اند، قرار می‌گیرند و درز جوش‌ها هم‌راستا شده و با خال جوش و ناودان کنار جوش به هم متصل می‌شوند.

قطعاتی که با جوش شیباری به‌صورت لب به‌لب به یکدیگر متصل می‌شوند، باید هم‌باد یکدیگر قرار گرفته و به‌وسیله 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 می‌شود آزادی‌های مناسب برای جمع‌شدگی و تابیدگی وجود داشته باشد.

۹-۴-۱-۱ درزهای لب به لب

برحسب نوع آماده‌سازی لبه‌ها و درز حاصل، انواع مختلفی از جوش لب به لب به‌وجود می‌آید. درزهای لاله‌ای و نیم‌لاله‌ای (U, J) کمترین مقدار فلز جوش را لازم دارند، اما در عین حال عملیات سنگ‌زنی و تراش برای آماده‌سازی لبه‌ها پُرکار و پرهزینه است و امکان انجام آن در هر کارخانه‌ای وجود ندارد. وجود این مشکلات، طراح را به‌استفاده از درزهای جناغی (V) محدود می‌کند. در درز V با کاهش زاویه درز، مصرف فلز جوش کاهش می‌یابد. لیکن با کاهش این زاویه، دهانه ریشه باید به‌منظور دستیابی الکتروود به‌داخل درز و ایجاد یک جوش سالم در ریشه درز، افزایش داده شود. بدیهی است برای حصول جوش اقتصادی، باید تعادلی بین زاویه پخی و دهانه ریشه به‌وجود آید. در ورق‌های ضخیم‌تر، درز با زاویه کوچکتر و ریشه بزرگتر، کمترین مقدار فلز جوش را لازم دارد.

چنانچه تسمه پشت‌بند مورد استفاده قرار گیرد، دست طراح در انتخاب دهانه ریشه باز خواهد بود، لیکن جوشکاری باید در یک سمت انجام گیرد، به‌عبارت دیگر یک درز V تنها خواهیم داشت. اما اگر تسمه پشت‌بند مورد استفاده قرار نگیرد، دهانه ریشه باید در حدود ۳ میلی‌متر باز نگه داشته شود. در این صورت جوش روی دهانه ریشه

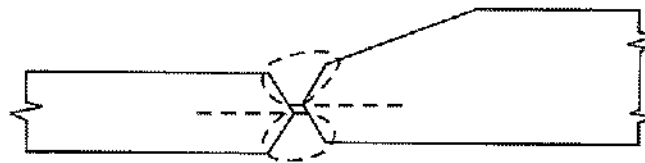
پل زده و پایین نمی‌ریزد. درز جناغی ممکن است به صورت یکطرفه (V) یا دوطرفه (X) باشد. در هر دو صورت، ریشه باید از سمت دیگرسنگ خورده و یک عبور جوش انجام شود. این امر سلامت درز جوش را تضمین می‌کند. در ورق‌های نازک، استفاده از جوش جناغی یکطرفه (V) کافی است، لیکن با افزایش ضخامت ورق، استفاده از درز جناغی دوطرفه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

۹-۴-۱-۲ 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 شاپتیر، 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.



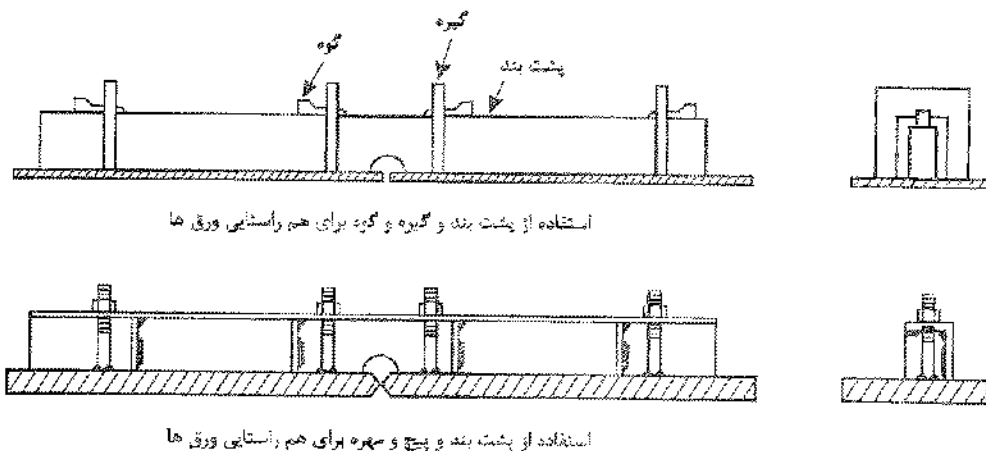
شکل ۹-۸ همراستا کردن ورق‌ها.

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 به انتهای 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.



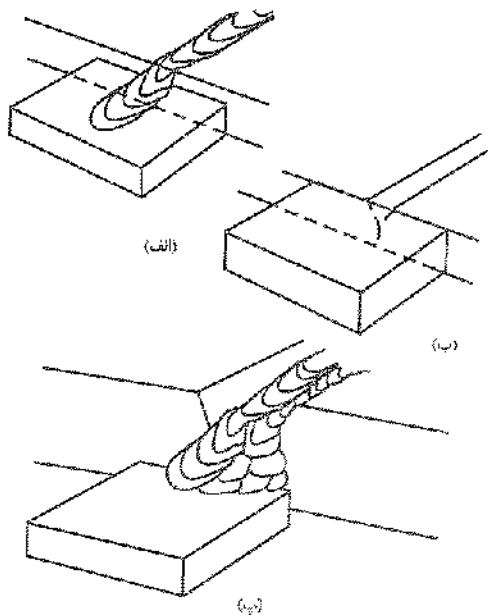
شکل ۹-۹ گیره فقط در طول یک لبه جوش می‌شود، بنابراین می‌تواند به راحتی با یک چکش برداشته شود. گوه فولادی به منظور قرار دادن لبه‌های ورق در یک ردیف بغیر گیره رانده می‌شود.



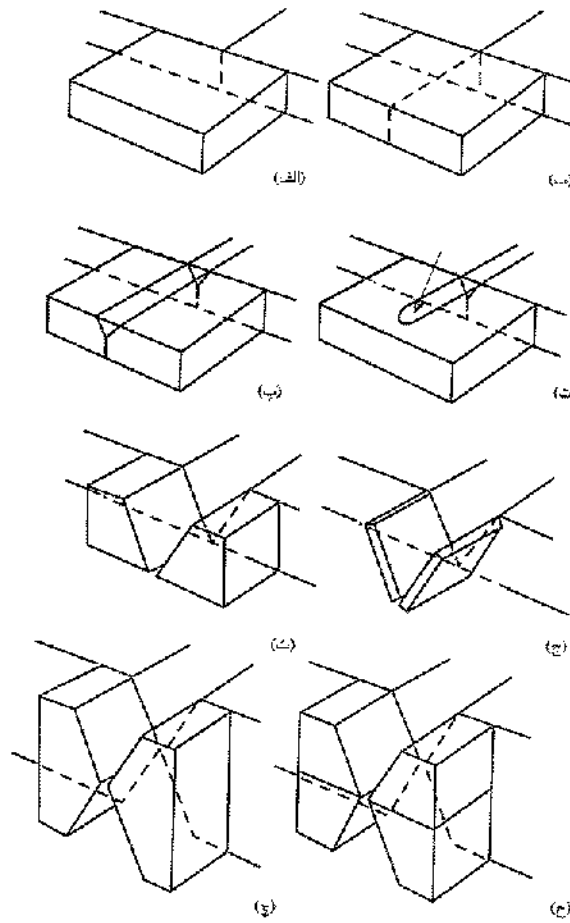
شکل ۹ - ۱۰

۹-۴-۱-۳ ریزش انتهای جوش

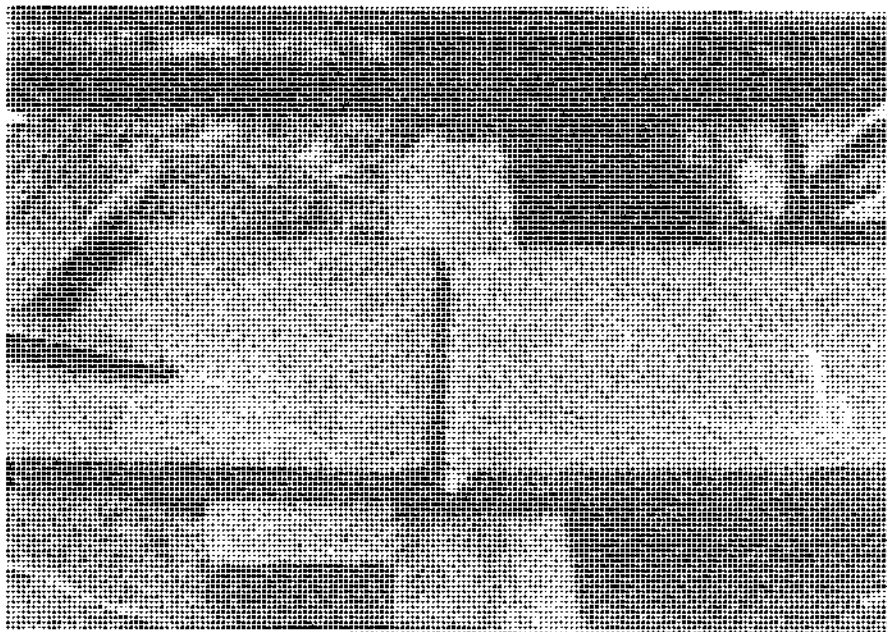
به علت ریزش مواد مذاب جوش، انتهای جوش درزهای لب به لب به صورت تمام ضخامت در نمی‌آید. برای رفع این عیب، غالباً در انتهای درز، به کمک تسمه، اضافه‌طولنی برای درز ایجاد می‌شود که بعد از اتمام عملیات جوشکاری، این قطعه سنگ زده می‌شود (شکل‌های ۹-۱۱ و ۹-۱۲). تعبیه این جزئیات در درزهای بل بسیار مهمتر می‌باشد. به این اضافه‌طول، ناودان گویند. در شکل‌های ۹-۱۳ و ۹-۱۴ تصاویری از اجزای درزهای لب به لب نشان داده شده است.



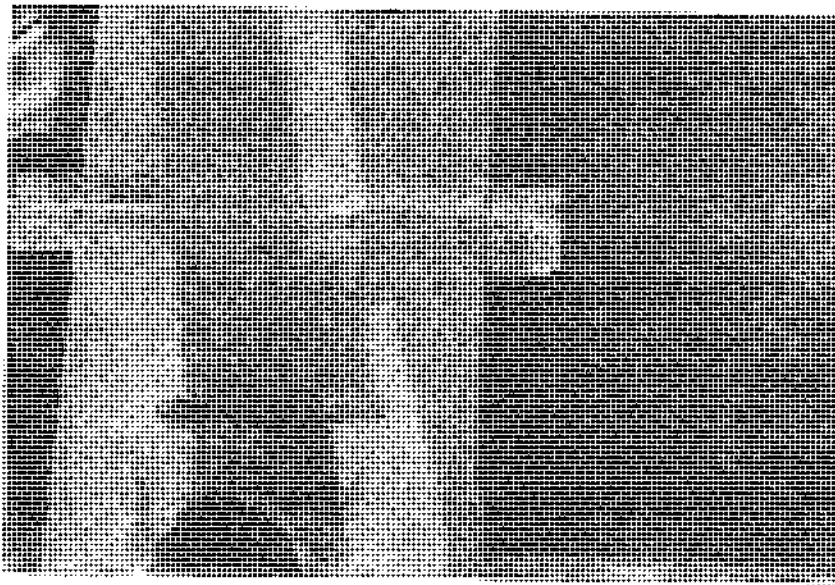
شکل ۹ - ۱۱ نصب ناودان در ابتدا و انتهای درز.



شکل ۹-۱۲ تعبیه ناودان.



شکل ۹-۱۳ سرهم کردن ورقها و انجام یاس ریشه.



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 می‌تود. تیرورق‌ها را می‌توان به وسیله یکی از روش‌های زیر مونتاژ نمود:

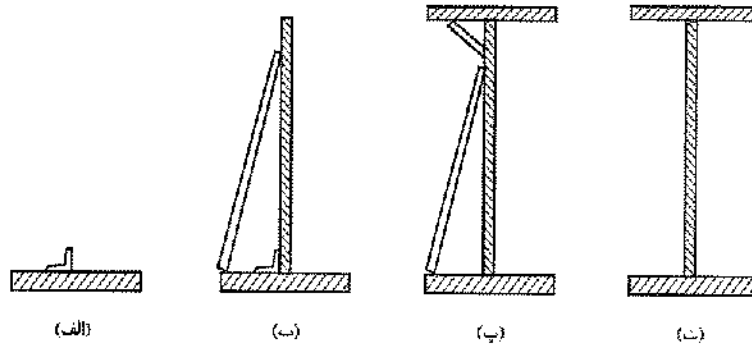
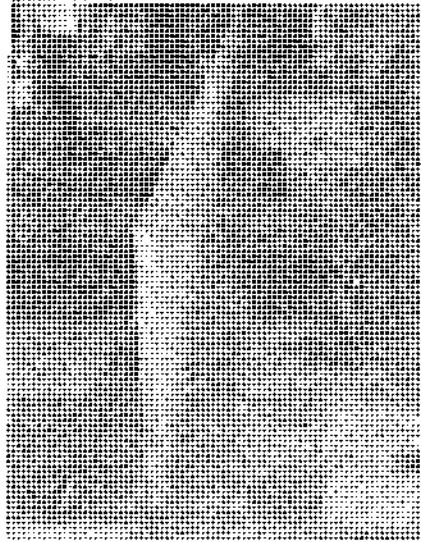
۱ - نخست یک بال بر روی زمین به صورت تخت قرار داده شده و محور آن توسط گچ علامت زده می‌شود. در این حالت گیره‌های قائم کوچکی در فواصل مشخصی نسبت به یکدیگر در طول بال، در نزدیکی خط میانی آن خال جوش می‌شوند (شکل ۹-۱۵). سپس جان تیرورق به صورت قائم بر روی بال قرار گرفته و به‌طور موقت با قطعات مهاری موقت که 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 تیرورق 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.

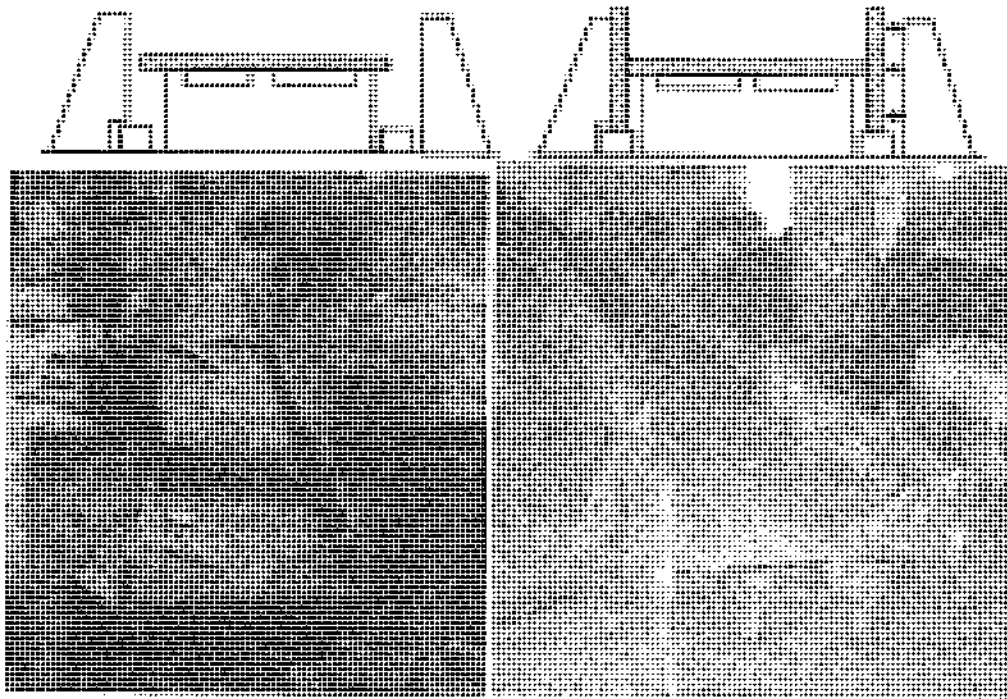
1. Wedges

2. Screws

3. Jacks



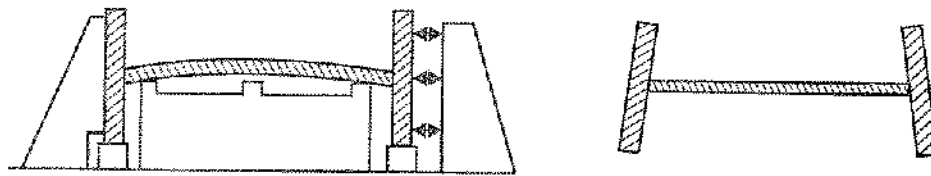
شکل ۹-۱۵ مراحل مونتاژ و جوشکاری ورق جان و بال تیورق به روش جان قائم.



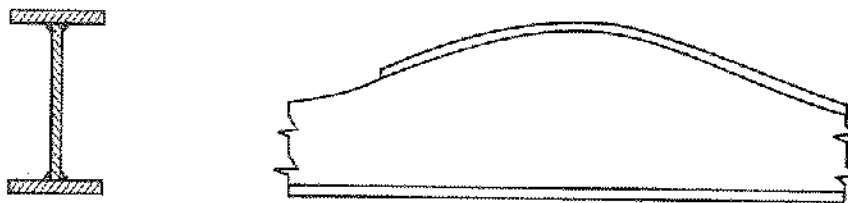
شکل ۹-۱۶ مونتاژ تیورق در قالب به روش بال قائم.

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 کماتنه 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^۱، معمولاً با خوبانیدن جان به صورت افقی مشابه روش بال قائم مونتاژ می‌شوند. اما در عین حال برخی از این‌گونه تیرها که زیاد عمیق نیستند، به روش جان قائم مونتاژ می‌شوند (شکل ۹ - ۱۸). در این روش بال مستقیم فوقانی روی قالب فرار 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.



شکل ۹ - ۱۷



شکل ۹ - ۱۸

۹ - ۲ - ۳ مونتاژ مقاطع جعبه‌ای

ستون‌های جعبه‌ای دارای 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.

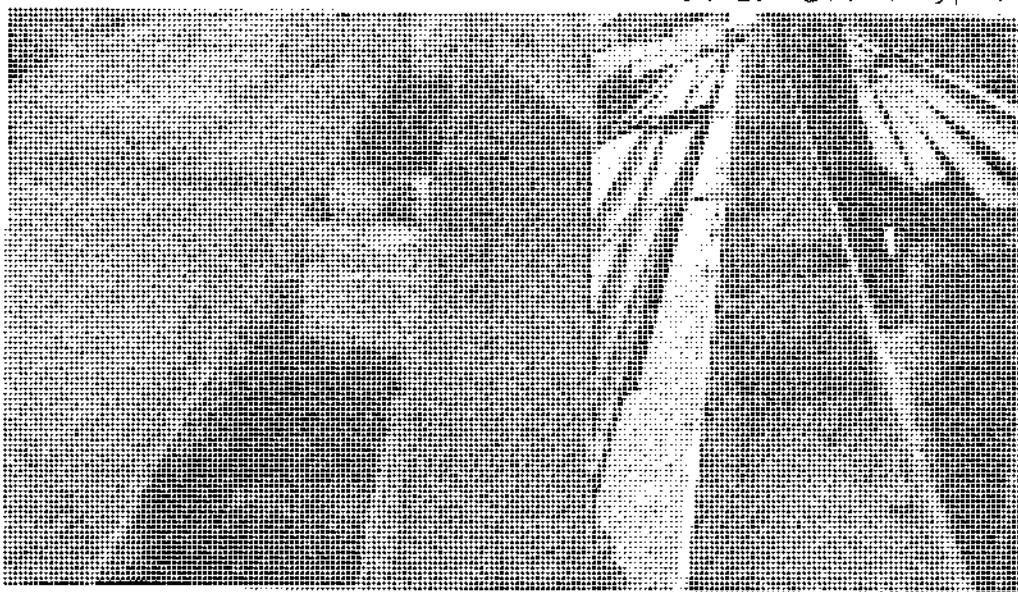
ترتیب کار به این شکل است که مطابق مونتاژ I شکل ابتدا یک قالب یا فیکسچر مناسب در روی یک شاسی ساخته می‌شود. در اینجا مونتاژ بر روی یک بال انجام می‌شود، و دو جان ستون مطابق نقشه‌های کارگاهی با رعایت فاصله آنها از لبه بال، روی بال زیرین مونتاژ می‌شوند. (شکل ۹ - ۱۹)

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 گویا شوند که این امر توسط مونتاژ کار به وسیله ابزار مناسب نظیر گوه، پتک آهنگری و گویا انجام می‌شود.

ورق‌های سخت‌کننده نیز در این مرحله مطابق نقشه‌های کارگاهی در داخل ستون جعبه‌ای (که اکنون به صورت یک مقطع L 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 L شکل، جهت جلوگیری از تغییر شکل و ناگونیایی جان و بال نسبت به هم از میله‌های مهارری در سراسر 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 مهارشده باشد.



شکل ۹ - ۱۹ مونتاژ اولیه ستون جعبه‌ای.

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

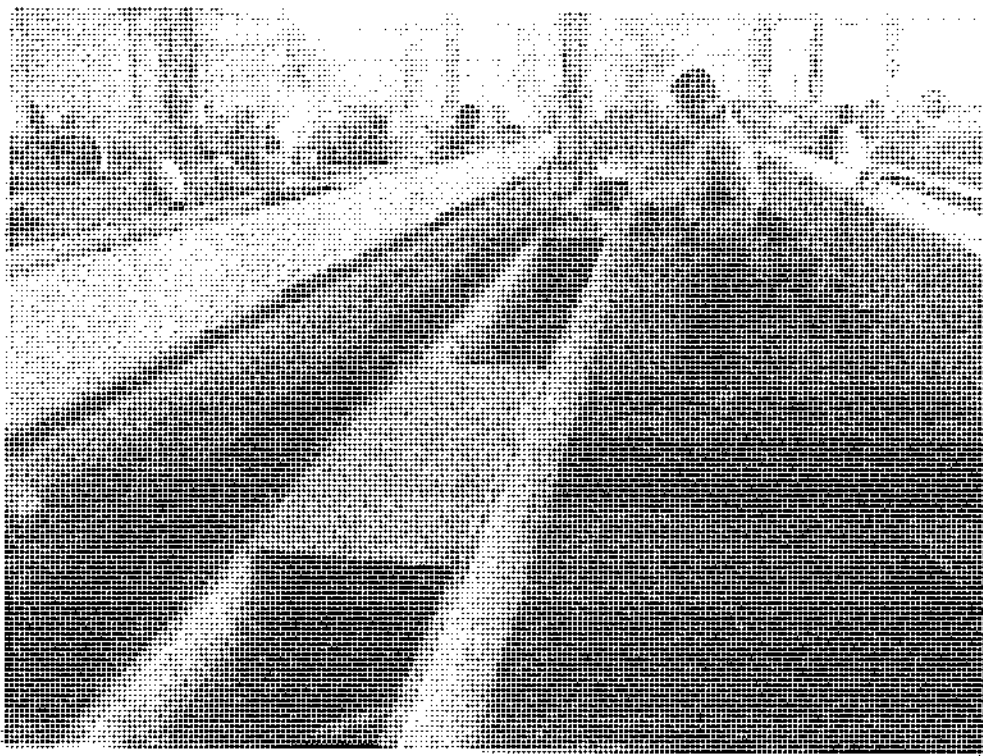
تاب‌گیری و صاف کردن ورق وجه چهارم قبل از مونتاژ الزامی می‌باشد. مونتاژ وجه چهارم در این نوع ستون‌ها عموماً به یکی از دو روش زیر انجام می‌شود:

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

در این روش محل قرارگیری سخت‌کننده‌ها در ربر 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 تا شکل و گوه، وجه چهارم را تا حد ممکن به‌لبه‌های جان ستون چسباند. در صورتی که لبه‌های درز جوش کاملاً نیاز به سنگ‌زنی داشته باشد، باید قبل از مونتاژ کامل، عملیات سنگ‌زنی و آماده‌سازی لبه روی آن انجام شود.

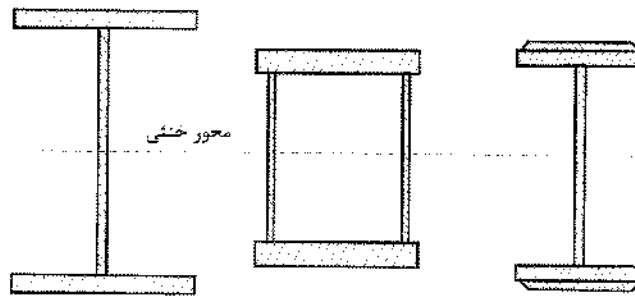
۲- وجه چهارم ستون به‌صورت تکه تکه در حدفاصل میان ترازهای ستون روی آن مونتاژ شده به‌نحوی که ورق‌های سخت‌کننده را بتوان به آن از داخل جوشکاری نمود (شکل ۹ - ۲۰). عموماً این روش در مورد مقاطع بزرگ کاربرد دارد. اتصال ورق‌های بال بدهم نیز به‌صورت شیاری با ورق پشت‌بند انجام می‌شود. کلیه موارد در خصوص گونیا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



شکل ۹-۲۰ نصب وجه چهارم روی ستون جعبه‌ای.

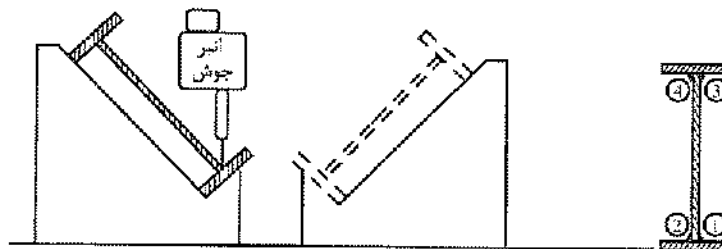
۹-۴-۴ جوشکاری بال و جان

چنانچه تیرورق‌ها، 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 به‌موقعیت دیگر در کارگاه می‌باشد.

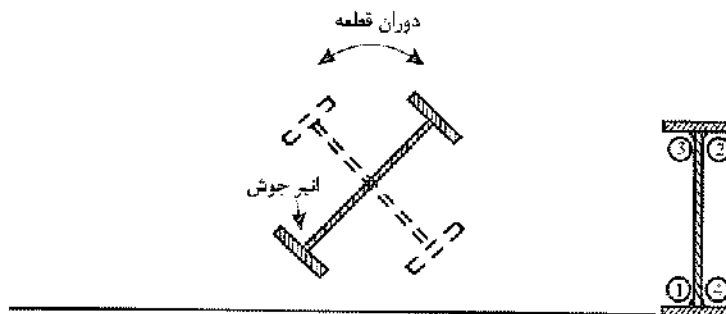


شکل ۹ - ۲۱

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.



شکل ۹ - ۲۲ - الف ترتیب جوشکاری طولی تیر ورق.



شکل ۹ - ۲۲ - ب ترتیب جوشکاری طولی تیر ورق.

در شکل ۹ - ۲۲ - 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 شده، بستگی کامل به‌قالب، روش به‌کار رفته و ترجیحاً مقدار تأثیر آن بر تغییرشکل دارد.

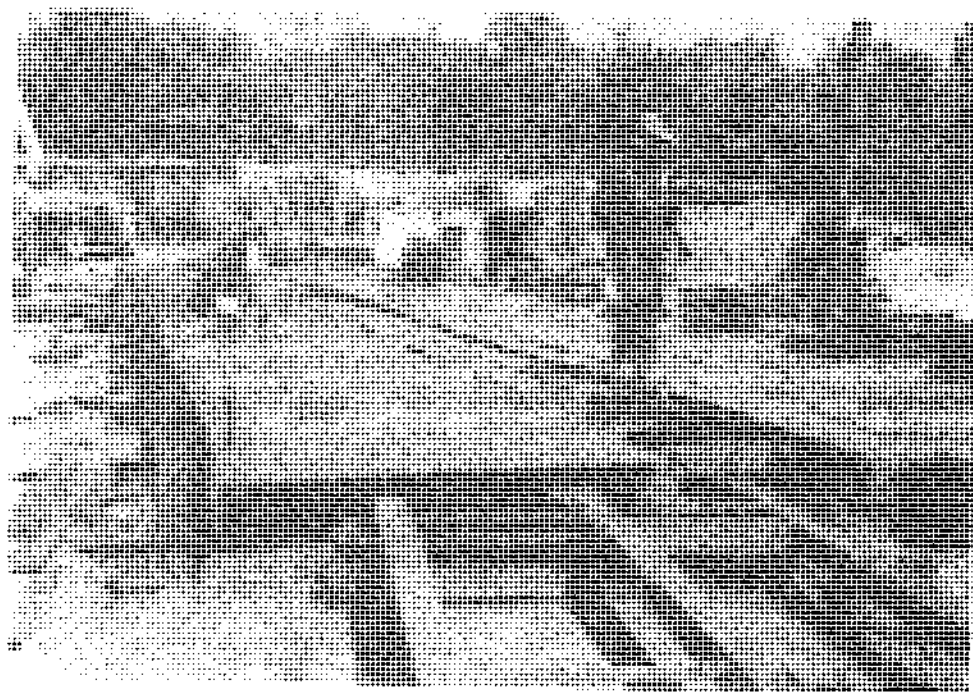
۹ - ۴ - ۵ تحذب بال و سخت‌کننده‌های عرضی

معمولاً بعد از تکمیل نیارهای جوش بال به‌جان، سخت‌کننده‌های عرضی مونتاژشده 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 پدیده‌ی 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 - ۲۳

۱- لزومی ندارد که سخت‌کننده به‌صورت کاملاً جذب بریده شود و می‌تواند مقداری لقی در حد فاصل دوبرال 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 حالی 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 (تغییرشکل 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

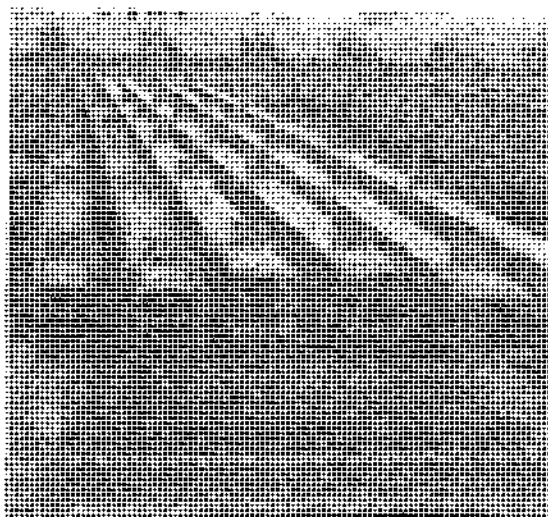
ابتدا دو تیر آهن در کنار یکدیگر و بر روی سطح شاسی کار (شکل ۹-۲۵) با خال جوش به‌هم متصل می‌شوند؛ سپس دو سر و وسط ستون جوش شده و سپس برگردانده شده و مانند قبل جوشکاری می‌شود. در ادامه قسمت‌های باقی‌مانده جوشکاری می‌شود؛ همین کار در سوی دیگر ستون انجام می‌شود و جوشکاری ادامه می‌یابد تا جوش مورد نیاز ستون 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.

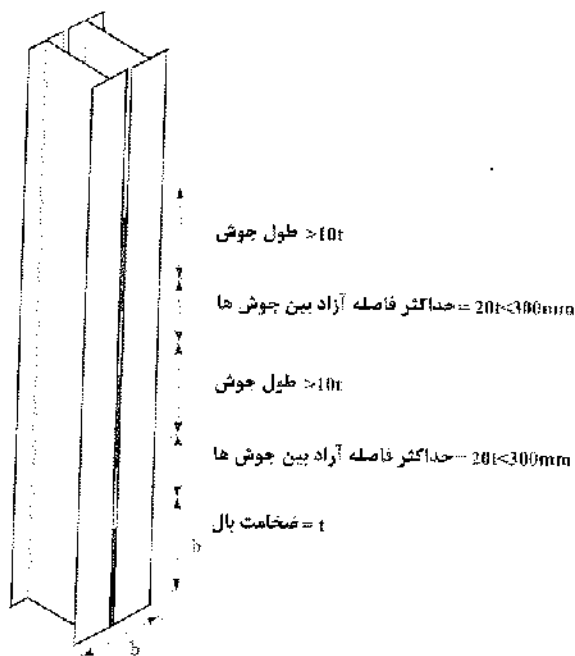
(ب) طول جوش ابتدایی و انتهایی ستون باید حداقل برابر با بزرگترین عرض مقطع باشد و به‌طور یک‌سره انجام شود.

(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.



شکل ۹-۲۵ جوشکاری ستون جفت روی شاسی کز.

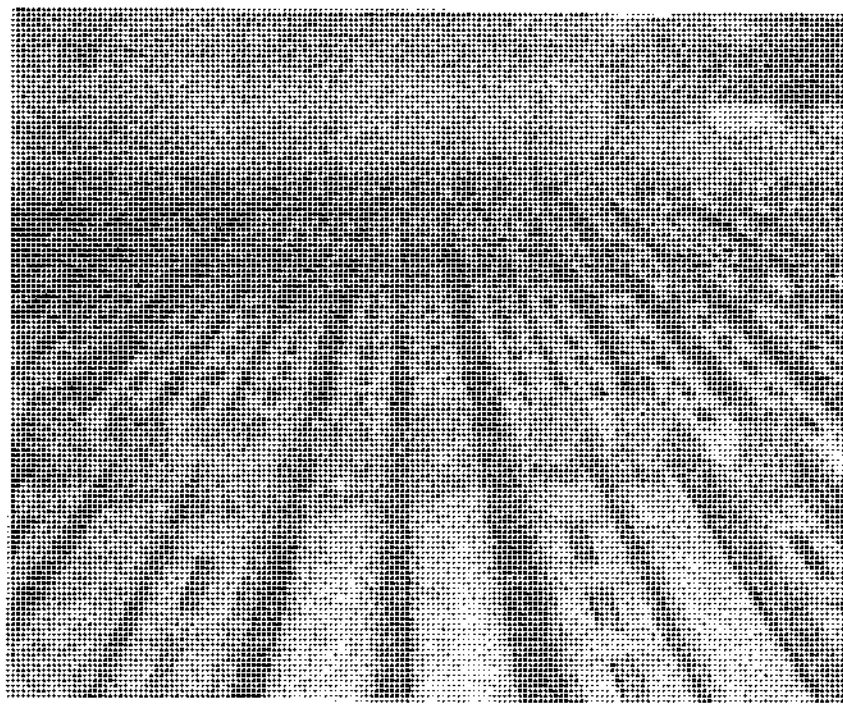


شکل ۹-۲۶ ستون با پروفل جفت.

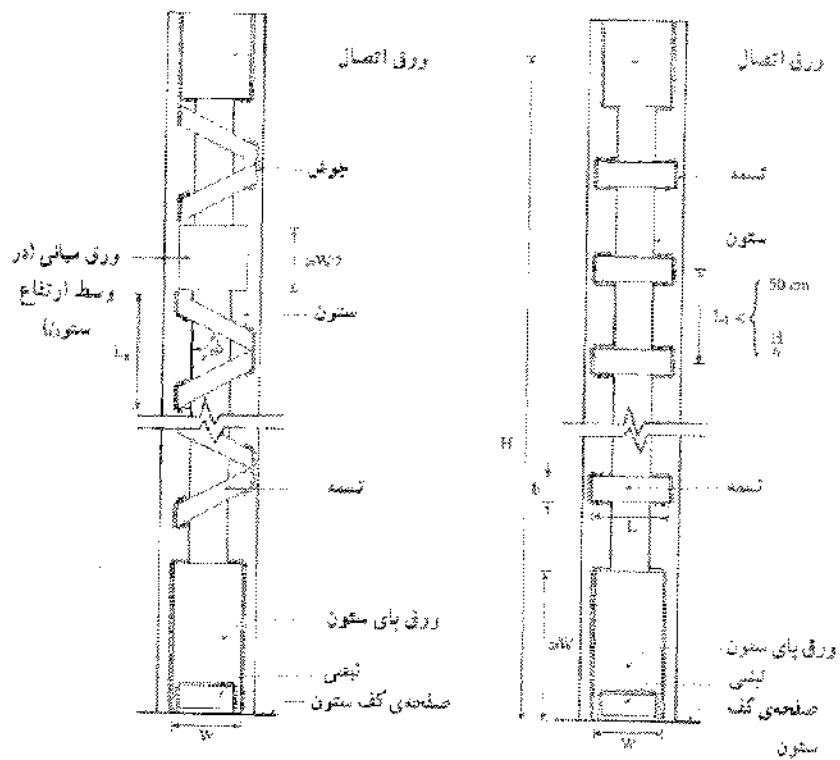
۹-۴-۶ روش ساخت ستون دوبل یا ورق سراسری

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 به صورت پوششی که از قبل به روش‌های مناسب برشکاری شده، روی ستون جفت‌شده، نصب و خال جوش می‌شود.



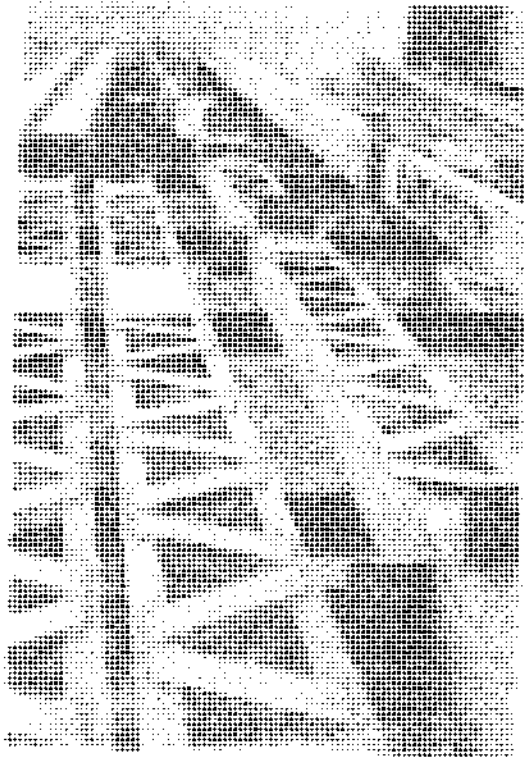
شکل ۹-۲۹ ستون مشبک با قیدهای مؤزی.



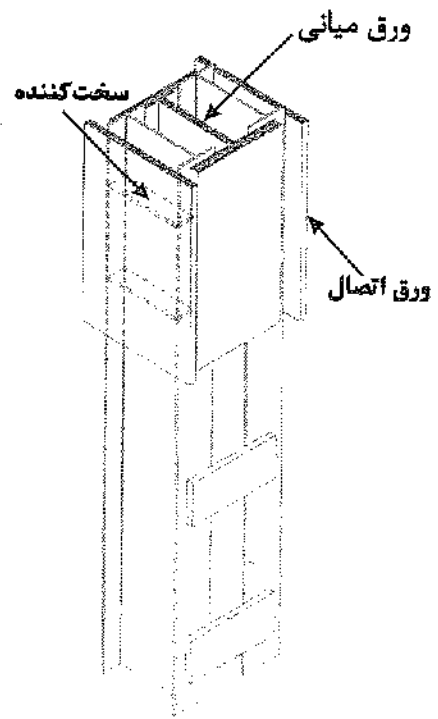
ب- ستون مشبک با بست مورب

الف- ستون مشبک با بست مؤزی

شکل ۹-۳۰ جزئیات ستون مشبک با بست مؤزی و مورب.



شکل ۹-۳۱ ساخت ستون‌های دوبل پاباز با قید مولزی و مورب.



شکل ۹-۳۲ جزئیات ورق اتصالی در قاب‌های خمشی.

دارای مقاومت بهتری نسبت به بست‌های موازی می‌باشند. در مورد این‌گونه ستون‌ها، به‌ویژه ستون با بست موازی نکات زیر باید رعایت گردد (شکل ۹ - ۲۹ تا ۹ - ۳۱):

الف) حداقل ابعاد بست یا تسمه افقی ستون باید به‌این صورت باشد:

L = طول وصله حداقل معادل فاصله مرکز تا مرکز دو نیم‌رخ باشد.

b = عرض تسمه از ۴۲ درصد طول کمتر نباشد.

t = ضخامت تسمه از $\frac{1}{35}$ طول کمتر نباشد.

ب) در اطراف کلیه تسمه‌ها و در سطح تماس با بال نیم‌رخ‌ها، عمل جوشکاری انجام شود (مجموع طول خط جوش در هر طرف صفحه نباید از طول صفحه کمتر شود).

پ) فاصله قیدها و ابعاد آن براساس محاسبات فنی تعیین می‌شود.

ت) در قسمت انتهایی ستون، باید حتماً از ورقه با طول حداقل برابر با عرض ستون استفاده کرد تا علاوه بر تقویت پایه، محل مناسبی برای اتصال بادبندهای فلزی به ستون به‌وجود آید.

ث) در محل اتصال تیر به ستون لازم است قبلاً ورق تقویتی به‌ابعاد کافی روی بال‌های ستون جوش شده باشد.

۹-۴-۶ جزئیات 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 تیر آهن 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 II 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 به‌دست می‌آید.

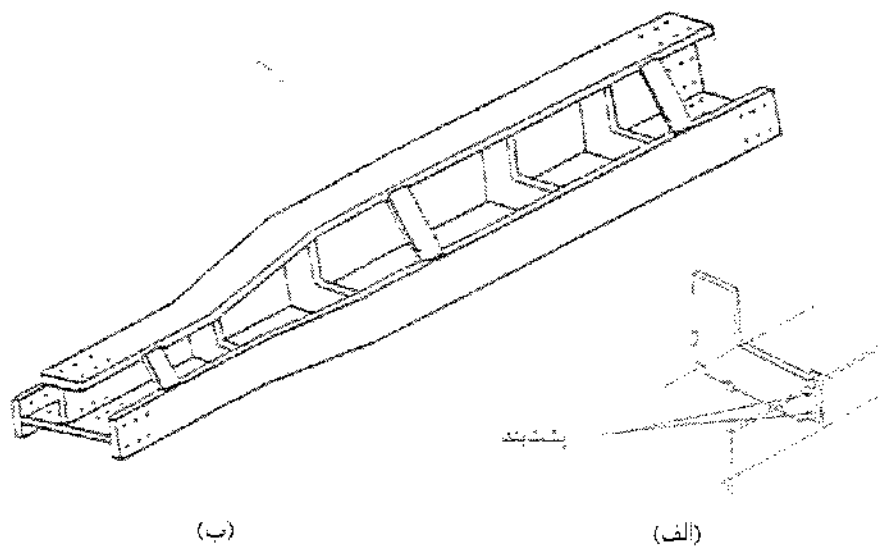
در خصوص ستون‌های صلیبی‌شکل، مونتاژ و جوش سوم و چهارم (که از قبل به‌صورت T شکل آماده شده و جوش بال به‌جان آن انجام شده است) به‌طریق زیر انجام می‌شود:

مونتاژ تک‌مرحله‌ای

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 به‌جان 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).

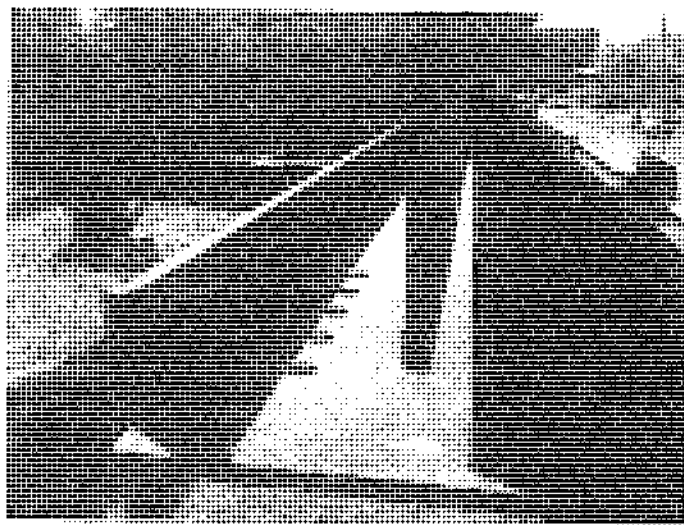
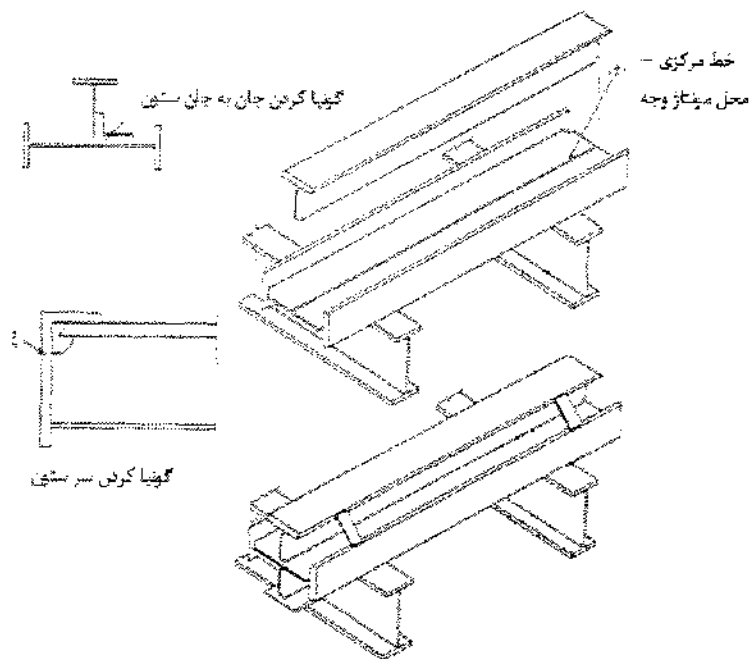


شکل ۹-۳۳ مونتاژ تک‌مرحله‌ای.

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 فون 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.



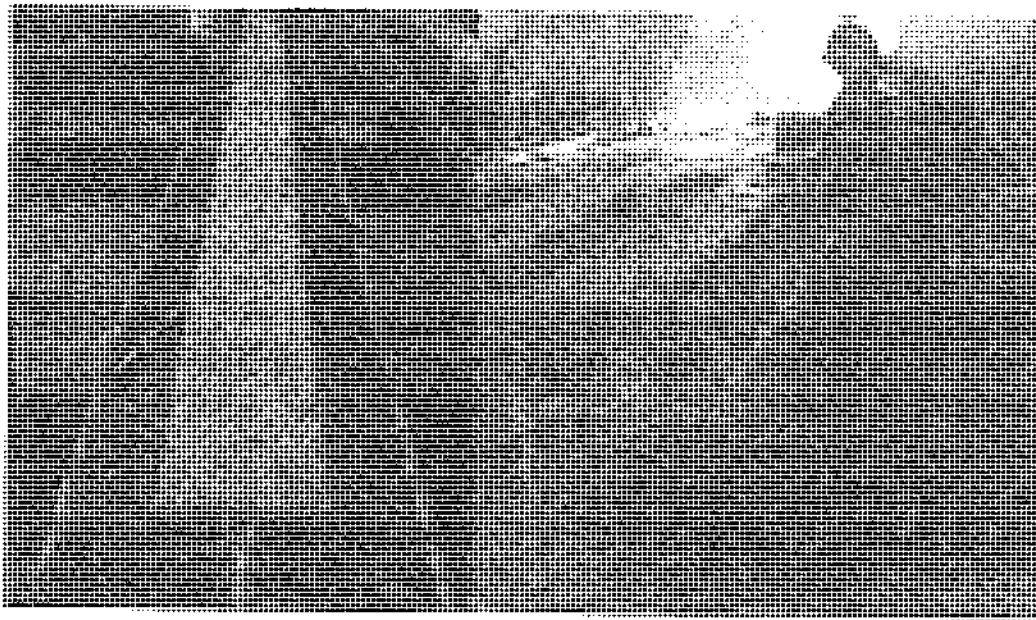
شکل ۹-۳۴ مونتاژ دومرحله‌ای.

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.

به‌طور کلی ترتیب جوشکاری سخت‌کننده‌ها چه در ستون‌های I شکل و چه در ستون‌های صلیبی، به‌صورت اجرای کامل پاس اول جوش کل سخت‌کننده‌ها و سپس اجرای کامل جوش با در نظر داشتن نکات پیشگیری از اعوجاج قطعات انجام می‌شود.

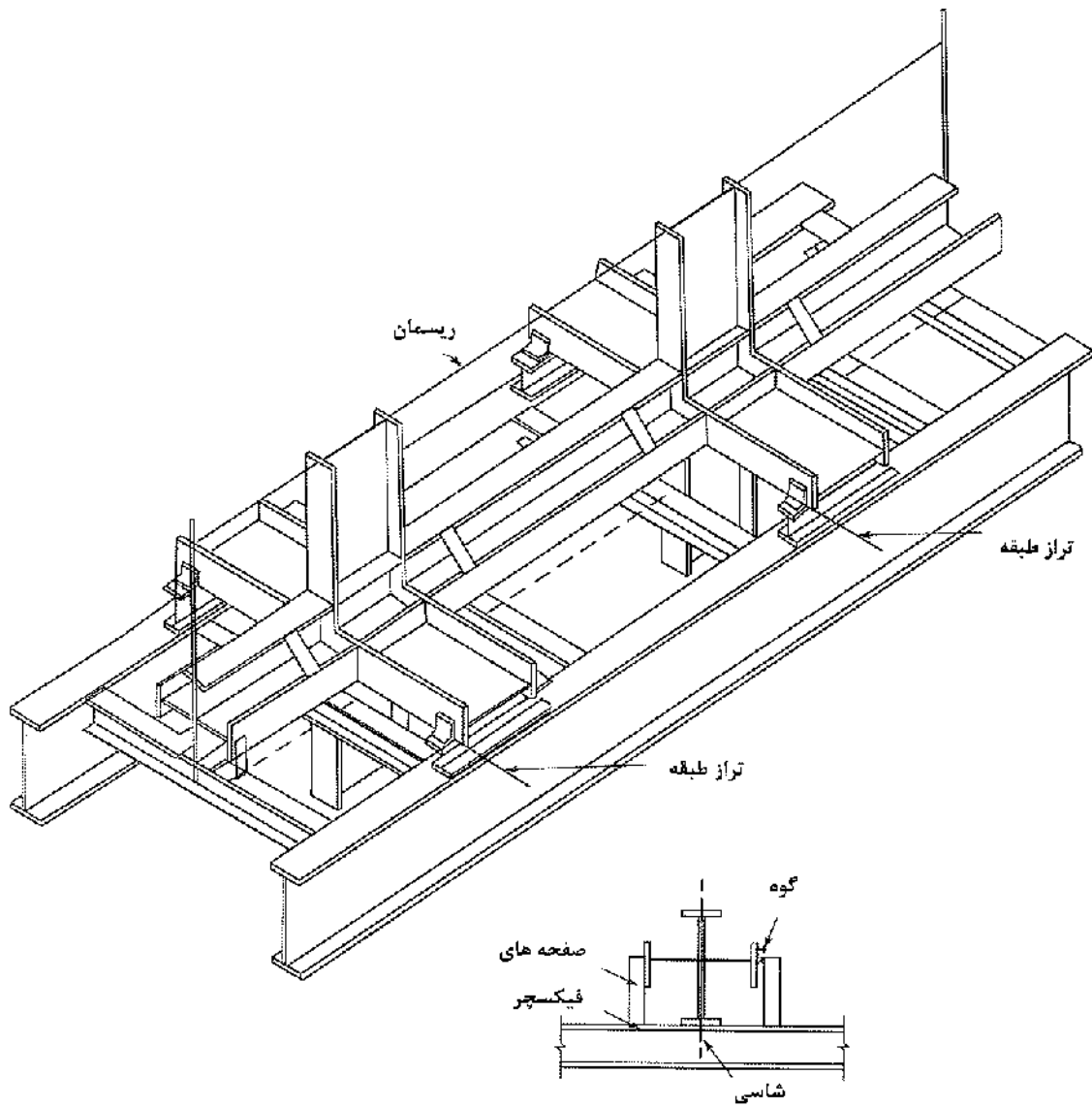
جهت جوشکاری ستون‌های صلیبی بهتر است ابتدا جوش طولی جان به‌جان ستون به‌طور کامل اجرا شود. به‌این ترتیب که پاس اول جوش کلیه سخت‌کننده‌ها و جوش طولی جان به‌جان ستون اجرا می‌شود و سپس جوش جان به‌جان در وضعیت جوشکاری کنج کامل می‌شود و در نهایت جوش کامل سخت‌کننده‌ها با رعایت ترتیب و توالی مناسب جهت پیشگیری از اعوجاج و تابیدگی ستون اجرا می‌شود.



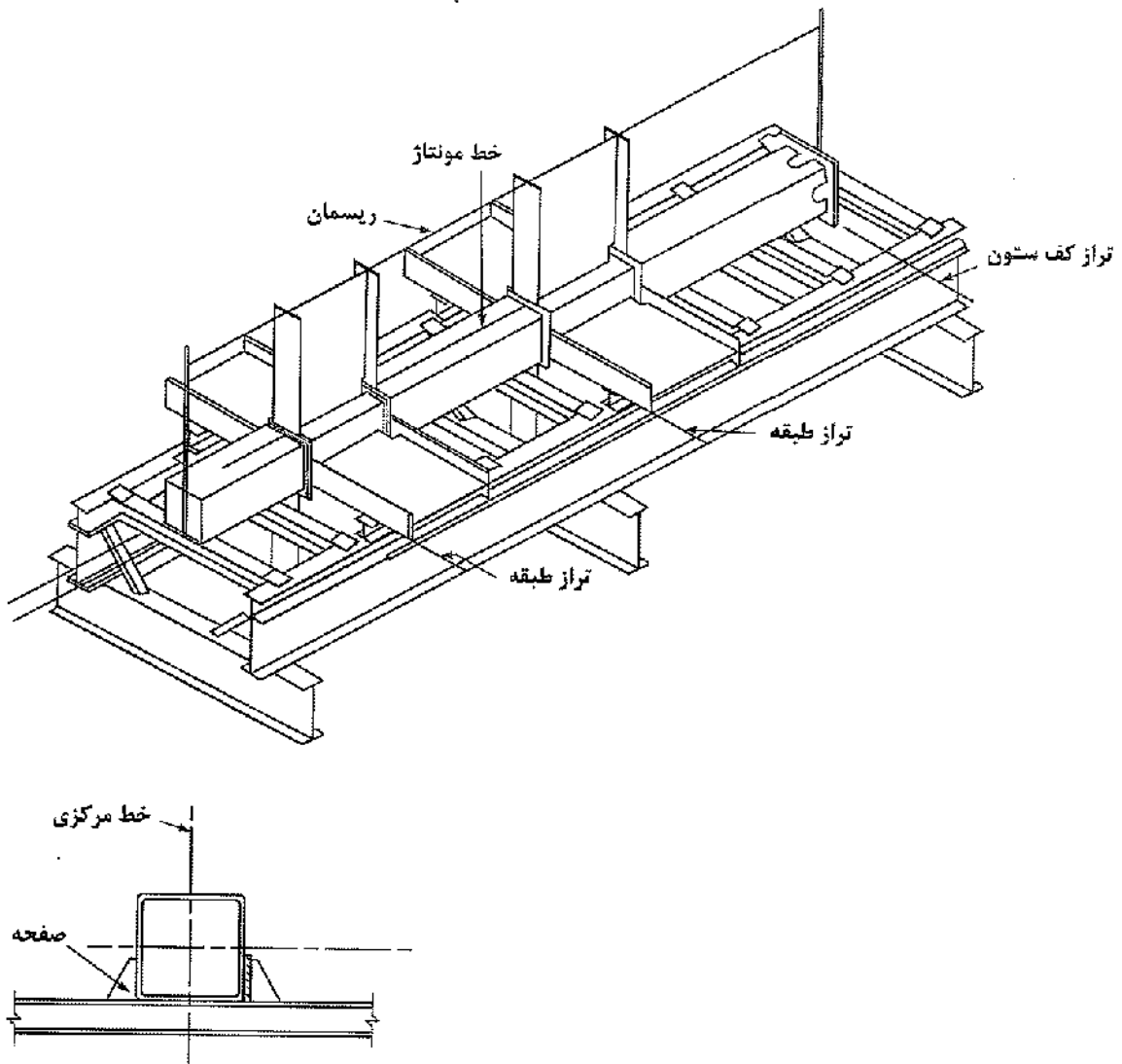
شکل ۹-۳۵ تکمیل مونتاژ وجه سوم و چهارم ستون صلیبی.

۹-۴-۹ مونتاژ نهایی

پس از اجرای کامل جوش‌های هسته ستون، سایر اعضای ستون مانند صفحه ستون، سخت‌کننده‌های صفحه ستون، دستک‌ها یا ورق‌های زیرسری، و گاست‌های بادبندی مطابق نقشه و به‌ترتیب روی ستون نصب می‌گردد. قبل از مونتاژ نهایی قطعات، باید هسته ستون، که تحت جوشکاری‌های 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 سوراخ‌کاری بال‌های ستون در اتصالات پیچ و مهره‌ای) نیز در این مرحله انجام می‌شود.



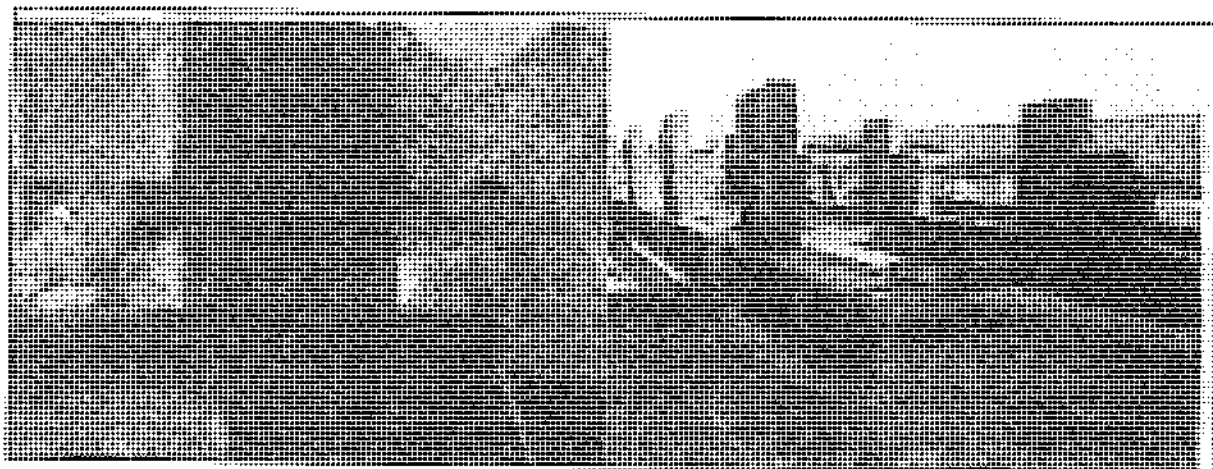
شکل ۹-۳۶ فیکسچر مونتاژ نهایی قطعات الحاقی دستکها روی هسته ستون صیقلی شکل.



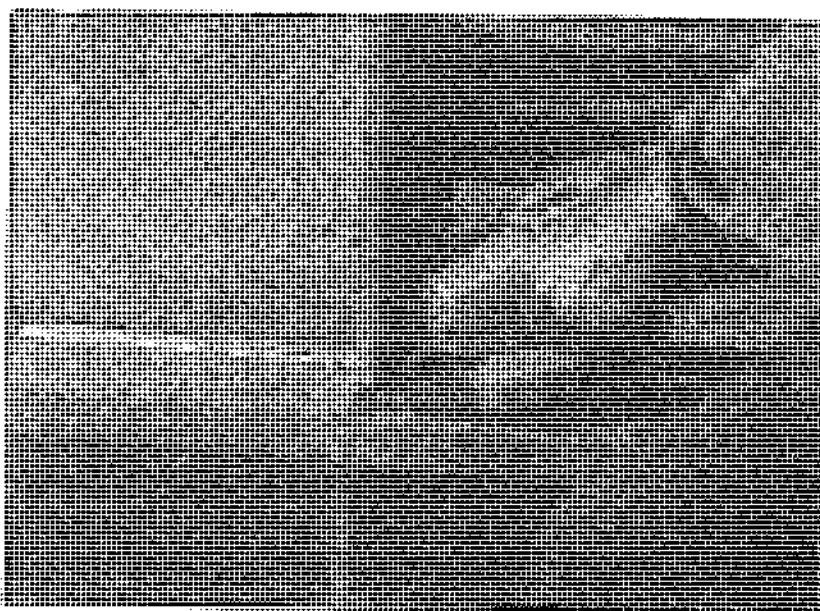
شکل ۹-۳۷ فیکسچر مونتاژ نهایی قطعات الحاقی دستک‌ها روی هسته ستون جعبه‌ای شکل.

۹-۴-۱۰ جوش نهایی

در این مرحله کلیه ملحقات نهایی نظیر دستک، ورق زیرسری، لچکی و ورق گاست باده‌بندی مطابق دستورالعمل‌های تأییدشده قبلی، جوشکاری می‌شوند.



(الف) مونتاژ دستک روی ستون در کارگاه ساخت
(ب) جوشکاری دستک روی ستون توسط دو جوشکار به طور همزمان جهت پیش گیری از پیچیدگی دستک روی ستون



(پ) سنگ زنی درز جوش های شباری پس از اجرای جوش گوشه پشت آنها

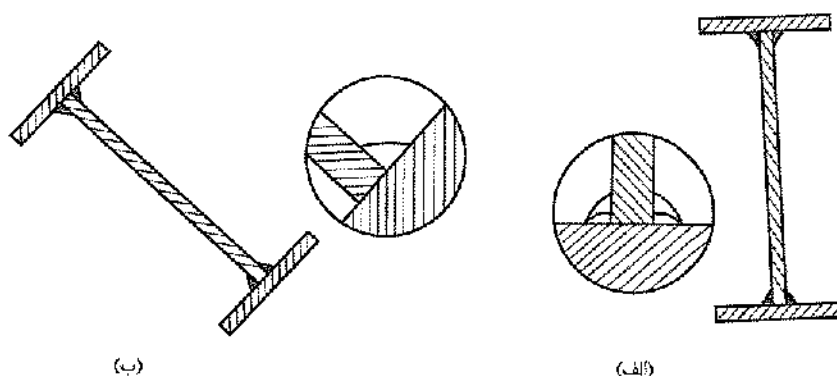
شکل ۹-۲۸ مراحل جوشکاری دستک روی ستون در کارگاه ساخت.

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 به دست 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.

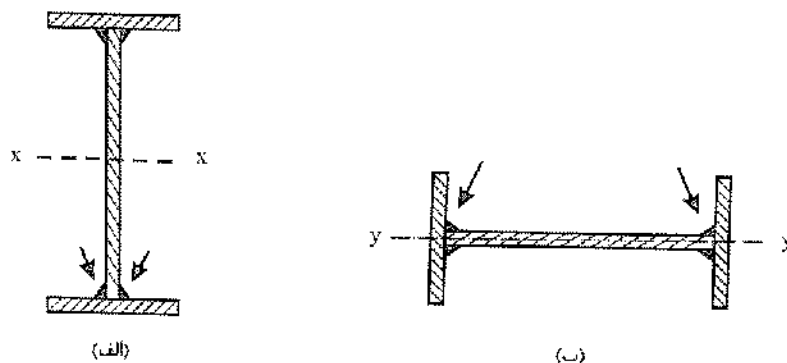


شکل ۹ - ۳۹

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، نمایل کمتری به انحنا 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) به خاطر 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 ۹-۴۰

۹-۴-۱۲ ورق‌های تقویتی بال تیر

بسیاری از اوقات، جهت افزایش ظرفیت خمشی تیرهای نوردشده، ورق‌های تقویتی به بال‌های آنها اضافه می‌شود. معمولاً دو ورق تقویتی به‌گونه‌ای قرار می‌گیرند که تقارن مقطع را نسبت به محور افقی حفظ کنند. از آنجایی که بتن کف در تیرهای مرکب (مختلط) با اتصالات برشگیر بر روی بال فوقانی، به‌صورت مرکب با تیر عمل می‌کند، امکان دارد که فقط بال تحتانی توسط ورق تقویت شود.

اتصالات جوشی ورق‌های تقویتی به بال تیرها، منجر به انقباض تیر در نتیجه خنک شدن فلز می‌شوند. با یک ورق تقویتی در هر بال، این انقباض در بالا و پایین بال‌های تیر، متعادل شده و تیر تغییرشکلی نخواهد داشت. اما در عین حال اگر تنها یک ورق تقویتی در بال تحتانی به‌کار رود، انقباض نامتعادل باعث می‌شود که تیر به‌صورت خمیده یا منحنی درآید.

انحنای ناشی از جوش نامتعادل را می‌توان با استفاده از رابطه ذیل تخمین زد (شکل ۹-۴۱).

$$\Delta = \frac{0.005AdL^2}{I} \quad (۹-۲)$$

که در آن:

A = سطح کلی مقطع عرض جوش (cm^2)

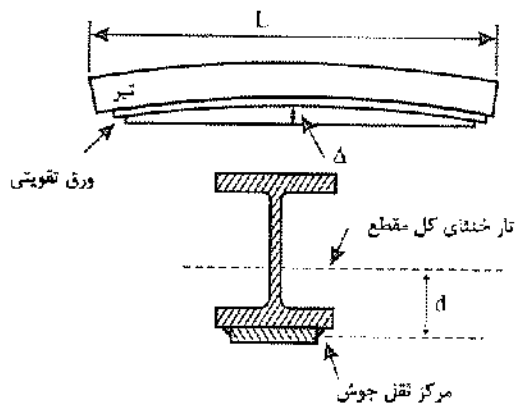
d = فاصله مرکز ثقل جوش تا محور خنثای مقطع (cm)

L = طول تیر (cm)

I = ممان اینرسی مقطع (cm^4)

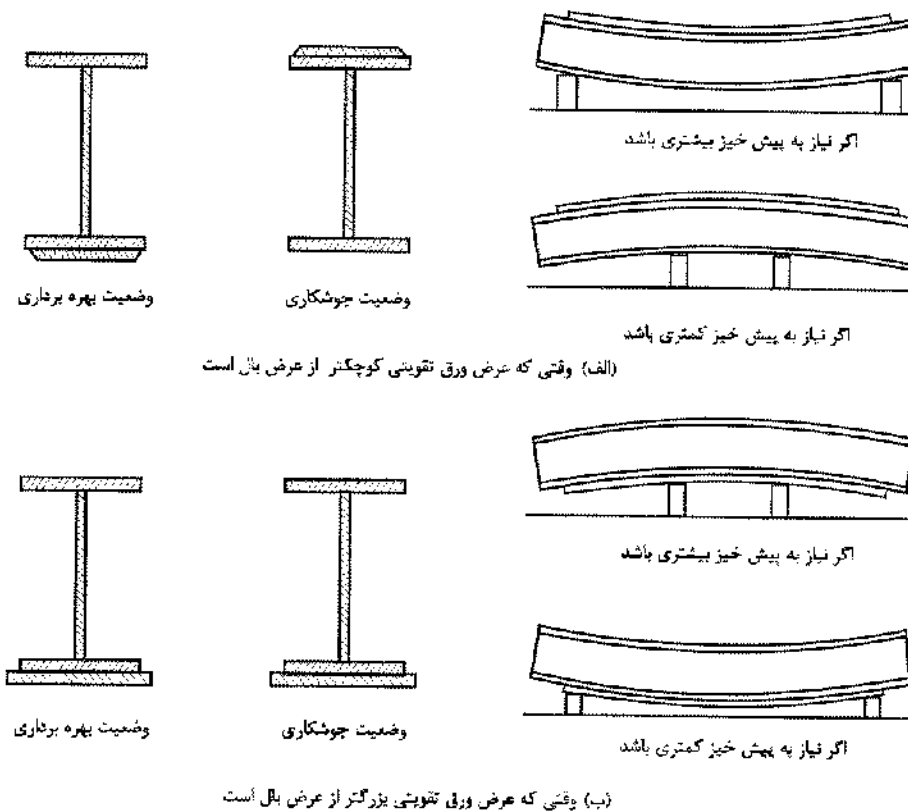
انحنای فوق می‌تواند از پیش‌خیز مورد نیاز بزرگتر و یا کوچکتر باشد.

اگر انحنای ناشی از جوشکاری، بیش از حد لازم برای پیش‌خیز باشد، تیر باید طوری تکیه داده شود که افتادگی ناشی از وزن در خلاف جهت انحنای جوش باشد و چنانچه انحنای ناشی از جوشکاری برای پیش‌خیز کافی نباشد، باید تیر طوری تکیه داده شود که افتادگی آن به‌علت وزن، هم‌جهت با انحنای جوش باشد. یک سازنده با تجربه تیر را یا در نزدیکی دو انتها و یا در نزدیکی وسط جهت حصول خیز اولیه لازم، تکیه می‌دهد.



شکل ۹ - ۴۱

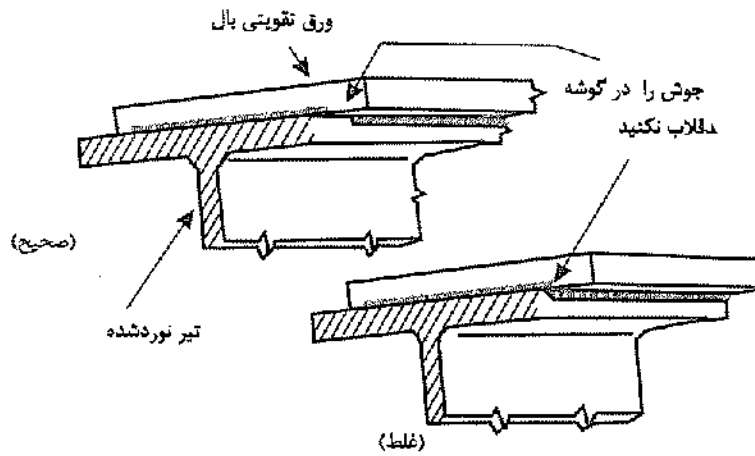
اگر عرض ورق تقویتی کوچکتر از عرض بال تیر باشد، باید به‌طور معکوس به‌بال جوش گردد (شکل ۹ - ۴۲ - الف). اتکای این تیر در نزدیکی نقاط انتهایی آن، انحنا نهایی را افزایش و حال آنکه اتکای تیر در نزدیکی نقطه میانی این کمیت را کاهش می‌دهد. اما در صورتی که عرض ورق تقویتی بیشتر از بال تحتانی باشد، باید در موقعیت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



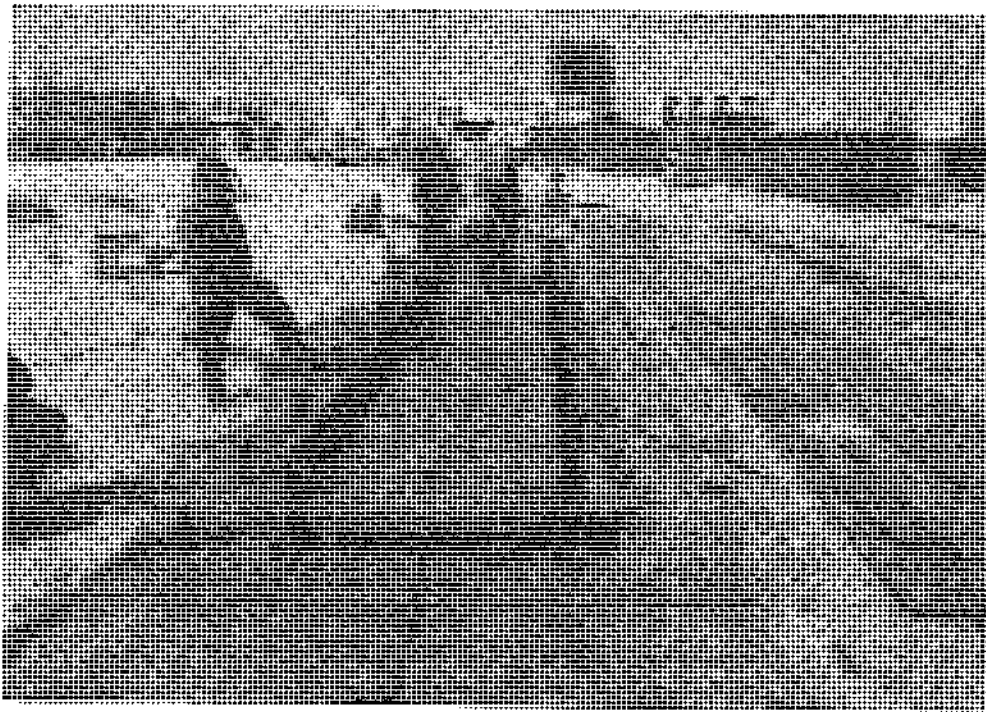
شکل ۹ - ۴۲

چنانچه ورق تقویتی از بال تیر عریض تر باشد، جوش اتصال به بال باید در انتها قطع شده و به صورت قلاب درنیاید (شکل ۹ - ۴۳).

در شکل های ۹ - ۴۴ الی ۹ - ۴۸ تصاویری از عملیات مونتاژ و ساخت اعضا ارایه شده است.



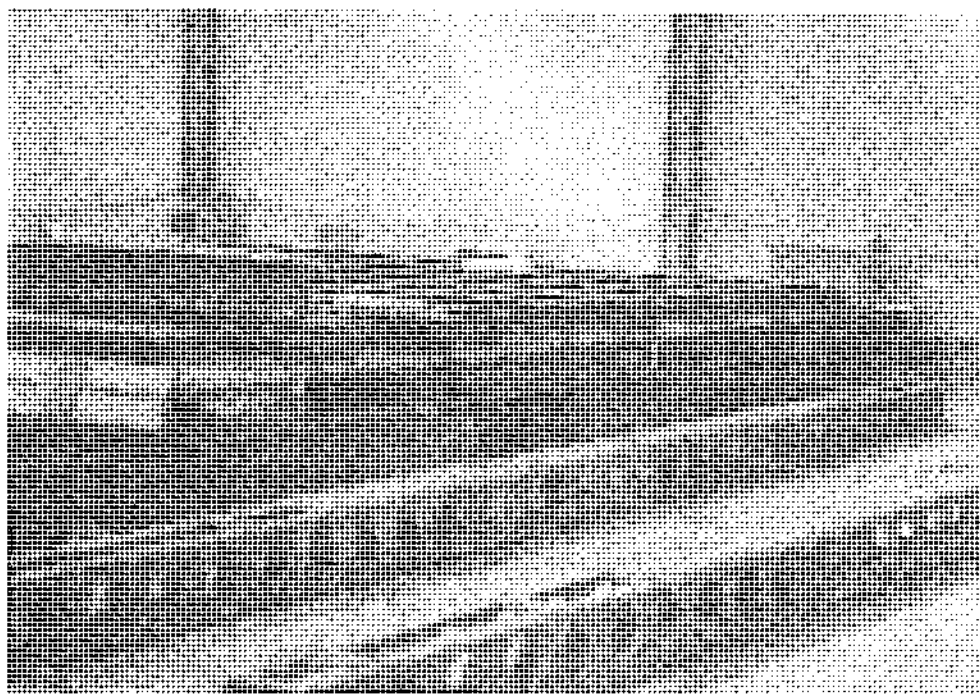
شکل ۹ - ۴۳



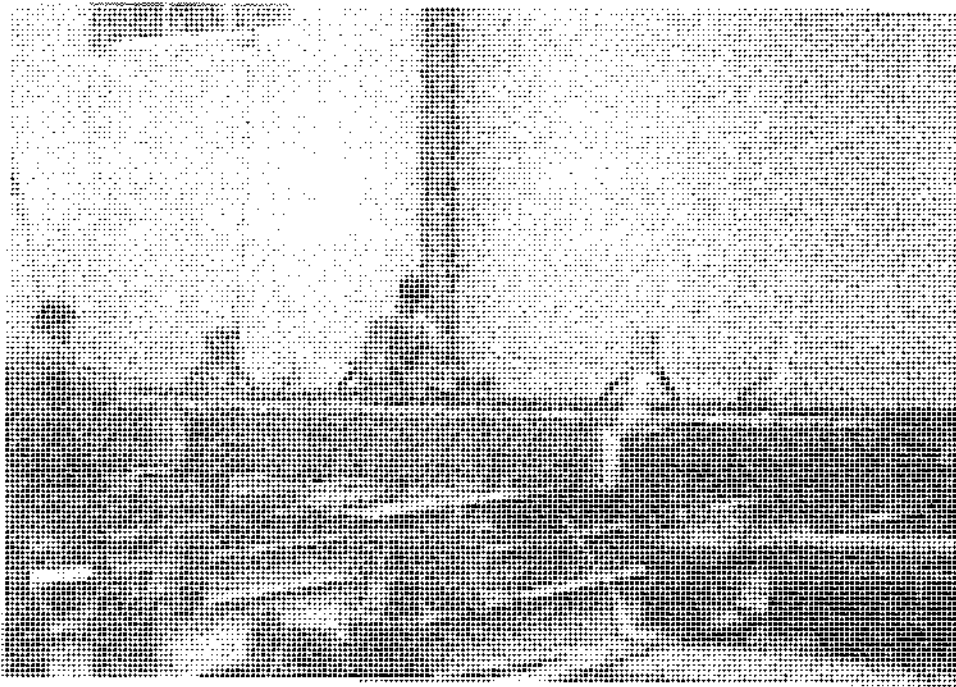
شکل ۹ - ۴۴ مونتاژ بال و جان در نیروی های I.



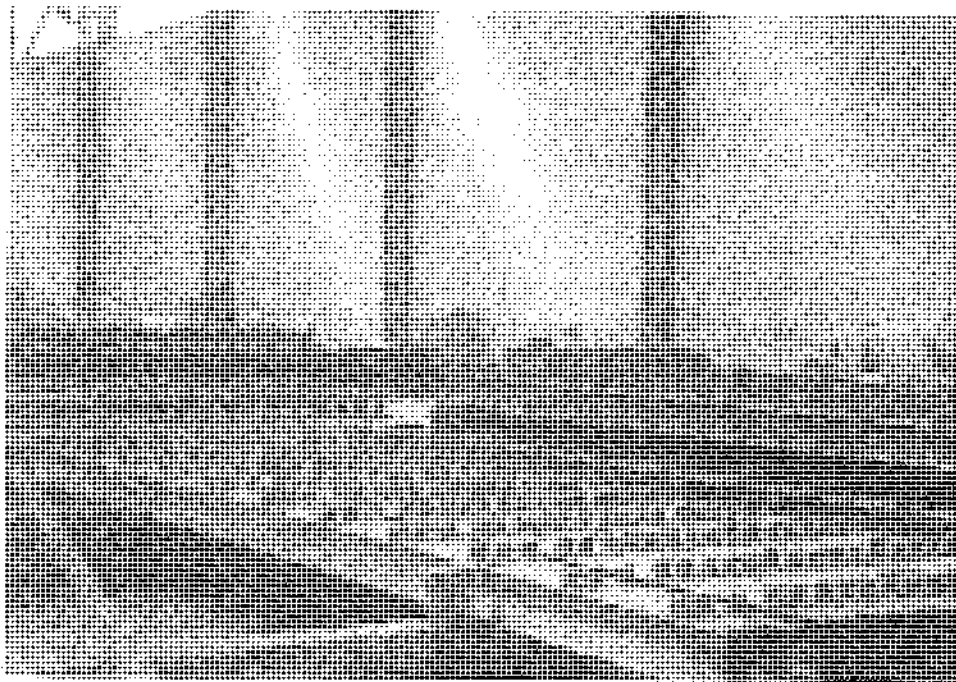
شکل ۹-۴۵ مونتاژ بال و جان ستون جعبه‌ای.



شکل ۹-۴۶ تولید تیرهای لانه‌زنبوری.



شکل ۹-۴۷ اتصال ورق‌های اتصال به ستون ساخته شده از ورق.



شکل ۹-۴۸ اتصال برتگی‌ها به بال تیر.

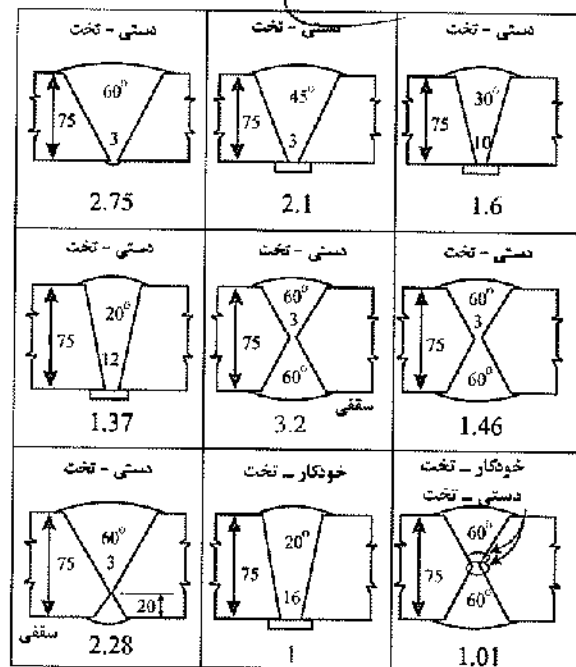
۹-۴-۱۳ وصله کارخانه‌ای

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. مخدودیت‌های 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 تغییرشکل 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.

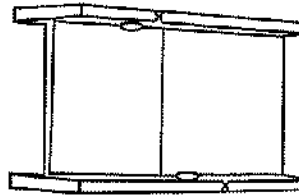
۹-۴-۱۴ وصله کاری کارگاهی

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 به وسیله 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.



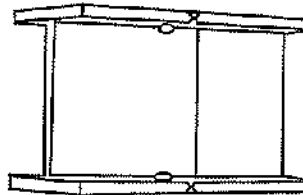
شکل ۹-۴۹ هزینه نسبی جوش‌های لب به لب بال.

سه درز در سه مقطع مختلف قرار دارند



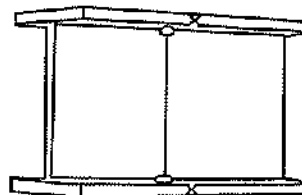
(الف)

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 در میان بال و جان به صورت زیر است (شکل

۹ - ۵۱):

۱ - بخشی از ضخامت هر دو بال (در حدود $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{3}$)، در تمام عرض جوش می‌شود.

۲ - قسمتی از ضخامت جان (حدود $\frac{1}{2}$)، در تمام عرض جوش می‌گردد.

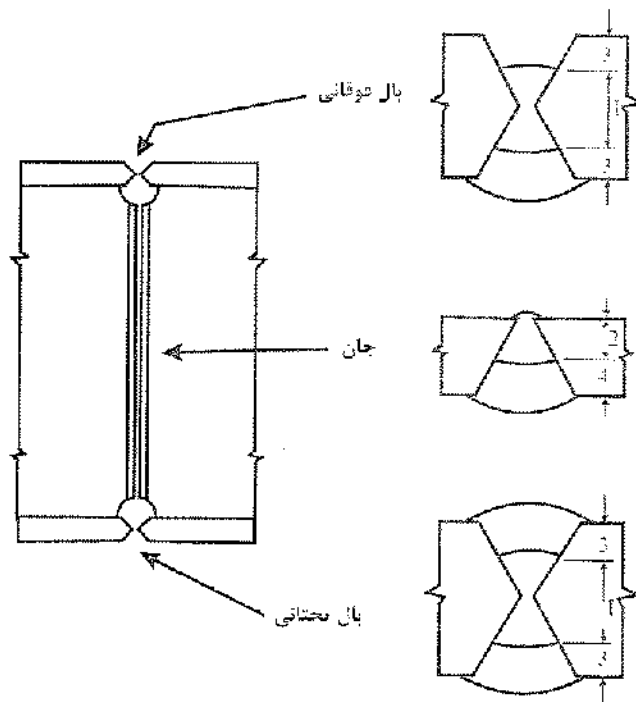
۳ - جوشکاری بال‌ها کامل می‌شود.

۴ - در نهایت جوشکاری جان نیز تکمیل می‌گردد.

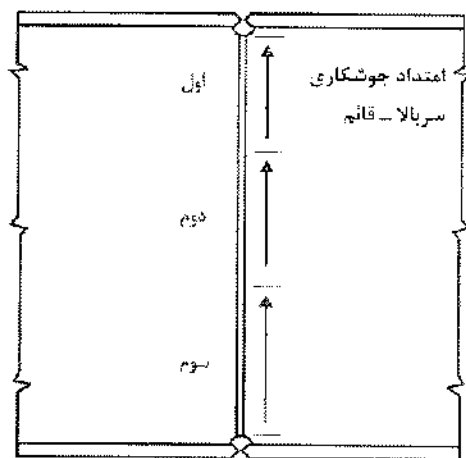
در مورد جان‌های مرتفع، گاهی اوقات جوش‌های قائم به دو یا سه قسمت تقسیم شده و روش گام به عقب مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۹ - ۵۲). این عمل انقباض یکنواخت‌تری را در درز نتیجه خواهد داد.

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.

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



شکل ۹-۵۱ جوش در میان بال و جان



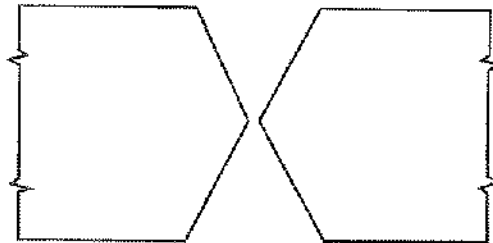
شکل ۹-۵۲ برای جان‌های عمیق، تولی گام به عقب به کار می‌رود.

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

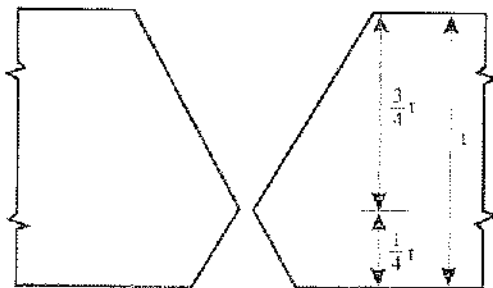
حتی حذف تغییرشکل‌ها بهتر خواهد بود. اما در اجرای این نوع درز، مقداری از عملیات جوشکاری در وضعیت سقفی خواهد بود. به همین دلیل AWS در درزهای استاندارد خود، درز X نامتقارن را نیز پیشنهاد می‌نماید (شکل ۹ - ۵۳). این حالت تا حدی مصرف فلز جوش را کاهش داده و از حجم عملیات جوشکاری سقفی نیز کم می‌کند. در درزهای 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.



(الف) درز V (جناغی یک‌طرفه)، ساده‌ترین آماده‌سازی و دارای تمایل به تغییرشکل زاویه‌ای.



(ب) درز X (جناغی دو‌طرفه)، برای ورق ضخیم‌تر مقدار فلز جوش را کاهش می‌دهد. چنانچه جوش‌ها به صورت متناوب در بالا و پایین اجرا شود. هیچ تغییرشکل زاویه‌ای ایجاد نمی‌شود.



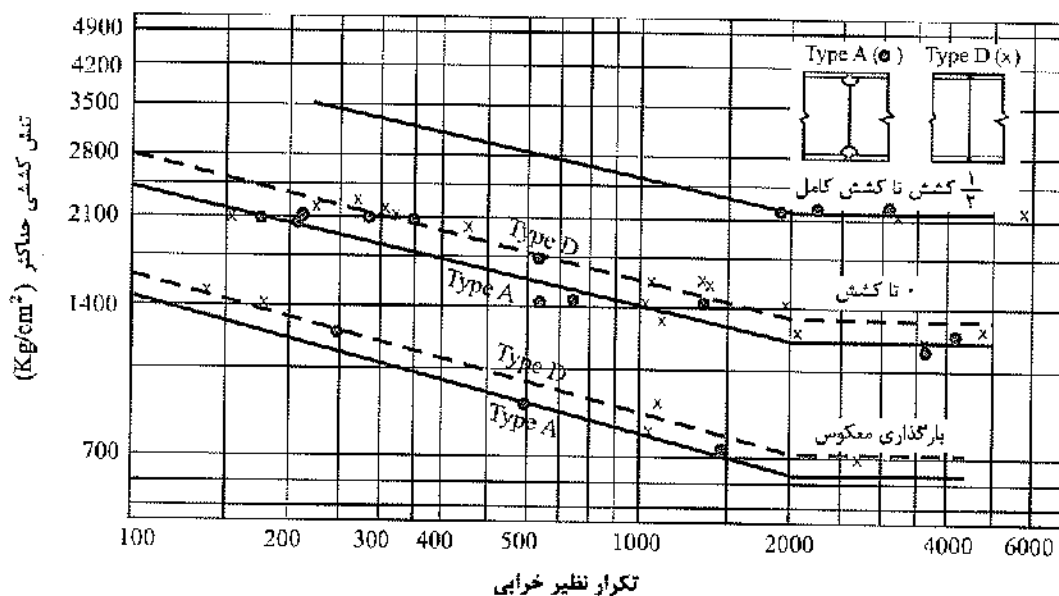
(پ) زمانی که ورق‌ها نمی‌توانند برگردانده شوند، مقدار جوش سقفی می‌تواند با ادامه دادن بخش بالایی درز X تا حداکثر $\frac{3}{4}$ ضخامت ورق، کاهش یابد (جناغی دو‌طرفه ناستقارن).

شکل ۹ - ۵۳

۹-۴-۱۵ سوراخ‌های دسترسی^۶ در جان 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 (شکل ۹-۵۴).



شکل ۹-۵۴ آزمایش خستگی روی سوراخ دسترسی جان.

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 تیوروق، کاهش در مقاومت خستگی نیز کمتر می‌شود. در صورت نگرانی، می‌توان بعد از اتمام جوش درز، محل سوراخ جان را با جوش پر نمود.

۹-۵ عملیات تمیزکاری و رنگ

در سطح فولادی که به‌صورت نورد گرم تولید شده است، لایه‌ای از اکسید تشکیل می‌شود که چسبندگی دایمی با آن ندارد و به‌مرور زمان طبله کرده و جدا می‌شود. به‌این لایه فلز^۷ می‌گویند. علاوه بر آن، به‌مرور زمان سطح فولاد زنگ

6. Coped hole

7. Mill Scale

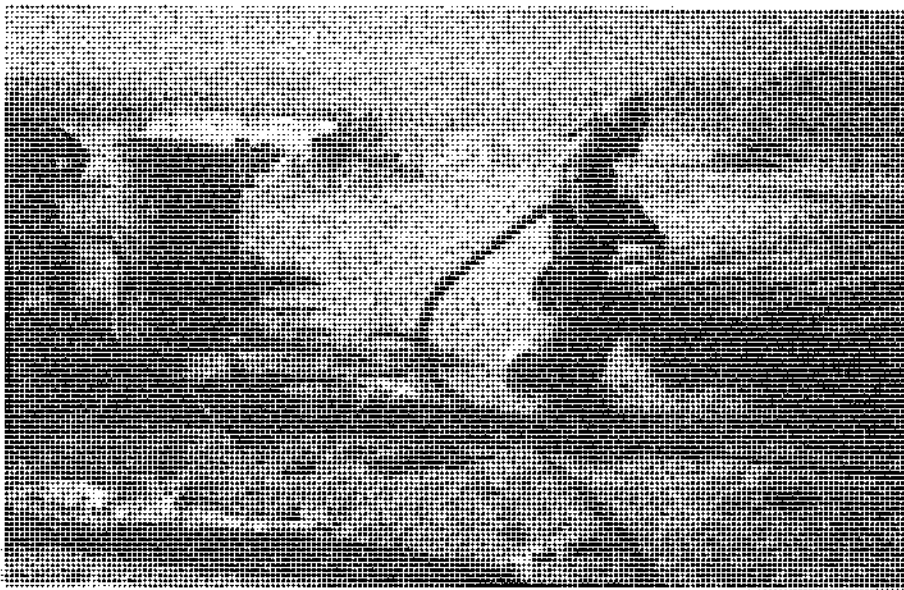
می‌زند و لایه‌های از زنگ روی آن تشکیل می‌شود که آن نیز چسبندگی دائمی نداشته و به‌مرور زمان از آن جدا می‌شود. یکی از روش‌ها برای محافظت فولاد در مقابل عوامل خوردنده خارجی، رنگ‌آمیزی سطح آن است. اما قبل از رنگ‌آمیزی باید سطح قطعه از لایه‌های شل مثل فلس و زنگ‌های قدیمی تمیز گردد. در مورد زدودن لایه‌های سطحی فولاد معمولاً سیاست زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱- برای قطعه فولادی که در داخل بتن قرار می‌گیرد و دارای زنگ‌زدگی سطحی زیادی نمی‌باشد، معمولاً هیچ‌گونه تمیزکاری سطحی صورت نمی‌گیرد.

۲- برای قطعاتی که در داخل ساختمان، آجرکاری‌ها، گچ‌کاری‌ها و موارد مشابه قرار می‌گیرند، تمیزکاری سطحی با استفاده از برس‌های سیمی کافی است. برس زدن قادر به زدودن لایه‌های سطحی زنگ است، لیکن تمام فلس‌ها را نمی‌تواند از سطح قطعه بکند و فلس‌هایی که چسبندگی خوبی با سطح فولاد دارند در روی آن باقی می‌مانند.

۳- برای قطعاتی که به‌صورت نما و در معرض مستقیم هوا و حملات خوردگی قرار می‌گیرند، تمیزکاری به‌وسیله ماسه‌پاشی (سند بلاست^۸) انجام می‌شود. در این روش سطح قطعه فولادی از هرگونه مواد اضافی پاک می‌شود و کاملاً به‌صورت نقره‌ای در می‌آید. ماسه‌پاشی عبارت است از پاشیدن دانه‌های ریز ماسه کوارتزی به کمک هوای فشرده (شکل ۹ - ۵۵). این کار با گرد و غبار زیادی همراه است. در صورت مضر بودن گرد و غبار، استفاده از مس باره مفید خواهد بود. مس باره سرباره کوره‌های مس‌گدازی است که آسیاب شده و به‌صورت دانه‌های ریز در می‌آیند.

(آذر، ۱۳۷۷)



شکل ۹-۵۵. عملیات ماسه‌پاشی.

در جدول ۹ - ۱ درجات زنگ‌زدگی و در جدول ۹ - ۲ درجات تمیزکاری سطحی ارایه شده است. بعد از عملیات تمیزکاری، نوبت به رنگ‌آمیزی می‌رسد. سیستم‌های رنگ در حالت کلی به رنگ‌های آلی^۹ و غیرآلی^{۱۰} طبقه‌بندی می‌شوند. این نام‌گذاری به واسطه آلی و یا غیرآلی بودن مواد چسباننده^{۱۱} (رنگ مایه) است. مواد تشکیل‌دهنده رنگ عبارتند از: رنگدانه^{۱۲}، رنگ مایه (مواد چسباننده) و حلال^{۱۳}. رنگدانه‌ها مواد جامد رنگ هستند و رنگ، قوام و پایایی رنگ از آن است. رنگ مایه شامل روغن‌ها، رزین‌ها، ترکیبات غیرآلی و سایر مواد مشابه هستند که همانند مواد سیمانی فضای بین رنگدانه‌ها را پر کرده و لایه رنگ را به وجود می‌آورند. سیالیت رنگ ناشی از رنگ مایه است. حلال‌ها یا تیرها، مایعاتی هستند که به رنگ اضافه می‌شوند تا آن را رقیق نمایند و باعث کارپذیری آن شوند. حلال‌ها بعد از رنگ‌آمیزی، می‌پزند و سخت شدن رنگ به علت فعل و انفعالات پیچیده شیمیایی بین رنگدانه‌ها و رنگ مایه است. رنگ را می‌توان به بتن تشبیه نمود که رنگدانه‌های آن نقش سنگدانه‌ها را بازی می‌کنند، رنگ مایه نقش سیمان، و حلال‌ها نقش آب و مواد روانساز را دارند. رنگ‌ها معمولاً به دو دسته روغنی و اپوکسی تقسیم می‌شوند. گیرش رنگ‌های روغنی ناشی از تبخیر (پزیدن) حلال و سخت شدن رنگ مایه و رنگدانه‌هاست. اما گیرش رنگ‌های اپوکسی به واسطه تشکیل بلور در رنگ مایه می‌باشد و در نتیجه این نوع رنگ‌ها بسیار سخت هستند و به خوبی به فلز پایه می‌چسبند.

جدول ۹-۱ درجات زنگ‌زدگی سطحی

شرح	درجه زنگ‌زدگی
سطوح فولادی که عمدتاً با لایه اکسیدی چسبده حاصل از نورد پوشیده شده اما زنگ‌زدگی آن در صورت وجود بسیار اندک می‌باشد.	A
سطوح فولادی که شروع به زنگ زدن کرده است و در نتیجه آن، لایه اکسیدی حاصل از نورد شروع به ور آمدن و ورقه‌ای شدن نموده است.	B
سطوح فولادی که لایه اکسیدی حاصل از نورد روی آنها در اثر زنگ‌زدگی کاملاً از بین رفته و یا اینکه قابل تراشیدن از سطح می‌باشد، اما حفره‌های جزئی بر روی آنها ایجاد شده که با چشم غیرمسلح نیز قابل دیدن می‌باشد.	C
سطوح فولادی که لایه اکسیدی نورد روی آنها در اثر زنگ‌زدگی کاملاً از بین رفته و روی آن حفره‌های گسترده‌ای که با چشم غیرمسلح قابل دیدن می‌باشد وجود دارد.	D

9. Organic

10. Inorganic

11. Binder or vehicle

12. Pigment

13. Solvent

جدول ۹-۲ درجات تمیزکاری سطحی

آماده‌سازی سطح به‌وسیله‌ی ماسه‌پاشی با حروف "Sa" معرفی شده‌اند. پیش از عملیات ماسه‌پاشی باید تمام لایه‌های سنگین زنگ به‌وسیله تراشیدن زدوده شوند. روغن، چربی و چرک‌های قابل مشاهده نیز باید کاملاً برطرف گردند. بعد از ماسه‌پاشی باید سطح مورد نظر از گرد و غبار و ذرات باقیمانده عملیات پاک‌سازی شود. درجات تمیزکاری به‌شرح زیر می‌باشند:

Sa 1 : تمیز کردن به‌صورت شن‌پاشی خفیف (Light blast cleaning)

هنگامی که به‌سطح بدون بزرگنمایی بنگریم، باید عاری از روغن، چربی و چرک‌های مرئی بوده، همچنین لایه اکسیدی نورد که چسبندگی آن کم می‌باشد، زنگ، پوشش‌های رنگی و مواد خارجی نیز بر روی سطح موجود نباشد.

Sa 2 : تمیز کردن به‌صورت شن‌پاشی عمیق (Through blast cleaning)

هنگام نگرستن به‌سطح بدون بزرگنمایی باید عاری از روغن، چربی و چرک‌های مرئی بوده، بیشترین مقدار لایه اکسیدی نورد که چسبندگی آن کم می‌باشد، زنگ، پوشش‌های رنگی و مواد خارجی نیز از روی سطح زدوده شده باشد. هرگونه آلاینده باقیمانده دیگر باید به‌شدت به‌سطح چسبیده باشد که از روی آن جدا نشود.

Sa 2.5 : تمیز کردن به‌صورت شن‌پاشی عمیق تر (Very through blast cleaning)

هنگامی که به‌سطح بدون بزرگنمایی بنگریم، باید عاری از روغن، چربی و چرک‌های مرئی بوده، همچنین لایه اکسیدی نورد که چسبندگی آن کم می‌باشد، زنگ، پوشش‌های رنگی و مواد خارجی کاملاً زدوده شده باشد. هرگونه اثر بجا مانده از آلاینده‌ها فقط به‌صورت لکه‌های خفیف به‌شکل خاکی‌ها و نوارها به‌نظر خواهد آمد.

Sa 3 : تمیز کردن به‌صورت شن‌پاشی تا درجه نمایان شدن سطح فولاد (Visually clean steel)

هنگام نگرستن به‌سطح بدون بزرگنمایی، باید عاری از روغن، چربی و چرک‌های مرئی بوده، همچنین لایه اکسیدی نورد که چسبندگی آن کم می‌باشد، زنگ، پوشش‌های رنگی و مواد خارجی نیز کاملاً زدوده شده باشند. این سطح تمیزشده دارای رنگ یکنواخت و تیره‌ای می‌باشد.

در مواردی لازم است فساد و خوردگی مصالح در طرح و محاسبه اعضای سازه در نظر گرفته شود و ابعاد آنها طوری داده شود که اثر خوردگی را جبران کند و یا در حالت دیگر با حفاظت در مقابل خوردگی به‌وسیله رنگ زدن و یا راه‌حل‌های دیگر، باید شرایط بهره‌برداری حفظ شود. دستورالعمل رنگ‌آمیزی قطعات فولادی به‌شرح جدول ۹-۳ می‌باشد. در شکل ۹-۵۶ الف بازرسی کارگاه در حال ضخامت‌سنجی رنگ قطعات نشان داده شده است.

در جاهایی که تیرها و یا ستون‌ها در معرض عوامل جوی قرار می‌گیرند باید سطوح داخلی آنها (در صورتی که قسمت‌های توخالی داشته باشند) برای مقابله با خوردگی کاملاً مسدود شود و به‌صورت آب‌بندی شده درآید، یا فضاهای داخلی آنها ابعاد کافی داشته باشند تا با دسترسی به‌داخل آنها هر چند وقت یک‌بار تمیز و رنگ شوند.

رایج‌نمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

جدول ۹-۲ حداقل ضخامت رنگ‌آمیزی قطعات فولادی در شرایط محیطی مختلف

شرایط محیطی	آماده‌سازی سطح فولادی	نوع و ضخامت رنگ	
		قطعه فولادی در داخل دیوار و نازک‌کاری	قطعه فولادی به صورت روباز لیکن درون محیط بسته
معتدل ^۱	Sa 2	۴۰ میکرون ضدزنگ	۴۰ میکرون آستر الکیدی ۴۰ میکرون رویه الکیدی
سخت ^۲	Sa 2.5	۴۰ میکرون آسترپوکسی غنی از روی	۴۰ میکرون آسترپوکسی غنی از روی ۴۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۴۰ میکرون رویه اپوکسی
بسیار سخت ^۳ و ساحلی	Sa 3	۴۰ میکرون آسترپوکسی غنی از روی ۴۰ میکرون رویه اپوکسی	۶۰ میکرون آسترپوکسی غنی از روی ۶۰ میکرون لایه میانی اپوکسی ۶۰ میکرون رویه اپوکسی پلی‌پورتان

(۱) شرایط معتدل. شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی متوسط کمتر از ۵۰٪ (همانند شهر تهران).

(۲) شرایط سخت. شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی متوسط بیش از ۸۰٪ (همانند شهر رشت).

(۳) شرایط بسیار سخته شرایط آب و هوایی با رطوبت نسبی متوسط بیش از ۸۰٪ همراه با بخار کلر یا نظایر آن (مانند شهر بندرعباس).

(۴) در صورتی که دستورالعمل رنگ‌آمیزی توسط کارشناس ذیصلاح تهیه شود، می‌توان از شرایط جدول فوق عدول نمود.

(۵) صفحاتی که قرار است در اتصال اصطکاکی رویهم قرار گیرند، نباید رنگ شوند. فقط به‌لایه‌ای در حد ۲۰ میکرون به‌عنوان رنگ انبارداری نیاز می‌یابند.

(۶) یک میکرون، $\frac{1}{1000}$ میلی‌متر است.

۹-۶ عملیات حمل

با توجه به مخارج سنگین، عملیات حمل از موارد قابل تأمل در تولید اجزای اسکلت فولادی است. در هنگام تولید اعضا در کارخانه، طول، عرض، ارتفاع و وزن قطعه تولیدشده باید طوری انتخاب گردد که در هنگام حمل، شرایط بار ترافیکی ایجاد نگردد. بار می‌تواند در یکی از حالات زیر، در رده بارهای ترافیکی قرار گیرد:

الف) داشتن عرض بیشتر از عرض تریلی (حدود ۲/۸۰ متر)

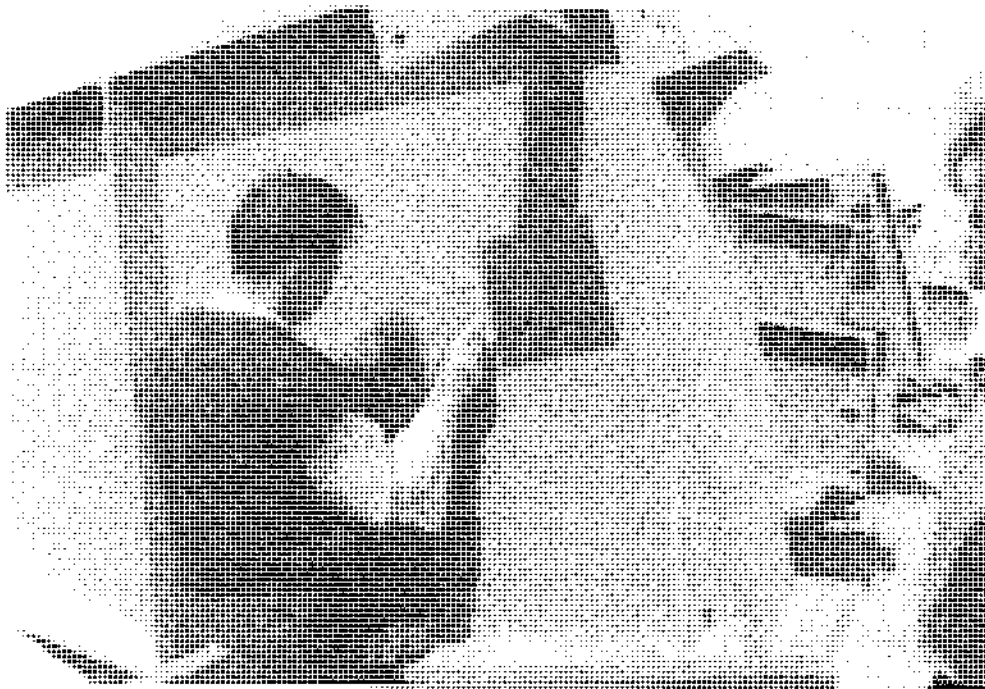
ب) داشتن طول بیشتر از طول تریلی (حدود ۱۲ متر)

پ) داشتن ارتفاع بیش از حد (ارتفاع بالای بار از سطح جاده بیش از ۴ متر)

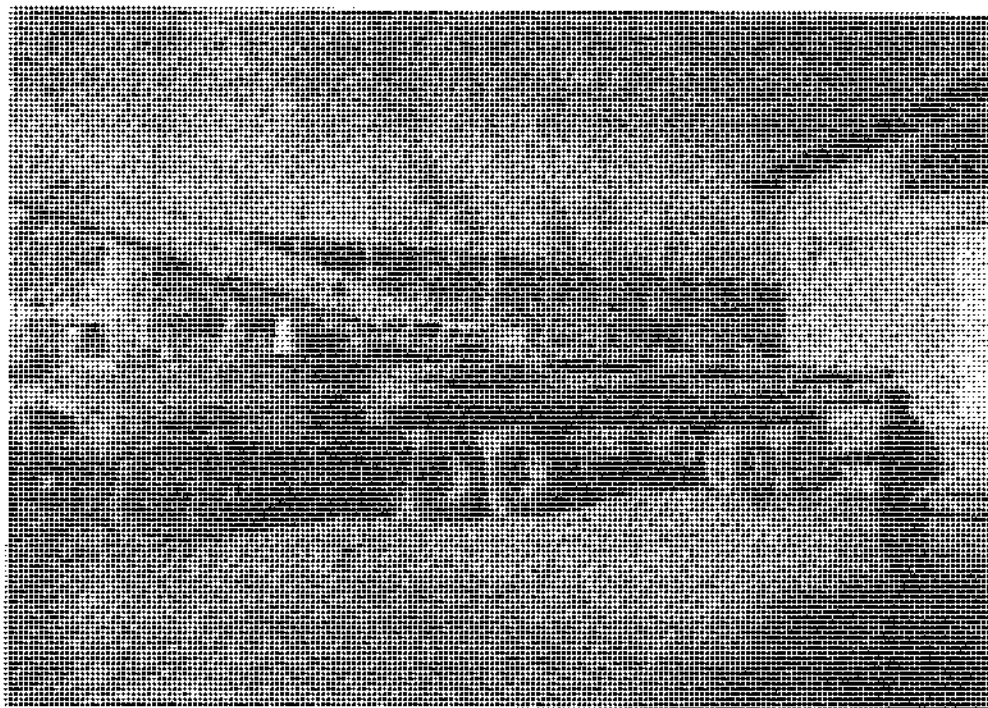
ت) داشتن وزن غیرعادی

بارهای ترافیکی دارای هزینه حمل بسیار گران‌قیمت می‌باشند و باید تا حد امکان از آن اجتناب نمود. در شکل

۹-۵۶ ب، حمل یک قطعه سنگین توسط تریلی نشان داده شده است.



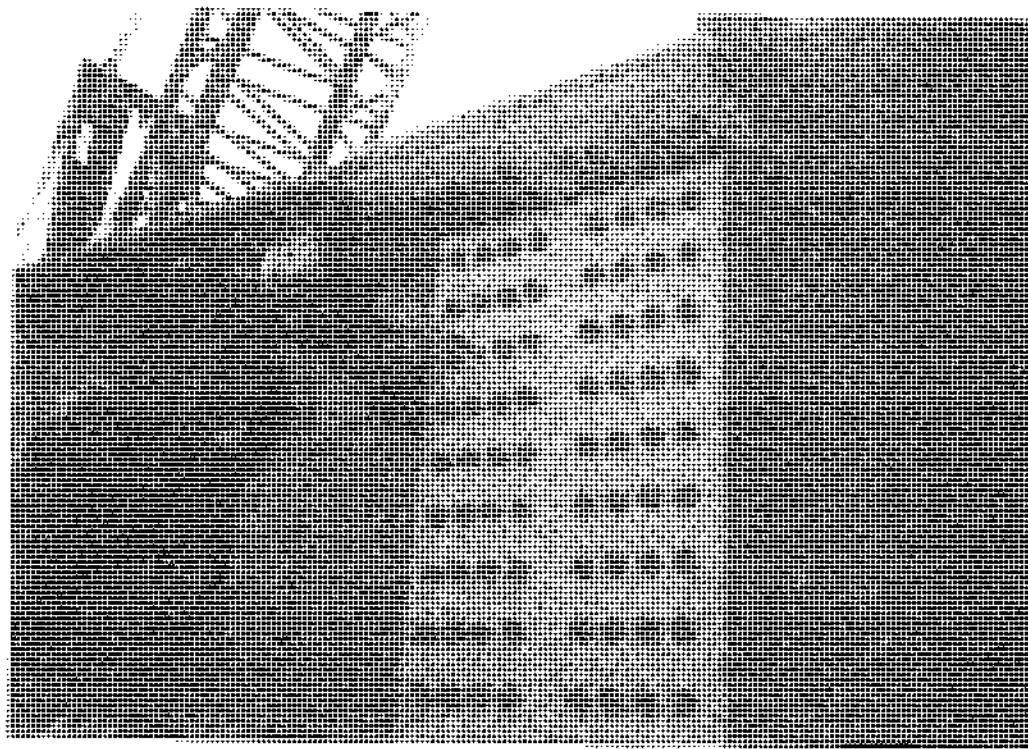
شکل ۹-۵۶-الف ضحامت‌سنجی رنگ.



شکل ۹-۵۶-ب حمل یک قطعه سنگین.

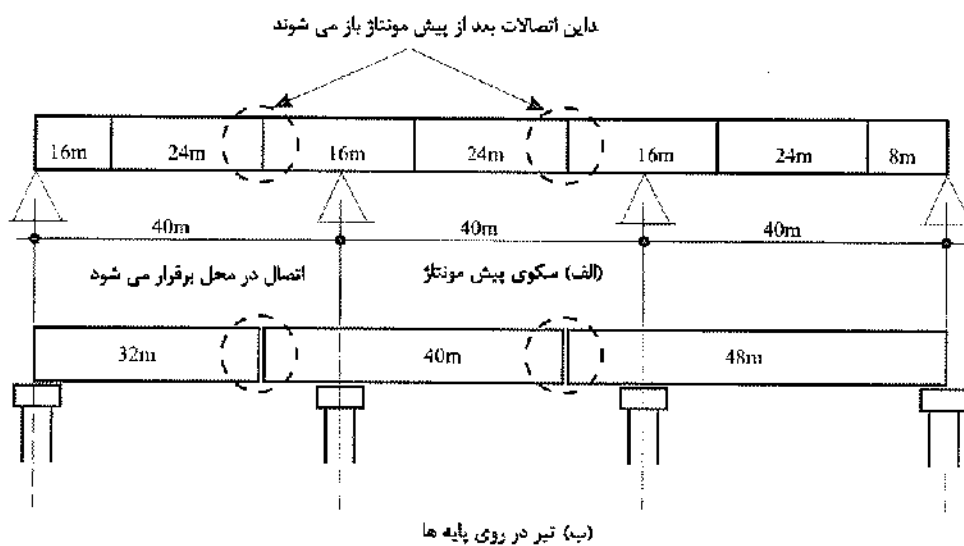
۹-۷ عملیات پیش‌مونتاژ و مونتاژ در پای کار

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 به‌کارگاه 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 به‌یکدیگر 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 به‌یکدیگر به‌صورت آزمایشی متصل شده‌اند، اتصال مجدد آنها در جبهه کار بسیار ساده خواهد بود. در صورتی که اتصال قطعات به‌یکدیگر 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.



شکل ۹-۵۷ روش سوراخ کردن ورق‌های اتصال

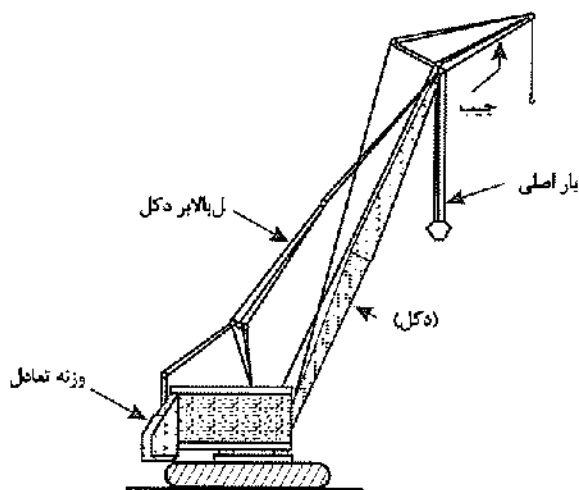
به‌عنوان مثال، در عملیات نصب شاهتیرهای یکسره پنی به‌طول کل ۱۲۰ متر در سه دهانه ۴۰ متری، شاهتیر در طول‌های ۸، ۱۶ و ۲۴ متری به‌کارگاه حمل‌گردید. در کارگاه کل ۱۲۰ متر در پای کار به‌یکدیگر مونتاژ گردید. سپس بعضی اتصالات مجدداً باز شدند و عملیات نصب در طول‌های ۴۸، ۴۰ و ۳۲ متر انجام شد (شکل ۹ - ۵۸).



شکل ۹ - ۵۸

۹ - ۸ 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

علاوه بر بوم اصلی، دارای یک اضافه بوم می‌باشد که به آن جیب می‌گویند و از آن می‌توان برای نصب قطعات سبک در ارتفاع بالا استفاده نمود.

در شکل‌های ۹ - ۶۰ تا ۹ - ۶۹ تصاویری از عملیات واداشتن و اجرای اتصالات موقت نشان داده شده است.

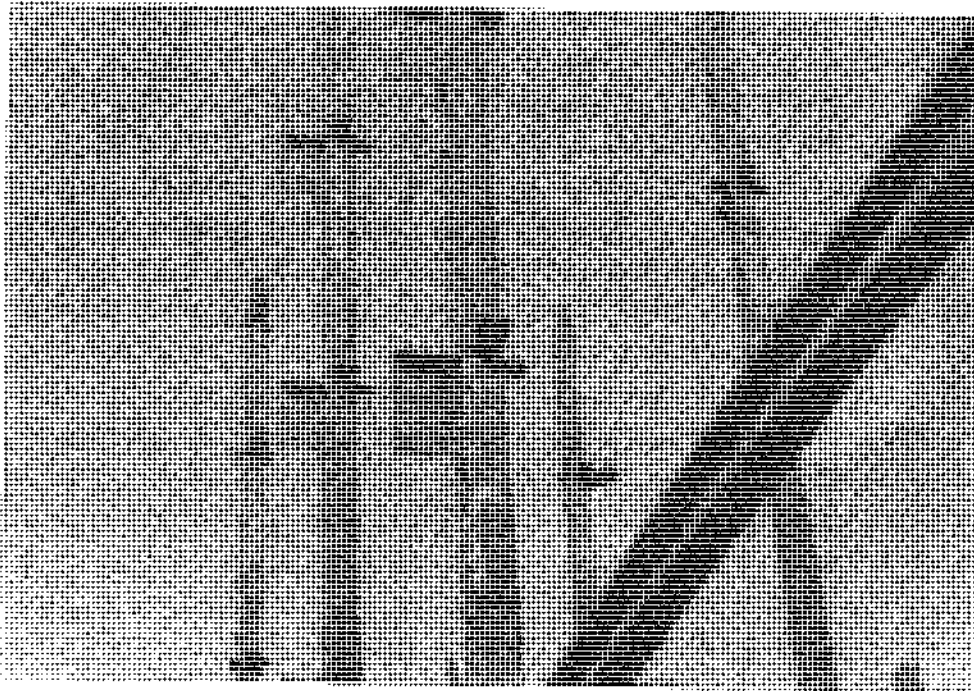
۹ - ۹ شاقولی کردن ستون‌ها، هم‌محور کردن تیرها و تکمیل اطلاعات

در آخرین مرحله، به کمک مهارهای ضربدری موقت و تجهیزات ایجاد کشش مثل تی‌فور یا دوپیچ، ستون‌ها در وضعیت شاقول قرار گرفته و با خال زدن اتصالات و یا سفت کردن پیچ‌های مونتاژ، تیرها و ستون‌ها در وضعیت نهایی قرار می‌گیرند.

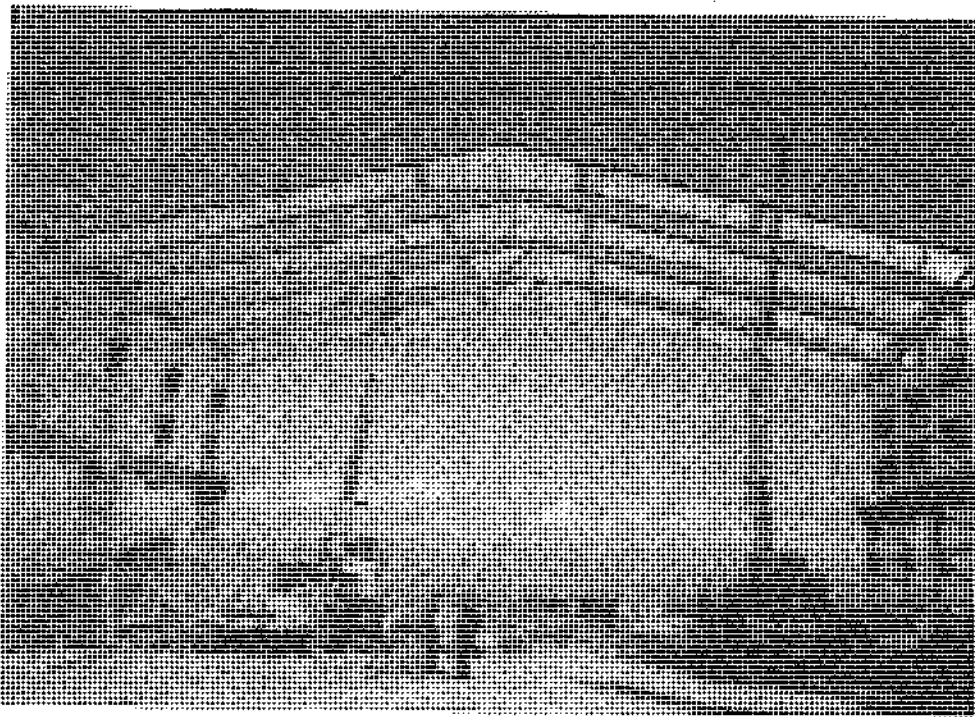
در شکل‌های ۹ - ۶۲ تا ۹ - ۶۷ تصاویری از مراحل تنظیم نهایی و تکمیل اطلاعات ارائه شده است.



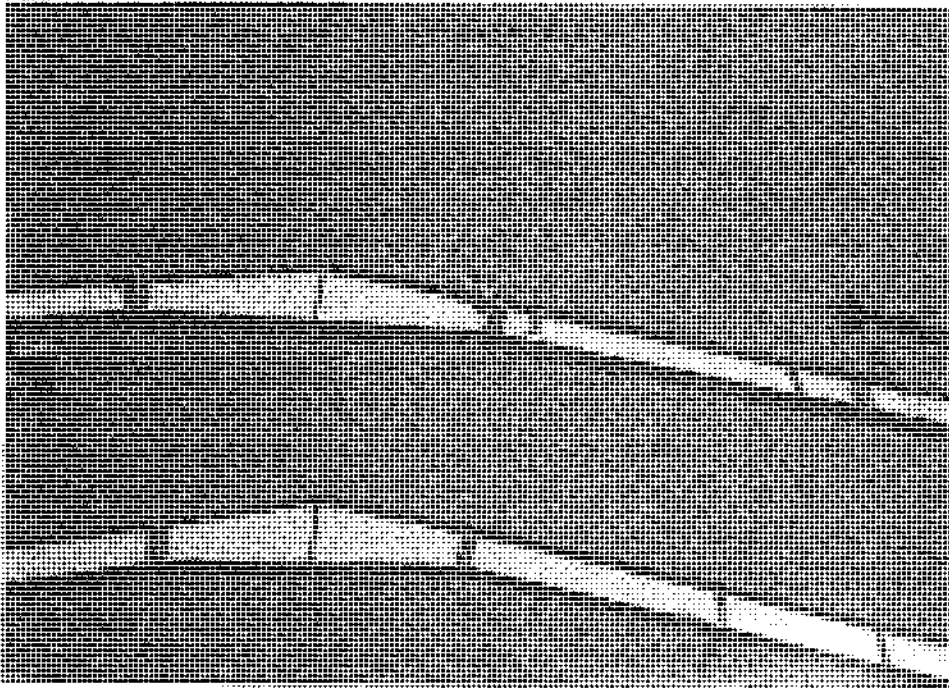
شکل ۹ - ۶۰ نصب ستون‌ها و اجرای وصله‌ها.



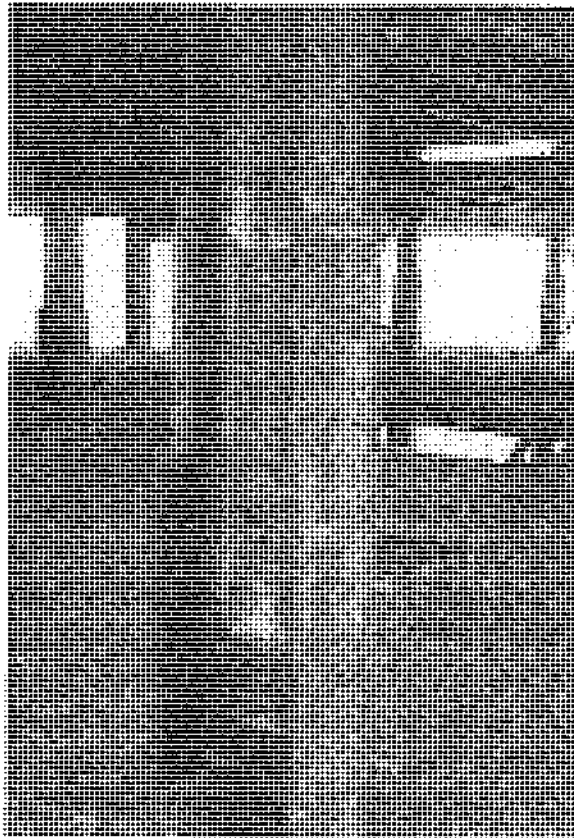
شکل ۹-۶۱ نصب و واداشتن ستون‌ها.



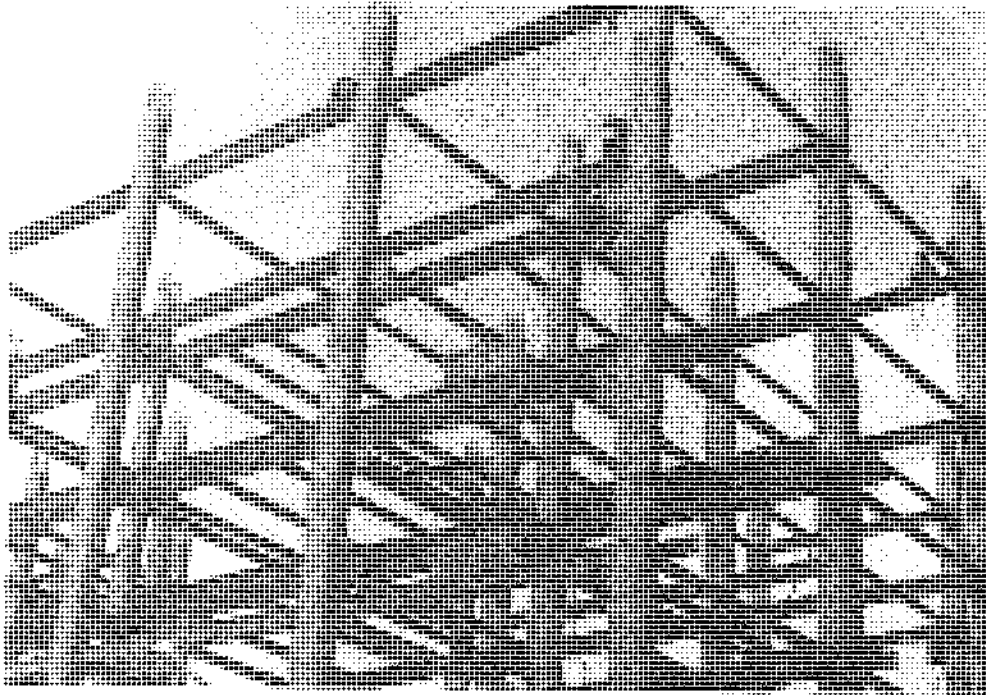
شکل ۹-۶۲ نصب قاب‌های ساختمان‌های صنعتی.



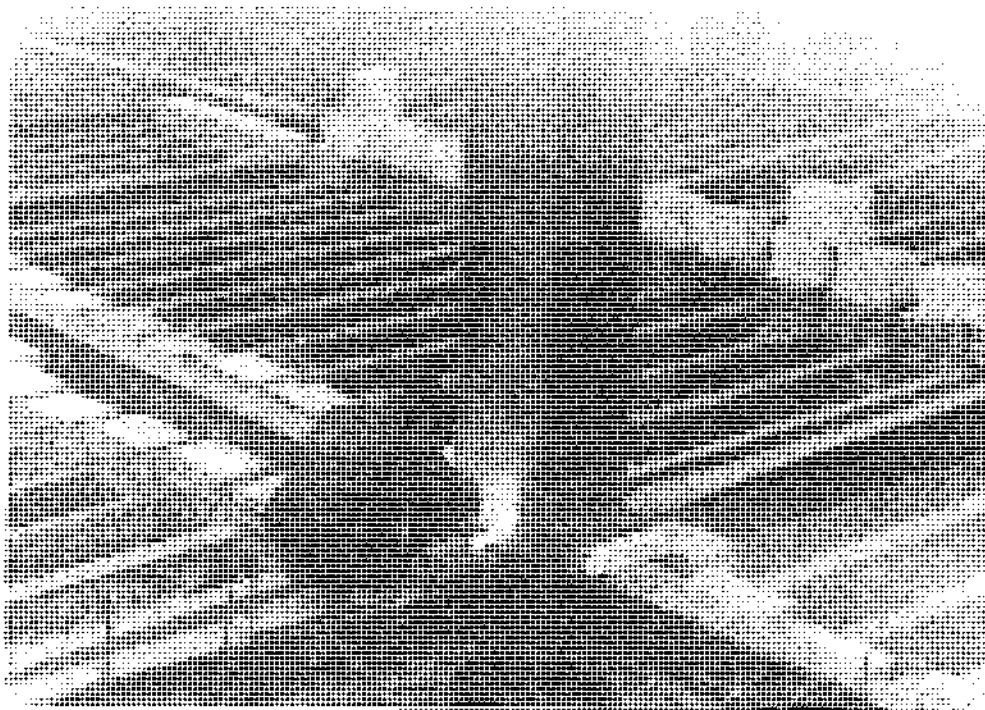
شکل ۹-۶۳ نصب پیچ‌ها در قاب واداشته شده.



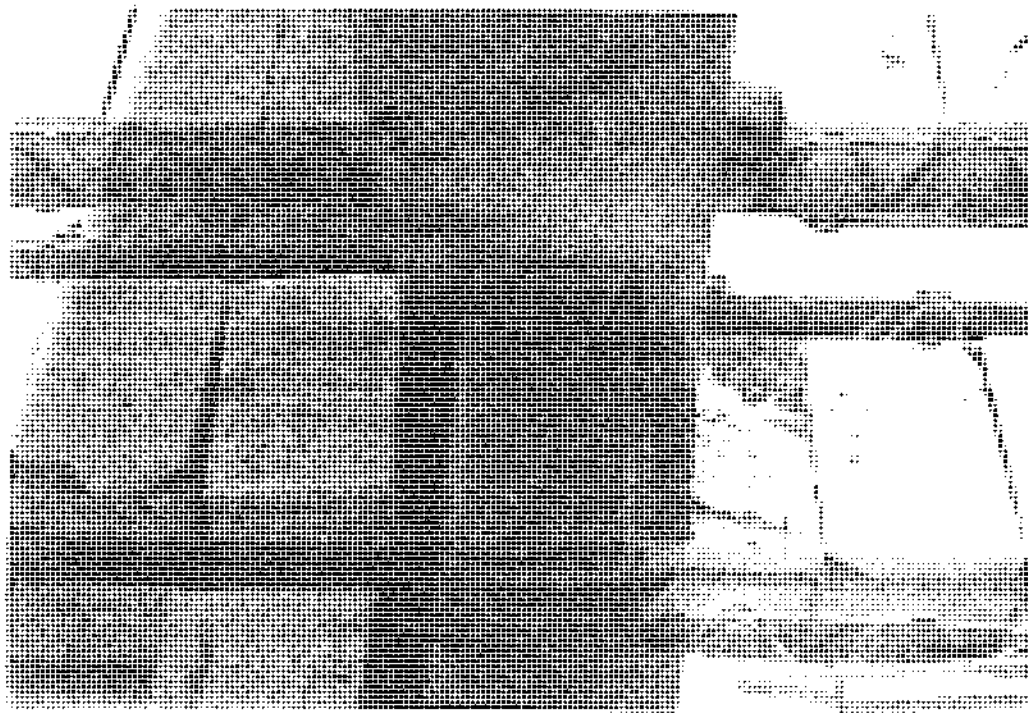
شکل ۹-۶۴ وصله ستون.



شکل ۹-۶۵ شافولی کردن ستون‌ها و هم‌محور کردن تیرها.



شکل ۹-۶۶ تکمیل اتصال تیر به ستون.



شکل ۹ - ۶۷ اتصال تکمیل شده.

(نمای سردخانه ۹۷ س ۳۷)

۹ - ۱۰ نصب کف ستون

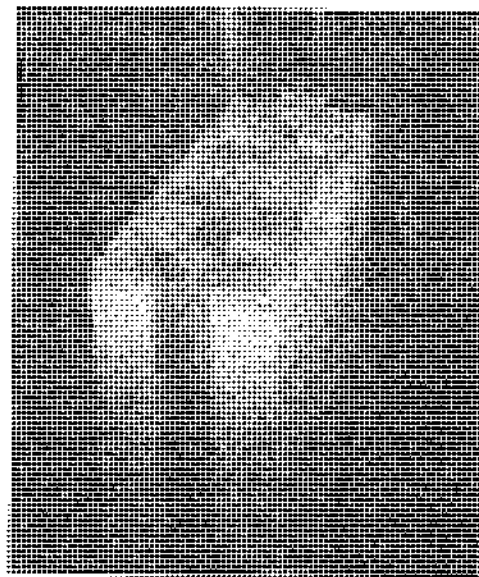
در انجام عملیات نصب اسکلت، دو روش عمومی برای نصب کف ستون بر روی فونداسیون وجود دارد:

۱- **روش سنتی:** در این روش که در ساختمان‌سازی متعارف در ایران معمول است، ورق کف ستون به صورت جدا از ستون بر روی فونداسیون مستقر می‌گردد. حد فاصل ورق کف ستون و فونداسیون به کمک ملات پر می‌شود. روش کار بدین ترتیب است که پس از تمیز کردن سطح فونداسیون و مرطوب کردن آن، ملات پرسیمان 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 مهره‌های میله مهارها سفت می‌شود. بعد از گرفتن ملات، کف ستون آماده نصب ستون بر روی آن می‌باشد.

۲- **روش صنعتی:** در این روش کف ستون در کارخانه به صورت گونیا به پای ستون جوش و یکپارچه می‌شود. برای نصب، ابتدا روی فونداسیون پدگذاری (Padding) می‌شود. پدها ورق‌های $4 \times 100 \times 100$ میلی‌متر می‌باشند که یک شاخک نبشی به سطح تحتانی آن جوش شده است. پدها به کمک ملات کاملاً در موقعیت مورد نظر، مستقر و تراز می‌شوند. بعد از گرفتن ملات زیر پد، ستون به همراه کف ستون روی آنها مستقر شده و با شیم‌گذاری، ستون کاملاً به صورت شاقولی در می‌آید و مهره‌های میله مهار سفت می‌شود. در مرحله آخر دور ورق کف ستون قالب‌بندی شده و فضاهای خالی زیر کف ستون به کمک ملات خیلی روان ضدانقباض پر می‌شود (به این عمل گروت‌ریزی می‌گویند).



شکل ۹-۶۹ گروت‌ریزی.



شکل ۹-۶۸ پدگذاری.

۹-۱۱ رواداری نصب ستون

حداکثر میزان جابه‌جایی مجاز محور ستون از محل فرضی، مساوی ± 6 میلی‌متر می‌باشد.
ناشاقولی مجاز ستون‌ها، تا طبقه بیستم به‌ازای هر طبقه مساوی $\frac{1}{500}$ ارتفاع و حداکثر ۲۵ میلی‌متر به‌سمت نما و ۵۰ میلی‌متر به سمت داخل ساختمان می‌باشد.

۱۰ طراحی جوش

۳۷۳	۱-۱۰ مقدمه
۳۷۳	۲-۱۰ اندازه جوش گوشه
۳۷۷	۳-۱۰ محدودیت سایر جوش ها
۳۷۹	۴-۱۰ جوش شیاری با نفوذ نسبی
۳۸۰	۵-۱۰ انواع جوش
۳۸۰	۶-۱۰ تنش های مجاز جوش
۳۸۱	۷-۱۰ ارزش جوش
۳۸۲	۸-۱۰ حداکثر اندازه مؤثر ساق جوش گوشه
۳۸۳	۹-۱۰ اتصال اعضا با نیروی محوری
۳۸۶	۱۰-۱۰ اتصالات جوشی با برون محوری
۳۸۸	۱۱-۱۰ ترکیب برش و پیچش
۳۹۲	۱۲-۱۰ ترکیب برش و خمش
۳۹۴	۱۳-۱۰ تخمین طول جوش تحت اثر لنگر خمشی

۱۰-۱ مقدمه

جوش بیش از حد لازم، یکی از عوامل اصلی افزایش هزینه جوشکاری است. تعیین اندازه صحیح جوش اولین گام در کسب جوش اقتصادی است. این موضوع ایجاب می‌کند که روش صحیح و ساده‌ای برای تعیین اندازه جوش که استفاده از آن برای تمام اتصالات ممکن باشد، برقرار گردد.

در اتصال تمام قدرت، از جوش شیاری با نفوذ کامل در تمام طول درز استفاده می‌شود. از آنجایی که جوش شیاری نفوذی اگر به‌طور سالم انجام شود، دارای مقاومتی برابر مصالح اتصال می‌باشد، بنابراین در این حالت نه احتیاج به محاسبه تنش در جوش است و نه به پیدا کردن اندازه جوش نیازی می‌باشد. اگر جوش شیاری با نفوذ کامل صورت نگیرد، در این صورت لازم خواهد بود که اندازه جوش محاسبه شود. جوش‌های گوشه با اندازه‌ها و طول‌های مختلف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، که تعیین اندازه‌های مورد نیاز، از اهداف یک برنامه طراحی است.

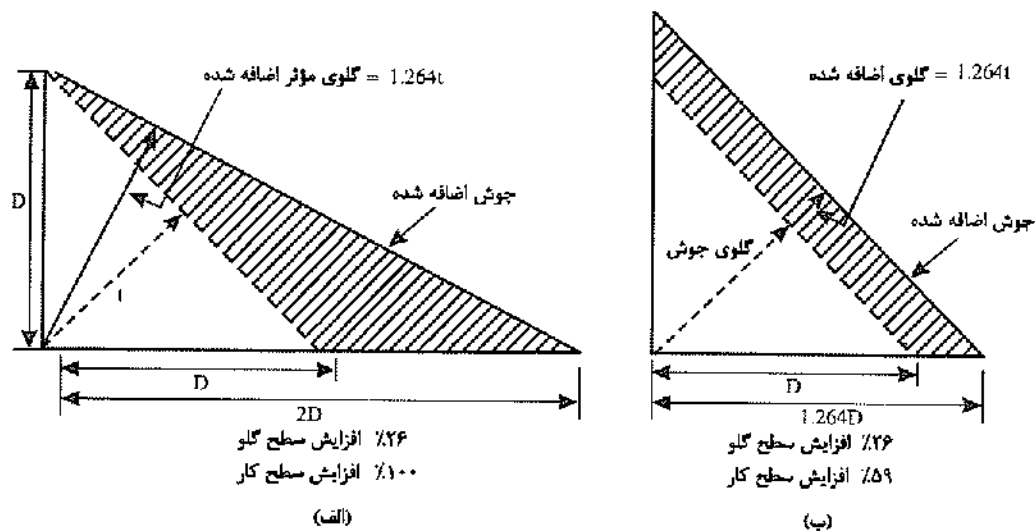
۱۰-۲ اندازه جوش گوشه

در آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی، سطح مؤثر گلوی جوش گوشه به صورت زیر تعریف شده است:

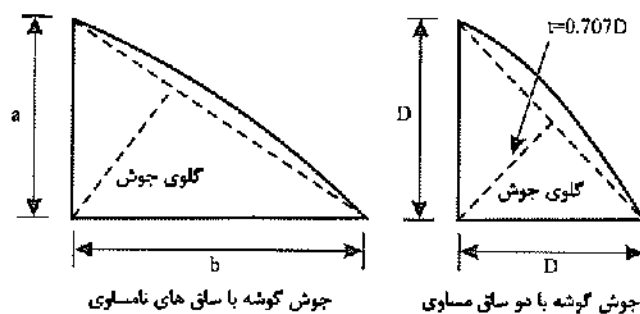
سطح مؤثر گلوی جوش گوشه برابر است با حاصل ضرب ارتفاع مؤثر گلو در طول مؤثر جوش، که ارتفاع مؤثر گلوی جوش برابر است با کوچکترین فاصله بین ریشه جوش تا سطح جوش (شکل ۱۰ - ۲).

طبق تعریف، اندازه ساق جوش گوشه به وسیله بزرگترین مثلث قائم‌الزاویه که در داخل جوش محاط می‌شود، اندازه‌گیری می‌شود. تعریف بالا یک جوش با دو ساق نامساوی را مجاز می‌داند (شکل ۱۰ - ۱ الف).

طبق تعریف دیگری، آیین‌نامه تصریح می‌کند که بزرگترین مثلث قائم‌الزاویه متساوی‌الساقین، نشان‌دهنده اندازه ساق جوش خواهد بود. پس این تعریف، جوش گوشه را فقط با ساق‌های مساوی محدود می‌کند (شکل ۱۰ - ۱ ب).

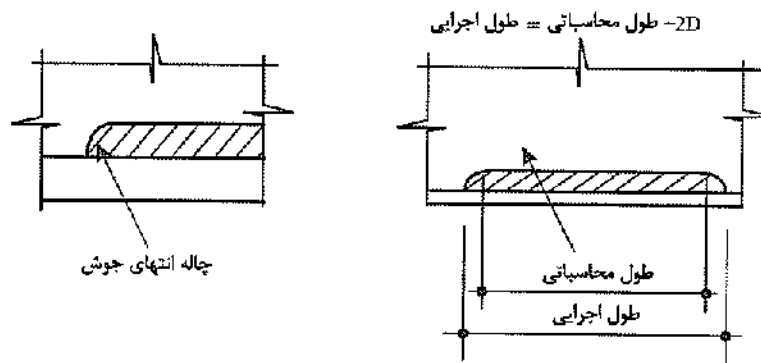


جوش‌های با ساق نامساوی زمانی به کار می‌رود که هدف، افزایش سطح گلوی جوش باشد و امکان افزایش اندازه هر دو ساق، نمی‌باشد. به همین علت لازم است که فقط اندازه یکی از دو ساق افزایش یابد. البته اگر امکان افزایش اندازه هر دو ساق باشد، باید از به کار بردن ساق‌های نامساوی پرهیز کرد، چراکه عمل غیراقتصادی خواهد بود (شکل ۱-۱۰).



طول مؤثر جوش گوشه

طول مؤثر جوش، طولی از جوش است که در سر تا سر آن، گلوی جوش کوچکتر از گلوی مؤثر نباشد. طبق مفاد آیین‌نامه فولاد، انتهای جوش‌های گوشه‌های گوشه که معمولاً به شکل چاله می‌باشند باید تا سطح مقطع کامل محاسباتی جوش، پر شوند (شکل ۱-۱۰ - ۳). در جوش‌های پیوسته عمل پر کردن چاله انتهای جوش مشکل نخواهد بود، زیرا در این حالت جوشکار در موقع تعویض الکترود همواره چاله انتهایی قبلی را دوباره جوش داده و آن را پر می‌نماید.



شکل ۱۰ - ۳

اما در جوش‌های منقطع برای رفع این مشکل، طول اجرایی جوش را به اندازه D در هر طرف از طول محاسباتی بزرگتر در نظر می‌گیرند و بنابراین در طول محاسباتی، جوش دارای سطح مؤثری یکنواخت خواهد بود. البته در همین جوش‌های منقطع، اگر بتوان چاله‌های ابتدا و انتها را با تدابیر خاصی به وسیله جوش پر کرد، طول اجرایی جوشکاری را می‌توان برابر با طول محاسباتی در نظر گرفت. پر کردن چاله‌ها به علت جلوگیری از ترک ستارهای همواره توصیه می‌شود.

حداقل اندازه جوش گوشه

طبق ضوابط آیین‌نامه، حداقل اندازه جوش از جدول ۱۰ - ۱ به دست می‌آید. این حداقل بر مبنای ورق نازک‌تر می‌باشد که البته اندازه حداقل به دست آمده نباید بیشتر از ضخامت ورق نازک‌تر باشد.

جدول ۱۰ - ۱ اندازه حداقل جوش گوشه بر حسب ضخامت ورق نازک‌تر

حداقل اندازه جوش D (میلی‌متر)	ضخامت ورق نازک‌تر t (میلی‌متر)
۳	تا ۶ و کوچکتر
۵	بیش از ۶ تا ۱۲
۶	بیش از ۱۲ تا ۲۰
۸	بیش از ۲۰

- ۱ - حداقل به دست آمده نباید از ضخامت ورق نازک‌تر بیشتر باشد.
- ۲ - ضخامت‌های نشان داده شده باید با یکبار عبور به دست آید.
- ۳ - در اتصال بال به جان تیر ورق‌ها، حداقل جوش گوشه را می‌توان به جوش هم‌مقاومت با جان محدود نمود.

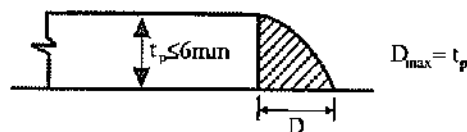
طبق گزارشات فنی، جوش نازکی که در لبه ورق ضخیم داده می‌شود، خیلی سریع سرد می‌شود و به همین دلیل شکننده است. علت این امر گرفته شدن حرارت جوش به وسیله ورق می‌باشد. اعداد نوشته شده در جدول ۱۰ - ۱ نیز برای مراعات همین حقیقت در نظر گرفته شده‌اند. اندازه حداقل

نوشته شده در جدول فوق جوشی را به ما می‌دهد که حرارت کافی در ورق تولید می‌کند و همین حرارت باعث می‌شود که جوش به آرامی سرد شود. با استفاده از پیش‌گرمایش و یا کاربرد الکترودهای کم‌هیدروژن، اثرات نامطلوب جوش‌های کمتر از حداقلی را می‌توان کاهش داد.

حداکثر اندازه ساق جوش گوشه (D)

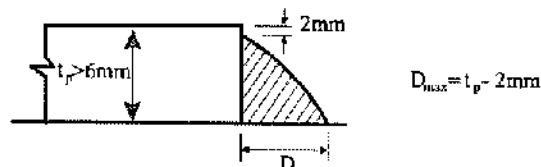
طبق توصیه‌های آیین‌نامه فولاد، حداکثر اندازه مؤثر جوش به ترتیب زیر به دست می‌آید:

۱ - در لبه مصالحی با ضخامت کمتر از ۶ میلی‌متر، حداکثر اندازه ساق جوش گوشه برابر است با ضخامت ورق (شکل ۱۰ - ۴).



شکل ۱۰ - ۴

۲ - در امتداد لبه مصالح با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر، حداکثر اندازه مؤثر جوش گوشه برابر با ضخامت ورق منهای ۲ میلی‌متر است، مگر اینکه در نقشه ذکر شود که اندازه جوش برابر با ضخامت ورق گردد (شکل ۱۰ - ۵).

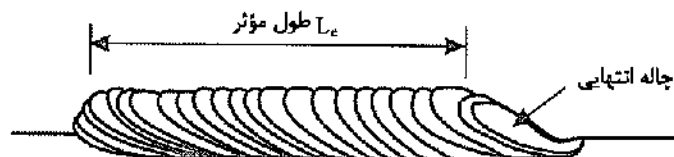


شکل ۱۰ - ۵

حداقل طول مؤثر جوش گوشه

حداقل طول مؤثر (L_e) برای جوش گوشه که به منظور انتقال نیرو به کار می‌رود، نباید کمتر از ۴ برابر اندازه ساق جوش یا ۴۰ میلی‌متر باشد (شکل ۱۰ - ۶).

$$L_e \geq 4D \geq 40\text{mm}$$

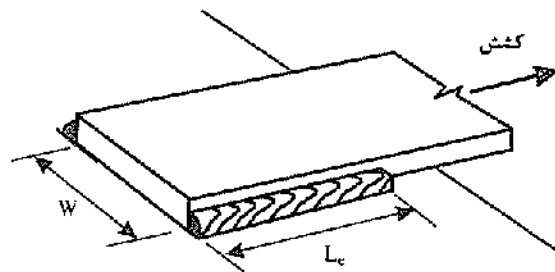


شکل ۱۰ - ۶

در صورتی که برای اتصال انتهای مینه‌ها یا تسمه‌های تحت کشش، تنها از جوش گوشه استفاده شود، با مراجعه به شکل ۱۰ - ۷ باید داشته باشیم:

$$L_c \geq W$$

$$W \leq 200 \text{ mm}$$



شکل ۱۰ - ۷

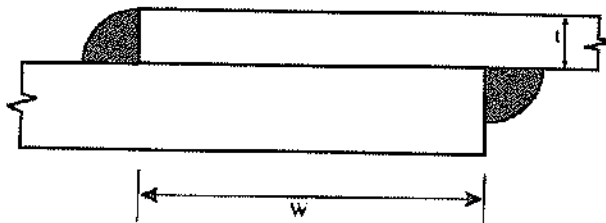
دو شرط بالا همیشه باید برقرار باشند، مگر اینکه جوش‌های اضافی دیگری به صورت جوش انگشتانه، خمشی عرضی موجود در اتصال را تحمل کند.

۱۰ - ۳ محدودیت سایر جوش‌ها

حداقل طول پوششی در اتصالات پوششی

$$W \geq 5t \geq 25 \text{ mm}$$

$t =$ ضخامت ورق نازکتر

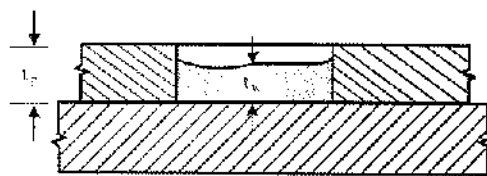


شکل ۱۰ - ۸

ضخامت جوش انگشتانه یا کام توپُر

جوش انگشتانه جوشی است که در سوراخ و جوش کام جوشی است که در شکاف داده می‌شود. از جوش انگشتانه توپُر و کام توپُر می‌توان در اتصالات پوششی به منظور انتقال نیروی برشی، جلوگیری از کمانش قطعات اتصال و یا در اتصال قطعات مختلف اعضای ساخته شده از چند نیمرخ استفاده نمود. در شکل ۱۰ - ۹ ضخامت حداقل جوش انگشتانه و کام، در شکل ۱۰ - ۱۰ فواصل و قطر حداقل جوش انگشتانه و در شکل ۱۰ - ۱۱، فواصل و ابعاد حداقل جوش کام نشان داده شده است.

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی



شکل ۹-۱۰ اندازه حداقل جوش انگشترانه و کام.

اگر $t_p \leq 16 \text{ mm}$

$t_w = t_p$

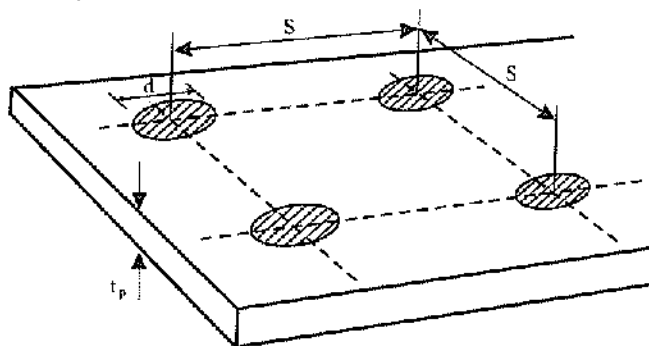
اگر $t_p > 16 \text{ mm}$

بزرگترین $t_w = \begin{cases} \frac{1}{2} t_p \\ 16 \text{ mm} \end{cases}$

$s \geq fd$

$d \geq t_p + 8 \text{ mm} < 2/25 t_w$

ضخامت جوش $= t_w$



شکل ۱۰-۱۰ فواصل و قطر حداقل جوش انگشترانه.

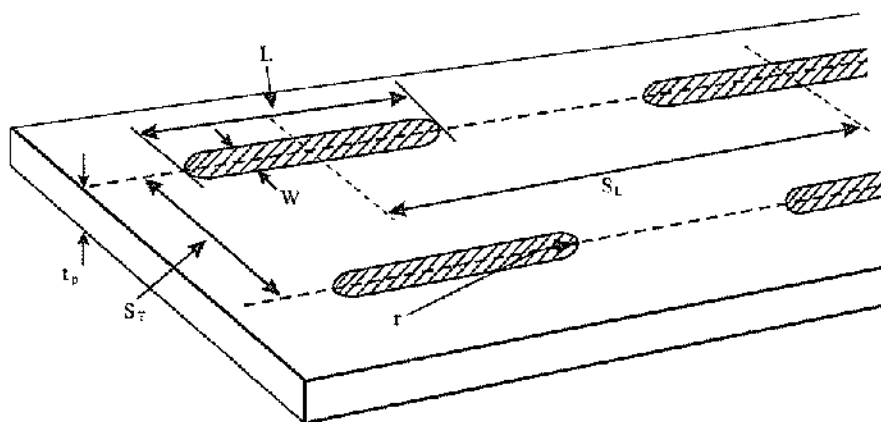
$L \leq 10 t_w$

$W \geq t_p + 8 \text{ mm} \leq 2/25 t_w$

$S_T \geq 4W$

$S_L \geq 2L$

$r \geq t_p$



شکل ۱۱-۱۰ فواصل و ابعاد حداقل جوشی کام.

1. Plug weld
2. Slot weld

۱۰-۴ جوش شیاری با نفوذ نسبی

استفاده از جوش‌های شیاری با نفوذ نسبی در ساختمان‌ها مجاز می‌باشد. این‌گونه جوش‌ها کاربرد زیادی در ساخت اسکلت به‌خصوص ساخت مقاطع قوطی‌شکل یا I از ورق دارند.

ضخامت گلوی مؤثر برای جوش شیاری با نفوذ نسبی

برای هر نوع شکل لبه (جناغی، نیم‌جناغی، لاله‌ای، نیم‌لاله‌ای) اگر جوشکاری به‌صورت جوش خودکار زیرپودری صورت گیرد، ضخامت مؤثر گلوی جوش (t_e) برابر با ضخامت واقعی شیاری خواهد بود که برای جوشکاری مهیا شده است (شکل ۱۰-۱۲ - ب).

اما اگر جوش در کارگاه به‌وسیله جوش دستی انجام گیرد دو حالت اتفاق می‌افتد:

۱- برای تمام شکل لبه‌ها به‌غیر از شکل لبه نیم‌جناغی ضخامت مؤثر گلو، همان ضخامت جوش نیمه‌نفوذی خواهد بود.

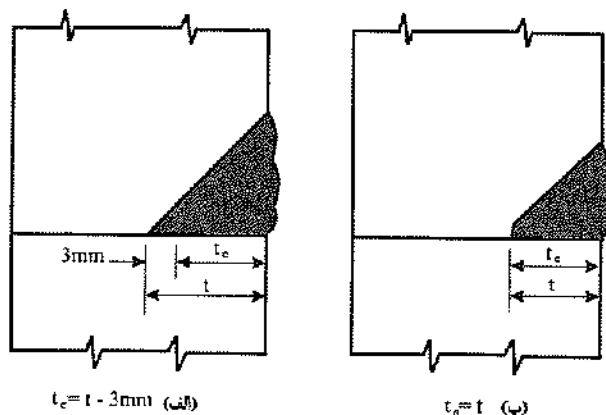
۲- برای شکل لبه به‌صورت نیم‌جناغی چون احتمال می‌رود که جوشکار نتواند ریشه جوش را کامل جوش بدهد، ضخامت مؤثر گلو برابر با ضخامت جوش نیمه‌نفوذی منهای ۳ میلی‌متر خواهد بود (شکل ۱۰-۱۲ - الف). همانند جوش گوشه که اندازه حداقلی برای ورق‌های ضخیم به‌خاطر جلوگیری از سرد شدن سریع جوش دارد، برای جوش‌های شیاری نیمه‌نفوذی نیز ضخامت گلوی مؤثر حداقل به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$t_e \geq \sqrt{\frac{t_p}{2/35}}$$

که در آن:

t_p = ضخامت ورق نازک‌تر (cm)

t_e = ضخامت گلوی مؤثر حداقل (cm)



شکل ۱۰-۱۲

۱۰-۵ انواع جوش

الف) جوش‌های اصلی: جوش‌هایی هستند که به منظور انتقال نیرو به کار می‌روند. در نقاط اتصال، اگر جوش از بین برود قطعه نیز از بین می‌رود. این گونه جوش‌ها باید همان خواصی را دارا باشند که عضو متصل شونده دارد. به عبارت بهتر در نقطه اتصال، جوش جایگزین عضو می‌گردد.

ب) جوش‌های فرعی: جوش‌هایی هستند که فقط برای نگه داشتن اعضا در فرم بخصوصی به کار می‌روند. نیروهای وارده بر این جوش‌ها بسیار ناچیز می‌باشند.

پ) جوش‌های طولی: جوش‌هایی هستند که نیروهای وارده، موازی محور جوش می‌باشند. در حالت جوش‌های گوشه، گلوی جوش فقط تحت تأثیر تنش‌های برشی قرار می‌گیرد. برای جوش گوشه با ساق‌های مساوی، حداکثر تنش برشی در گلوی جوش اتفاق می‌افتد.

ت) جوش‌های عرضی: جوش‌هایی می‌باشند که در آنها محور جوش و محور نیروی وارده با یکدیگر زاویه ۹۰ درجه می‌سازند. در حالت جوش‌های گوشه، گلوی جوش تحت تأثیر ترکیب تنش‌های برشی و تنش‌های فشاری یا کششی قرار می‌گیرند. برای جوش گوشه با ساق‌های مساوی، حداکثر تنش برشی در گلوی ۶۷/۵ درجه و حداکثر تنش عمودی در گلوی ۲۲/۵ درجه اتفاق می‌افتد.

به هر حال در محاسبات مربوط به جوش گوشه، عملکرد جوش به صورت برشی در نظر گرفته می‌شود. اصولاً بهتر است از جوش گوشه به عنوان جوش عرضی تحت کشش استفاده نکرد.

در ۹۲ سماع

۱۰-۶ تنش‌های مجاز جوش

جوش‌ها باید طوری محاسبه شوند که محدودیت‌های تنش مندرج در جدول ۱۰-۲ را با اعمال ضرایب بازرسی زیر جوابگو باشند:

۱- در صورت انجام آزمایش‌های غیرمخرب نظیر پرتونگاری و فراصوت:

$$\phi = 1/0$$

۲- در صورت انجام جوش در کارخانه (و یا شرایط مشابه) و بازرسی چشمی جوش توسط افراد مجرب:

$$\phi = 0/85$$

۳- در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی جوش توسط افراد مجرب:

$$\phi = 0/75$$

۱۰-۷ ارزش جوش

حاصل ضرب گلوی مؤثر جوش در تنش مجاز جوش، ارزش جوش R_w نامیده می‌شود. در واقع نیروی مجاز جوشی با ضخامت گلوی t_w و طول l سانتی‌متر می‌باشد.

به‌عنوان مثال برای جوش گوشه با الکتروود $E60$ ($F_u = 4200 \text{ kg/cm}^2$) که در شرایط کارگاهی با $\phi = 0.75$ اجرا می‌شود، ارزش جوش برابر است با:

$$R_w = (0.3F_u)\phi(t_w) = (0.3 \times 4200)0.75(0.707D) = 650D$$

D اندازه ساق جوش و t ضخامت گلوی جوش گوشه می‌باشد که طبق رابطه $t = 0.707D$ به هم مربوط هستند.

جدول ۱۰-۲ تنش مجاز روی سطح مؤثر جوش

نوع جوش	نوع تنش روی سطح مؤثر	تنش مجاز	مقاومت جوش مورد نیاز
جوش شیارى با نفوذ کامل	کشش عمود بر سطح مؤثر	مثل فلز پایه	باید از جوش سازگار استفاده شود
	فشار عمود بر سطح مؤثر	مثل فلز پایه	باید از جوش سازگار استفاده شود
	کشش یا فشار موازی محور جوش	مثل فلز پایه	باید از جوش سازگار استفاده شود
جوش شیارى با نفوذ نسبی	برش روی سطح مؤثر	$0.73 \times$ مقاومت کششی اسمی فلز جوش، ولی تنش برشی فلز پایه نباید از $0.74 \times$ مقاومت تسلیم فلز پایه، تجاوز نماید.	فلز جوشی با مقاومت مساوی یا کمتر از جوش سازگار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.
	فشار عمود بر سطح مؤثر	مثل فلز پایه	باید از جوش سازگار استفاده شود
	کشش یا فشار موازی محور جوش	مثل فلز پایه	باید از جوش سازگار استفاده شود
جوش گوشه	برش موازی محور جوش	$0.73 \times$ مقاومت کششی اسمی فلز جوش، ولی تنش برشی فلز پایه نباید از $0.74 \times$ مقاومت تسلیم فلز پایه، تجاوز نماید.	فلز جوشی با مقاومت مساوی یا کمتر از جوش سازگار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.
	کشش عمود بر سطح مؤثر	$0.73 \times$ مقاومت کششی اسمی فلز جوش، ولی تنش کششی فلز پایه نباید از $0.76 \times$ مقاومت تسلیم فلز پایه، تجاوز نماید.	فلز جوشی با مقاومت مساوی یا کمتر از جوش سازگار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.
	برش روی سطح مؤثر	$0.73 \times$ مقاومت کششی اسمی فلز جوش، ولی تنش برشی فلز پایه نباید از $0.74 \times$ مقاومت تسلیم فلز پایه، تجاوز نماید.	فلز جوشی با مقاومت مساوی یا کمتر از جوش سازگار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.
جوش انگشتانه و کام	کشش یا فشار موازی محور جوش	مثل فلز پایه	باید از جوش سازگار استفاده شود.
	برش موازی سطوح متصل شده به وسیله جوش (بر روی سطح مؤثر)	$0.73 \times$ مقاومت کششی اسمی فلز جوش، ولی تنش برشی فلز پایه نباید از $0.74 \times$ مقاومت تسلیم فلز پایه، تجاوز نماید.	فلز جوشی با مقاومت مساوی یا کمتر از جوش سازگار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

* جوش‌های گوشه یا شیارى با نفوذ نسبی که اعضای نیم‌رخ‌های ساخته‌شده از ورق را به یکدیگر اتصال می‌دهند، نظیر جوشی که بال را به جان اتصال می‌دهد، می‌توانند بدون توجه به تنش کششی یا فشاری موجود در موازات محور جوش، طراحی گردند.

۱۰-۸ حداکثر اندازه مؤثر ساق جوش گوشه

مقاومت جوش نباید بیشتر از مقاومت فلز پایه منظور شود. به‌عنوان مثال در شکل ۱۰-۱۳ حداکثر اندازه مؤثر جوش بر حسب ضخامت t در مقطع a-a برابر است با:

$$E\phi = 2(0.3 \times 4200)\phi (0.707D) = 1782\phi D$$

$$0.4F_y t = \text{مقاومت ورق در برش}$$

$$1782\phi D = 0.4F_y t$$

$$D = \frac{0.4F_y t}{1782\phi}$$

با فرض $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ داریم:

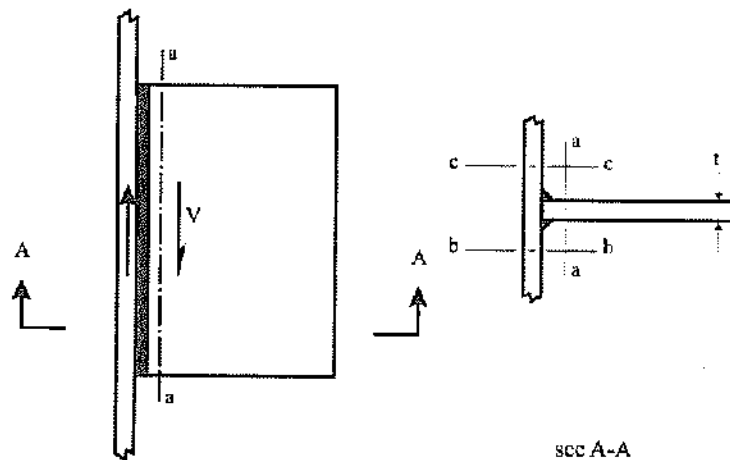
$$D = \frac{0.4 \times 2400 t}{1782\phi} = \frac{0.54}{\phi} t$$

$$\phi = 1 \rightarrow D \cong 0.5t$$

$$\phi = 0.85 \rightarrow D \cong 0.6t$$

$$\phi = 0.75 \rightarrow D \cong 0.7t$$

اندازه‌های ساق معرفی شده در فوق، معرف جوش گوشه تمام‌قدرت هستند و اجرای اندازه‌های بزرگتر باعث افزایش بیشتر مقاومت اتصال نمی‌گردد.



شکل ۱۰-۱۳

۱۰-۹ اتصال اعضا با نیروی محوری

مثال ۱۰-۱ جوش گوشه طولی

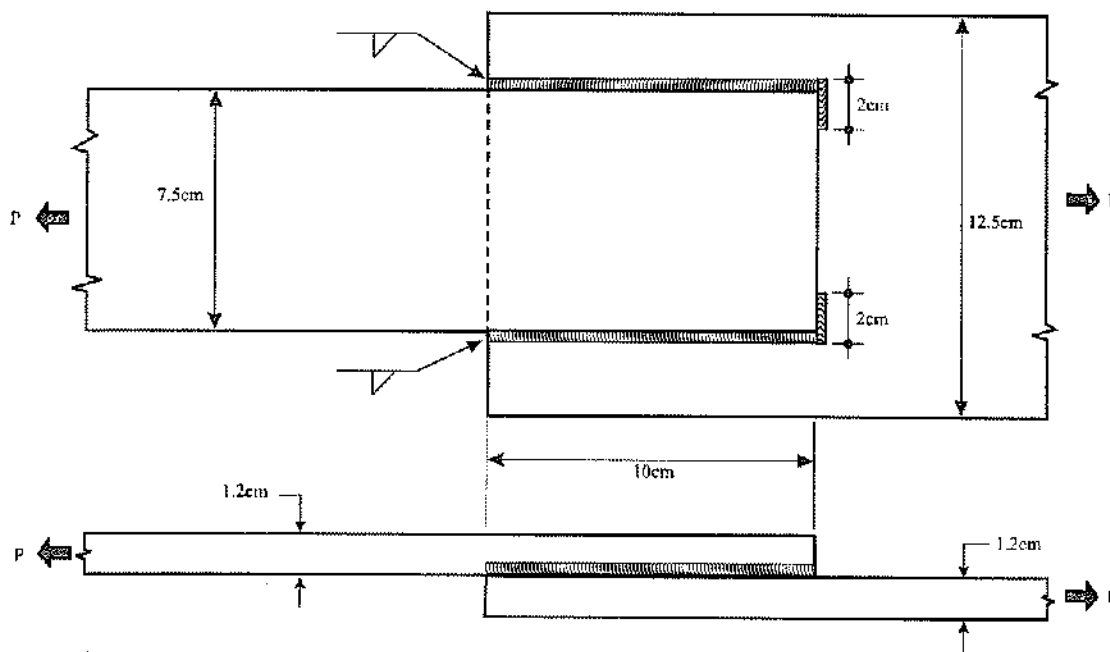
مطلوب است اندازه ساق و طول جوش لازم برای انتقال بار ورق کوچکتر در شکل ۱۰-۱۴.

$$P = (1400 \text{ kg/cm}^2) \times (7.5 \text{ cm}) (1.2 \text{ cm}) = 12600 \text{ kg}$$

$$\text{حداکثر } D = 12 - 2 = 10 \text{ mm}$$

$$\text{ارزش جوش } R_w = 650D = 650 \times 1.0 = 650 \text{ kg/cm}$$

$$\text{طول کلی جوش گوشه} = \frac{12600}{650} = 19.39 \text{ cm}$$



شکل ۱۰-۱۴ مربوط به مثال ۱۰-۱

به دلیل تقارن، طول جوش هر دو طرف باید یکسان باشد. بنابراین هر طرف به اندازه ۱۰ سانتی متر جوش داده می‌شود. طول مؤثر جوش باید از بزرگترین سه مقدار زیر بیشتر باشد:

$$4D = 4 \times 1.0 = 4 \text{ cm}, 4.0 \text{ cm}, 7.5 \text{ cm}$$

که در مسئله فوق این شرط برقرار است.

همچنین انتهای جوش‌های گوشه، حداقل به اندازه $2D = 2 \text{ cm}$ در انتها برگشت داده می‌شوند (قلاب).

مثال ۱۰-۲ جوش گوشه عرضی ورق‌های هم‌ضخامت در اتصال پوششی

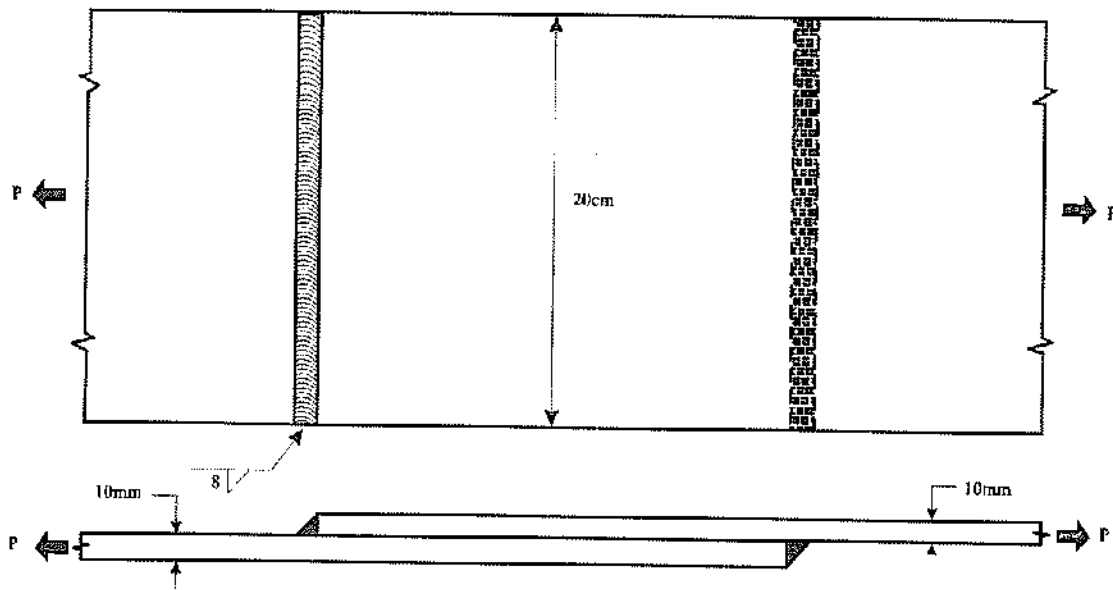
مطلوب است تعیین مقدار بار مجاز قابل انتقال به‌وسیله اتصال شکل ۱۰-۱۵.

$$\text{حداکثر } D = 10 - 2 = 8 \text{ mm}$$

$$\text{جوش } P = 2 \times (650 D) \times L = 2 \times (650 \times 0.8) \times 20 = 20800 \text{ kg} = 20.8 \text{ ton}$$

$$\text{ورق } P = (1.0 \times 20) \times (1400) = 28000 \text{ kg} = 28 \text{ ton}$$

محاسبات نشان می‌دهد که جوش قادر به حمل تمام نیروی ورق نیست و حداکثر ظرفیت مجاز ۲۰/۸ ton می‌باشد.



شکل ۱۰-۱۵ مربوط به مثال ۱۰-۲

مثال ۱۰-۳ جوش گوشه عرضی ورق‌های غیر هم‌ضخامت در اتصال رویهم

مطلوب است تعیین مقدار بار مجاز قابل حمل به‌وسیله اتصال شکل ۱۰-۱۶. فرض کنید که جوش‌ها به‌برش کار می‌کنند.

وقتی ورق‌ها، ضخامت‌های نامساوی داشته و به‌وسیله جوش عرضی به‌یکدیگر متصل گردند، میزان کرنش طولی ورق‌ها تحت اثر بار، در حد فاصل بین دو جوش یکسان می‌باشند. این بدان معنی است که در این فاصله تنش در ورق‌ها برابر بوده و در نتیجه نیرو در هر یک متناسب با ضخامت ورق می‌باشد. جوش‌های عرضی در انتهای ورق‌ها باید این نیروها را انتقال دهند، لذا اندازه ساق هر یک باید متناسب با ضخامت ورق باشد.

$$P = 1400 \times 20 \times 0.60 = 16800 \text{ kg} = 16.8 \text{ ton}$$

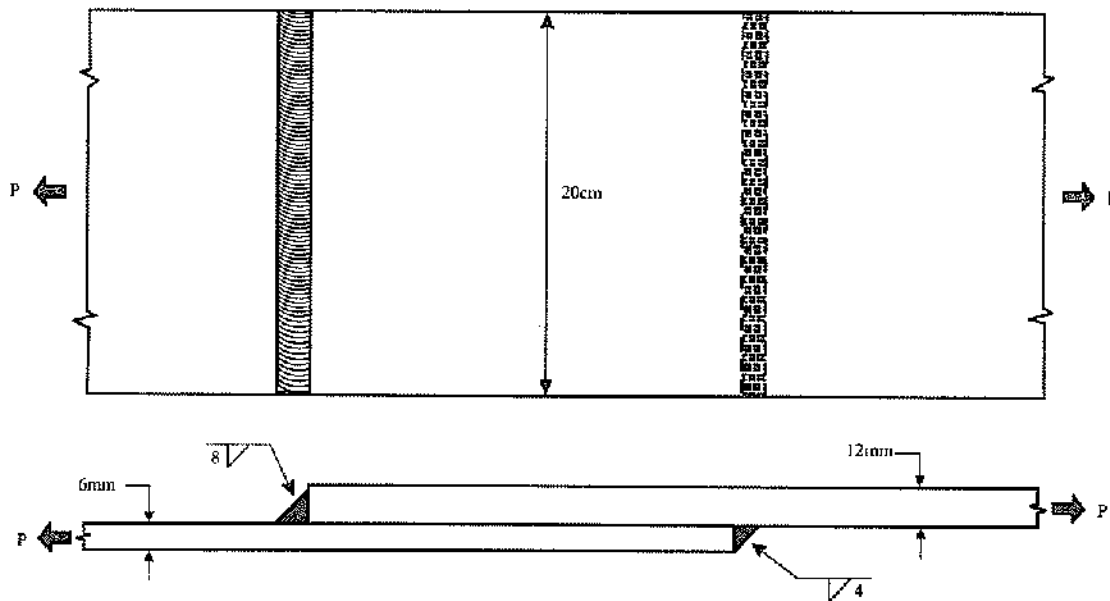
در انتهای ورق ۶ میلی‌متری از جوش گوشه‌ای با $D=4 \text{ mm}$ و در انتهای ورق ۱۲ میلی‌متری در تناسب با ضخامت ورق‌ها، از جوش گوشه‌ای با $D=8 \text{ mm}$ استفاده می‌شود.

$$\text{ظرفیت مجاز جوش ۴ میلی متری} = 650 \times 0.4 \times 20 = 5200 \text{ kg}$$

$$\text{ظرفیت مجاز جوش ۸ میلی متری} = 650 \times 0.8 \times 20 = 10400 \text{ kg}$$

$$\text{ظرفیت مجاز کل جوش} = 5200 + 10400 = 15600 \text{ kg} = 15.6 \text{ ton}$$

بنابراین بار مجاز حمل، $P = 15.60 \text{ ton}$ خواهد بود.



شکل ۱۰ - ۱۶

مثال ۱۰ - ۴ اتصال متعادل در انتهای نبشی

مطلوب است تعیین طول و اندازه جوش‌های گوشه‌ای که قادر به انتقال ظرفیت کششی مجاز یک نبشی باشد (شکل ۱۰ - ۱۷). از جوش گوشه عرضی در انتهای نبشی و جوش‌های متعادل در کناره‌های آن استفاده نمایید.

اندازه نبشی $12 \times 100 \times 15$ بوده که از بال 15 cm به ورق متصل شده است. سطح مقطع نبشی 28.7 cm^2

می‌باشد. در نتیجه بار مجاز کششی نبشی برابر است با:

$$P = 1400 \times 28.7 = 40180 \text{ kg} = 40.18 \text{ ton}$$

$$\text{اندازه ساق جوش حداکثر} = 12 - 2 = 10 \text{ mm}$$

برای سهولت اجرا از جوش ۹ میلی‌متر استفاده می‌شود.

$$R_w = 650 \times 0.9 = 585 \text{ kg/cm}$$

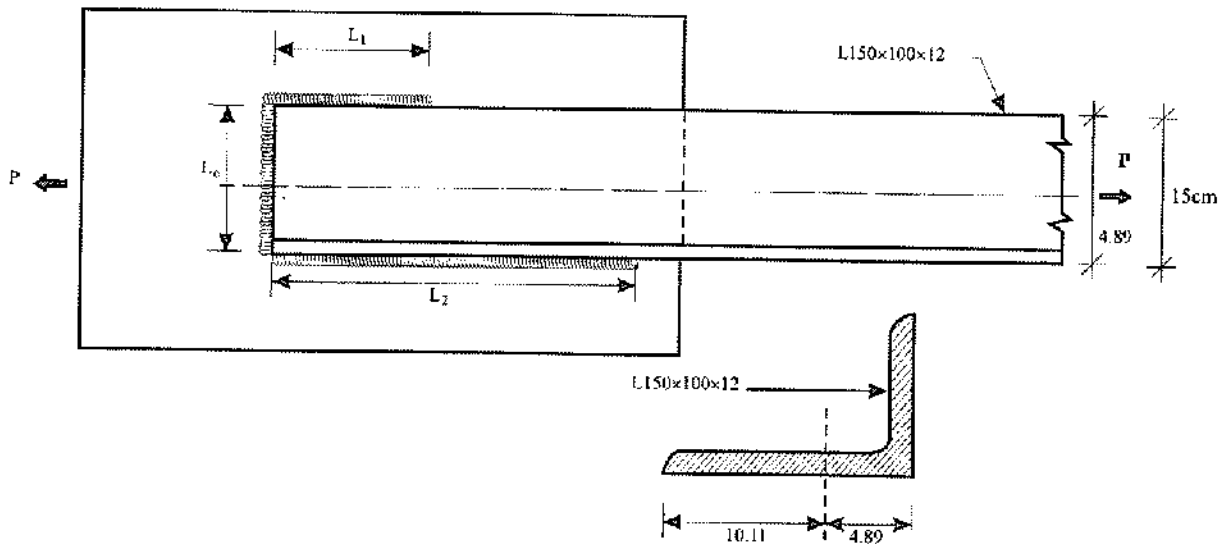
$$P_e = 15 \times 585 = 8775 \text{ kg} \quad \text{در انتهای نبشی}$$

برای تعیین L_1 حول خط اثر نیروی F_1 لنگر می‌گیریم.

$$(40180) \times (4.89) - (8775) \times (7.5) - (L_1 \times 585) \times (15) = 0 \rightarrow L_1 = 14.89 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

برای تعیین L_2 ، از شرط صفر بودن مجموع نیروها در امتداد P استفاده می‌شود.

$$40180 - 8775 - (14.89) \times (585) - (L_2) \times (585) = 0 \rightarrow L_2 = 38.79 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$



شکل ۱۰ - ۱۷

۱۰-۱۰ اتصالات جوشی با برون‌محوری

کارایی بسیار زیاد جوش و سادگی جوشکاری، باعث شده که اتصالات جوشی برای موارد استفاده بسیار وسیعی مانند اتصالاتی که تحت بارگذاری‌های ترکیبی شکل ۱۰ - ۱۸ قرار دارند، راه‌حل مناسبی باشد.

تحلیل الاستیک دقیق تنش‌ها در اتصال جوشی برون‌محور کاری غیرعملی است. در این مورد از فلسفه مقاومت نهایی با استفاده از تنش‌های مجاز اسمی استفاده می‌شود.

روند عمومی برای تعیین تنش‌های اسمی در گروه جوش‌ها براساس فرضیات عمومی مورد بحث در قبل و قوانین

مقاومت مصالح قرار دارد. این روش به‌طور خلاصه از گام‌های زیر تشکیل می‌گردد:

۱ - بعد گلوی مؤثر جوش (l_e) را مساوی واحد فرض نموده و مقطعی از گروه جوش‌ها، رسم نمایید.

۲ - دستگاه مختصاتی تعیین کرده و مرکز هندسی جوش‌ها را به‌دست آورید.

۳ - نیروهای وارد بر گروه جوش را تعیین کنید.

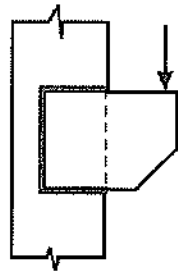
۴ - تنش‌های ناشی از برش مستقیم، پیچش و خمش را در نقاط بحرانی جوش با استفاده از روابط معمول

مقاومت مصالح، به‌طور مستقل از هم پیدا کنید. در جدول ۱۰ - ۳ روابط مقاومت مصالح و روابط مورد

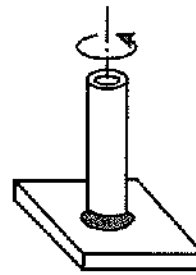
استفاده در تعیین تنش جوش‌ها نشان داده شده است.

۵ - تنش‌های به‌دست آمده در یک نقطه را جمع‌برداری نمایید.

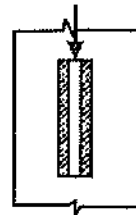
روش عمومی که در فوق ذکر شد، در مثال‌های بعد مورد استفاده قرار گرفته است.



(الف) برش و پیچش



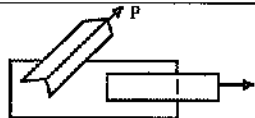
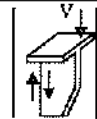
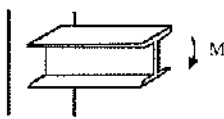
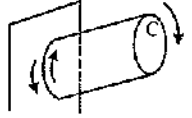
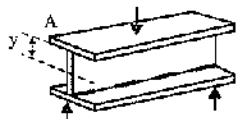
(ب) پیچش خالص



(پ) برش و خمش

شکل ۱۰ - ۱۸ انواع بارگذاری‌های خارج از مرکز.

جدول ۱۰ - ۳ روابط مقاومت مصالح و روابط تعیین تنش در جوش

نوع بارگذاری	رابطه عمومی تنش	رابطه نیروی واحد طول خط جوش
جوش‌های اصلی		
	کشش یا فشار $\sigma = \frac{P}{A}$	$f = \frac{P}{A_w}$
	برش عمودی $\tau = \frac{V}{A}$	$f = \frac{V}{A_w}$
	خمش $\sigma = \frac{M}{Z}$	$f = \frac{M}{Z_w}$
	پیچش $\tau = \frac{TC}{J}$	$f = \frac{TC}{J_w}$
جوش‌های فرعی		
	برش عمودی $\tau = \frac{VAy}{I_t}$	$f = \frac{VAy}{I_n}$

۱۰-۱۱ ترکیب برش و پیچش

شکل ۱۰-۱۹ الف، اتصال لچکی را نشان می‌دهد که تحت اثر نیروی برشی و لنگر پیچشی قرار دارد. مقطع مؤثر و سیستم نیروهای وارده، در شکل ۱۰-۱۹ ب، به‌نمایش درآمده است. با استفاده از روابط مقاومت مصالح، تنش ناشی از نیروهای فوق برابر است با:

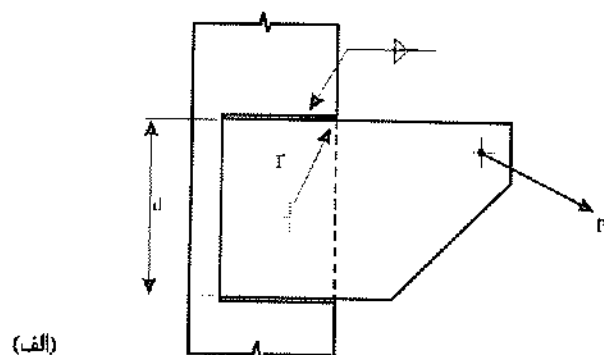
$$f' = \frac{P}{A} = \text{تنش ناشی از نیروی برشی}$$

$$f'' = \frac{T \cdot r}{I_p} = \text{تنش ناشی از لنگر پیچشی}$$

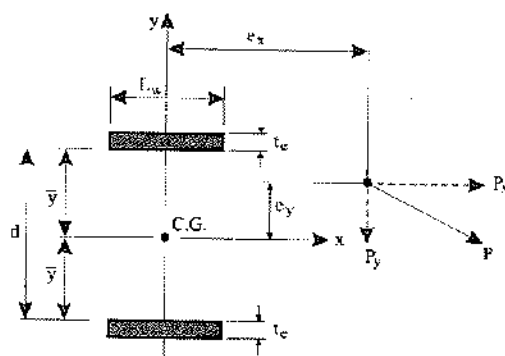
که در آن:

r = فاصله شعاعی از مرکز هندسی تا نقطه محاسبه تنش

I_p = لنگر اینرسی قطبی سطح مقطع مؤثر جوش‌ها



(الف)



(ب)

شکل ۱۰-۱۹

برای محاسبه تنش اسمی، محل خط‌های جوش به‌جای مرکز گروی مؤثر، در لبه جوش‌های گوشه در نظر گرفته می‌شوند. این امر تغییر محسوسی در نتایج ایجاد نمی‌نمایند.
برای حالت عمومی که در شکل ۱۰-۱۹ ب، به‌نمایش درآمده، مؤلفه‌های تنش در اثر نیروی برشی مستقیم عبارتند از:

$$f'_x = \frac{P_x}{A}$$

$$f'_y = \frac{P_y}{A}$$

مؤلفه‌های x و y تنش f'' حاصل از پیچش عبارتند از:

$$f''_x = \frac{T_y}{I_p} = \frac{(P_x e_y + P_y e_x) y}{I_p}$$

$$f''_y = \frac{T_x}{I_p} = \frac{(P_x e_y + P_y e_x) x}{I_p}$$

$$I_p = I_x + I_y$$

$$I_x = 2Ad^2 = 2L_w t y^2$$

$$I_y = 2t \frac{L_w^3}{12} = \frac{1}{6} t L_w^3$$

$$I_p = \frac{t L_w}{6} (L_w^2 + 12y^2)$$

با استفاده از نمادهای شکل ۱۰ - ۲۰، رابطه فوق به صورت زیر در می‌آید:

$$I_p = \frac{bt}{6} (b^2 + 3d^2)$$

بنابراین پس از تعیین مؤلفه‌های پیچشی، مؤلفه‌های x و y برآیند تنش‌ها عبارتند از:

$$f_x = f'_x + f''_x$$

$$f_y = f'_y + f''_y$$

و برآیند تنش عبارت است از:

$$f_T = \sqrt{(f_x)^2 + (f_y)^2}$$

$$= \sqrt{(f'_x + f''_x)^2 + (f'_y + f''_y)^2}$$

تنش برآیند به دست آمده، باید از مقدار تنش مجاز جوش کمتر باشد:

$$f_T < F \text{ مجاز جوش}$$

با توجه به مجهول بودن f_T برای محاسبه تنش در گروه جوش‌ها، I_p و سایر مشخصات هندسی مورد لزوم را می‌توان با روشی شبیه آنچه در تعیین مشخصات شکل ۱۰ - ۱۹ مورد استفاده قرار گرفت، منتها با فرض $t=1$ به دست آورد. پس از تعیین f_T برای ضخامت واحد، آن را می‌توان مساوی ارزش جوش قرار داده و ضخامت مؤثر مورد نیاز را محاسبه نمود:

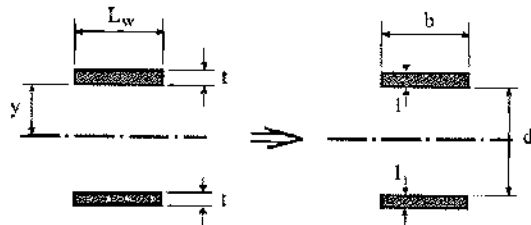
$$f_T = R_w = 650D$$

از معادله فوق به دست می‌آید:

$$D = f_T / 650$$

اگر جوش‌های تشکیل‌دهنده مقطع شکل ۱۰ - ۱۹ را با ضخامت واحد فرض نماییم، با استفاده از نمادهای عام d و b (شکل ۱۰ - ۲۰) رابطه ممان اینرسی قطبی به‌این صورت در می‌آید:

$$I_p = \frac{b}{6}(b^2 + 3d^2)$$



شکل ۱۰ - ۲۰ فرض جوش به‌عنوان شکل‌های مرکب از خطوط با ضخامت واحد.

در جدول ۱۰ - ۴ مقادیر I_p و سایر مشخصات هندسی، برای شکل‌های معمول جوش، ارائه شده است.

مثال ۱۰ - ۵

اندازه جوش گوشه مورد نیاز برای استفاده در اتصال شکل ۱۰ - ۲۱ را با فرض استفاده از الکتروود E60 با تنش‌های مجاز آیین‌نامه فولاد ایران به‌دست آورید. در طرح اتصال ضخامت ورق تعیین کننده نبوده، جوش ظرفیت اتصال را کنترل می‌نماید.

حل:

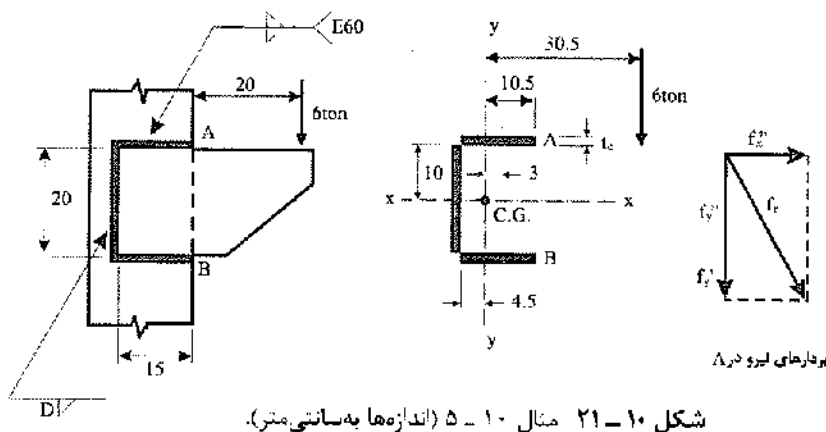
حداکثر تنش در گروه جوش‌ها، در نقاط A و B اتفاق می‌افتد.

با استفاده از ردیف پنجم جدول ۱۰ - ۴ مشخصات مرکز هندسی و ممان اینرسی قطبی جوش تعیین می‌شود:

$$b = 15\text{cm} \quad , \quad d = 20\text{cm}$$



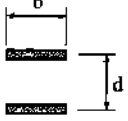
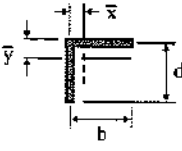
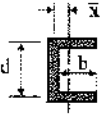
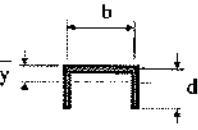
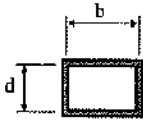
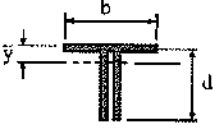
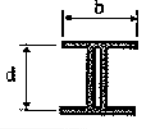

$$\bar{x} = \frac{(15)(15)}{2(15) + 20} = 4.5\text{cm}$$

$$I_p = \frac{8(15)^3 + 6(15)(20)^2 + 20^3}{12} - \frac{15^4}{2(15) + 20} = 4904.2 \text{ cm}^3$$



شکل ۱۰ - ۲۱ مثال ۱۰ - ۵ (اندازه‌ها به سانتی‌متر).

جدول ۱۰-۴ مشخصات هندسی جوش‌ها با ضخامت مؤثر واحد

ردیف	شکل مقطع	مختصات مرکز هندسی	اساس مقطع S	لنگر اینرسی قطبی = I_p حول مرکز هندسی
۱		—	$S = \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{d^3}{12}$
۲		—	$S = \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
۳		—	$S = bd$	$I_p = \frac{b(3d^2 + b^2)}{6}$
۴		$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b-d)}$	$S = \frac{4bd + d^2}{6}$	$I_p = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
۵		$\bar{x} = \frac{b^2}{2h+d}$	$S = bd + \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
۶		$\bar{y} = \frac{d^2}{(b+2d)}$	$S = \frac{2bd + d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 6b^2d + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{2d+b}$
۷		—	$S = hd + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{(b+d)^3}{6}$
۸		$\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$S = \frac{2bd + d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^2 + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{b+2d}$
۹		—	$S = bd + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^2 + 3bd^2 + d^3}{6}$
۱۰		—	$S = \pi r^2$	$I_p = 2\pi r^3$

$$A = 2(15) + 20 = 50 \text{ cm}$$

$$f'_y = \frac{P}{A_p} = \frac{6 \times 1000}{(50)} = 120 \text{ kg/cm}$$

$$f''_x = \frac{T.y}{I_p} = \frac{(6 \times 1000)(30.5)(10)}{4904.2} = 373.15 \text{ kg/cm}$$

$$f''_y = \frac{T.x}{I_p} = \frac{(6 \times 1000)(30.5)(10.5)}{4904.2} = 391.81 \text{ kg/cm}$$

جمع برداری تنش‌ها، برآیند f_r را به دست می‌دهد.

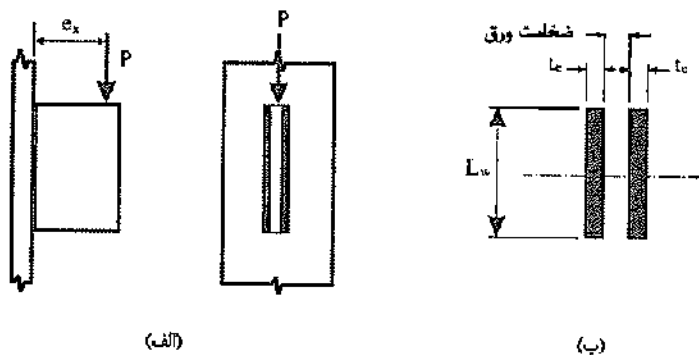
$$f_r = \sqrt{(373.15)^2 + (120 + 391.81)^2} = 633.40 \text{ kg/cm}$$

با مساوی قرار دادن f_r با حداکثر مقدار مجاز آن به دست می‌آوریم:

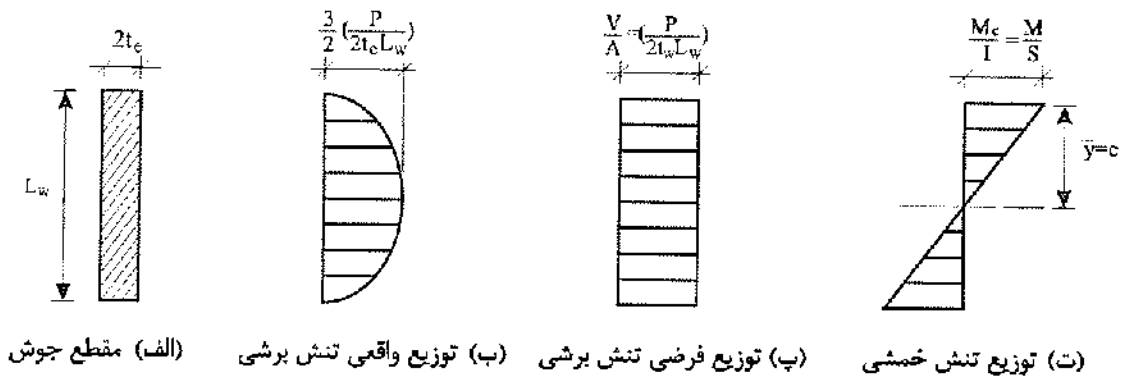
$$633.4 = 650D \rightarrow D = 0.974 \text{ بگوییم } D = 10 \text{ mm}$$

۱۰-۱۲ ترکیب برش و خمش

ترکیب تنش‌های برشی و خمشی از جمع برداری تنش‌های اسمی برشی و خمشی به دست می‌آید. نحوه عمل با مثال تیغه نشیمن شکل ۱۰-۲۲ الف و مقطع مؤثر گروه جوش‌های آن در شکل ۱۰-۲۲ ب، به نمایش در آمده است. شکل ۱۰-۲۳ نمایشگر تغییرات تنش برشی و خمشی می‌باشد. باید متوجه این موضوع بود که حداکثرهای تنش برشی و خمشی در یک محل از جوش اتفاق نمی‌افتند. لیکن به منظور ساده کردن محاسبات، فرض می‌شود تنش برشی اسمی همانند شکل ۱۰-۲۳ پ، توزیع می‌گردد. سپس حداکثر تنش خمشی با تنش برشی اسمی جمع برداری می‌گردد.



شکل ۱۰-۲۲ جوش تحت اثر توأم برش و خمش.



شکل ۱۰ - ۲۲ تنش روی خطوط قائم جوش تحت اثر برش و خم.

برای این مورد خاص، تنش برشی قائم برابر است با:

$$f'_y = \frac{P}{A} = \frac{P}{2tL_w}$$

و تنش قائم ناشی از خم عبارت است از:

$$f'_x = \frac{Mc}{I} = \frac{(Pe_x)(L_w/2)}{\left[\frac{2t(L_w)^3}{12} \right]} = \frac{3pe_x}{t(L_w)^2}$$

$$f_r = \sqrt{(f'_y)^2 + (f'_x)^2}$$

برآیند تنش‌ها به صورت زیر در می‌آید:

برای مؤلفه خمشی تنش ممان اینرسی I برحسب محور خمش، ممکن است I_x یا I_y باشد. مقادیر I را می‌توان به طریقی مشابه I_x ، برای شکل‌های مختلف جوش که از خطوطی به عرض واحد تشکیل داده‌اند به دست آورد. برای بعضی شکل‌های متداول مقدار $S = \frac{I}{c}$ در جدول ۱۰ - ۴ داده شده است.

مثال ۱۰ - ۶

اندازه ساق جوش لازم برای اتصال نمایش داده شده در شکل ۱۰ - ۲۴ - الف را با استفاده از الکتروود E60 با تنش مجاز آیین‌نامه فولاد ایران و جوشکاری به روش جوش قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار به دست آورید. فرض کنید که نیمرخ ستون و ورق مورد استفاده، طرح را کنترل نمی‌کند.

حل:

تنش متوسط برشی با فرض اندازه جوش مساوی ۱ سانتی‌متر عبارت است از:

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

$$f'_y = \frac{P}{A} = \frac{5 \times 1000}{2(26)} = 96.15 \text{ kg.cm}$$

$$I_x = \frac{2(1) \times (26)^3}{12} = 2929.33 \text{ cm}^3$$

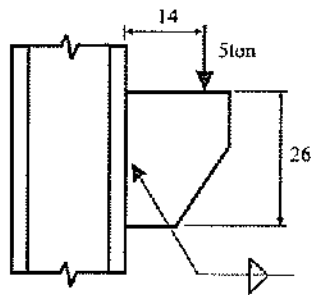
$$f_x = \frac{Mc}{I} = \frac{(5 \times 1000)(14)13}{2929.33} = 310.65 \text{ kg.cm}$$

$$f_T = \sqrt{(96.15)^2 + (310.65)^2} = 325.19 \text{ kg.cm}$$

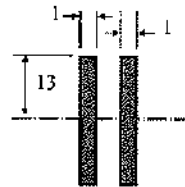
اندازه ساق جوش برابر می‌شود با:

$$650D = 325.19 \rightarrow D = 0.5 \text{ cm} = 5 \text{ mm}$$

استفاده شود از جوش ۵ میلی‌متری با الکتروود E60 یا معادل آن.



(الف) تیغه نشیمن



(ب) سطح مقطع فرضی جوش

شکل ۱۰-۲۴ مربوط به مثال ۱۰-۶ (تمام اندازه‌ها به سانتی‌متر).

۱۰-۱۳ تخمین طول جوش تحت اثر لنگر خمشی

برای تخمین طول جوش گوشه مورد نیاز، در اتصالاتی که تحت اثر لنگر خمشی به علت نیروی خارج از مرکز می‌باشند، می‌توان روش زیر را به کار برد. اگر f_T برآیند تنش‌های وارده بر جوشی با $t_e = 1$ باشد، برای لنگری که تنها روی یک خط جوش اثر کرده می‌توان نوشت:

$$f_T = \frac{M}{S} = \frac{M}{\left(\frac{1}{6}L_w^2\right)}$$

چون حداکثر مقادیر f_T مساوی R_w می‌باشد:

$$R_w = \frac{6M}{L_w^2}$$

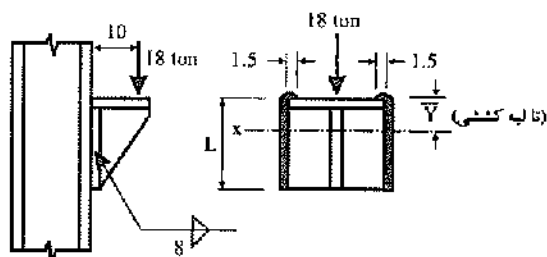
یا

$$L_w = \sqrt{\frac{6M}{R_w}}$$

از آنجا که این رابطه برای لنگر تنها صادق است، مقدار R_w ای که در عبارت فوق جاگذاری می‌شود را باید برای به حساب آوردن اثر برش مستقیم مقداری کاهش داد.

مثال ۱۰ - ۷

طول جوش مورد نیاز برای تحمل بار شکل ۱۰ - ۲۵ را با فرض استفاده از جوش گوشه‌ای به اندازه ساق ۸ میلی‌متر با الکتروود E60 و تنش‌های مجاز آیین‌نامه فولاد ایران به دست آورید.



شکل ۱۰ - ۲۵ مثال ۱۰ - ۷ (اندازه‌ها به سانتی‌متر).

حل:

برای تخمین L با استفاده از رابطه قبل:

$$R_w = 650 \times 0.8 = 520 \text{ kg.cm}$$

$$M = 18(10) = 180 \text{ ton.cm} \quad (\text{بر دو خط جوش})$$

$$L = \sqrt{\frac{6M}{R_w}} = \sqrt{\frac{6(180 \times 1000)}{520}} = 45.57 \text{ cm}$$

L را مساوی ۳۵ سانتی‌متر با دو خط جوش با برگشت ۱/۵ سانتی‌متر در نظر می‌گیریم. با استفاده از حالت ۸

جدول ۱۰ - ۴ داریم:

$$b = 3 \text{ cm} \quad d = 35 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d} = \frac{35^2}{3 + 70} = 16.78 \text{ cm} \quad (\text{از بالا})$$

$$S_1 = \frac{2bd + d^2}{3} = \frac{2 \times 3 \times 35 + 35^2}{3} = 478.33 \text{ cm}^3$$

$$A = 2d + b = 2 \times 35 + 3 = 73 \text{ cm}$$

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

$$f = \frac{18000}{73} = 246.58 \text{ kg.cm} \quad (\text{برش مستقیم})$$

$$f = 180000 / 478.33 = 376.31 \text{ kg.cm} \quad (\text{خمش})$$

$$f_r = \sqrt{246.58^2 + 376.31^2} = 449.9 \text{ kg.cm}$$

$$R_w = 650 \times 0.8 = 520 \text{ kg.cm} > 449.9 \quad \text{خوبست}$$

۱۱ طراحی اتصالات

۳۹۹.....	۱-۱۱ معرفی.....
۴۰۳.....	۲-۱۱ اتصال ساده تیر با نبشی جان.....
۴۰۷.....	۳-۱۱ اتصال ساده تیر با نبشی نشیمن انعطاف پذیر.....
۴۱۱.....	۴-۱۱ اتصال ساده تیر با نشیمن تقویت شده.....
۴۲۱.....	۵-۱۱ اتصالات صلب تیر به ستون.....
۴۶۴.....	۶-۱۱ وصله تیرها.....
۴۷۰.....	۷-۱۱ وصله ستون ها.....
۴۷۷.....	۸-۱۱ اتصال مهاربندی همگرا.....
۵۰۶.....	۹-۱۱ اتصالات پای ستون (کف ستون).....
۵۳۲.....	۱۰-۱۱ اتصالات لوله ها و قوطی ها.....

۱-۱۱ معرفی

۱-۱-۱۱ انواع اتصالات

مبحث دهم از مقررات ملی ساختمانی ایران، ساختمان‌های فولادی را برحسب نوع اتصالاتی که در آنها به‌کار می‌رود به سه دسته تقسیم می‌کند. این سه دسته عبارتند از:

الف) ساختمان‌های نوع ۱، قاب‌های صلب : در این نوع ساختمان‌ها پیوستگی کامل در محل اتصالات برقرار می‌باشد، به این ترتیب که زاویه اولیه بین اعضای متقاطع در محل اتصال، ثابت نگاه داشته می‌شود. این عمل با تأمین درجه صلبیت چرخشی در حدود ۹۰ درصد یا بیشتر که برای جلوگیری از تغییر زاویه ضرورت دارد، انجام می‌پذیرد.

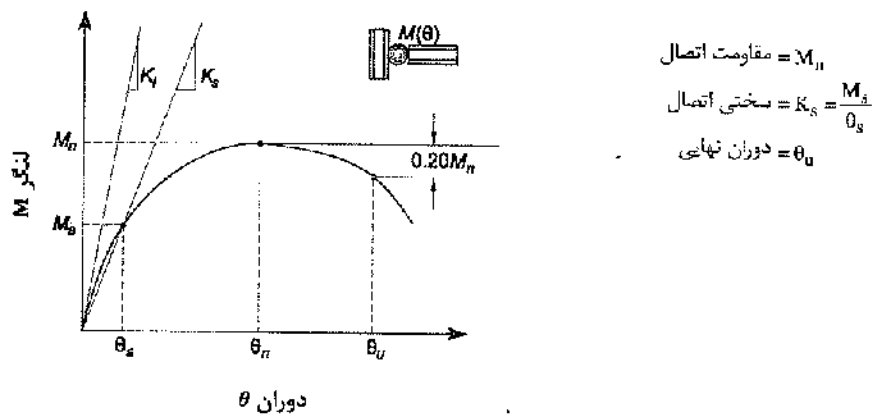
ب) ساختمان‌های نوع ۲، قاب‌های ساده : در این نوع ساختمان‌ها صلبیت چرخشی در انتهای اعضا در حدی که عملاً امکان آن وجود دارد، پایین نگاه داشته می‌شود. اگر زاویه اصلی بین اعضای متقاطع امکان تغییری تا حدود ۸۰ درصد مقدار چرخش نظری اتصال مفصلی و کاملاً بدون اصطکاک را دارا باشد، اتصال این اعضا را می‌توان ساده محسوب نمود.

پ) ساختمان‌های نوع ۳، قاب‌های نیمه‌صلب : در این نوع اتصالات، صلبیت چرخشی بین ۲۰ تا ۹۰ درصد صلبیت لازم برای جلوگیری از هرگونه تغییر زاویه می‌باشد. به عبارت دیگر می‌توان فرض کرد که در اتصالات نیمه‌صلب لنگر انتقالی توسط اتصال، نه مانند اتصالات ساده صفر (یا مقداری کوچک) است و نه مساوی لنگر به‌دست آمده از تحلیل الاستیک قاب صلب می‌باشد. محدودیت استفاده از این نوع اتصال عمدتاً به‌خاطر اشکالاتی است که در تخمین صحیح درجه صلبیت آنها وجود دارد.

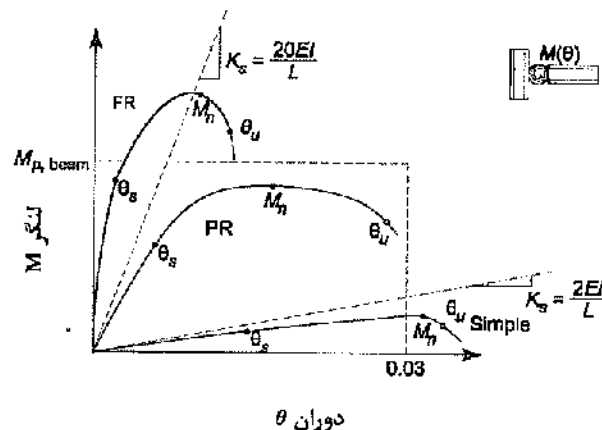
۱۱-۱-۲ نمودار لنگر - چرخش اتصال

مشخصه اصلی هر اتصال، نمودار لنگر - چرخش آن می‌باشد. برای رسم این نمودار باید نمونه‌ای از اتصال ساخته شده و با انجام آزمایش بر روی آن، نمودار $M-\theta$ برای آن رسم گردد. صلبیت اتصال را می‌توان توسط شیب منحنی $M-\theta$ تعیین نمود. از آنجا که رفتار غیرخطی حتی در مقادارهای ناچیز لنگر - انحنا خود را آشکار می‌سازد، سختی اولیه‌ی اتصال نمی‌تواند شاخص مناسبی برای بررسی پاسخ سازه در شرایط بهره‌برداری باشد. علاوه بر این بعضی از اتصالات سختی اولیه‌ی قابل اطمینانی از خود نشان نمی‌دهند و یا اینکه آن را تنها در لنگرهای بسیار کوچک نمودار می‌سازند. به همین دلیل شیب سکانتی منحنی لنگر - انحنا به‌عنوان شاخص صلبیت اتصال مورد استفاده قرار می‌گیرد.

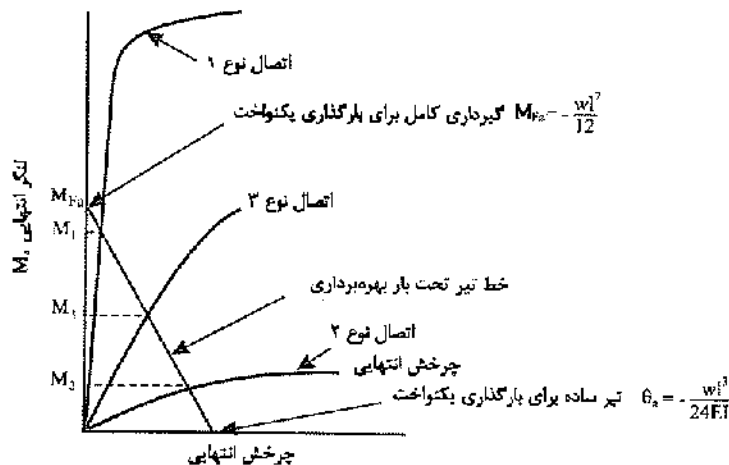
به عبارت دیگر K_s برابر است با M_s/θ_s که M_s و θ_s به ترتیب لنگر و دوران در بار بهره‌برداری هستند. برای تعیین میزان صلبیت اتصال از شاخص $\alpha = K_s L / EI$ استفاده می‌شود که در آن L دهانه و EI سختی خمشی تیر و K_s شیب منحنی $M-\theta$ است. اگر این مقدار بزرگتر از ۲۰ باشد، اتصال صلب و اگر کوچکتر از ۲ باشد اتصال مفصلی در نظر گرفته می‌شود. اتصالاتی که مقدار α در آنها بین ۲ و ۲۰ است اتصالات نیمه‌صلب محسوب می‌شوند. سختی، مقاومت و شکل‌پذیری سه مشخصه اصلی در طراحی اتصال هستند. این تعریف‌ها در شکل‌های ۱۱-۱-الف و ب نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۱-الف تعریف مشخصات صلبیت، مقاومت و شکل‌پذیری بر روی منحنی لنگر - انحنا.



شکل ۱۱-۱-ب طبقه‌بندی اتصال به‌صوب، نیمه‌صلب و ساده.



شکل ۱۱-۱ پ مشخصه‌های «لنگر - چرخش» اتصالات نوع ۱ و ۲ و ۳

باید توجه داشت اتصالاتی که در رده اتصالات نیمه‌صلب قرار می‌گیرند، ممکن است نتوانند رفتار مورد انتظار را از خود نشان داده و تمام ظرفیت خمیری اتصال را بسیج کنند. ساز و کار تسلیم و گسیختگی این اتصالات متفاوت از اتصالات صلب است، با این حال ممکن است بتوانند رفتار لرزه‌ای مناسب از خود نشان دهند.

سختی اتصال به مقدار قابل توجهی در رفتار سازه تأثیر می‌گذارد. اتصالات با سختی زیاد مانند اتصالات جوشی با ورق‌های تحتانی و فوقانی و برشگیر جان به صورت اتصالات کاملاً صلب مدل می‌شوند و تغییرشکل آنها در مدلسازی‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. اتصالات مفصلی مانند اتصالات جوش با نبشی جان در مدلسازی‌ها به صورت مفصل کامل در نظر گرفته می‌شوند که هیچ‌گونه مقاومت دورانی از خود نشان نمی‌دهند. این ساده‌سازی‌ها در پایداری سازه تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. اتصالات نیمه‌صلب باید در مدلسازی‌ها مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرند و علاوه بر سختی تیر و ستون، یک فنر با سختی دورانی K_s در محل گره در نظر گرفته می‌شود که این امر تحلیل ویژه‌ای را می‌طلبد.

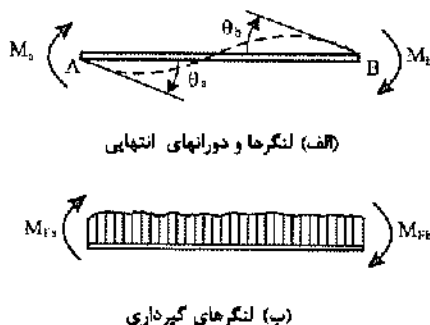
در شکل ۱۱-۱ پ نمودار $M-\theta$ برای سه نمونه اتصال نوع ۱ و ۲ و ۳ نشان داده شده است. نمودار نوع ۱ مربوط به اتصال صلب می‌باشد که در آن تغییر زاویه بین اعضای متصل شده خیلی کوچک بوده و اتصال قادر به انتقال لنگر بزرگ می‌باشد. منحنی نوع ۲ مربوط به اتصال ساده تیر به ستون می‌باشد که در آن لنگر قابل انتقال اتصال کوچک بوده و تحت این لنگر کوچک قادر به دوران قابل توجه می‌باشد. نمودار اتصال نیمه‌صلب (اتصال نوع ۳)، نیز حالت بینابین را داراست.

۱۱-۱-۳ خط تیر^۱

به منظور درک بهتر تفاوت‌های عملی بین انواع اتصالات می‌توان از مفهوم خط تیر که ابزار ترسیمی بسیار خوبی است، استفاده نمود.

1. Beam line

همان‌طور که در شکل ۱۱ - ۲ به‌نمایش درآمده، تیری مانند AB را که تحت لنگرهای انتهایی M_a و M_b قرار گرفته و شیب‌های انتهایی آن θ_a و θ_b می‌باشد، در نظر بگیرید. لنگرهای انتهایی که برای حفظ وضعیت $\theta_a = \theta_b = 0$ مورد لزوم می‌باشند، با M_{Fa} و M_{Fb} نام‌گذاری می‌شوند که همان لنگرهای گیرداری^۱ هستند.



شکل ۱۱ - ۲ لنگر و چرخش برای معادلات شیب - افت (جهت مثبت لنگرها).

از معادلات شیب - افت می‌توان نوشت:

$$M_a = M_{Fa} + \frac{4EI}{L}\theta_a + \frac{2EI}{L}\theta_b \quad (1-11)$$

$$M_b = M_{Fb} + \frac{2EI}{L}\theta_a + \frac{4EI}{L}\theta_b$$

با حل معادلات فوق برای θ_a و θ_b به‌دست می‌آید:

$$\frac{6EI}{L}\theta_a = 2(M_a - M_{Fa}) - (M_b - M_{Fb}) \quad (2-11)$$

$$\frac{6EI}{L}\theta_b = -(M_a - M_{Fa}) + 2(M_b - M_{Fb})$$

با کسر معادله دوم از معادله اول نتیجه می‌شود:

$$\frac{6EI}{L}(\theta_a - \theta_b) = 3(M_a - M_b) - 3(M_{Fa} - M_{Fb}) \quad (3-11)$$

با فرض بارگذاری قرینه خواهیم داشت:

$$M_b = -M_a \quad \theta_b = -\theta_a \quad M_{Fb} = -M_{Fa} \quad (4-11)$$

با جایگذاری مقادیر بالا در رابطه ۱۱ - ۲ به‌دست می‌آید:

$$\frac{2EI}{L}\theta_a = M_a - M_{Fa}$$

یا:

$$M_a = M_{Fa} + \frac{2EI}{L} \theta_a \quad (۱۱ - ۵)$$

رابطه بالا را معادله خط تیر^۱ می‌نامند. برای $\theta_a = 0$ (گیرداری کامل)، داریم: $M_a = M_{Fa}$ و برای انتهای مفصلی که در آن $M_a = 0$ است، شیب $\theta_a = -\frac{M_{Fa}}{2EI} \frac{L}{L}$ خواهد شد. در شکل ۱۱ - ۲ منحنی خط تیر به همراه نمودار لنگر - چرخش اتصالات نوع ۱ و ۲ و ۳ نشان داده شده است.

اتصال صلب باید قادر باشد لنگری معادل M_1 (حدود ۹۰ درصد لنگر گیرداری) یا بیشتر را انتقال دهد. اتصال ساده‌ای از نوع ۲ تنها باید ۲۰ درصد M_{Fa} یا کمتر را انتقال دهد، که با لنگر M_2 نشان داده شده است. ولی از اتصال نیمه‌صلب انتظار می‌رود که قادر به تحمل و انتقال لنگری مابین مقادیر فوق باشد که أحياناً حدود ۵۰ درصد لنگر گیرداری M_{Fa} می‌باشد.

۱۱ - ۲ اتصال ساده تیر با نبشی جان

۱۱ - ۲ - ۱ کلیات

اتصالات ساده برشی به کمک نبشی جان، برای اتصال تیرچه به شاتیر یا تیر به بال ستون به کار می‌روند. در این نوع اتصال، نبشی باید تا حد امکان انعطاف‌پذیر در نظر گرفته شود (شکل ۱۱ - ۳).

وقتی که از نبشی جان برای اتصال تیر به ستون استفاده می‌گردد، فاصله بادخور در حدود ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود تا نصب تیر ساده باشد. وقتی که اتصال تیرچه به شاتیر به نحوی انجام می‌گیرد که بال‌های فوقانی هر دو در یک تراز واقع می‌گردد، باید قسمتی از بال تیرچه را زبانه کرد (شکل ۱۱ - ۳ - پ). در این حالت مقطع فقط مقدار کمی از بال خود را که در تحمل برش نقش ناچیزی دارد، از دست می‌دهد، بنابراین زبانه کردن تیرها فقط مقدار کوچکی از مقاومت برشی اولیه می‌کاهد.

در این نوع اتصال، جوش نبشی اتصال به جان تیر را جوش A و جوش نبشی اتصال به تکیه‌گاه را جوش B می‌نامند.

۱۱ - ۲ - ۲ طراحی اتصال نبشی جان به تیر (جوش A)

جوش این اتصال تحت برش برون محور قرار دارد. از اصول مطرح‌شده در فصل دهم در خصوص طراحی جوش در اینجا نیز استفاده به عمل می‌آید.

مثال ۱۱ - ۱

در اتصال به‌کمک نبشی جان شکل ۱۱ - ۳، ظرفیت جوش A را به‌دست آورید (شکل الف). تیر مورد استفاده IPE600 و اندازه ساق جوش ۸ میلی‌متر می‌باشد. ابعاد نبشی ۱۰ × ۱۰۰ × ۱۰۰ میلی‌متر به‌طول ۴۰ سانتی‌متر بوده و از الکتروود E60 و تنش‌های مجاز طبق این‌نامه فولاد ایران، مبحث دهم استفاده می‌شود.

حل:

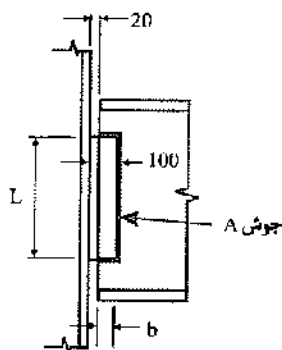
با استفاده از رابطه شماره ۵ جدول ۱۰ - ۴، ممان اینرسی قطبی جوش A برابر می‌شود با:

$$b = 8 \quad d = L = 40 \text{ cm}$$

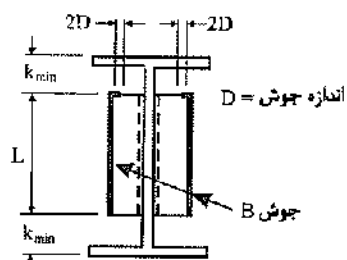
$$I_p = \frac{8(8)^3 + 6(8)(40)^2 + (40)^3}{12} - \frac{(8)^4}{2(8) + 40} = 12001.5 \text{ cm}^3$$

مؤلفه برش مستقیم:

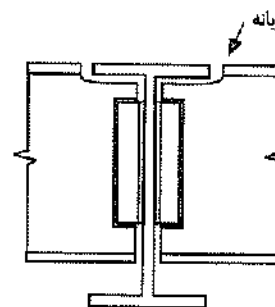
$$f'_y = \frac{P}{2(40 + 2 \times 8)} = 0.0089P$$



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۱۱ - ۳ اتصال ساده تیر با نبشی جان (اندازه‌ها به میلی‌متر).

مرکز هندسی نوار جوش:

$$\bar{X} = \frac{8^2}{(2 \times 8 + 40)} = 1.14 \text{ cm}$$

$$e_1 = 10 - 1.14 = 8.86 \text{ cm}$$

مؤلفه‌های x و y تنش پیچشی عبارتند از:

$$f_y' = \frac{T.x}{I_p} = \frac{P(8.86)(10 - 1.14 - 2.0)}{2(12001.5)} = 0.00253P$$

$$f_x' = \frac{T.y}{I_p} = \frac{P(8.86)(20)}{2(12001.5)} = 0.00738P$$

ارزش جوش:

$$f_r = P\sqrt{(0.0089 + 0.00253)^2 + (0.00738)^2} = 0.01361P$$

$$R_w = 650D = 650 \times (0.8) = 520 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = R_w$$

$$0.01361 P = 520 \times 10^{-3}$$

$$P_{WA} = 38.2 \text{ ton}$$

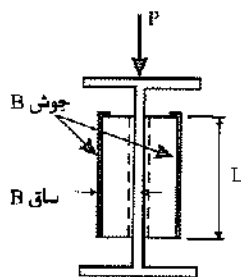
۱۱-۲-۳ طراحی اتصال نبشی جان به تکیه‌گاه (جوش B)

با توجه به توزیع تنش شکل ۱۱-۴ می‌توان نوشت:

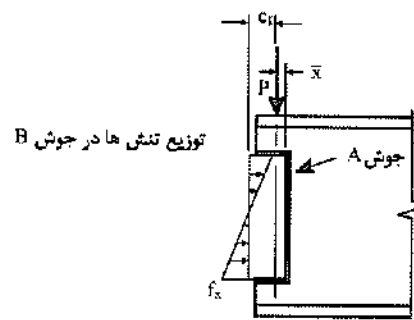
مؤلفه خمشی تنش:

$$f_x' = \frac{MC}{I} = \frac{Pe_1 \left(\frac{L}{2}\right)}{2 \times \frac{1}{12} \times 1 \times L^3} = \frac{3Pe_1}{L^2}$$

$$f_y' = \frac{P}{2L}$$



(الف)



(ب)

شکل ۱۱-۴ اتصال نبشی جان (جوش شده در کارگاه).

با جمع دو مؤلفه فوق نتیجه می‌شود:

$$f_r = \sqrt{\left(\frac{P}{2L}\right)^2 + \left(\frac{3Pe_1}{L^2}\right)^2} = \frac{P}{2L^2} \sqrt{L^2 + 36e_1^2} \quad (۱۱-۶)$$

مثال ۱۱ - ۲

در ادامه مثال ۱۱ - ۱، مطلوب است تعیین ظرفیت جوش B در شکل ۱۱ - ۴ الف، در صورتی که اندازه ساق جوش ۸ میلی‌متر بوده و طول L مساوی ۴۰ سانتی‌متر باشد. نبشی‌های به‌کار رفته ۱۰ × ۱۰۰ × ۱۰۰ میلی‌متر و الکتروود مصرفی در طرح E60 بوده و تنش‌های مجاز جوش از آیین‌نامه فولاد ایران، مبحث دهم به‌دست می‌آید:

حل:

$$\bar{x} = \frac{(10-2)^2}{2(10-2)+40} = 1.14 \text{ cm}$$

$$e_1 = 10 - \bar{x} = 10 - 1.14 = 8.86 \text{ cm}$$

ارزش جوش:

$$f_r = \frac{P}{2(40)^2} \sqrt{(40)^2 + 36 \times (8.86)^2} = 0.0208 P$$

$$R_w = 650D = 650 \times 0.8 = 520 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = R_w$$

$$0.0208 P = 520 \times 10^{-3}$$

$$P_{WB} = 25 \text{ ton}$$

با مقایسه با مثال ۱۱ - ۱، ملاحظه می‌شود که جوش B کنترل‌کننده بوده و نیروی برشی مقاوم اتصال ۲۵ تن است.

۱۱ - ۲ - ۴ تنش برشی در تیر و نبشی

آنچه در بندهای قبیل آمد، تنها محاسبه ظرفیت جوش‌های A و B نبشی جان بود. ظرفیت هر اتصال، حداقل ظرفیت قابل تحمل توسط هر یک از عناصر تشکیل‌دهنده آن اتصال می‌باشد. در اتصال نبشی جان، برای اینکه ظرفیت جوش‌های A و B حاکم بر طرح شوند، باید تیر، نبشی و تکیه‌گاه، ظرفیت بیشتری (یا حداقل مساوی) از جوش‌ها داشته باشند.

ظرفیت برشی تیر باید از ظرفیت برشی جوش A بیشتر باشد:

$$0.4F_y t_w \geq 2 \times (650D_a)$$

$$t_w \geq \frac{1300D_a}{0.4F_y} \quad (7-11)$$

ظرفیت برشی نبشی باید از ظرفیت برشی جوش‌ها بیشتر باشد:

$$P = 0.4F_y tL \geq P_w$$

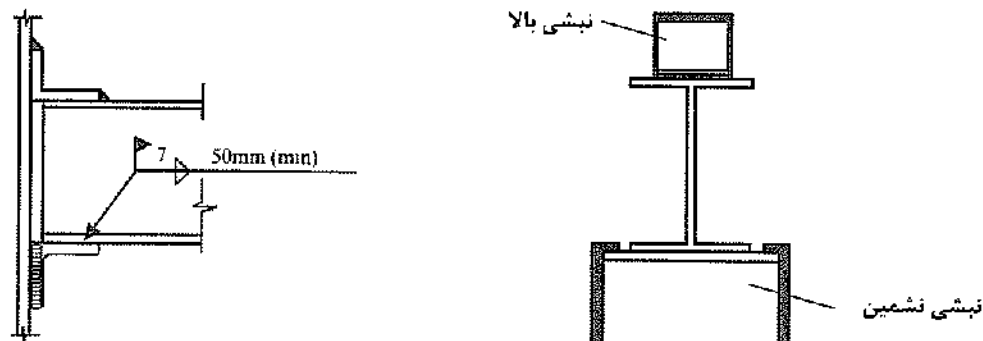
$$t \geq \frac{P_w}{0.4F_y L} \quad (A-11)$$

در روابط فوق، t_w ضخامت جان تیر، t ضخامت نبشی، D_n اندازه جوش A و L ارتفاع نبشی همه برحسب سانتی‌متر، F_y تنش تسلیم مصالح برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و P_w کمترین دو مقدار ظرفیت جوش A و جوش B برحسب کیلوگرم می‌باشد. در مورد تکیه‌گاه نیز، برحسب نوع آن باید شرایط تحمل برش ارضا گردد. در صورتی که ضخامت جان تیر یا نبشی از مقادیر فوق کمتر باشد، ظرفیت اتصال توسط جان تیر و یا نبشی محدود می‌گردد.

۱۱-۳ اتصال ساده تیر با نبشی نشیمن انعطاف‌پذیر

۱۱-۳-۱ کلیات

در این نوع اتصال، تیر بر روی نبشی نشیمن که هیچ‌گونه تقویتی در آن صورت نگرفته است، قرار می‌گیرد. این نوع اتصال را باید همیشه همراه با نبشی بالایی که تنها وظیفه آن تأمین تکیه‌گاه جانبی برای بال فشاری است، به کار برد. (شکل ۱۱-۵).

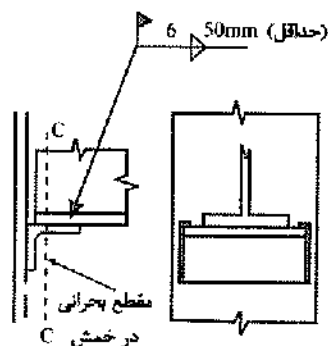


شکل ۱۱-۵ اتصال ساده با نبشی نشیمن انعطاف‌پذیر.

مانند اتصالات ساده با نبشی جان، منظور از اتصالات نشیمن، تنها انتقال واکنش تکیه‌گاهی قائم است. بنابراین اتصال نباید در انتهای تیر، گیرداری قابل توجهی ایجاد کند. به این دلیل است که نبشی نشیمن و نبشی بالایی باید نسبتاً قابل انعطاف باشند.

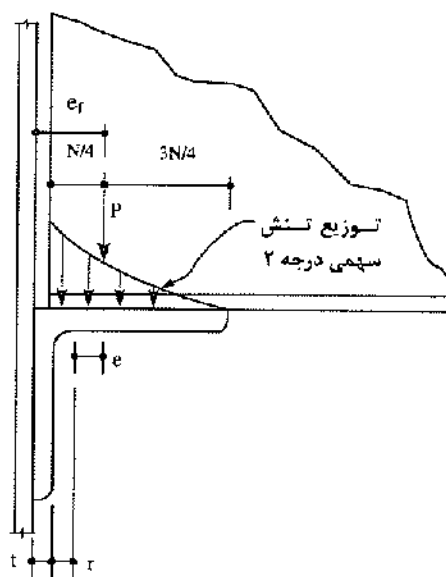
ضخامت نبشی نشیمن با توجه به تنش خمشی در مقطع بحرانی که در شکل ۱۱-۶ نشان داده شده است، تعیین می‌گردد. محل مقطع بحرانی را به‌طور تقریبی در فاصله ۱۰ میلی‌متری از وجه داخلی نبشی در نظر می‌گیرند.

در این مورد فرق نمی‌کند که تیر به‌نشیمن خود متصل شده باشد یا نه. در عمل، غالباً تیر را به‌نشیمن متصل می‌کنند. محل مقطع بحرانی در نزدیکی آغاز گردی اتصال ساق افقی نبشی به‌ساق قائم آن واقع شده است.



شکل ۱۱ - ۶

لنگر خمشی در مقطع بحرانی نبشی و محل اتصال به‌بال ستون، با ضرب واکنش تکیه‌گاهی در فاصله آن از مقطع مورد نظر به‌دست می‌آید. محل اثر واکنش تکیه‌گاهی در مرکز ثقل طول تماس N که از انتهای تیر اندازه‌گیری می‌گردد، در نظر گرفته می‌شود. توزیع تنش در طول N به‌صورت سهمی مقعر در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۱ - ۷ محل تأثیر واکنش تکیه‌گاهی در نشیمن انعطاف‌پذیر.

۱۱-۳-۲ روش طراحی

طراحی نشیمن انعطاف‌پذیر شامل مراحل زیر است:

- ۱ - تعیین عرض نشیمن N
- ۲ - تعیین بازوهای لنگر e و e_r

۳ - تعیین طول و ضخامت نبشی

۴ - تعیین ابعاد ساق نبشی و اندازه جوش لازم

عرض نشیمن بر مبنای حداقل طول لازم N برای جلوگیری از تسلیم بین جان و بال، تعیین می‌گردد:

$$N = \frac{P}{0.66F_y t_w} - 2.5K \geq K \quad (9 - 11)$$

که در آن:

t_w = ضخامت جان تیر

K = فاصله سطح خارجی بال تا آغاز گردی بین جان و بال

بنابراین:

$$\text{فاصله آزاد مونتاژ} + N \geq \text{عرض نشیمن} \quad (10 - 11)$$

عرض نشیمن نباید از $7/5$ سانتی‌متر کمتر باشد. در این مورد عدد 10 سانتی‌متر قابل توصیه است. بازوهای

لنگر e و e_f به ترتیب زیر به دست می‌آید:

$$e_f = \frac{N}{4} + \text{فاصله آزاد مونتاژ} \quad (11 - 11)$$

$$e = e_f - t - r \quad (12 - 11)$$

لنگر خمشی در مقطع بحرانی نبشی برابر است با:

$$M = P.e$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{Pe}{\frac{1}{6}bt^2} = \frac{6Pe}{bt^2} \quad (13 - 11)$$

با استفاده از تنش مجاز مقطع توپر مربعی که حول محور ضعیف خود خم شده است، داریم:

$$F_b = 0.75 F_y$$

$$t^2 = \frac{6Pe}{0.75F_y b} = \frac{8Pe}{F_y b} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{8Pe}{F_y b}} \quad (14 - 11)$$

مثال ۱۱ - ۳

مطلوب است طراحی اتصال ساده با نبشی نشیمن انعطاف‌پذیر برای تیری با نیمرخ IPE300 و به دهانه $7/5$ متر که

دارای تکیه‌گاه جانبی کافی می‌باشد. تیر از جنس فولاد نرمه با تنش تسلیم 2400 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است.

حل:

در خیلی از موارد، عاقلانه آن است که نشیمن را برای حداکثر واکنش تکیه‌گاهی مربوط به هنگامی که تیر به ظرفیت خمشی خود می‌رسد، طراحی نماییم. به‌چنین اتصالی، اتصال «تمام‌قدرت» می‌گویند. به‌کار بردن چنین اتصالی موجب آن می‌گردد که اعضای اصلی و اتصالات آنها از ضرایب اطمینان یکسانی برخوردار باشند و طرح یکنواخت‌تر شود. در مورد بعضی تیرهای با دهانه خیلی کوچک، ممکن است ظرفیت برشی معرف واکنش تمام‌قدرت باشد.

الف) تعیین طول و ضخامت نبشی

$$\text{IPE300: } b = 15 \text{ cm}, l_w = 0.71 \text{ cm}, K = 2.57 \text{ cm}, S_x = 557 \text{ cm}^3$$

$$M = 0.66 F_y S_x = 0.66 \times 2400 \times 557 \times 10^{-5} = 8.82 \text{ ton.m}$$

$$R = \frac{qL}{2} = \frac{8M}{2L} = \frac{8 \times 8.82}{2 \times 7.5} = 4.70 \text{ ton}$$

$$N = \frac{P}{0.66 F_y t_w} - 2.5K = \frac{4.70 \times 10^3}{0.66 \times 2400 \times 0.71} - 2.5 \times 2.57 = -2.25 < 0 \Rightarrow N = N_{\min} = 75 \text{ mm}$$

با انتخاب نبشی ۱۲ و با فرض ۲ سانتی‌متر فاصله آزاد، طول تماس مساوی ۱۰ سانتی‌متر به‌دست می‌آید.

$$N = 10 \text{ cm}$$

$$e_f = \frac{10}{4} + 2 = 4.5 \text{ cm}$$

انتخاب اول برای ضخامت نبشی:

$$t = 12 \text{ mm}$$

$$e = e_f - t - r = 4.5 - 1.2 - 1.3 = 2 \text{ cm}$$

طول نبشی را بیشتر از پهنای پال تیر اختیار می‌کنیم:

$$b = 15 + 2 \times 3.5 = 22 \text{ cm}$$

$$t^2 = \frac{8Pe}{F_y b} = \frac{8 \times (4.70 \times 10^3) \times 2}{2400 \times 22} = 1.42 \rightarrow t = 1.19 \text{ cm}$$

استفاده می‌شود از نبشی ۱۲ × ۱۲۰ × ۱۲۰ و طول ۲۲۰ میلی‌متر.

ب) تعیین ابعاد ساق نبشی و اندازه جوش لازم برای اتصال نبشی به ستون

در طرح اولیه از نبشی ۱۲ × ۱۲۰ × ۱۲۰ L که طول هر یک از ساق‌های آن ۱۲ سانتی‌متر است، استفاده می‌شود. براساس محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای: حداکثر اندازه جوش ۱۰ و حداقل اندازه جوش ۵ میلی‌متر می‌باشد. با صرف‌نظر از طول‌های جوش برگشت داریم:

$$f_r = \frac{P}{2L^2} \sqrt{L^2 + 36e_f^2}$$

$$P = 4.70 \text{ ton}, \quad L = 12 \text{ cm}, \quad e_f = 4.5 \text{ cm}$$

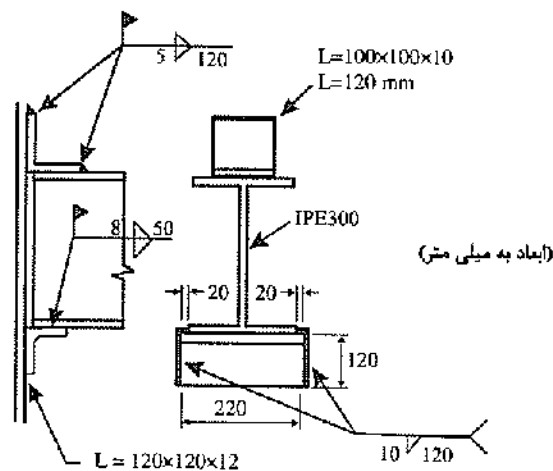
$$f_r = \frac{4.7 \times 10^3}{2 \times 12^2} \sqrt{12^2 + 36 \times 4.5^2} = 482 \text{ kg/cm}$$

$$650D \approx 482 \rightarrow D = 0.74 \text{ cm} \quad \text{اندازه جوش}$$

بنابراین از جوش با اندازه $D = 10 \text{ mm}$ استفاده می‌کنیم.

$$\text{طول جوش برگشت} = 2D = 2 \times 10 = 20 \text{ mm}$$

نبشی بالایی و جوش‌های آن اسمی می‌باشند. به‌عنوان مثال می‌توان از نبشی $100 \times 100 \times 10$ با طول 120 میلی‌متر و اندازه جوش 5 میلی‌متر استفاده نمود.



شکل ۱۱ - ۸ مربوط به مثال ۱۱ - ۳.

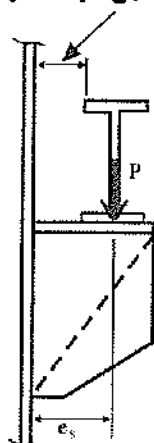
۱۱ - ۴ اتصال ساده تیر با نشیمن تقویت‌شده

۱۱ - ۴ - ۱ کلیات

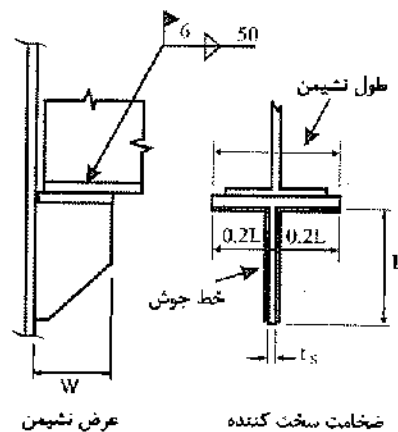
وقتی در اتصالات ساده با نشیمن انعطاف‌پذیر، واکنش تکیه‌گاهی از حد قابل قبولی تجاوز نماید، باید از نشیمن تقویت‌شده استفاده کرد. در غیر این صورت ضخامت نبشی نشیمن تقویت نشده (انعطاف‌پذیر) بسیار بزرگ می‌شود. این اتصال نیز از نوع ساده بوده و تنها وظیفه آن انتقال بارهای قائم است و هیچ لنگری را منتقل نمی‌کند. واکنش‌های تکیه‌گاهی به‌دو صورت ممکن است بر نشیمن تقویت شده وارد گردند؛ در حالت متداول، واکنش تکیه‌گاهی به‌وسیله تیری که جان آن در امتداد سخت‌کننده قرار گرفته است، منتقل می‌شود (شکل ۱۱ - ۹).

در حالت دوم، تیر طوری قرار گرفته است که جان آن عمود بر ورق سخت‌کننده است (شکل ۱۱ - ۱۰). در حالت دوم، برون‌محوری e_s مقدار مشخصی می‌باشد، لیکن در حالت اول این برون‌محوری باید به‌نجو مناسبی تعریف گردد. همان‌طور که در شکل ۱۱ - ۱۱ دیده می‌شود، یکی دیگر از عوامل تفاوت رفتار نشیمن‌های تقویت‌شده، زاویه برش لبه

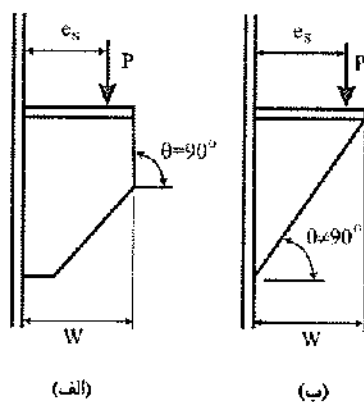
حداقل ۲۵ میلی‌متر فاصله آزاد



شکل ۱۱ - ۱۰



شکل ۱۱ - ۹



شکل ۱۱ - ۱۱

آزاد سخت‌کننده آن می‌باشد. اگر زاویه θ در حدود 90° درجه باشد، سخت‌کننده خود مانند ورق سخت‌نشده تحت فشار یکنواخت، رفتار می‌نماید که باید در مقابل کماتش موضعی محاسبه گردد. وقتی که ورق سخت‌کننده طوری برش خورده باشد که از آن یک صفحه سه‌گوش ایجاد گردد، رفتار متفاوتی از آن بروز می‌کند.

۱۱-۴-۲ روش طراحی

روش گام به گام برای طراحی نشیمن تقویت شده به ترتیب زیر می باشد:

- ۱ - تعیین طول نشیمن (W)
- ۲ - تعیین برون محوری بار، e_s
- ۳ - تعیین ضخامت سخت کننده، t_s
- ۴ - تعیین اندازه و طول جوش

همانند حالت قبل، طول نشیمن بر مبنای حداقل طول لازم N برای جلوگیری از تسلیم بین جان و بال تیر تکیه داده شده، تعیین می گردد.

به خاطر صلبیت سخت کننده، قسمتی که تحت بیشترین تنش ها قرار دارد، برخلاف نشیمن های تقویت نشده، به جای کناره داخلی، در لبه خارجی نشیمن واقع می گردد (شکل ۱۱ - ۱۲ - ب). بنابراین فرض می شود که واکنش P ، به صورت مثلثی در طول تماس توزیع گردد.

ضخامت صفحه نشیمن گاه، در حدود ضخامت بال تیر انتخاب می گردد.
 t_s (ضخامت سخت کننده) باید طوری تعیین شود که شرایط زیر را ارضا نماید:

شرط ۱: ضخامت سخت کننده حداقل به اندازه ضخامت جان تیر باشد:

$$t_s \geq t_w \quad (11 - 15)$$

شرط ۲: به منظور جلوگیری از کماتش موضعی سخت کننده:

$$t_s \geq \frac{w}{795/\sqrt{F_y}} \quad (11 - 16)$$

شرط ۳: برای جلوگیری از تسلیم سخت کننده:

$$f_b = \frac{P}{A} + \frac{M}{S} = \frac{P}{wt_s} + \frac{P\left(e_s - \frac{w}{2}\right)}{t_s \frac{w^2}{6}} = \frac{P}{t_s w^2} (6e_s - 2w) \quad (11 - 17)$$

$$t_s \geq \frac{P(6e_s - 2w)}{0.9F_y w^2}$$

در رابطه فوق، تنش مجاز تسلیم برابر $0.9 F_y$ اختیار شده است.

شرط ۴: برای کنترل تنش برشی انتقال یافته از جوش بین سخت کننده و تکیه‌گاه:

$$t_s \geq \frac{\text{ارزش دو خط جوش}}{\text{تنش برشی مجاز فولاد}} = \frac{2 \times \text{ضریب بازرسی} \times 0.3F_u}{0.4F_y} \quad (11 - 18)$$

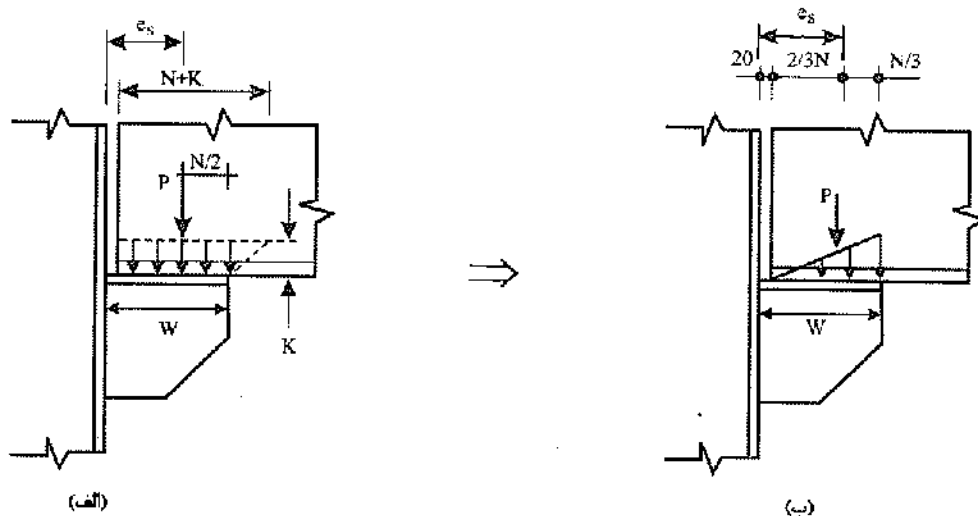
با فرض دو خط جوش گوتته با اندازه ساق D سانتی‌متر با الکتروود E60 و با تنش‌های مجاز منبخت دهم، برای اینکه جوش کاملاً مؤثر بوده و در ورق سخت کننده باعث اضافه تنش برشی نگردد، باید داشته باشیم:

$$2 \times (0.707D)(0.75 \times 0.30 \times 4200) = 0.4F_y t_s \Rightarrow t_s = \frac{3340D}{F_y}$$

که این معادله رابطه ۱۱ - ۱۸ را نتیجه می‌دهد. برای فولاد ساختمانی عادی با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع داریم:

$$t_s \geq 1.40D$$

به‌ترتیبی که در بالا آمد، می‌توان برای انواع فولاد و الکتروود و براساس تنش‌های مجاز آیین‌نامه‌های مختلف، ضخامت سخت کننده را در رابطه با اندازه جوش لازم، به‌دست آورد.



شکل ۱۱ - ۱۲ تنش فشاری تماسی بر روی نشیمن‌های تقویت‌شده.

وقتی که ابعاد سخت کننده تعیین گردید، باید جوش اتصال را طوری طراحی نمود که واکنش تکیه‌گاهی تیر را با بازوی لنگر e_s به‌ستون انتقال دهد. برای نشیمن‌های جوش شده، طرح جوشی همانند شکل ۱۱ - ۹ پیشنهاد می‌شود. این جوش تحت برش مستقیم و خمش قرار دارد که تنش ترکیبی در بالای جوش، تنش بحرانی طرح می‌باشد. وضعیت جوش‌ها، مشابه حالت ۴ جدول ۱۰ - ۴ می‌باشد. با قرار دادن $d = L$ ، $b = 0.2L$ در مقادیر جدول مذکور، داریم:

$$\bar{y} = \frac{L^2}{2(L+b)} = \frac{I_c^2}{2(1.2L)} = \frac{L}{2.4}$$

$$S_x = \frac{2(4bL + L^2)}{6} = \frac{4(0.2L)L + L^2}{3} = 0.6L^2$$

$$f_x^e = \frac{M}{S_x} = \frac{Pe_s}{0.6L^2} \rightarrow$$

$$f_x^c = \frac{P}{2(L+0.2L)} = \frac{P}{2.4L} \downarrow$$

$$f_r = \sqrt{\left[\frac{Pe_s}{0.6L^2}\right]^2 + \left[\frac{P}{2.4L}\right]^2} = \frac{P}{2.4L^2} \sqrt{16c_s^2 + L^2} \quad (11-19)$$

مثال ۱۱ - ۴

نشیمن تقویت‌شده‌ای با استفاده از جوش طوری طراحی نمایید که تیر IPF450 با واکنش تکیه‌گاهی ۴۰ تن را تحمل نماید. فولاد مورد استفاده از نوع ST37 با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد. (شکل ۱۱ - ۱۳).

حل:

$$\text{IPE450: } b=19\text{ cm}, t_w=0.94\text{ cm}, t=1.46\text{ cm}, k=3.56\text{ cm}$$

$$N = \frac{P}{0.66F_y t_w} - 2.5K = \frac{40 \times 10^3}{0.66 \times 2400 \times 0.94} - 2.5 \times 3.56 = 17.96\text{ cm}$$

$$\text{لازم } W = 17.96 + 2 (\text{باد خور}) = 19.96\text{ cm}$$

طول نشیمن W را مساوی ۲۲ سانتی‌متر در نظر می‌گیریم.

$$W = 22\text{ cm} \Rightarrow N = 20\text{ cm}$$

چون ضخامت بال تیر ۱/۴۶ سانتی‌متر است، از ورقی به ضخامت ۱۵ میلی‌متر برای نشیمن استفاده می‌کنیم. حداقل اندازه جوش لازم برای جوشکاری ورق ۱۵ میلی‌متری نشیمن و بال تیر به ضخامت ۱۴/۶ میلی‌متر، برابر ۶ میلی‌متر می‌باشد. ما از همین اندازه جوش برای تثبیت تیر روی نشیمن استفاده می‌نماییم. در مرحله بعد ضخامت سخت‌کننده را تعیین می‌کنیم.

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

$$t_s \geq t_w = 0.94 \text{ cm}$$

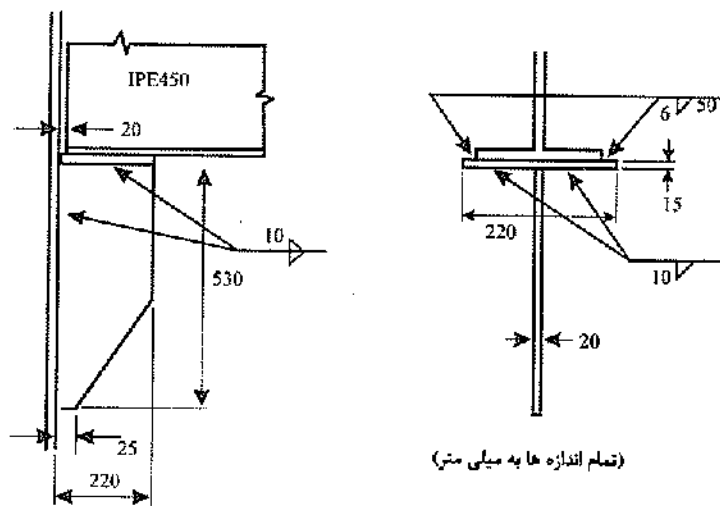
$$t_s \geq \frac{w}{795/\sqrt{F_y}} = \frac{22}{795/\sqrt{2400}} = 1.35 \text{ cm}$$

$$e_s = 2 + 2 \frac{N}{3} = 2 + \frac{2 \times 20}{3} = 15.33 \text{ cm}$$

$$t_s \geq \frac{P(6e_s - 2w)}{0.9F_y w^2} = \frac{40 \times 10^3 (6 \times 15.33 - 2 \times 22)}{0.9 \times 2400 \times 22^2} = 1.83 \text{ cm}$$

با استفاده از ورق ۲۰ میلی‌متری، حداکثر اندازه مجاز جوش از رابطه ۱۱ - ۱۸ به دست می‌آید:

$$D_{\max \text{ eff}} = \frac{F_y t_s}{3340} = \frac{2400 \times 2}{3340} = 1.43 \text{ cm}$$



شکل ۱۱ - ۱۲ مربوط به مثال ۱۱ - ۴.

برای یافتن اندازه و طول جوش از $e_s = 15/33$ استفاده می‌نماییم. با استفاده از رابطه ۱۱ - ۱۹ با فرض $L = 55 \text{ cm}$ داریم:

$$f_r = \frac{P}{2.4L^2} \sqrt{16(e_s)^2 + L^2}$$

اگر از جوش ۸ میلی‌متری استفاده نماییم:

$$f_r = \frac{40 \times 10^3}{2.4 \times 55^2} \sqrt{16 \times 15.33^2 + 55^2} = 454 \text{ kg/cm}$$

$$650D = 454 \rightarrow D = 0.69 \text{ cm} \rightarrow D = 8 \text{ mm}$$

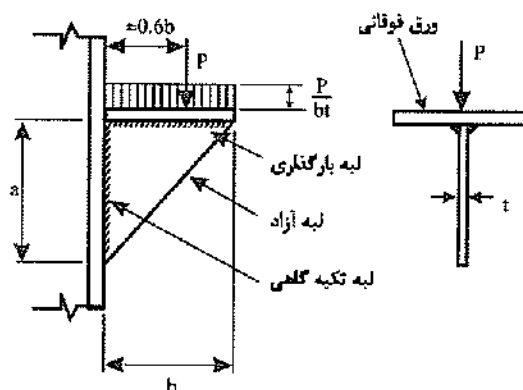
عرض ورق نشیمن، مساوی عرض بال، به علاوه فاصله کافی برای جوشکاری (تقریباً چهار برابر نعد جوش) انتخاب می‌گردد (شکل ۱۱ - ۱۳).

۱۱-۴-۳ استفاده از سخت‌کننده مثلثی در نشیمن‌های تقویت‌شده

وقتی که صفحات سخت‌کننده در زیر یک نشیمن طاقچه‌ای به صورت مثلثی مانند شکل ۱۱-۱۱-ب، برش داده می‌شود، صفحه به صورتی متفاوت با حالتی که لبه آزاد موازی جهت بار وارده است عمل می‌نماید.

شکل ۱۱-۱۴ نمایشگر قرارگیری صفحه لچکی زیر نشیمن و علایمی است که در مورد آن به کار می‌رود. برای صفحات سخت‌شده کوچک که واکنش تیر را متحمل می‌شوند، در صورت مثلثی بودن ورق سخت‌کننده، خطر کماتش و خرابی بسیار کم می‌باشد.

در حالت کلی، برش ورق به صورت مثلثی باعث ایجاد اتصالی سخت‌تر از حالت ورق مستطیلی، می‌گردد.



شکل ۱۱-۱۴ صفحه مثلثی در زیر نشیمن.

۱۱-۴-۳-۱ توصیه‌های دقیق برای تحلیل و طراحی

در طی سالیان دراز طرح این نوع از نشیمن‌ها یا به صورت تجربی و بدون بهره‌گیری از تئوری و آزمایش انجام می‌گردید و یا اینکه هرگاه طراح دچار شک می‌شد، نبشی یا ورق سخت‌کننده‌ای در طول لبه آزاد قرار می‌داد. توصیه‌هایی که در اینجا عرضه می‌گردد براساس فرضیات مشخص به شرح زیر قرار دارند:

- ۱ - صفحه بالایی در سرتاسر طول خود به ستون متصل گردیده است.
- ۲ - نیروی P گسترده می‌باشد (لازم نیست که گسترده یکنواخت باشد) و مرکز اثر آن در فاصله‌ای حدود $0.6b$ از سطح تکیه‌گاه واقع شده است.
- ۳ - نسبت b/a یعنی طول لبه بارگذاری شده به لبه تکیه داده شده بین 0.5 و 0.75 قرار دارد.

تحلیل تئوریک فقط کماتش الاستیک را در نظر می‌گیرد، در حالی که مشاهدات تجربی نشان می‌دهند لچکی‌های مثلثی از مقاومت بعد از کماتش قابل توجهی برخوردارند. معمولاً تسلیم فولاد لبه آزاد قبل از وقوع کماتش اتفاق می‌افتد، در این مرحله توزیع مجددی از تنش‌ها به وقوع می‌پیوندد. در عمل حاشیه اطمینان قابل توجهی مشاهده شده که نماینده آن است که ظرفیت نهایی مورد انتظار حداقل $1/6$ برابر بار کماتش می‌باشد.

ملاحظه گردیده که حداکثر تنش در لبه آزاد به وجود می‌آید، اگرچه به خاطر طبیعت پیچیده توزیع تنش، تنش

موجود در لبه آزاد را نمی‌توان به‌روش‌های ساده تعیین نمود. به‌خاطر این شکل‌ها، نسبت Z بین تنش‌های متوسط P/bt روی لبه بارگذاری‌شده و f_{max} (تنش حداکثر روی لبه آزاد) برقرار نموده‌اند. رابطه تئوریک اصلی برای Z با توجه به نتایج آزمایش‌ها، اصلاح گردیده تا نزدیکی بیشتری با آنچه واقعاً در عمل می‌توان انتظار داشت، پیدا نماید. این رابطه به‌صورت زیر عرضه گردیده است:

$$Z = \frac{P/bt}{f_{max}} = 1.39 - 2.2\left(\frac{b}{a}\right) + 1.27\left(\frac{b}{a}\right)^2 - 0.25\left(\frac{b}{a}\right)^3 \quad (۱۱ - ۲۰)$$

اگر تسلیم فولاد ورق، کنترل‌کننده مقاومت باشد و مقدار $0.6F_y$ به‌عنوان ضابطه مطمئنی برای تنش مجاز در نظر گرفته شود، می‌توان این ضابطه را به‌صورت زیر بیان کرد:

$$f_{max} = \frac{P/bt}{Z} \leq 0.6F_y \quad (۱۱ - ۲۱)$$

برای جلوگیری از کماتش سخت‌کننده از روابط زیر می‌توان استفاده نمود:

$$0.5 \leq b/a \leq 1.0 \quad ; \quad \frac{b}{t} \leq \frac{2092}{\sqrt{F_y}} \quad (۱۱ - ۲۲ - \text{الف})$$

$$1.0 \leq b/a \leq 2.0 \quad ; \quad \frac{b}{t} \leq \frac{2092(b/a)}{\sqrt{F_y}} \quad (۱۱ - ۲۲ - \text{ب})$$

ارضای شرایط فوق بدان معنی است که تسلیم در لبه قطری آزاد قبل از وقوع کماتش اتفاق می‌افتد. نتایج به‌دست آمده در بالا تا حدودی بیشتر از نتایج حاصل از مطالعات صرفاً تئوریک می‌باشد.

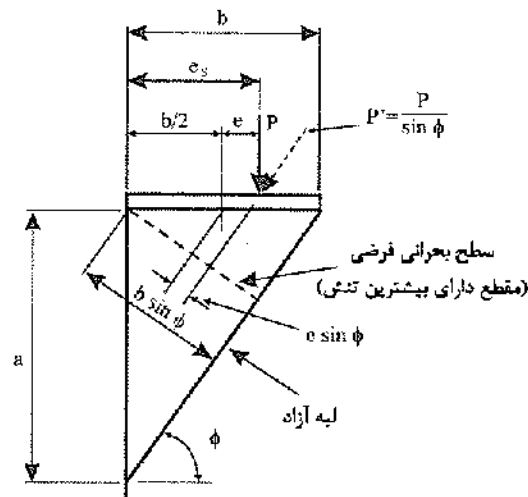
۱۱ - ۳ - ۲ تحلیل تقریبی براساس فرضیات خمش تیرها

برای سالیان دراز، تنش روی صفحات لچکی مثلثی و انواع دیگر صفحات سخت‌کننده زیر نشیمن‌ها براساس تحلیل تیر، و با استفاده از روابطی که از شکل ۱۱ - ۱۵ به‌دست می‌آیند، انجام می‌گرفت. تنش مرکب لبه آزاد روی مقطع بحرانی به‌ترتیب زیر محاسبه می‌گردد:

$$f_{max} = \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I} = \frac{P}{bt \sin \phi} + \frac{\left(\frac{P}{\sin \phi}\right)(e \sin \phi) \left(\frac{b \sin \phi}{2}\right)}{(b \sin \phi)^3 \frac{t}{12}} = \frac{P}{bt \sin^2 \phi} \left[1 + \frac{6e}{b} \right] \quad (۱۱ - ۲۳)$$

و یا برحسب e_s رابطه ۱۱ - ۲۳ را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$f_{max} = \frac{P}{bt \sin^2 \phi} \left(\frac{6e_s}{b} - 2 \right) \quad (۱۱ - ۲۴)$$



شکل ۱۱ - ۱۵ تحلیل تیر برای صفحات سخت‌کننده نشیمن.

اگر تنش حداکثر را به $0.16 F_y$ محدود کنیم، ضخامت لازم برای به‌وجود آمدن این تنش به‌ترتیب زیر می‌باشد:

$$t \geq \frac{P}{b(0.60F_y) \sin^2 \phi} \left(\frac{6e_s}{b} - 2 \right) \quad (11-25)$$

وقتی که از راه‌حل تحلیل تیر استفاده می‌نماییم، فرض بر این است که نواری به‌عرض $\frac{b \sin \phi}{4}$ به‌صورت عضو فشاری عمل می‌کند.

برای جلوگیری از اثرات کمایش رابطه زیر پیشنهاد شده است:

$$\frac{L_d}{t} \leq \frac{1355}{\sqrt{F_y (\text{kg/cm}^2)}} \quad (11-26)$$

در رابطه فوق، L_d ضخامت سخت‌کننده و L_d طول آزاد لبه قطری می‌باشد.

مثال ۱۱ - ۵

ضخامت لازم برای صفحه سخت‌کننده نشیمنی به‌شکل مثلث و به‌اضلاع ۵۰ در ۶۰ سانتی‌متر را که تحت بار ۲۰ تن قرار گرفته است، به‌دست آورید. فرض کنید که بار مانند شکل ۱۱ - ۱۶ در ۳۵ سانتی‌متری از تکیه‌گاه واقع شده و در طرح از فولاد ST37 با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع استفاده به‌عمل آمده است.

حل:

الف) با استفاده از روش دقیق و طراحی الاستیک

چون بار در حدود نقطه ۰/۶ از تکیه‌گاه قرار گرفته است، فرضیات روش مورد استفاده ارضا می‌گردد.

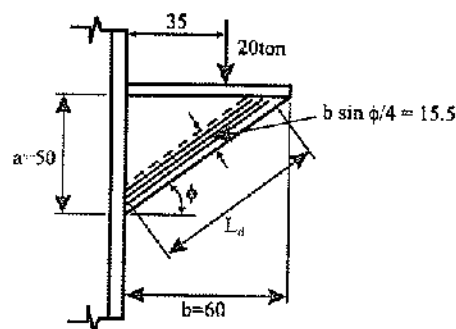
از رابطه ۱۱ - ۲۰ با $\frac{b}{a} = \frac{60}{50} = 1.2$ مقدار $Z = 0.15$ به دست می‌آید. برای ضابطه تسلیم داریم:

$$t \geq \frac{P}{bz(0.60F_y)} = \frac{20000}{60(0.15)(1440)} = 1.54 \text{ cm}$$

با استفاده از رابطه ۱۱ - ۲۲ - ب داریم:

$$t \geq \frac{b\sqrt{F_y}}{2092\left(\frac{b}{a}\right)} = \frac{60\sqrt{2400}}{2092(1.2)} = 1.17 \text{ cm}$$

از ورق ۱۶ میلی‌متر استفاده می‌شود.



شکل ۱۱ - ۱۶ طاقچه نشیمن مثال ۱۱ - ۵. (تمام اندازه‌ها به سانتی‌متر)

ب) با استفاده از روش تقریبی تحلیل تیر و طراحی الاستیک

از رابطه ۱۱ - ۲۵ داریم:

$$t \geq \frac{P}{b(0.60F_y)\sin^2\phi} \left(\frac{6e_s}{b} - 2 \right)$$

که $\sin^2\phi = (0.64)^2 = 0.41$ پس:

$$t \geq \frac{20000}{60(1440)0.41} \left(\frac{6 \times 35}{60} - 2 \right) = 0.85 \text{ cm}$$

که در مقایسه با روش قبل در خلاف اطمینان است.

برای کنترل پایداری طبق رابطه ۱۱ - ۲۶ داریم:

$$t \geq \frac{L_d \sqrt{F_y}}{1355} = \frac{(68) \sqrt{2400}}{1355} = 2.46 \text{ cm}$$

که L_d در طول مرکز نوار لبه‌ای اندازه‌گیری شده است. سالمون و جانسون اعتقاد دارند که روش تحلیل تیر جواب‌های واقع‌بینانه‌ای به دست نمی‌دهد. ضابطه تنش، جواب‌های دست‌پایین و ضابطه پایداری، جواب‌های دست‌بالا عرضه می‌دارد. به هر حال براساس این روش قدیمی یا باید از یک ورق ۲۵ میلی‌متری و یا از ورق ۱۶ میلی‌متر همراه با سخت‌کننده در لبه آن استفاده نمود.

۱۱-۵ اتصالات صلب تیر به ستون

۱۱-۵-۱ معرفی

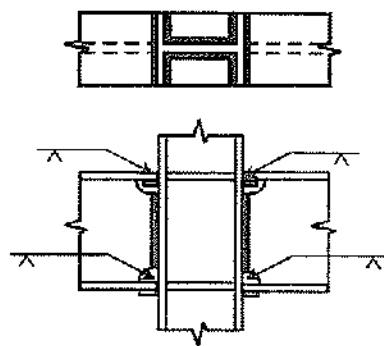
هدف طراح در استفاده از اتصال صلب تیر به ستون، انتقال کامل لنگر و عدم چرخش نسبی بین اعضای وارد به اتصال می‌باشد. از آنجایی که اکثر لنگر خمشی تیر به صورت زوج نیرو در بال‌های کششی و فشاری تیر با بازویی مساوی ارتفاع تیر حمل می‌گردد، نقش اصلی اتصال صلب فراهم آوردن امکاناتی برای انتقال این نیروهای محوری می‌باشد. همچنین چون اکثر نیروی برشی توسط جان تیر حمل می‌گردد، پیوستگی کامل اتصال ایجاب می‌کند که نیروی برشی مستقیماً از جان انتقال پیدا نماید.

در اتصال صلب تیر به ستون، تیرها ممکن است از دو طرف به هر دو بال ستون متصل شده باشند (شکل‌های ۱۱-۱۷ الف و ۱۱-۱۷ ب) و یا فقط به یک بال ستون متصل شوند (شکل ۱۱-۱۷ پ). همچنین ممکن است همانند شکل ۱۱-۱۸، تیرها از یک یا دو طرف به جان ستون به طور صلب متصل شده باشند. اگر در سیستم قاب صلب، تیرها فقط از دو طرف بر دو بال و یا جان متصل شده باشند (البته نه با هم)، سیستم، قاب صلب دو طرفه یا صفحه‌ای خوانده می‌شود. سیستم قاب صلبی که شامل اتصالاتی باشد که در آن تیرها از چهار طرف بر دو بال و جان ستون متصل شده باشند (البته ممکن است که فقط بر یک طرف جان باشد) به نام قاب صلب فضایی یا چهارطرفه خوانده می‌شود.

اتصال صلب دو وظیفه اصلی دارد:

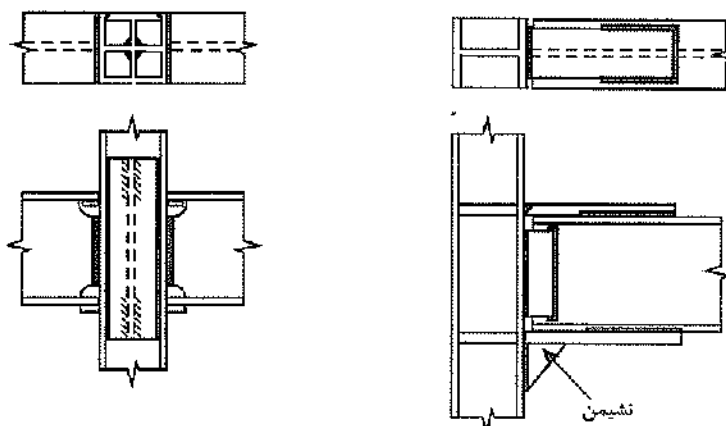
- (۱) انتقال لنگر انتهایی تیر به ستون؛
- (۲) انتقال برش انتهایی تیر به ستون.

در شکل ۱۱-۱۹ الف، دو حالت برای انتقال لنگر انتهایی تیر به ستون نشان داده شده است. در جزئیات سمت چپ بال‌های پایینی و بالایی تیر به طور مستقیم و بدون هیچ واسطه‌ای با جوش شیاری به ستون جوش شده است. اجرای این جزئیات در پای کار مشکل است، زیرا طول تیر باید درست به اندازه فاصله آزاد دو ستون بریده شود که این عمل به راحتی امکان‌پذیر نیست. در جزئیات سمت راست برای اتصال هر دو بال پایینی و بالایی از ورق‌های روسری و زیرسری استفاده شده است.



آذر، ۹۹ (۵۹)

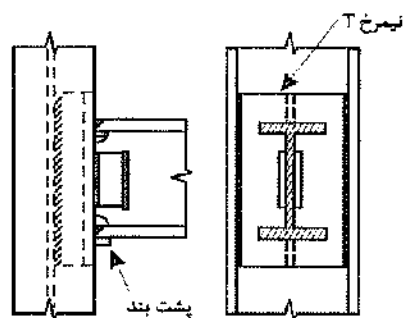
(الف) اتصال مستقیم بال به‌بال توسط جوش شیاری



(ب) سخت‌کننده قائم

(پ) اتصال با ورق روسری و زیرسری

شکل ۱۱ - ۱۷ اتصالات صلب تیر به‌ستون از نوع جوشی که در آنها تیر به‌بال ستون متصل شده است.



شکل ۱۱ - ۱۸ اتصالات صلب تیر به‌ستون از نوع جوشی با

استفاده از نیم‌رخ T برای حالتی که تیر از

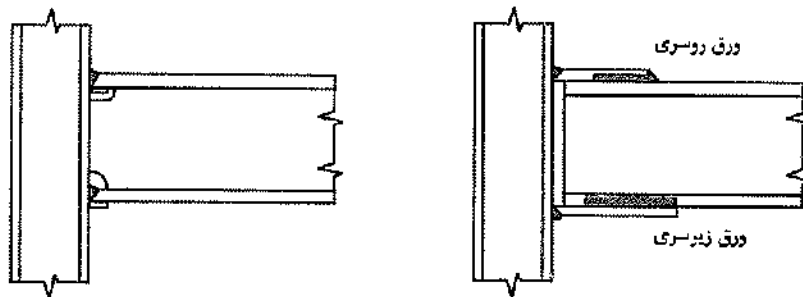
طرف جان ستون متصل شده است.

در شکل ۱۱ - ۱۹، ب، دو حالت برای انتقال برش انتهایی تیر به‌ستون نشان داده شده است. در جزییات

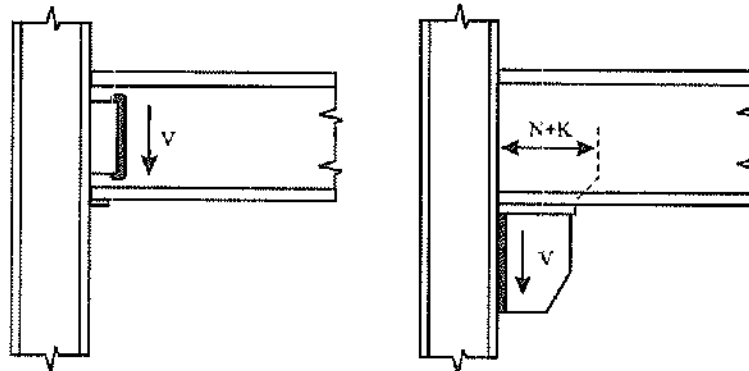
سمت چپ، برش توسط ورق جان و در جزییات سمت راست توسط نبشی نشیمن انتقال یافته است.

تنوع اتصالات صلب تیر به ستون انقدر زیاد است که مشکل بتوان لیست کاملی از آنها تهیه نمود، لیکن اتصالات نشان داده شده در شکل‌های ۱۱ - ۱۷ تا ۱۱ - ۱۹ امروزه به‌نحو گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرند. قسمتی از اغلب اتصالات در کارخانه و یا در روی زمین انجام می‌شود و باقی آن پس از نصب توسط جوش در محل و یا پیچ‌های پرمقاومت تکمیل می‌گردد.

هدف اصلی در طرح اتصال صلب، انتقال نیروهای موجود از طریق اتصال بدون هرگونه تغییر شکل موضعی ناشی از این نیروها می‌باشد.



(الف) انتقال لنگر انتهایی تیر



(ب) انتقال برش انتهایی تیر

شکل ۱۱ - ۱۹

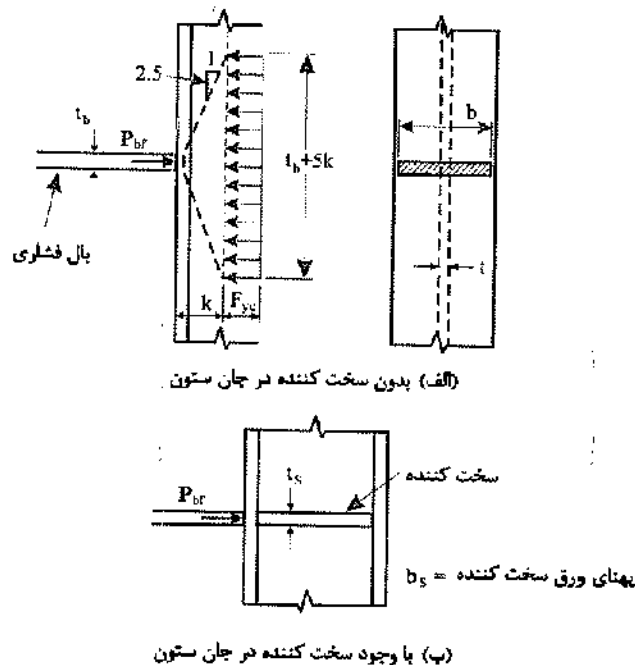
۱۱-۵-۲ سخت‌کننده‌های افقی در ناحیه فشاری اتصال

از آنجایی که در اتصال صلب، نیروهای موجود در بال‌های تیر به‌صورت نیروهای فشاری و کششی وارد بال ستون می‌شوند، ممکن است که احتیاج به سخت‌کننده‌های فشاری و کششی داشته باشیم (شکل ۱۱ - ۱۷ - الف و ب). این سخت‌کننده‌ها در ناحیه‌ای که نیروی بال فشاری می‌باشد، از لهیدگی جان ستون و در ناحیه‌ای که نیروی بال، کششی است، از کنده شدن بال ستون جلوگیری می‌نمایند.

در شکل ۱۱ - ۲۰ - الف، روش آیین‌نامه برای تعیین مقاومت لهیدگی جان ستون در مقابل نیروی فشاری بال تیر نشان داده شده است. در این روش اینطور فرض می‌شود که در مقاومت نهایی جان ستون، نیروی فشاری بال تیر با شیب ۱ به ۲/۵ در جان ستون گسترش می‌یابد تا به‌آغازگردهی اتصال جان به‌بال ستون برسد. اگر فاصله شروع‌گردهی اتصال جان به‌بال را از سطح خارجی بال مساوی K در نظر بگیریم، پهنای گسترش نیروی فشاری مساوی $t_b + 5K$ می‌شود که در آن t_b مساوی ضخامت بال تیر می‌باشد. در حالت نهایی رابطه تعادل نیروها در امتداد افقی به‌صورت زیر در می‌آید:

$$P_{bf} = F_{yc}(t_b + 5K)t \quad (۱۱ - ۲۷)$$

که در آن P_{bf} نیروی نهایی بال فشاری تیر و F_{yc} تنش تسلیم جان ستون می‌باشد. بر پایه فلسفه مقاومت نهایی، اگر خواسته باشیم که تیر در محل اتصال به‌ستون به‌لنگر پلاستیک M_p برسد، مقدار P_{bf} مساوی $F_{yb}A_f$ می‌شود که در آن A_f سطح مقطع و F_{yb} تنش تسلیم بال فشاری می‌باشند.



شکل ۱۱ - ۲۰ مقاومت جان ستون در مقابل بال فشاری تیر.

بر پایه تعریف P_{bf} به‌صورت فوق، حداقل ضخامت لازم برای جان ستون به‌منظور جلوگیری از لهیدگی آن در مقابل بال فشاری تیر، به‌صورت زیر در می‌آید:

$$t \geq \frac{A_f F_{yb}}{(t_b + 5K)F_{yc}} \quad , \quad F_{yb} = F_{yc} \rightarrow t \geq \frac{A_f}{(t_b + 5K)} \quad (۱۱ - ۲۸)$$

در رابطه فوق:

t_b = ضخامت بال فشاری تیر

K = فاصله آغاز گردی اتصال جان به بال ستون تا سطح خارجی بال آن

A_f = سطح مقطع بال فشاری تیر

F_{yb} = تنش تسلیم بال تیر (در طراحی لرزه‌ای باید در ۱/۲۵ ضرب شود تا مقدار مورد انتظار به دست آید).

F_{yc} = تنش تسلیم جان ستون

t = ضخامت جان ستون

علاوه بر جلوگیری از لهیدگی جان ستون، از کمانش قائم جان ستون نیز باید اجتناب شود. طبق مطالعات تئوریک، آیین‌نامه برای جلوگیری از کمانش قائم جان، رابطه زیر را پیشنهاد می‌کند:

$$\frac{d_c}{t} \leq \frac{34500t^2 \sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}} \quad (۱۱ - ۲۹)$$

که در رابطه فوق:

d_c = ارتفاع مقطع ستون به سانتی‌متر

t = ضخامت جان ستون برحسب سانتی‌متر

F_{yc} = تنش تسلیم جان ستون برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

P_{bf} = نیروی فشاری بال تیر در حالت نهایی برحسب کیلوگرم

وقتی که یکی از معادلات ۱۱ - ۲۸ و ۱۱ - ۲۹ برقرار نشود، باید در مقابل بال فشاری تیر سخت‌کننده‌ای تعبیه گردد. در صورتی که ابعاد سخت‌کننده به طرز مناسبی انتخاب شود و سخت‌کننده به‌طور کامل در محل خود جوش شود، سخت‌کننده‌ها می‌توانند نیرویی مساوی $A_{st} F_{yst}$ در حالت نهایی تحمل نمایند که در آن A_{st} و F_{yst} به ترتیب سطح مقطع و تنش تسلیم سخت‌کننده می‌باشند. بنابراین معادلات تعادل نیروها در ناحیه فشاری در امتداد افقی به صورت زیر در می‌آید:

$$P_{bf} = F_{yc}(t_b + 5K)t + A_{st}F_{yst}$$

با حل معادله فوق برای A_{st} به دست می‌آوریم:

$$A_{st} \geq \frac{P_{bf} - F_{yc}(t_b + 5K)t}{F_{yst}} = \frac{A_f F_{yb} - F_{yc}(t_b + 5K)t}{F_{yst}} \quad (۱۱ - ۳۰)$$

که تمام جملات فوق در روابط قبل تعریف شده‌اند.

در کنار رابطه ۱۱ - ۳۰ و یا در مواقعی که مقدار A_{st} از رابطه ۱۱ - ۳۰ منفی به دست می‌آید، آیین‌نامه

روابط تجربی زیر را برای انتخاب ابعاد سخت‌کننده پیشنهاد می‌کند:

۱- پهناي b_s هر سخت‌کننده به‌علاوه $\frac{1}{3}$ ضخامت جان ستون نباید از $\frac{1}{3}$ پهناي b بال فتاری تیر (یا هر ورق اتصالی که نیروی P_{bf} را بر بال ستون وارد می‌آورد)، کمتر باشد (در طرح لرزه‌ای، ضریب $\frac{1}{3}$ به $\frac{1}{4}$ افزایش می‌یابد):

$$b_s + \frac{t}{3} \geq \frac{b}{3} \quad \left(\frac{b}{3} \text{ در طرح لرزه‌ای} \right) \quad (31-11)$$

۲- ضخامت t_s سخت‌کننده نباید از نصف ضخامت بال تیر کمتر باشد و همچنین محدودیت‌های ابعاد قطعات فشاری باید بر آن اعمال شود، به‌طوری که:

$$t_s \geq \frac{t_b}{2} \quad (32-11)$$

$$\frac{b_s}{t_s} < \frac{795}{\sqrt{F_y (\text{kg/cm}^2)}} \quad (33-11)$$

۳- جوشی که سخت‌کننده را به‌جان ستون متصل می‌نماید باید برای نیروی ناشی از ظرفیت کششی سخت‌کننده طراحی شود.

۱۱-۵-۳ سخت‌کننده در ناحیه کششی اتصال

همان‌طور که در شکل ۱۱-۲۱ الف، نشان داده شده است، در اثر نیروی کششی ناشی از بال کششی تیر، بال ستون به‌طرف بیرون کشیده شده و کنده می‌شود. با استفاده از تحلیل براساس تئوری خطوط گسیختگی* برای ورق بالی به‌پهناي q و طول P (شکل ۱۱-۲۱ ب)، ظرفیت باربری نهایی آن در مقابل نیروی کششی بال کششی به‌صورت زیر در می‌آید:

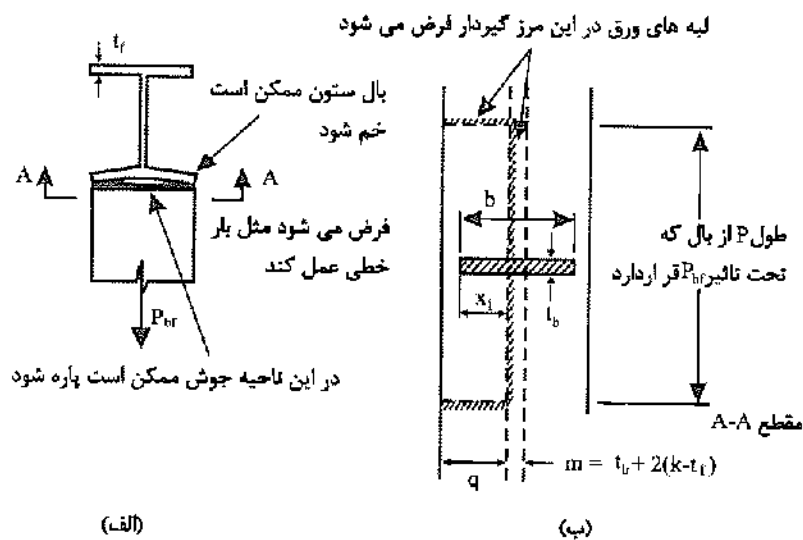
$$P_u = F_{yc} t_f^2 \left[\frac{4/\beta + \beta/\beta_1}{2 - \beta_1/\alpha} \right] \quad (34-11)$$

که در آن t_f ضخامت بال ستون و F_{yc} تنش تسلیم بال ستون می‌باشد. به‌علاوه داریم:

$$\beta = \frac{P}{q}$$

$$\alpha = \frac{x_1}{q}$$

$$\beta_1 = \frac{\beta}{4} \left[\sqrt{\beta^2 + 8\alpha} - \beta \right]$$



شکل ۱۱ - ۲۱ مقاومت بال ستون در ناحیه کششی اتصال.

رابطه ۱۱ - ۳۴ را به طور محافظه کارانه ای می توان به صورت زیر نوشت:

$$P_u = 3.5 F_{yc} t_f^2 \quad (۱۱ - ۳۵)$$

از رابطه فوق به دست می آید:

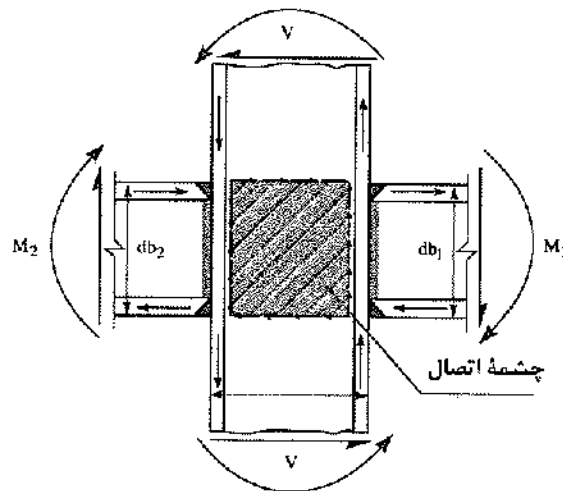
$$t_f \geq 0.4 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}} \rightarrow t_f \geq 0.4 \sqrt{\frac{A_f F_{yb}}{F_{yc}}} \quad (F_{yb} = F_{yc} \Rightarrow t_f \geq 0.4 \sqrt{A_f}) \quad (۱۱ - ۳۶)$$

در صورتی که ضخامت بال ستون نتواند رابطه فوق را اقلان نماید، باید یک جفت سخت کننده در مقابل بال کششی تیر، در ستون تعبیه گردد. (در طرح لرزه ای، F_{yb} باید در ضریب ۱/۲۵ ضرب شود).

در طراحی لرزه ای، توصیه می شود همواره ورق پیوستگی در مقابل بال های کششی و فشاری تیر در جان ستون تعبیه گردد.

چشمه اتصال

چشمه اتصال، ناحیه ای از جان یا جان های ستون است که محصور بین امتداد بال های بالایی و پایینی تیرهای متصل به دو وجه ستون و بال های ستون می باشد.



شکل ۱۱ - ۲۲ ناحیه چشمه اتصال

برش مورد نیاز چشمه اتصال

چشمه اتصال باید توانایی تحمل برش نظیر نیروهای کششی و فشاری در بال‌ها، حاصل از لنگرهای حداکثر ناشی از زلزله در تراز بهره‌برداری را داشته باشد. این برش از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$V_p = \frac{M_1}{d_{b1}} + \frac{M_2}{d_{b2}} - V$$

M_1, M_2 = به ترتیب لنگر انتهایی تیرهای سمت چپ و راست حاصل از بارگذاری قائم و جانبی

V = برش انتهایی ستون فوقانی

d_{b1} و d_{b2} = به ترتیب ارتفاع تیرهای سمت چپ و راست

تنش مجاز برشی چشمه اتصال برابر است با:

$$\text{اگر } \frac{f_a}{F_y} \leq 0.5$$

$$F_v = 0.4F_y \left(1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_{cw}} \right)$$

$$\text{اگر } \frac{f_a}{F_y} > 0.5$$

$$F_v = 0.4F_y \left(1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_{cw}} \right) \left(1.9 - 1.8 \frac{f_a}{F_y} \right)$$

که در آن:

t_{cw} = ضخامت جان (یا جان‌های) ستون، به علاوه ضخامت ورق‌های تقویت چشمه اتصال در صورت وجود

d_b = ارتفاع مقطع تیر (یا فاصله ورق‌های پوششی اتصال بال‌های تیر به ستون)

d_c = ارتفاع مقطع ستون در جهت اثر برش

b_{cf} = عرض بال ستون

t_{cf} = ضخامت بال ستون

f_u = تنش محوری فشاری موجود ستون در اثر بارهای ثقلی

روابط فوق برای ستون‌های با مقطع H شکل است که در آنها نیروی برشی جانبی لرزه‌ای در راستای صفحه جان وارد می‌گردد.

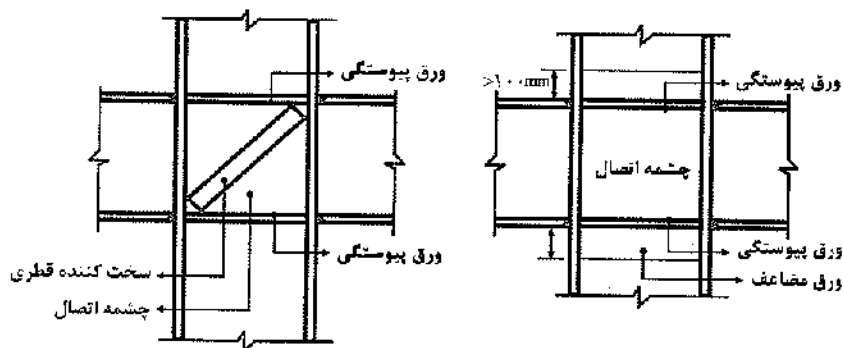
برای ستون‌های با مقطع قوطی شکل، تنش موجود و مجاز برشی با قرار دادن مجموع ضخامت جان‌های ستون و ضخامت ورق‌های تقویت چشمه اتصال، در صورت وجود به‌جای t_{cf} در روابط فوق به‌دست می‌آید. برای ستون‌های با مقطع H که در آنها نیروی برشی جانبی لرزه‌ای عمود بر صفحه جان وارد می‌گردد، تنش موجود با جایگزین کردن t_{cw} با $2t_{cf}$ و تنش مجاز برشی، با حذف جمله $\frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_p d_c t_{cw}}$ از روابط فوق به‌دست می‌آید.

جوش اتصال جان (یا جان‌های) ستون در ناحیه چشمه اتصال به‌بال ستون باید برای نیروی برشی چشمه اتصال طراحی شود. در این مورد طول اتصال جوشی می‌تواند برابر عمق تیر به‌اضافه عمق ستون در بالا و پایین ورق‌های پیوستگی در نظر گرفته شود.

ورق‌های تقویت چشمه اتصال

در صورتی که برش مورد نیاز چشمه اتصال از تنش مجاز برشی چشمه اتصال بیشتر باشد، تعبیه ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) و یا یک جفت سخت‌کننده قطری دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف برش مورد نیاز و تنش مجاز برشی در محدوده چشمه اتصال ضروری است.

ورق‌های تقویت چشمه اتصال به‌منظور کاهش تنش برشی جان (یا جان‌های) ستون و علاوه بر آن در صورتی که با جوش انگشترانه کافی، به‌جان (جان‌های) ستون متصل شوند، برای جلوگیری از ناپایداری جان (یا جان‌های) ستون به‌کار گرفته می‌شوند. این ورق‌ها باید چسبیده به‌جان ستون و یا با فاصله از آن، به‌صورت متقارن نسبت به محور تقارن مقطع ستون - که موازی جهت اثر نیروی برشی می‌باشد - به‌کار روند.



شکل ۱۱ - ۲۳ نمایش سخت‌کننده‌های قطری و ورق مضاعف در چشمه اتصال

پایداری ورق‌های چشمه اتصال

ضخامت هر یک از ورق‌های واقع در چشمه اتصال، شامل جان (یا جان‌های) ستون و ورق‌های تقویت چشمه اتصال، باید رابطه زیر را برآورده نماید:

$$t_z \geq \frac{(d_z + w_z)}{90}$$

که در آن:

t_z = ضخامت جان (یا هر یک از جان‌های) ستون یا هر یک از ورق‌های تقویت چشمه اتصال

d_z = عمق چشمه اتصال که فاصله خالص بین ورق‌های پیوستگی می‌باشد.

w_z = عرض چشمه اتصال که فاصله خالص بین بال‌های ستون می‌باشد.

در صورتی که ورق‌های تقویت چشمه اتصال، با جوش انگشترانه کافی به جان ستون متصل شده باشند، مجموع ضخامت جان ستون و ورق‌های تقویت چشمه اتصال به‌عنوان t_z منظور می‌گردد.

مقررات تکمیلی برای ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) در مقابل نیروهای متمرکز

ورق‌های تقویتی جان (ورق مضاعف) باید شرایط زیر را برآورده نمایند:

۱ - ضخامت ورق مضاعف و ابعاد آن باید جبران کمبود تنش مجاز موجود را بنماید.

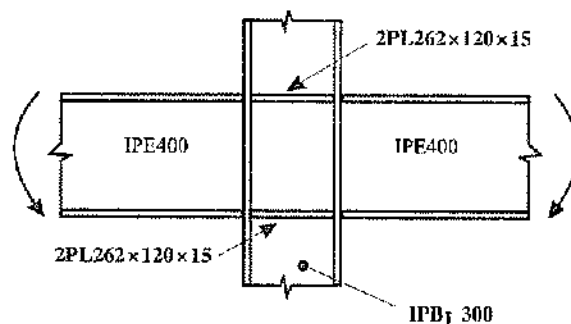
۲ - ورق‌های مضاعف باید به‌بال‌های ستون و ورق‌های پیوستگی بالایی و پایینی متصل گردند و یا مطابق شکل

۱۱ - ۲۳ قبل از ورق پیوستگی به‌اندازه ۱۰۰ میلی‌متر عبور کرده و به‌جان ستون جوش شوند. جوش‌های

فوق برای سهم ورق مضاعف از برش چشمه اتصال طراحی می‌گردند.

مثال ۱۱ - ۶

مطلوب است طراحی اتصال صلب دو تیر IPE400 به‌بال‌های ستونی از نیم‌رخ بال پهن سبک IPB_f300. تنش تسلیم فولاد تیر و ستون ۲۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و تنش تسلیم سخت‌کننده‌های مورد مصرف ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد (شکل ۱۱ - ۲۴).



شکل ۱۱ - ۲۴ مربوط به مثال ۱۱ - ۶

حل:

مشخصات نیمرخ‌های مصرفی برحسب سانتی‌متر:

IPB _L 300	IPE400	
۲۹	۴۰	ارتفاع
۲۰	۱۸	پهنای بال
۱/۴	۱/۳۵	ضخامت بال
۰/۸۵	۰/۸۶	ضخامت جان
۴/۱	۳/۴۵	K

الف) ناحیه فشاری

ناحیه فشاری را برای حداکثر نیروی فشاری بال تیر طراحی می‌نماییم:

$$P_{bf} = A_f F_{yb} = (18)(1.35)(3500)10^{-3} = 85.05 \text{ ton}$$

ضخامت لازم جان ستون برای جلوگیری از لهیدگی (رابطه ۱۱ - ۲۸):

$$t \geq \frac{P_{bf}}{(t_b + 5K)F_{yc}} = \frac{85.05(1000)}{(1.35 + 5(4.1))3500} = 1.11 \text{ cm}$$

ضخامت لازم جان ستون برای جلوگیری از کمانش قائم (رابطه ۱۱ - ۲۹):

$$t \geq 3 \sqrt{\frac{P_{bf} d_c}{34500 \sqrt{F_{yc}}}} = 3 \sqrt{\frac{85.05(10)^3 29}{34500 \sqrt{3500}}} = 1.07 \text{ cm}$$

چون ضخامت جان ستون (مساوی ۰/۸۵ سانتی‌متر) کمتر از ضخامت لازم برای لهیدگی و کمانش می‌باشد، احتیاج به سخت‌کننده‌های فشاری در این ناحیه داریم:

$$A_{st} \geq \frac{P_{bf} - F_{yc}(t_b + 5K)t}{F_{yst}} = \frac{85.05(1000) - 3500(1.35 + 5 \times 4.1)0.85}{2400} = 8.35 \text{ cm}^2$$

با استفاده از رابطه ۱۱ - ۳۱ برای حداقل پهنای سخت‌کننده داریم:

$$b_s + \frac{t}{2} \geq \frac{b}{3}$$

$$b_s + \frac{0.85}{2} \geq \frac{18}{3}$$

$$b_s = 5.57 \text{ cm}$$

پهنای سخت‌کننده را مساوی ۱۲ سانتی‌متر در نظر می‌گیریم.

حداقل ضخامت سخت‌کننده با استفاده از رابطه ۱۱ - ۳۲:

$$\text{حداقل } t_s = \frac{t_b}{2} = \frac{1.35}{2} = 0.675 \text{ cm}$$

ضخامت سخت‌کننده را مساوی ۱۵ میلی‌متر در نظر می‌گیریم.

کنترل حداقل ضخامت برای جلوگیری از کمناش موضعی

برحسب نوع طراحی ممکن است یکی از حالات زیر موجود باشد:

۱. روش تنش‌های مجاز - مقطع غیرفشرده

$$\frac{b_s}{t_s} \leq \frac{795}{\sqrt{F_y}} = \frac{795}{\sqrt{2400}} = 16.2$$

$$t_s \geq \frac{b_s}{16.2} = \frac{12}{16.2} = 0.74 \text{ cm}$$

۲. روش تنش‌های مجاز - مقطع فشرده

$$\frac{b_s}{t_s} \leq \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{2400}} = 11.1$$

$$t_s \geq \frac{b_s}{11.1} = \frac{12}{11.1} = 1.08 \text{ cm}$$

ضخامت انتخابی ۱۵ میلی‌متر جوابگوی هر دو مورد بالا می‌باشد.

$$\text{موجود } A_{st} = 2 \times 12 \times 1.5 = 36 \text{ cm}^2 > 8.35$$

از دو ورق $15 \times 120 \times 262$ میلی‌متر استفاده می‌کنیم.

ب) ناحیه کششی

با استفاده از رابطه ۱۱ - ۳۶ داریم:

$$t_f \geq 0.4 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}} = 0.4 \sqrt{\frac{85.05 \times 10^3}{3500}} = 1.97 \text{ cm}$$

ضخامت بال ستون $1/4$ سانتی‌متر است که از مقدار فوق کمتر می‌باشد. بنابراین در ناحیه کششی نیز احتیاج به سخت‌کننده داریم. با اینکه در ناحیه کششی هیچ‌گونه خطر کمناش موضعی برای سخت‌کننده‌ها وجود ندارد، لیکن باید تمام دستورات آیین‌نامه را که به دنبال رابطه ۱۱ - ۳۰ آورده‌ایم، رعایت نماییم. بنابراین در ناحیه کششی نیز از دو ورق $15 \times 120 \times 262$ میلی‌متر استفاده می‌کنیم.

ب) کنترل چشمه اتصال

جهت کنترل چشمه اتصال نیروی محوری ستون را ۱۵۰ تن فرض می‌کنیم.

کنترل برش در چشمه اتصال (فرض می‌شود که تأثیر تغییر شکل چشمه اتصال در تحلیل سازه منظور نمی‌شود):

$$V_p = 2 \times 0.66 A_f \cdot F_y = 2 \times 0.66 (18 \times 1.35) \times 3500 \times 10^{-3} = 112.3 \text{ ton}$$

محاسبه تنش برشی مجاز F_v (با فرض $f_u / F_y \leq 0.5$):

$$F_v = 0.4 F_y \left[1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_{cw}} \right]$$

$$F_v = 0.4 (3500) \left[1 + \frac{3(30)(1.4)^2}{(40)(29)(0.85)} \right] = 1400(1.18) = 1652 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_a = 1652 \times d_c t_w = 1652 \times 29 \times 0.85 \times 10^{-3} = 40.7 \text{ ton}$$

چون نیروی برشی مؤثر بر اتصال بیش از مقدار محاسبه شده می‌باشد، استفاده از ورق مضاعف و یا سخت‌کننده قطری برای تحمل اختلاف برش موجود و برش مقاوم لازم است.

$$\Delta V = V_p - V_a = 112.3 - 40.7 = 71.6 \text{ ton}$$

تعیین ضخامت ورق مضاعف:

$$\text{ورق مضاعف } h = 29 - 1.4 \times 2 = 26.2 \text{ cm}$$

$$t \times 26.2 \times 0.4 \times 3500 = 71.6 \times 10^3 \Rightarrow t = 1.95 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow t = 20 \text{ mm}$$

(از جمله افزایش مقاومت برشی صرف نظر شده است)

می‌توان از دو ورق مضاعف ۱۰ میلی‌متر در دو طرف جان استفاده نمود.

پایداری ورق‌های چشمه اتصال

حداقل ضخامت هر یک از ورق‌های چشمه اتصال برابر است با:

$$t_z \geq \frac{(d_z + w_z)}{90}$$

$$d_z = \text{عمق چشمه اتصال} = 40 - 2 \times 1.5 = 37 \text{ cm}$$

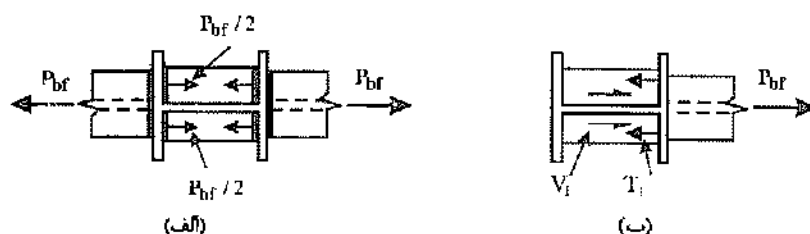
$$w_z = \text{عرض چشمه اتصال} = 30 - 2 \times 4.1 = 21.8 \text{ cm}$$

$$t_z \geq \frac{(37 + 21.8)}{90} = 0.65 \text{ cm}$$

در طرح حاضر ضخامت جان چشمه اتصال شامل جان ستون و ورق مضاعف بیش از مقدار t_z بوده و چشمه اتصال پایدار است.

ت) اتصال ورق‌های سخت‌کننده به ستون

در شکل ۱۱ - ۲۵ نیروهایی که جوش سخت‌کننده‌ها باید برای آنها طرح شوند، نشان داده شده است. وقتی که تیرها از هر دو طرف به بال ستون متصل گردند و نیروهای بال هر دوی آنها نیز P_{bf} باشد، جوش هر دو انتهای ورق سخت‌کننده باید برای انتقال آن قسمت از نیروی P_{bf} که به‌طور مستقیم توسط جان ستون گرفته نمی‌شود، طراحی گردد. در این حالت جوش اتصالی سخت‌کننده به جان ستون هیچ‌گونه نقشی در انتقال نیرو ندارد و جوش حداقل اسمی برای آن کافی می‌باشد.



شکل ۱۱ - ۲۵ نیروهای لازم برای طراحی جوش سخت‌کننده‌ها.

ث) تعیین اندازه جوش دو انتهای سخت‌کننده

یک راه منطقی برای تعیین جوش این است که مقاومت جوش برابر مقاومت ورق شود. با استفاده از تنش‌های مجاز آیین‌نامه داریم:

$$0.6F_y t_s = 2(650)D$$

D اندازه ساق جوش می‌باشد.

$$0.6(2400)1.2 = 2(650)D$$

$$D = 1.33 \text{ cm}$$

D را مساوی ۱۵ میلی‌متر در نظر می‌گیریم. می‌توان از جوش شیاری تمام نفوذی نیز استفاده نمود. حداقل D نیز ۶ میلی‌متر می‌باشد که از آن در امتداد اتصال سخت‌کننده به جان استفاده می‌نماییم. وقتی که تیر فقط از یک طرف به ستون متصل می‌شود، مثل شکل ۱۱ - ۲۵ - ب، در جوش اتصالی سخت‌کننده به جان ستون، نیروی برشی V_i تولید می‌شود که مساوی نیروی کششی T_i می‌باشد.

۱۱ - ۵ - ۴ استفاده از سخت‌کننده‌های قائم و سخت‌کننده‌های T

گاهی مواقع لازم می‌گردد که در اتصالات صلب تیر به ستون همانند شکل ۱۱ - ۱۸، از ورق قائم و یا نیم‌رخ T استفاده نماییم. این کار بخصوص در سیستم‌های چهارطرفه که در آن تیرها به جان ستون متصل می‌شوند، بسیار مفید خواهد بود. تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که یک سخت‌کننده قائم که به‌لبه‌های بال ستون جوش شده است، به‌اندازه نصف جان مؤثر است.

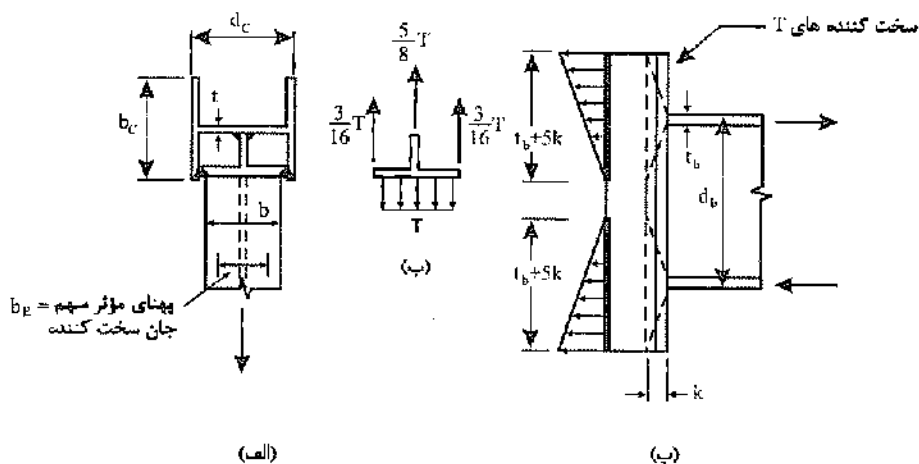
بنابراین با فرض دو سخت‌کننده قائم (هر یک در یکی از لبه‌های بال) که هر یک به اندازه نصف ظرفیت جان (رابطه ۱۱ - ۲۷)، دارای ظرفیت باربری می‌باشند، رابطه‌ای معادل رابطه ۱۱ - ۲۷ برای این حالت به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P_{bf} = F_{yc}(t_b + 5K)t + 2\left(\frac{F_{yst}}{2}\right)(t_b + 5K)t_s \quad (۱۱ - ۳۷)$$

که از حل آن برای ضخامت سخت‌کننده t_s به دست می‌آوریم:

$$t_s \geq \frac{P_{bf}}{(t_b + 5K)F_{yst}} - t \frac{F_{yc}}{F_{yst}} \quad (۱۱ - ۳۸)$$

اگر سخت‌کننده قائم فقط یک ورق باشد، کمانش کلی آن باید توسط رابطه ۱۱ - ۲۹ کنترل گردد. وقتی که از نیمرخ‌های T استفاده می‌نماییم، اتصال ساق آن به جان ستون از کمانش کلی آن جلوگیری می‌کند. برای طراحی سخت‌کننده‌های T و اتصال آن وقتی که تیری به آن متصل می‌شود، همانند شکل ۱۱ - ۱۸، نکات مخصوصی را باید در نظر گرفت. اگر پهنای بال تیر مساوی پهنای سخت‌کننده T باشد، عمل آن مطابق شکل ۱۱ - ۲۶ - الف، خواهد بود. برای تحلیل، نیروی کششی ناشی از بال را به صورت بار گسترده یکنواختی در روی سخت‌کننده در نظر می‌گیریم که خود سخت‌کننده نیز به صورت تیر یکسره دو دهانه عمل می‌نماید (شکل ۱۱ - ۲۶ - ب). در این تیر یکسره $\frac{5}{8}T$ نیروی T به تکیه‌گاه وسطی و $\frac{3}{16}T$ آن به دو تکیه‌گاه کناری منتقل می‌شود. بلاغت^۵ پیشنهاد می‌کند که وقتی پهنای تیر به اندازه پهنای سخت‌کننده T می‌باشد، می‌توان فرض نمود که پهنای مؤثر بال b_E (شکل ۱۱ - ۲۶ - الف) که نیروی خود را به جان سخت‌کننده می‌دهد، $\frac{3}{4}$ پهنای بال تیر می‌باشد.



شکل ۱۱ - ۲۶ سخت‌کننده T.

وقتی که پهنای بال تیر تقریباً مساوی پهنای بال سخت‌کننده T باشد، روش طرح این‌گونه اتصالات را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

۱- ضخامت جان سخت‌کننده T باید رابطه ۱۱ - ۲۸ را اقلان نماید، یعنی:

$$t_w \geq \frac{0.75P_{bf}}{(t_b + 5K)F_{yst}} \quad (۱۱ - ۳۹)$$

که در آن:

$0.75P_{bf}$ = سهمی از نیروی بال تیر (که ضریب بار در آن اعمال شده است) که وارد جان سخت‌کننده می‌شود.

K = فاصله ریشه اتصال بال به جان تا سطح خارجی بال در سخت‌کننده T

t_b = ضخامت بال تیر

۲- ضخامت بال سخت‌کننده T یعنی t_b باید قادر به حمل نیروی کششی بال بدون هرگونه تغییرشکل بیش از حد باشد، بنابراین رابطه ۱۱ - ۳۶ باید اقلان شود. البته این رابطه در این مورد مقداری محافظه‌کارانه است، زیرا رابطه مزبور در اصل برای شرایط آزاد لبه‌های بال تنظیم شده است، در حالی که در حالت اخیر لبه‌های بال جوش شده است. همانند بند ۱ با استفاده از $0.75 P_{bf}$ به‌دست می‌آوریم:

$$t_s \geq 0.4 \sqrt{\frac{0.75P_{bf}}{F_{yst}}} = 0.35 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yst}}} \quad (۱۱ - ۴۰)$$

۳- پهنای بال سخت‌کننده T یعنی d_s باید فاصله تودلی بین بال‌های ستون را کاملاً بزر نماید.

که در آن:

d_c = ارتفاع کل نیمرخ ستون

t_f = ضخامت بال نیمرخ ستون

$$b_s = d_c - 2t_f$$

(۱ - ۴۱ - الف)

۴- ارتفاع نیمرخ سخت‌کننده T یعنی d_s باید آنقدر باشد تا سطح خارجی بال سخت‌کننده، همباد لبه‌های

ستون قرار گیرد:

$$d_s = \frac{b_c - t}{2}$$

(۱ - ۴۱ - ب)

که در آن:

b_c = پهنای بال ستون

t_f = ضخامت جان ستون

وقتی که پهنای بال تیر به‌طور محسوسی کمتر از پهنای بال سخت‌کننده T باشد (حدود ۲ تا ۴ سانتی‌متر)، در

روابط ۱۱ - ۳۹ و ۱۱ - ۴۰ به‌جای $0.75P_{bf}$ از P_{bf} استفاده می‌نماییم.

در محاسبه جوش‌های سخت‌کننده در حالتی که پهنای بال تیر تقریباً مساوی پهنای بال سخت‌کننده می‌باشد، جوشی که جان سخت‌کننده را به جان ستون متصل می‌نماید (دو قطعه جوش در بالا و پایین که هرکدام دارای دو رشته جوش گوشه می‌باشد) باید قادر به حمل لنگر خمشی ناشی از $0.75P_{bf}$ باشد. جوش‌هایی که لبه بال سخت‌کننده را به لبه بال ستون متصل می‌نمایند، پیشنهاد می‌شود که برای $\frac{1}{3}$ نیروی بال تیر طراحی شوند ($\frac{1}{3}$ ، مقداری بزرگتر از $\frac{3}{16}$ می‌باشد که در شکل ۱۱ - ۲۶ - ب نشان داده شده است).

مثال ۱۱ - ۷

مطلوب است طراحی اتصال صلب تیر به ستون با استفاده از سخت‌کننده T از نوعی که در شکل ۱۱ - ۲۶ نشان داده شده است. تیر از نیمرخ $IPB240$ و ستون از نیمرخ $IPB300$ می‌باشد. فولاد تیر و ستون از نوع $ST37$ با تنش تسلیم 2400 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشند.

حل:

مشخصات، $IPB240$ و $IPB300$ به شرح زیر است (ابعاد بر حسب سانتی‌متر):

K	ضخامت جان	ضخامت بال	پهنای بال	ارتفاع	
۲/۸	۱/۰	۱/۷	۲۴	۲۴	$IPB240$
۴/۶	۱/۱	۱/۹	۳۰	۳۰	$IPB300$

چون پهنای بال تیر (24 سانتی‌متر)، تقریباً مساوی فاصله تودلی بین بال‌های ستون ($26.2 = 1.9 \times 2 - 30$) است، روابط ۱۱ - ۳۹ و ۱۱ - ۴۰ قابل استفاده می‌باشند.

الف) تعیین ضخامت جان سخت‌کننده برای جلوگیری از لهیدگی جان

حداکثر نیروی بال P_{bf} برابر است با:

$$P_{bf} = A_f F_y = (24)(1.7)2400(10^{-3}) = 97.92 \text{ ton}$$

با استفاده از رابطه ۱۱ - ۳۹ و تخمین $K=2/6$ cm برای سخت‌کننده:

$$t_w \text{ لازم} = \frac{0.75P_{bf}}{(t_b + 5K)F_{yST}} = \frac{0.75(97.92)(1000)}{(1.7 + 5(2.6))2400} = 2.08 \text{ cm}$$

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

ب) تعیین ضخامت بال سخت‌کننده به منظور جلوگیری از تغییر شکل آن در مقابل نیروهای کششی با استفاده از رابطه ۱۱ - ۴۰ داریم:

$$t_s = 0.35 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yst}}} = 0.35 \sqrt{\frac{97.92(10^3)}{2400}} = 2.24 \text{ cm}$$

ب) تعیین نیمرخ مناسب T

$$\text{حداکثر } b_s = d_c - 2t_f = 30 - 2(1.9) = 26.2 \text{ cm}$$

$$\text{حداکثر } d_s = 0.5(30 - 1.1) = 14.45 \text{ cm}$$

نیمرخ T مورد نظر را با برش یک نیمرخ IPB۲۶۰ به دست می‌آوریم:

$$\text{ضخامت بال} = t_s = 2.25 \text{ cm}$$

$$\text{ضخامت جان} = t_w = 1.25 \text{ cm}$$

$$K = 4.95 \text{ cm}$$

کنترل ضخامت جان:

$$t_w = \frac{0.75(97.92)(1000)}{(1.7 + 5(4.95))2400} = 1.16 \text{ cm} < 1.25$$

ت) جوش جان سخت‌کننده

با مراجعه به شکل ۱۱ - ۲۴ - پ، طول لازم سخت‌کننده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{طول لازم} = d_h + 5K = 24 + 5(4.95) = 48.75 \text{ cm}$$

طول سخت‌کننده را مساوی ۶۰ سانتی‌متر فرض می‌نماییم.

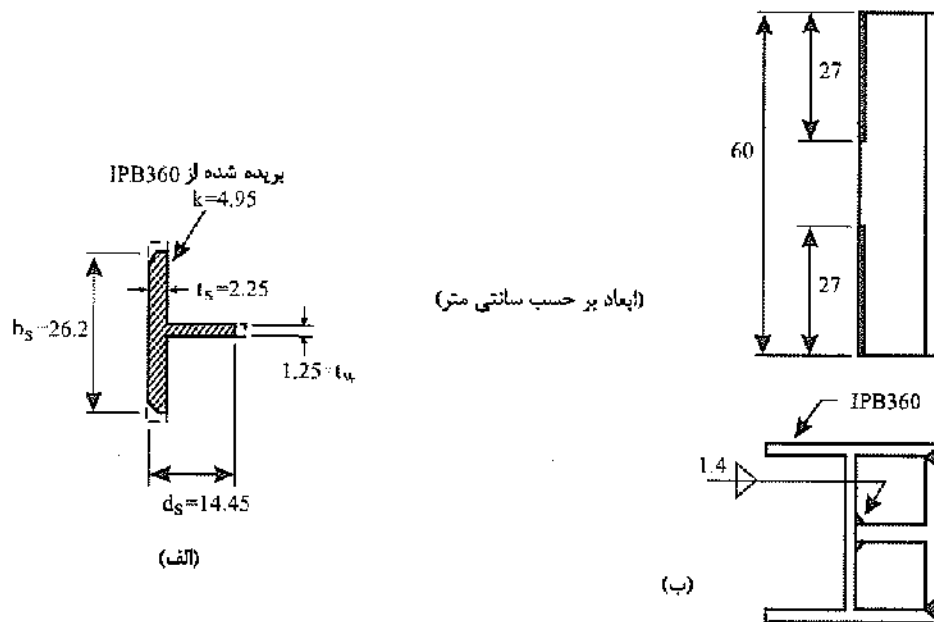
طول جوش در بالا و پایین:

$$t_h + 5K = 1.7 + 5(4.95) = 26.45 \text{ cm}$$

طول جوش را در هر طرف مساوی ۲۷ سانتی‌متر در نظر می‌گیریم.

فرض می‌شود که ۷۵ درصد لنگر خمشی تیر به جان سخت‌کننده انتقال پیدا می‌کند.

$$0.75M = 0.75 F_b S = 0.75(1400)(938)(10^{-5}) = 9.85 \text{ ton.m}$$



شکل ۱۱ - ۲۷ مشخصات هندسی نیمرخ T.

محاسبه اساس مقطع جوش (با فرض پهنای واحد):

$$S = 2 \left(\frac{1}{30} \right) \left[\frac{60^3}{12} - \frac{6^3}{12} \right] = 1199 \text{ cm}^3 / \text{cm}$$

$$R_w = \frac{9.85(10^5)}{1199} = 822 \text{ kg/cm}^2 \text{ موجود}$$

$$\text{ارزش مجاز جوش} = 650D$$

$$650 D = 822$$

$$D = 1.26 \text{ cm}$$

از جوش گوشه ۱۴ میلی‌متر در هر طرف استفاده می‌کنیم.
کنترل تنش خمشی در جان سخت‌کننده:

$$f = \frac{M}{S}$$

$$S = 1.25 \frac{60^2}{6} = 750 \text{ cm}^3$$

$$f = \frac{9.85(10^5)}{750} = 1313 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$$

ث) جوش لبه‌های سخت‌کننده

به‌طور محافظه‌کارانه فرض می‌کنیم که جوش لبه‌های سخت‌کننده T به لبه‌های ستون، $\frac{1}{4}$ نیروی بال را حمل می‌کند (شکل‌های ۱۱ - ۲۶ - الف و ب). همان‌طور که در شکل ۱۱ - ۲۸ نشان داده شده است، می‌توان فرض نمود که نیروی متمرکز بال در فاصله‌ای برابر با $t_b + 5t_s$ توزیع شده است. با فرض اینکه بال تا تنش ۱۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بارگذاری شده است، نیروی کششی (شکل ۱۱-۲۸) برابر است با:

$$T = F \cdot t_b \cdot \left(\frac{b}{3}\right) = 1400(1.7) \left(\frac{24}{3}\right) 10^{-3} = 19.04 \text{ ton}$$

$$t_b + 5t_s = 1.7 + 5(2.25) = 12.95 \text{ cm}$$

$$\text{نیروی وارد بر واحد طول جوش} = \frac{19.04(10^3)}{12.95} = 1470 \text{ kg/cm}$$

اگر بخواهیم از جوش شیاری با نفوذ نسبی استفاده نماییم، ضخامت مؤثر گلو برابر است با:

$$900 \text{ kg/cm}^2 = \text{تنش برشی مجاز در جوش شیاری}$$

$$t_e = \frac{1470}{900} = 1.63 \text{ cm}$$

از جوش شیاری نیم‌جناغی (V) با ضخامت گلوی ۱۸ میلی‌متر استفاده می‌کنیم. اگر از جوش شیاری با نفوذ کامل استفاده نماییم، نیاز به محاسبه نداریم.

ج) اثر نیروی برشی تیر

معمولاً طول جوش سخت‌کننده به ستون آنقدر زیاد است که بتوان از ظرفیت اضافی لازم برای حمل نیروی برشی انتهایی مطمئن شد.

$$\text{حداکثر ظرفیت برشی مجاز IPB240} = 24(1)(960)(10^{-3}) = 23.04 \text{ ton}$$

البته امکان اینکه از حداکثر ظرفیت خمشی و برشی به‌طور همزمان استفاده شود، بسیار بعید به نظر می‌رسد. بنابراین نیروی برشی وارد بر اتصال را در حدود ۱۵ تن در نظر می‌گیریم.

طول جوش شیاری در بال + طول جوش گوشه در جان = طول کل جوش موجود

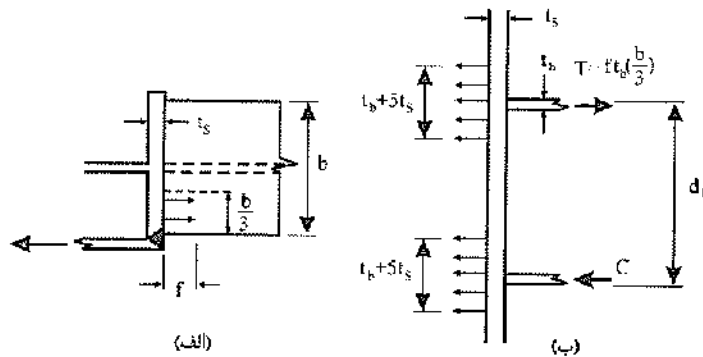
$$= 4(25) + 2(60) = 220 \text{ cm}$$

$$\text{ظرفیت لازم جوش} = \frac{15(1000)}{220} = 68.2 \text{ kg/cm}$$

$$\text{افزایش اندازه ساق جوش گوشه} = \frac{68.2}{650} = 0.1 \text{ cm}$$

$$\text{افزایش گلوی جوش شیاری} = \frac{68.2}{900} = 0.08 \text{ cm}$$

با توجه به اندازه‌های انتخابی که بزرگتر از اندازه‌های محاسبه شده در نظر گرفته شده‌اند، لزومی به تصحیح اندازه جوش نداریم. البته لازم به تذکر است که تنش‌های ناشی از خمش و برش با هم زاویه ۹۰ درجه می‌سازند و جمع جبری انجام شده در فوق همیته از جمع برداری محافظه کارانه‌تر می‌باشد.



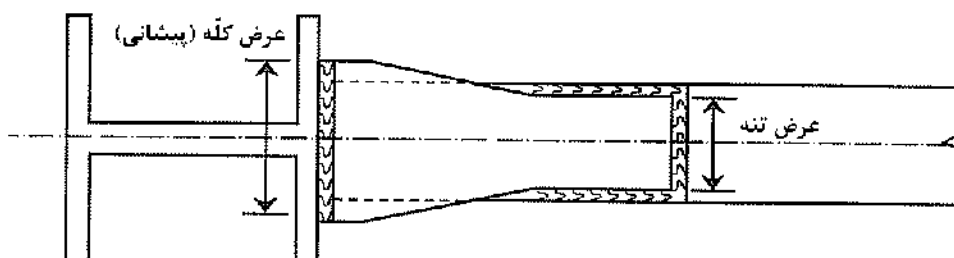
شکل ۱۱ - ۲۸ گسترش نیروی متمرکز بال در جوش سخت کننده.

۱۱-۵-۵ ورق‌های روسری و زیرسری

یک وسیله ساده برای انتقال لنگر از تیر به ستون استفاده از ورق کششی در بالای تیر (ورق روسری) و ورق فشاری در پایین تیر (ورق زیرسری) می‌باشد. (شکل‌های ۱۱-۱۷ و ۱۱-۱۹).

ورق روسری

اگر جوش شیاری اتصال دهنده ورق کششی به ستون بدون انجام آزمایش غیرمخرب در نظر گرفته شود، تنش کششی مجاز آن ۱۱۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باید در نظر گرفته شود که از تنش کششی مجاز ورق کمتر است. در این موارد لازم است که پهنای ورق در ناحیه جوش بزرگتر انتخاب شود که در این صورت ورق به شکل ۱۱-۲۹ (کله گاوی) در می‌آید.



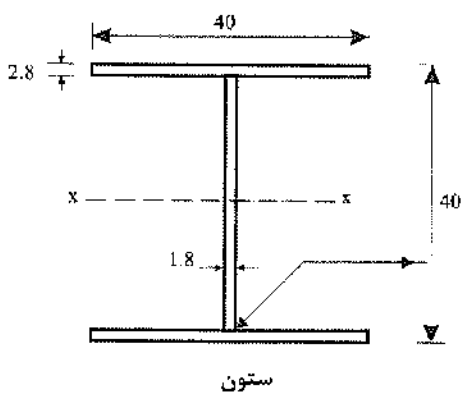
شکل ۱۱ - ۲۹ ورق روسری کله گاوی.

مثال ۱۱ - ۸

مطابق شکل ۱۱ - ۳۱ طراحی اتصال صلب یک تیر ورق به ستون ساخته شده از ورق مورد نظر می‌باشد. از ضوابط مبحث دهم و الکتروود E60 (با $F_u = 4200 \text{ kg/cm}^2$) و $\phi = 0.75$ و فولاد S137 با تنش تسلیم $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ استفاده نمایید.

ترکیب بار	برش (تن)	لنگر (تن. متر)
DL	۱۰	۱۴/۰
LL	۳/۸	۷/۰
DL+LL	۱۳/۸	۲۱/۰
EQ	۱۱/۲	۳۲/۳۳
DL+LL+EQ	۲۵	۵۳/۳۳
۰/۷۵ (DL+LL+EQ)	۱۸/۷۵	۴۰/۰

حاکم



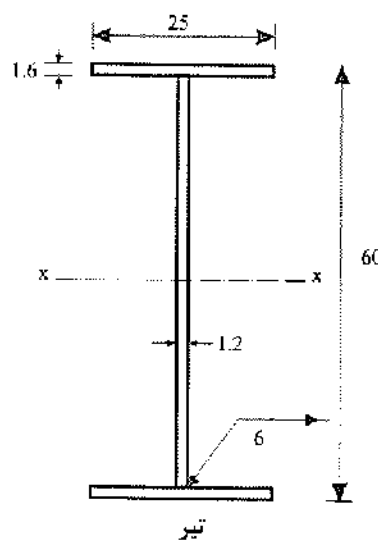
$$C_t = C_b = 20 \text{ cm}$$

$$A = 285.92 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 83747.52 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 17.1 \text{ cm}$$

$$S_t = S_b = 4187.38 \text{ cm}^3$$



$$C_t = C_b = 30 \text{ cm}$$

$$A = 148.16 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 86553.31 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 24.17 \text{ cm}$$

$$S_t = S_b = 2885.1 \text{ cm}^3$$

شکل ۱۱ - ۳۰

حل:

طراحی ورق‌های فوقانی و تحتانی (روبروی و زیرروی)

$$T = \frac{40}{0.6} = 66.67 \text{ ton} = \text{نیروی کششی ورق}$$

$$\text{تنش کششی مجاز ورق} = 0.6 \times 2400 = 1440 \text{ kg/cm}^2$$

جوش شیاری اتصال‌دهنده ورق فوق به ستون در کارگاه تحت نظر بازرسی‌های چشمی انجام می‌شود. لذا مقدار ϕ برای آن مساوی ۰/۷۵ اختیاری می‌شود.

$$\text{تنش کششی مجاز جوش شیاری} = 0.75 \times 1440 = 1080 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{عرض ورق فوقانی} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{ضخامت ورق فوقانی} = \frac{66.67 \times 10^3}{1440 \times 20} = 2.3 \text{ cm}$$

$$\text{عرض پیشانی} = \frac{1440}{1080} \times 20 = 26.7 \Rightarrow 30 \text{ cm}$$

بنابراین برای ورق فوقانی از ورق 25×200 میلی‌متر استفاده می‌شود.

$$\text{عرض ورق تحتانی} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{ضخامت ورق تحتانی} = \frac{66.67 \times 10^3}{1440 \times 30} = 1.54 \text{ cm}$$

از ورق 15×200 میلی‌متر استفاده می‌شود.

جوش گوشه اتصال‌دهنده ورق فوقانی

$$D = 15 \text{ mm}$$

$$\text{ارزش جوش} = (0.3 \times 4200) \times 0.75 \times \cos 45^\circ D \approx 650D$$

$$\text{طول جوش لازم} = \frac{66.67 \times 10^3}{650 \times 1.5} \approx 68 \text{ cm}$$

جوش گوشه اتصال‌دهنده ورق تحتانی

$$D = 15 \text{ mm}$$

$$\text{طول جوش لازم} = 68 \text{ cm}$$

$$\text{طول جوش لازم در هر طرف} = \frac{68}{2} + 2D = 34 + 2 \times 1.5 = 37 \text{ cm}$$

طراحی ورق برشگیر جان به منظور انتقال برش*

$$V = 18.75 \text{ ton}$$

برای اتصال برشی جان از ورق $530 \times 120 \times 12$ میلی‌متر استفاده می‌شود:

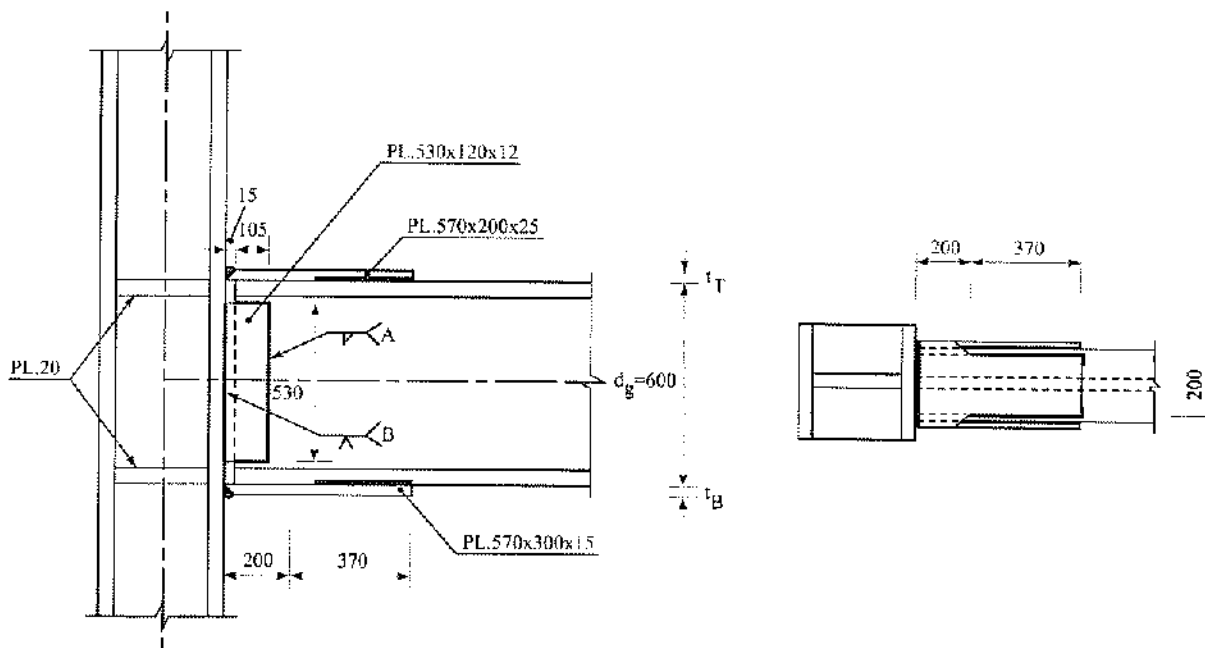
$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$A = D_{\max} = \text{حداکثر ضخامت مؤثر جوش}$$

$$650 \times D_{\max} = 0.4 \times 2400 \times 1.2$$

$$D_{\max} = 1.77 \text{ cm}$$

$$D = 10 \text{ mm} \quad \text{انتخاب می‌شود.}$$



شکل ۱۱ - ۳۱

کنترل جوش A:

$$I_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$$

$$\bar{X} = \frac{b^2}{2b+d}$$

$$b = 10.5 \text{ cm}, \quad d = 53 \text{ cm}$$

$$I_p = \frac{8 \times 10.5^3 + 6 \times 10.5 \times 53^2 + 53^3}{12} - \frac{10.5^4}{2 \times 10.5 + 53} = 27761 \text{ cm}^3$$

$$\bar{x} = \frac{10.5^2}{2(10.5) + 53} = 1.49 \text{ cm}$$

$$e_1 = 12 - 1.49 = 10.51 \text{ cm}$$

* به توضیح آخر مسئله رجوع کنید.

$$P = \text{برش مستقیم}$$

$$Pc_1 = 10.51 P$$

$$f'_y = \frac{P}{(2 \times 10.5 + 53)} = 0.0135 P \text{ kg/cm}$$

$$f''_y = \frac{T.X}{I_p} = \frac{10.51P(10.5 - 1.49)}{27761} = 0.0034 P \text{ kg/cm}$$

$$f''_x = \frac{T.y}{I_p} = \frac{10.51P(26.5)}{27761} = 0.01 P \text{ kg/cm}$$

$$f_r = P \sqrt{(0.0135 + 0.0034)^2 + (0.01)^2} = 0.0196 P \text{ kg/cm}$$

$$650D = 0.0196 P \rightarrow 650 \times 1 = 0.0196 P \text{ kg/cm}$$

$$P = 33.16 > 18.75 \text{ ton (ظرفیت جوش A)}$$

کنترل جوش B:

$$f_r = \frac{P}{2I^2} \sqrt{L^2 + 36e_f^2}$$

$$f_r = \frac{18.75 \times 10^3}{53^2} \sqrt{53^2 + 36 \times 10.51^2} = 550 \text{ kg/cm}$$

$$650D_b = 550$$

$$D_b = 0.85 \text{ cm}$$

$$D_b = 10 \text{ mm} \quad \text{انتخاب می شود}$$

این جوش بهتر است به صورت شیاری انجام شود.

طراحی سخت کننده های ستون در ناحیه اتصال (ورق های پیوستگی)

کنترل ضخامت بال ستون در مقابل نیروی کششی

$$P_{bf} = A_f F_y = (25 \times 1.6) \times 2.4 = 96 \text{ ton} \quad (\text{حاکم است})$$

$$\frac{\text{عرض بال تیر}}{\text{عرض بال ستون}} = \frac{25}{40} = 0.63 > 0.15$$

$$t_f = 0.4 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}} = 0.4 \sqrt{\frac{96 \times 10^3}{2400}} = 2.53 \text{ cm}$$

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

که این مقدار در حدود ضخامت بال ستون یعنی ۲/۸ سانتی‌متر است. از لحاظ نظری احتیاجی به تقویت‌کننده در مقابل بال کششی نیست، لیکن قرار دادن آن همواره توصیه می‌شود.

کنترل تسلیم موضعی جان ستون (رابطه ۱۱ - ۲۸)

$$\frac{R}{t_w (N + 5K)} = \frac{66.67 \times 10^3}{1.80(2 + 5 \times 2.8)} = 2314.9 \text{ kg/cm}^2 > 0.66 \times 2400 = 1584 \text{ kg/cm}^2$$

احتیاج به ورق سخت‌کننده می‌باشد.

کنترل لهیدگی در جان ستون

$$R = 566 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{F_{yw} \frac{t_f}{t_w}}$$

$$R = 566 \times 1.8^2 \left[1 + 3 \left(\frac{2}{40} \right) \left(\frac{1.8}{2.8} \right)^{1.5} \right] \sqrt{2400 \times \frac{2.8}{1.8}} \times 10^{-3}$$

$$R = 120.71 \text{ ton} > 66.67 \text{ ton}$$

کنترل کماتش فشاری جان (رابطه ۱۱ - ۲۹)

$$h_{l \max} = \frac{34.5 \times 10^3 t_{wc}^3 \sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}}$$

$$h_{l \max} = \frac{34.5 \times 10^3 \times 1.8^3 \sqrt{2400}}{96 \times 10^3} = 102.68 \text{ cm} \gg 34.4 \text{ cm}$$

سطح مقطع ورق سخت‌کننده در مقابل بال فشاری (رابطه ۱۱ - ۳۰)

$$A_{st} = \frac{P_{bf} - F_{yc} t_{wc} (t_b + 5K)}{F_{yst}}$$

$$A_{st} = \frac{96 \times 10^3 - 2400 \times 1.8(2 + 5 \times 2.8)}{2400} = 11.2 \text{ cm}^2$$

از دو ورق ۱۸۰×۲۰ میلی‌متر در ارتفاع کامل جان ستون در مقابل بال فشاری (و همچنین بال کششی تیر) استفاده شود.

توضیح در مورد نیروی برشی طرح

در قاب‌ها با شکل‌پذیری زیاد، به‌منظور دستیابی به مقاومت خمشی کامل اتصال، آیین‌نامه‌های زلزله توصیه می‌کنند که نیروی نهایی برشی طرح اتصال از رابطه زیر به‌دست آید:

$$V_D = V_{(D+L)} + \frac{2M}{L} \quad (۴۲ - ۱۱)$$

که در آن:

M = ظرفیت خمشی مجاز تیر مساری $0.66SF_y$

L = طول دهانه

V_E = برش ناشی از نیروهای زلزله

$V_{(D+L)}$ = برش ناشی از بار مرده و زنده

مقاومت برشی چشمه اتصال

$$V_p = 0.4F_y d_c t \left[1 + \frac{3b_c t_{cf}^2}{d_b d_c t} \right]$$

(برحسب سانتی‌متر) $t = 1.8$ $d_b = 60$ $d_c = 40$ $b_c = 40$ $t_{cf} = 2.8$

$$V_p = 0.4 \times 2400 \times 40 \times 1.8 \left[1 + \frac{3 \times 40 \times 2.8^2}{60 \times 40 \times 1.8} \right] \times 10^{-3} = 69.12 \times 1.218 = 84.19 \text{ ton}$$

$$\text{نیروی برشی موجود} = 2 \times 0.6 \times 2400 (1.6 \times 25) \times 10^{-3} = 115.2 \text{ ton}$$

$$\Delta V = 115.2 - 84.19 = 31 \text{ ton}$$

محاسبات نشان می‌دهد که ضخامت جان ستون در چشمه اتصال کم است و باید افزایش یابد. ضخامت ورق

تقویتی مضاعف برابر است با:

$$t(40 - 2 \times 2.8) 0.4 \times 2400 = 31 \times 10^3 \Rightarrow t = 0.94 \text{ cm} \rightarrow t = 10 \text{ mm}$$

۱۱ - ۵ - ۶ مفاهیم طرح لرزه‌ای اتصالات صلب

قاب‌های خمشی که برای تحمل بار جانبی زلزله به‌کار گرفته می‌شوند باید طوری طراحی شوند که اعضا و اتصالات آنها بتوانند شکل‌پذیری لازم را در سیستم باربر جانبی تأمین نمایند. این قاب‌ها بر حسب شکل‌پذیری مورد انتظار از آنها، ویژه، متوسط و کم، باید الزامات مندرج در آیین‌نامه سازه‌های فولادی (مبحث دهم) را ارضا نمایند.

قاب خمشی فولادی ویژه

قاب خمشی ویژه، به قابی اطلاق می‌شود که در برابر نیروی جانبی زلزله بتواند تغییر شکل‌های فرار تجمعی قابل ملاحظه‌ای تحمل کند. در طراحی این قاب‌ها سعی بر آن است که در یک یا دو انتهای تیر، خارج از محدوده اتصال تیر به ستون، مفصل‌های پلاستیک تشکیل شده و ظرفیت دورانی آنها به حدی باشد که دوران نظیر تغییر مکان جانبی نسبی طبقه در سازه حداقل به $0/04$ رادیان برسد که حدود $0/03$ رادیان آن در ناحیه فرار تجمعی باشد. در طراحی اعضا و اتصالات قاب‌های خمشی ویژه باید علاوه بر ضوابط عمومی، الزامات خاص طراحی رعایت شوند. در این بخش خلاصه‌ای از این ضوابط ارائه می‌گردد.

تیرها در قاب‌های خمشی ویژه

تیرها در این قاب‌ها نقش اصلی تأمین شکل‌پذیری لازم را از طریق ایجاد مفصل پلاستیک در نزدیکی دو انتهای خود ایفا می‌نمایند. برای دستیابی به این عملکرد، تیرها باید شرایط زیر را برآورده نمایند:

الف - مقاطع تیرها باید از نوع فشرده لرنه‌ای در نظر گرفته شوند.

ب - محل تشکیل مفصل پلاستیک در دو انتهای تیرها باید در فاصله‌ای به اندازه $0/5d$ تا $1/0d$ از بر ستون در نظر گرفته شود.

پ - در دو انتهای تیر، فاصله بین بر ستون تا $0/5d$ از محل مفصل پلاستیک به سمت داخل دهانه، ناحیه بحرانی تلقی می‌شود.

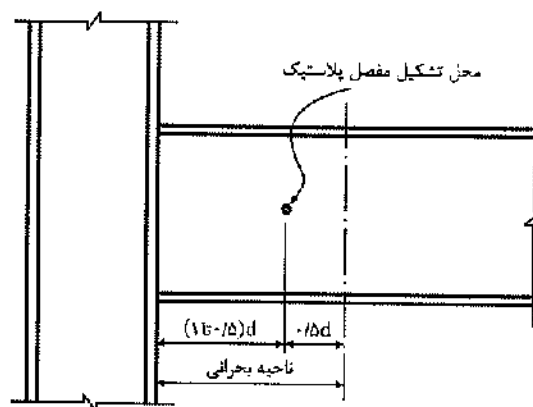
ناحیه بحرانی در یک عضو از سازه، عمدتاً در تیرها، به ناحیه‌ای عنوان می‌شود که انتظار می‌رود در آن مفصل پلاستیک تشکیل شود. نظر به اهمیت این ناحیه و رفتار حساس آن در حرکات رفت و برگشتی سازه، این محل باید عاری از هرگونه عملیاتی که در رفتار آن اثر ناخواسته ایجاد کند، باشد. در این ناحیه ضوابط ویژه زیر باید رعایت شوند:

- هرگونه ناپیوستگی ناشی از عملیات ساخت و نصب مانند جوش‌های موضعی، وسایل کمکی برای نصب، ناصافی‌های ناشی از برش‌های حرارتی باید به‌طور مناسبی برطرف شده و تعمیر گردد.

- برشگیرها که برای مرکب کردن دال بتن آرمه و تیرها به‌کار گرفته می‌شود، نباید در این ناحیه به‌کار برده شود.

- قطعات الحاقی که برای نگهداری نماها، تیغه‌ها، لوله‌های تأسیساتی و غیره به‌کار گرفته می‌شود، نباید در این ناحیه مورد استفاده قرار گیرد.

- خال جوش کردن ورق‌های دوزنقه‌ای کف به‌این محل مجاز است.



شکل ۱۱ - ۲۲ ناحیه بحرانی در دو انتهای تیر.

در طراحی تیرها برای خمش، ضابطه اضافی خاصی در قاب‌های خمشی ویژه وجود ندارد ولی در طراحی آنها برای برش باید نیروی برشی اضافی ناشی از ایجاد لنگرهای خمشی قابل انتظار در مفصل‌های پلاستیک دو انتهای تیر در نظر گرفته شود. جزییات این روابط در متن آیین‌نامه فولاد ایران (مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان) آمده است.

اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی ویژه

کلیه اتصالات تیر به ستون در این قاب‌ها باید شرایط زیر را دارا باشند:

- الف -** اتصالات تیر به ستون باید به گونه‌ای طراحی شوند که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک را در مقطعی به فاصله L_1 از بر ستون در داخل تیر و خارج از اجزای اتصال فراهم نمایند. این امر یا از طریق تقویت تیر در محل اتصال به بر ستون انجام می‌شود، و یا با تضعیف مقطع تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک عملی می‌گردد.
- ب -** در اتصالات جوشی تیر به ستون، اتصال بال تیر یا ورق پوششی آن، به وجه ستون یا به ورق پیشانی، (فلنج) که به ستون پیچ می‌شود، باید منحصراً از نوع نفوذی کامل باشد. برای اتصال جان تیر یا ورق اتصال جان، به وجه ستون یا ورق انتهایی، استفاده از جوش نفوذی نسبی یا جوش گوشه مجاز است.

۱ - طراحی برای خمش

اتصال تیر به ستون باید برای لنگر خمشی قابل انتظار که در بر ستون ایجاد می‌شود، طراحی گردد. این لنگر مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد (شکل ۱۱ - ۳۳):

$$M_{ES} = 0.6 \times 1.1 M_{exp} + V_0 L_1 + M_W \quad (۱۱ - ۴۳)$$

که در آن:

$$M_W = \text{لنگر ناشی از بار قائم بدون ضریب موجود در بازوی } L_1$$

۲ - طراحی برای برش

اتصال تیر به ستون باید برای برش مورد انتظار که در بر ستون ایجاد می‌شود، طراحی گردد. این برش مطابق روابط ارزیابی شده در زیر تعیین می‌شود (شکل ۱۱ - ۳۳).

نیروی برشی حاصل از تشکیل مفصل پلاستیک در مقطعی به فاصله L_1 از بر ستون مطابق عبارت زیر می‌باشد:

$$V_{ES} = \frac{2 \times 0.6 \times 1.1 \times M_{exp}}{L_h} + V + W = V_0 + W \quad (۴۴ - ۱۱)$$

$$M_{exp} = Z_b F_{ye}$$

$W =$ کل بار قائم در بازوی L_1

$M_{exp} =$ لنگر پلاستیک مورد انتظار تیر مساوی $Z_b F_{ye}$

$V =$ نیروی برشی موجود در محل مفصل پلاستیک به علت بار قائم در طول L_h

$V_0 =$ نیروی برشی کل موجود در محل مفصل پلاستیک

$Z_b =$ اساس مقطع پلاستیک تیر

$F_{ye} =$ تنش تسلیم مورد انتظار فولاد معادل $F_y / 1.15$

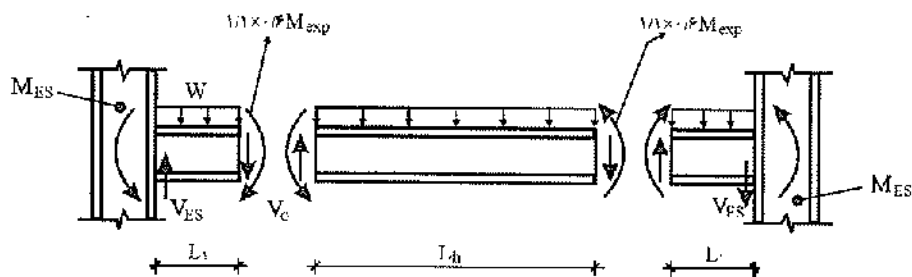
$L_1 =$ فاصله محل نظری تشکیل مفصل پلاستیک از بر ستون

$L_h =$ فاصله بین مقاطع تشکیل مفصل پلاستیک در تیر

$V_{ES} =$ نیروی برشی مورد انتظار در بر ستون

۳ - چشمه اتصال

چشمه اتصال، ناحیه‌ای از جان یا جان‌های ستون است که محصور بین امتداد بال‌های بالایی و پایینی تیرهای دو وجه ستون و بال‌های ستون می‌باشد. ناحیه چشمه اتصال در قاب‌های خمشی ویژه، باید براساس ضوابط زیر طراحی شوند:



شکل ۱۱ - ۳۳ برش طراحی تیرها در قاب‌های خمشی ویژه، در طراحی به روش تنش مجاز.

الف - طراحی برای برش

چشمه اتصال باید برای برش ناشی از نیروهای کششی و فشاری موجود در بال‌های تیرهای سمت چپ و راست ستون، طراحی شود. این برش به شرح زیر محاسبه می‌شود:

- طراحی به روش تنش مجاز

$$V_{pa,s} = \sum \frac{M_{ES}}{d_b} - V_{col} \quad (۱۱ - ۴۵)$$

در این رابطه V_{col} برش موجود در ستون فوقانی زیر اثر بار جانبی زلزله، در حالت بدون ضریب می‌باشد.

۴ - ورق‌های پیوستگی

ورق‌های پیوستگی باید در مقابل بال‌های تیر یا ورق‌های پوششی اتصال بال بالایی و پایینی تیرهای متصل‌شونده به ستون و به صورت متقارن نسبت به محور ستون، قرار داده شوند. این ورق‌ها برای انتقال نیروهای درون صفحه‌ای حاصل از لنگر تیر به چشمه اتصال در ستون به کار برده می‌شوند و باید شرایط زیر را برآورده نمایند.

الف. طول ورق‌ها باید برابر با فاصله خالص دو بال ستون باشد.

ب. ضخامت ورق‌ها باید از ضخامت بال یا ورق پوششی اتصال بال تیرهای دو طرف کمتر نباشد.

پ. پهناى ورق‌ها باید در ستون‌های با مقطع قوطی شکل، برابر فاصله خالص دو جان ستون بوده، و در ستون‌های با مقطع H شکل از مجموع پهناى عرض تیر یا عرض ورق پوششی اتصال در دو طرف جان کمتر نباشد.

ت. نسبت عرض به ضخامت در ورق‌های با یک لبه متکی، نظیر ورق‌های پیوستگی ستون‌های H شکل، نباید از

$$0.55 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$$

و در ورق‌های با دو لبه متکی، نظیر ورق‌های پیوستگی ستون‌های با مقطع قوطی شکل، نباید از

$$1.4 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$$

کوچکتر باشد. در این روابط F_{ys} مقاومت تسلیم ورق‌های پیوستگی است.

۵ - مهاربندی جانبی اتصال تیر به ستون

به منظور جلوگیری از کمانش پیچشی ستون، لازم است اتصال در صفحه افقی در مقابل پیچش ستون مهار گردد. وقتی که جان تیرها و ستون‌ها هم‌صفحه باشد و نسبت به دست آمده از رابطه (۱۱ - ۴۶) بیش از ۲ باشد، وجود مهار در تراز بال فوقانی تیر کافی است. دال بتن مسلح می‌تواند جایگزین عضو مهاری گردد. در صورت نبود شرایط فوق، وجود مهار در تراز هر دو بال تحتانی و فوقانی لازم است. نیروی لازم برای مهاری مساوی ۲ درصد ظرفیت مجاز بال تیر می‌باشد.

۶ - نسبت مقاومت خمشی ستون به تیر در قاب‌های خمشی ویژه

ظرفیت خمشی ستون‌ها و تیرها در اتصالات تیر به ستون در این قاب‌ها باید چنان باشد که رابطه زیر برآورده گردد:

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} \geq 1.0 \quad (11 - 46)$$

رابطه فوق به شرط ستون قوی - تیر ضعیف معروف است.

در این رابطه:

$\sum M_{pc}^*$ = مجموع لنگرهای خمشی ستون‌های بالا و پایین گره اتصال که در محل تقاطع محورهای ستون‌ها و تیرها وجود دارند. این لنگرها برابر با ظرفیت خمشی پلاستیک ستون‌ها در نظر گرفته شده و مقدار آنها، با توجه به نیروهای محوری موجود در ستون‌ها، از روابط زیر به دست آورده می‌شوند:

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_c (0.6F_{yc} - P_{ac} / A_g) \quad (11 - 47)$$

$\sum M_{pb}^*$ = مجموع لنگرهای خمشی تیرها در گره اتصال، که در محل تقاطع محورهای ستون‌ها و تیرها وجود دارند. این لنگرها با توجه به لنگرهای مورد انتظار در مفصل‌های پلاستیک و مقادیر نیروی برشی در آنها از روابط زیر به دست آورده می‌شوند:

$$\sum M_{pb}^* = \sum (0.6 \times 1.1 F_{yb} Z_b + M_{uv}) \quad (11 - 48)$$

در روابط فوق:

Z_b = اساس مقطع پلاستیک تیر

F_{yb} = تنش تسلیم مورد انتظار فولاد در تیر برابر با $1/15 F_{yt}$

F_{yc} = تنش تسلیم فولاد ستون

d_c = بعد ستون در صفحه خمشی

P_{ac} = نیروی محوری فشاری ستون، حاصل از ترکیب بارهای متعارف

M_{uv} = لنگر اضافی ناشی از نیروی برشی موجود در مفصل پلاستیک نسبت به محور ستون، در شرایط تنش‌های مجاز

استثنا: ستون‌هایی که یکی از دو شرط زیر را برآورده نمایند، لازم نیست رابطه ستون قوی - تیر ضعیف را اکتفا نمایند:

۱ - ستون‌هایی که در آنها در کلیه ترکیبات بارگذاری به جز ترکیب بار زلزله شدید یافته، $P_{ac} \leq 0.3P_c$ بوده و شرایط زیر را دارا باشند:

الف - ستون‌های ساختمان‌های یک طبقه و ستون‌های طبقه آخر ساختمان‌های چند طبقه

ب - تعدادی از ستون‌های هر طبقه که مجموع مقاومت برشی آنها کمتر از ۲۰٪ کل مقاومت برشی ستون‌های

آن طبقه و مجموع مقاومت برشی آنهایی که بر روی یک محور قرار دارند کمتر از ۳۳٪ کل مقاومت برشی ستون‌های آن محور باشد. در این بند محور ستون به محور یا محورهای موازی اطلاق می‌شود که در فاصله کمتر از ۱۰ درصد بعد پلان طبقه، در جهت عمود بر محور، از یکدیگر قرار گرفته باشند.

در عبارت فوق:

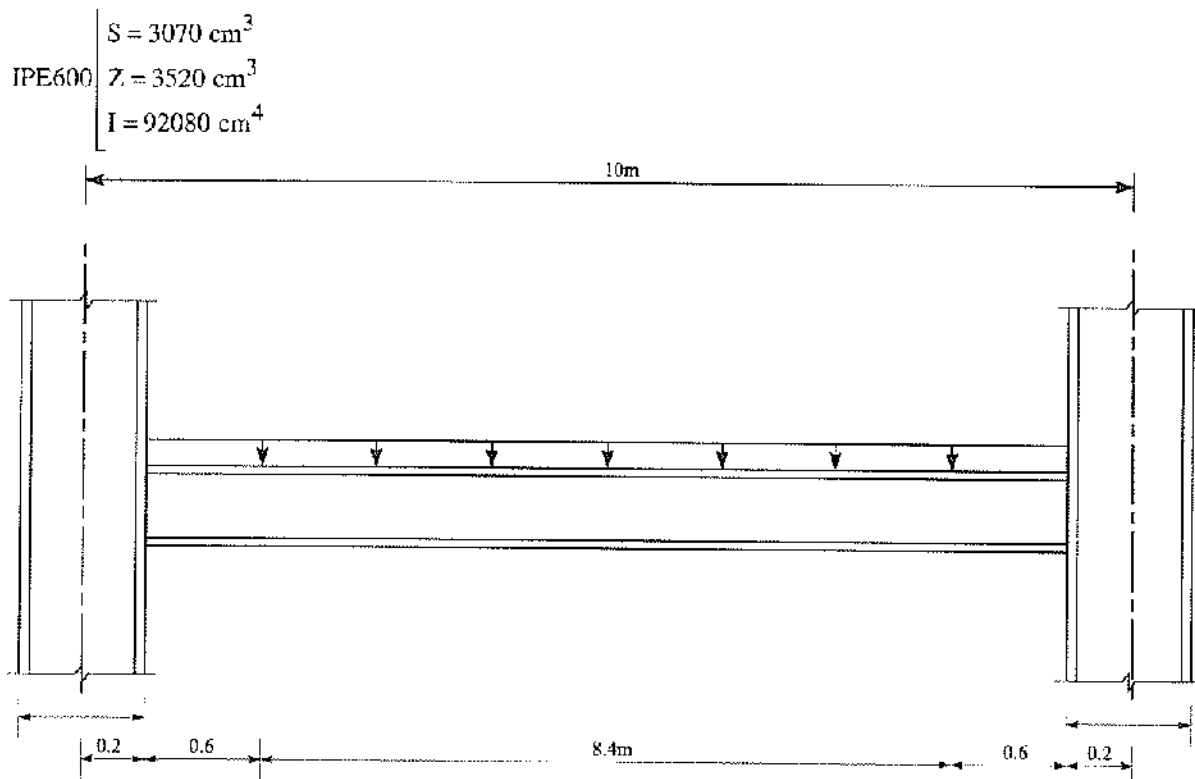
$$P_c = \text{مساوی } 16 F_{yc} A_g \text{ در طراحی به روش تنش‌های مجاز.}$$

$$P_{ac} = \text{نیروی محوری فشاری بدون ضریب در طراحی به روش تنش‌های مجاز}$$

۲ - ستون‌های هر طبقه که در آن نسبت مقاومت برشی ستون‌ها به برش وارده در آن طبقه ۵۰ درصد بیشتر از این نسبت در طبقه فوقانی آن باشد.

مثال ۱۱ - ۹

تیر IPE600 را طبق شکل زیر تحت اثر بار گسترده ۴ ton/m با دهانه ۱۰ متر در نظر بگیرید. با فرض تشکیل مفصل پلاستیک به فاصله d از بر ستون، اتصال تیر به ستون را در شرایط شکل‌پذیری ویژه کنترل کنید.



شکل ۱۱ - ۳۴

الف - نیروی برشی مورد انتظار (V_{ES}) در بر ستون:

نیروی برشی V_{ES} به صورت زیر تعیین می‌شود. طبق اطلاعات صورت مسئله، مفصل پلاستیک به فاصله $d = 60 \text{ cm}$ از بر ستون تشکیل می‌شود.

$$V_{ES} = V_0 + W$$

$$V_0 = \frac{2 \times 0.6 \times 1.1 \times M_{exp}}{L_h} + V$$

$$M_{exp} = Z_b F_{ye} = 3520 \times (1.15 \times 2400) \times 10^{-5} = 97.2 \text{ (ton.m)}$$

$$V = 4 \times 8.4 / 2 = 16.8 \text{ (ton)}$$

$$V_0 = (2 \times 0.6 \times 1.1 \times 97.2) / 8.4 + 16.8 = 15.3 + 16.8 = 32.1$$

$$W = w \times L_1 = 4 \times 0.6 = 2.4 \text{ (ton)}$$

$$V_{ES} = V_0 + W = 32.1 + 2.4 = 34.5 \text{ ton}$$

ب - طراحی برای خمش

اتصال تیر به ستون باید برای لنگر قابل انتظار در بر ستون طراحی شود؛

$$M_{ES} = 0.6 \times 1.1 M_{exp} + V_0 L_1 + M_w$$

$$M_{exp} = 97.2 \text{ (ton.m)}$$

$$M_w = w \times L_1^2 / 2 = 4 \times 0.6^2 / 2 = 0.72 \text{ (ton.m)}$$

$$V_0 = 32.1$$

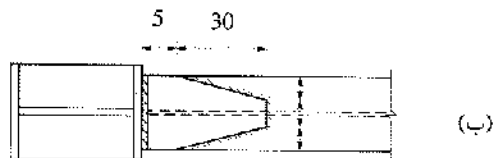
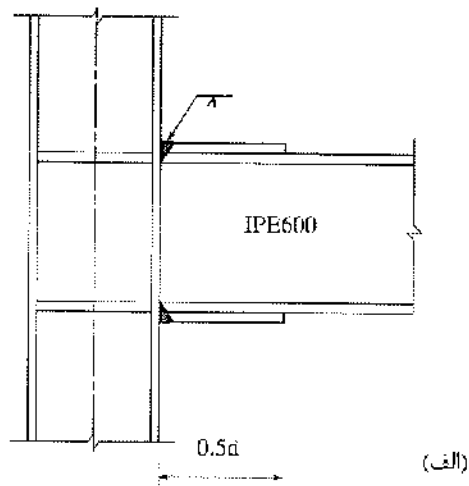
$$M_{ES} = 0.6 \times 1.1 \times 97.2 + 32.1 \times 0.6 + 0.72 = 84.1 \text{ (ton.m)}$$

این لنگر در حدود ۱/۶۷ برابر ظرفیت خمشی مجاز مقطع تیر است.

پ - طراحی ورق تقویت در اتصال مستقیم تیر به ستون (توصیه بلاجت)*

در قاب خمشی ویژه، اتصال تیر به ستون باید به گونه‌ای باشد که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک را در مقطعی به فاصله L_1 از بر ستون در داخل تیر و خارج از اجزای اتصال را فراهم نماید. این امر یا از طریق تقویت تیر در محل اتصال به بر ستون و یا با تضعیف تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک عملی می‌گردد. بلاجت توصیه می‌نماید تیر در محل اتصال به ستون تقویت شود.

* (از کارشناسان برجسته که در خصوص اتصالات حادثه دیده در زلزله نورتریج اظهار نظر نمود) O. Blodgett



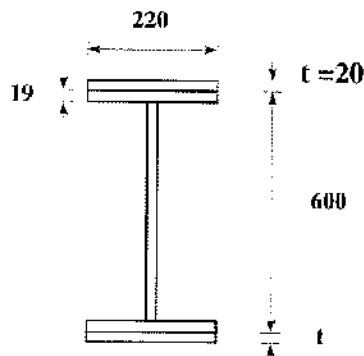
شکل ۱۱-۳۵ مربوط به مثال ۱۱-۹.

اساس مقطع لازم در محل اتصال تیر به ستون (با ورق تقویت):

$$S_x \text{ لازم} = \frac{M_{ES}}{0.66 F_y} = \frac{84.1 \times 10^5}{0.66 \times 2400} = 5309.3 (\text{cm}^3)$$

$$t = 2 (\text{cm}) \rightarrow I_x = 92080 + 2 \times (22 \times 2 \times 31^2) = 176648 (\text{cm}^4)$$

$$S_x = \frac{I_x}{C} = \frac{176648}{32} = 5520.3 (\text{cm}^3) > 5309.3 \text{ o.k.}$$



شکل ۱۱-۳۵ ب مربوط به مثال ۱۱-۹.

طول جوش لازم برای ورق‌های تقویتی:

جوش در کارخانه با شرایط بازرسی چشمی می‌باشد:

$$\phi = 0.85 \quad , \quad E60 \quad \text{الکترو د}$$

$$R_w = t_e \phi (0.3F_u) = 0.707a \times 0.85 \times 0.3 \times 4200 = 757a$$

$$R_w \times l = 0.6F_y \times b_f \times t$$

$$757a \times 75 = 0.6 \times 2400 \times 22 \times 2 \quad a = 1.1 \text{ cm} \rightarrow a = 12 \text{ mm}$$

کنترل برشی اتصال تیر به ستون:

با در نظر گرفتن اتصال مستقیم جان تیر به ستون داریم:

$$h_w = 51.4 \text{ (cm)}$$

$$R_w \times 2h_w = V_{ES}$$

$$757a_{\min} \times 2 \times 51.4 = 34.5 \times 10^3$$

$$a_{\min} = \frac{34.5 \times 10^3}{757 \times 2 \times 51.4} = 0.44 \text{ (cm)}$$

$$a = 6 \text{ mm} > 4.4 \text{ mm} \quad \text{انتخاب}$$

ت ... طراحی اتصال در صورتی که در نظر باشد از ورق‌های زیرسری و روسری استفاده نماییم:

$$F = \frac{84.1}{0.6} = 140 \text{ ton} \quad \text{نیروی طراحی}$$

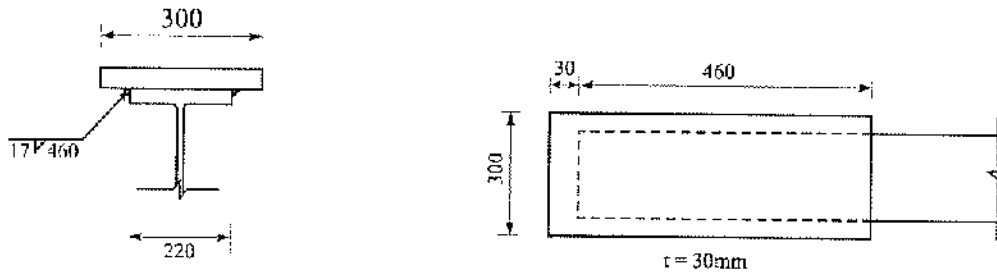
$$A = \frac{140 \times 10^3}{0.66 \times 2400} = 88.38 \text{ cm}^2$$

$$t = 30 \text{ mm} \rightarrow b = \frac{88.38}{3} = 29.46 \Rightarrow b = 30 \text{ cm}$$

طول جوش برای اتصال ورق روسری به تیر:

$$D = 17 \text{ mm} \Rightarrow L_w = \frac{140 \times 10^3}{0.3F_u (\cos 45) D} = \frac{140 \times 10^3}{0.3 \times 4200 \times 0.707 \times 1.7} = 93 \text{ cm}$$

از طول ۴۶ سانتی‌متر در دوران استفاده می‌شود. شکل ورق فوقانی به صورت زیر در می‌آید. توجه شود که جوش بال تیر به ورق روسری باید در حالت سقفی انجام شود.



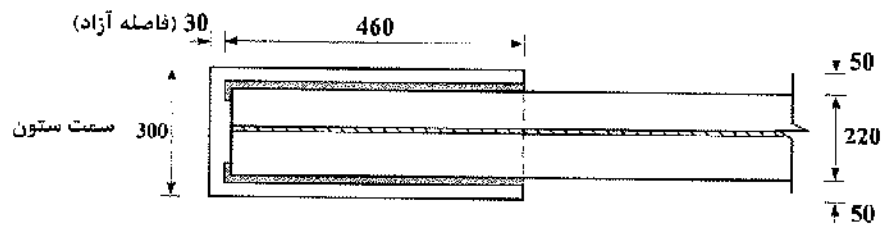
شکل ۱۱ - ۳۵ - ت مربوط به مثال ۱۱ - ۹

$$\text{طول جوش برای اتصال ورق تحتانی} : t = 30 \text{ mm} \Rightarrow b = \frac{88.38}{3} = 29.46 \Rightarrow b = 30 \text{ cm}$$

طول جوش برای اتصال ورق تحتانی

$$D = 17 \text{ mm} \Rightarrow L_w = \frac{140 \times 10^3}{890 \times 1.7} = 93 \text{ cm}$$

از دو خط ۴۶ سانتی متر در دو طرف استفاده می شود.

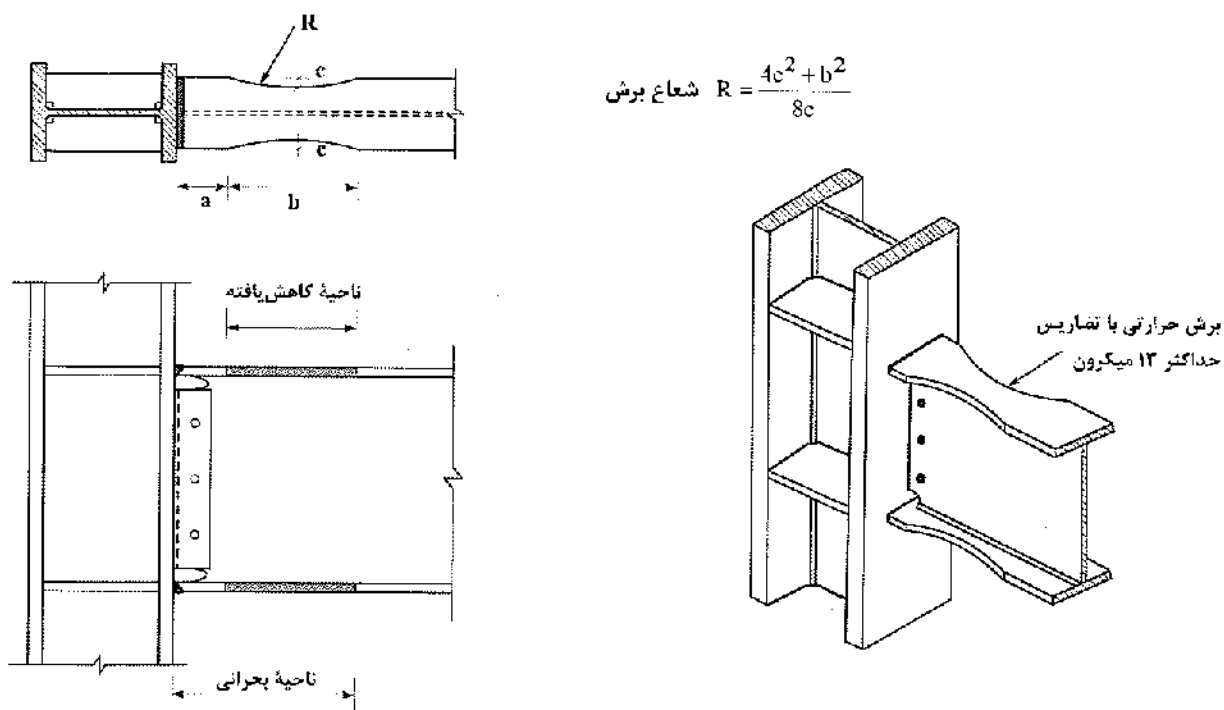


شکل ۱۱ - ۳۵ - ت مربوط به مثال ۱۱ - ۹

باید سعی شود که ورق های زیرسری و روسری وارد ناحیه تسلیم نشوند. برای اتصال جان از ورق برش گیر استفاده می شود. محاسبات در قبل ارائه شده است.

۱۱ - ۵ - ۷ اتصال صلب تیر به ستون با استفاده از تیر با مقطع کاهش یافته (RBS)

از بحث قبل متوجه شدیم که فلسفه اصلی در طراحی اتصالات صلب تیر به ستون به گونه ای است که مفصل خمیری در محدوده ای در فاصله $0.5d$ تا $1.0d$ از بر ستون تشکیل گردد و ملاحظه نمودیم که با این فلسفه نیروی برشی و لنگر خمشی برای طراحی اتصال به مقدار قابل توجهی نسبت به مقادیر نظیر در تیر افزایش می یابد. برای عینیت بخشیدن به این فلسفه طراحی و همچنین اجتناب از طراحی اتصال برای نیروهای بزرگ، ایده اتصالات با مقطع کاهش یافته نیز مطرح گردید. در این روش مطابق شکل ۱۱ - ۳۶ - الف در مقطعی از تیر در محدوده مورد نظر عرض بال ها به صورت تدریجی کاهش می یابد به طوری که تشکیل مفصل پلاستیک در آن قطعی گردد.



$$R = \frac{4c^2 + b^2}{8c} \text{ شعاع برش}$$

شکل ۱۱ - ۳۶ - الف اتصال صلب با تیر یا مقطع کاهش یافته.

روش گام به گام برای طراحی اتصالات با مقطع کاهش یافته

گام ۱ - انتخاب مقطع اولیه برای تیر و ستون و مقادیر a ، b و c مطابق شکل ۱۱ - ۳۶ - الف.

$$0.5b_{bf} \leq a \leq 0.75b_{bf}$$

$$0.65d \leq b \leq 0.85d$$

$$0.1b_{bf} \leq c \leq 0.25b_{bf}$$

(۴۹ - ۱۱)

b_{bf} = عرض بال تیر

d = ارتفاع کل مقطع تیر

a ، b ، c مطابق شکل ۱ - ۳۶ - الف

گام ۲ - محاسبه اساس مقطع خمیری در مرکز ناحیه کاهش یافته

$$Z_e = Z_b - 2ct_{bf}(d - t_{bf})$$

(۵۰ - ۱۱)

Z_e = اساس مقطع خمیری کاهش یافته

Z_b = اساس مقطع خمیری مقطع کل

t_{bf} = ضخامت بال تیر

گام ۳ - محاسبه لنگر خمشی حداکثر مورد انتظار در مرکز مقطع کاهش یافته:

$$M_{Pr} = 0.6 \times 1.1 R_y F_y Z_c$$

$$R_y = 1.15$$

(۱۱ - ۵۱)

گام ۴ - محاسبه نیروی برشی در مرکز مقطع کاهش یافته (V_{RBS})

این کار مطابق نمودار آزاد شکل ۱۱ - ۳۶ - ب انجام می‌شود.

گام ۵ - محاسبه لنگر حداکثر محتمل در بر ستون

بر پایه نمودار آزاد شکل ۱۱ - ۳۶ - پ داریم:

$$M_f = M_{Pr} + V_{RBS} \left(a + \frac{b}{2} \right)$$

(۱۱ - ۵۲)

M_f = لنگر حداکثر محتمل تیر در بر ستون

V_{RBS} = نیروی برشی حداکثر در مرکز ناحیه کاهش یافته

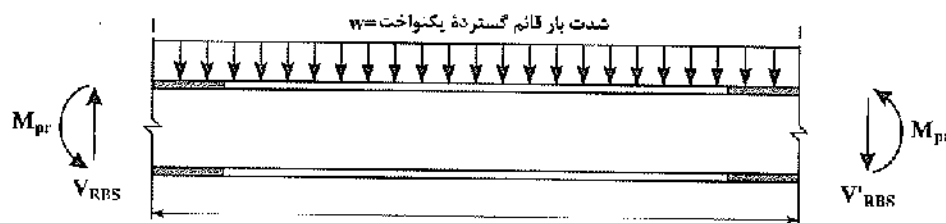
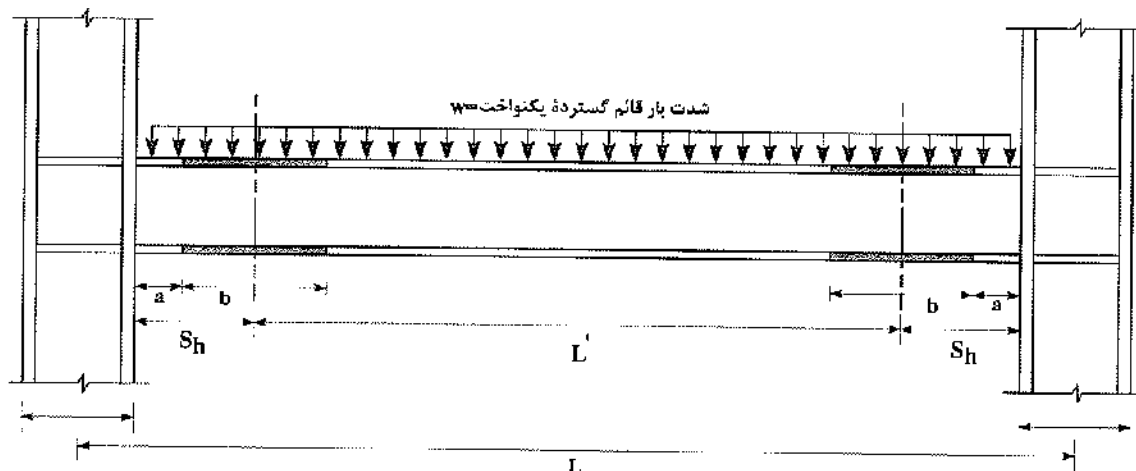
(با ساده‌سازی از بار قائم موجود در فاصله مفصل پلاستیک و بر ستون صرف‌نظر شده است)

گام ۶ - محاسبه لنگر حداکثر مورد انتظار تیر

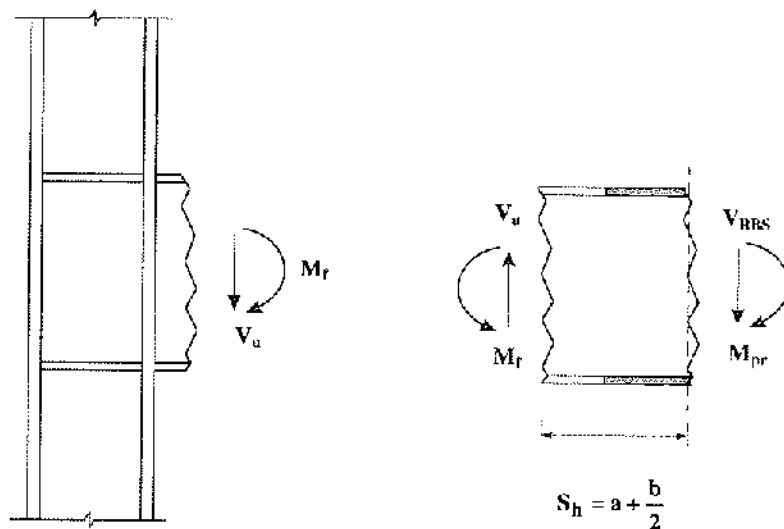
$$M_{PE} = 0.6 Z_b R_y F_y$$

$$R_y = 1.15$$

(۱۱ - ۵۳)



شکل ۱۱ - ۳۶ - ب نمودار آزاد تیر یا مقطع کاهش یافته.



شکل ۱۱ - ۳۶ - پ نمودار آزاد دستک خمیری.

در رابطه فوق:

 M_{pe} = لنگر خمیری مورد انتظار تیر

گام ۷ - کنترل رابطه شرطی زیر:

$$M_r \leq \phi_d M_{pe}$$

(۱۱ - ۵۴)

 ϕ_d = عددی بین ۰/۸۵ تا ۱

در صورت عدم اکتاف رابطه فوق با افزایش مقدار c و یا کاهش مقادیر a و b باید محاسبات گام‌های ۲ تا ۷ را

تکرار نمود.

گام ۸ - تعیین نیروی برشی داخلی در محل اتصال تیر به ستون

$$V = \frac{2M_{pr}}{L'} + V_{تغلی}$$

(۱۱ - ۵۵)

 L' - فاصله بین دو مفصل پلاستیک (شکل ۱۱ - ۳۶ - ب)

تغلی = نیروی برشی تیر فقط به علت بار قائم

گام ۹ - طراحی اتصال برشی جان تیر به ستون

گام ۱۰ - کنترل مقررات ورق پیوستگی

گام ۱۱ - کنترل چشمه اتصال

گام ۱۲ - کنترل رابطه ستون قوی - تیر ضعیف

مثال ۱۱ - ۱۰

مطلوب است طراحی اتصال با مقطع کاهش یافته تیر از نیمرخ IPB600 با مشخصات زیر.

$$d_b = 60 \text{ cm} \quad b_f = 30 \text{ cm} \quad t_f = 3 \text{ cm} \quad t_w = 1.55 \text{ cm} \quad S_b = 5700 \text{ cm}^3 \quad Z_b = 6420 \text{ cm}^3$$

دهانه آزاد تیر (L_n) ۶/۵ متر و بار ثقلی وارد بر آن ۳ تن بر متر می باشد.

گام ۱:

انتخاب مقادیر کاهش یافته:

$$\begin{aligned} a &= (0.5 \text{ تا } 0.75)b_f \Rightarrow a = 17.5 \text{ cm} \\ b &= (0.65 \text{ تا } 0.85)d_b \Rightarrow b = 47.5 \text{ cm} \\ c &\equiv 0.2 b_f \Rightarrow c = 6.85 \text{ cm} \end{aligned}$$

گام ۲ - محاسبه اساس مقطع کاهش یافته

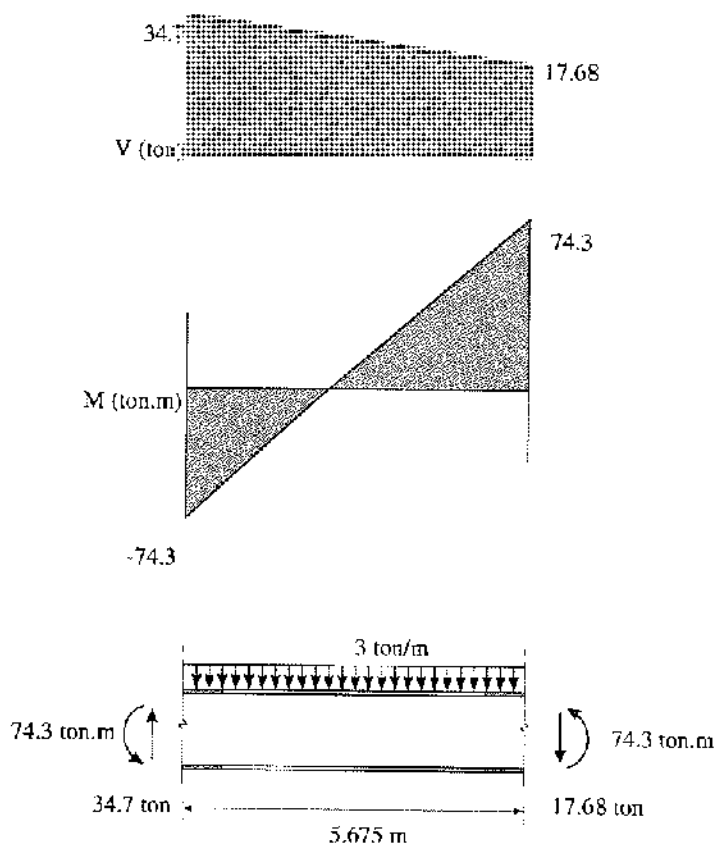
$$\begin{aligned} Z_e &= Z_b - 2ct_{bf} (d - t_{bf}) \\ &= 6420 - 2 \times 6.85 \times 3(60 - 3) \\ &= 6420 - 2343 = 4077 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

گام ۳ - محاسبه لنگر خمشی حداکثر مورد انتظار در مرکز ناحیه کاهش یافته

$$M_{pr} = 0.6 \times 1.1 \times 1.15 \times 2400 \times 4077 \times 10^{-5} = 74.3 \text{ ton.m}$$

گام ۴ - محاسبه نیروی برشی در مرکز مقطع کاهش یافته

$$\begin{aligned} L' &= L_n - 2\left(a + \frac{b}{2}\right) \\ &= 6.5 - 2\left(0.175 + \frac{0.475}{2}\right) = 6.5 - 0.825 = 5.675 \text{ m} \\ V_{RBS} &= \frac{2M_{pr}}{L'} + \frac{WL'}{2} = \frac{2 \times 74.3}{5.675} + \frac{3 \times 5.675}{2} \\ &= 26.19 + 8.51 = 34.7 \text{ ton} \\ V'_{RBS} &= 26.19 - 8.51 = 17.68 \text{ ton} \end{aligned}$$



شکل (۱۱-۳۶) - ت.

گام ۵ - محاسبه لنگر حداکثر محتمل در بر ستون

$$\begin{aligned}
 M_f &= M_{pr} + V_{RBS} \left(a + \frac{b}{2} \right) \\
 &= 74.3 + 34.7(0.175 + 0.475 \times 0.5) \\
 &= 88.62 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

گام ۶ - محاسبه لنگر حداکثر مورد انتظار تیر

$$M_{pe} = 0.6 Z_b R_y F_y = 0.6 \times 6420 \times 1.15 \times 2400 \times 10^{-5} = 106.32 \text{ ton.m}$$

گام ۷ - کنترل رابطه شرطی

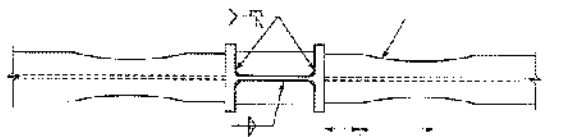
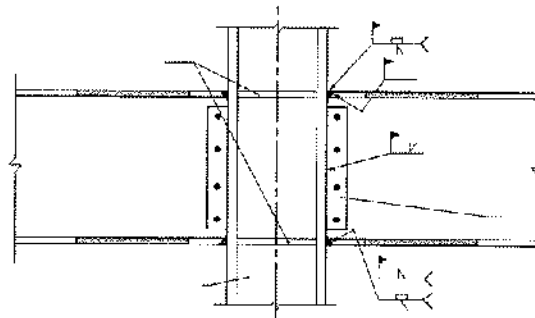
$$\frac{M_f}{M_{pe}} = \frac{88.62}{106.32} = 0.83 \quad \text{قابل قبول است}$$

گام ۸ - تعیین نیروی برشی در محل اتصال تیر به ستون

$$V = \frac{2M_{pr}}{L'} + V_{\text{ثقلی}}$$

$$= \frac{2 \times 74.3}{5.675} + \frac{3 \times 6.5}{2} = 26.19 + 9.75 \approx 36 \text{ ton}$$

انجام گام‌های ۹ تا ۱۲ با توجه به مثال‌های قبلی برعهده دانشجو می‌باشد. در شکل ۱۱ - ۳۶ - ت جزئیات نهایی اتصال نشان داده شده است.

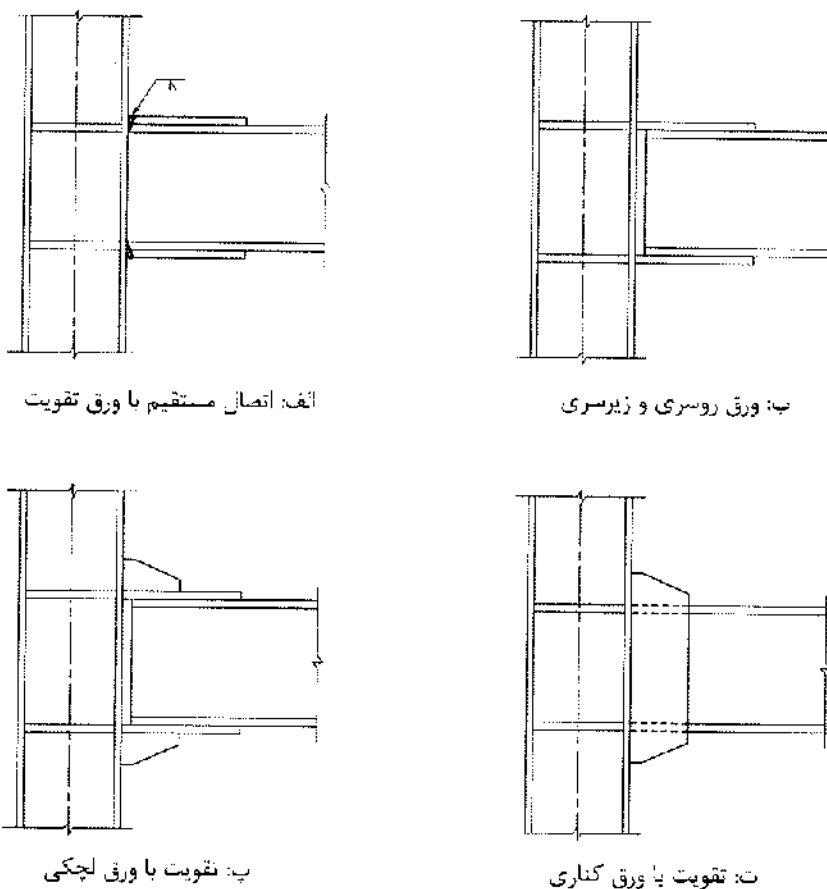


شکل ۱۱ - ۳۶ - ت

۱۱-۵-۸ نتیجه‌گیری

همان‌طور که ملاحظه گردید ضوابط جدید طرح لرزه‌ای اتصالات صلب تیر به ستون، تشکیل مفصل خمیری را به فاصله d از بر ستون ایجاب می‌نماید. حال برای رسیدن به این مقصود دو راه حل در مقابل طراح وجود دارد.

- ۱ - ضعیف کردن تیر در محل تشکیل مفصل خمیری (اتصال RBS شکل ۱۱ - ۳۶ - الف)
- ۲ - قوی کردن محل اتصال با استفاده از یکی از روش‌های ورق تقویت، ورق لچکی، ورق کناری، ورق زیرسری و روسری قوی.



شکل ۱۱ - ۳۷.

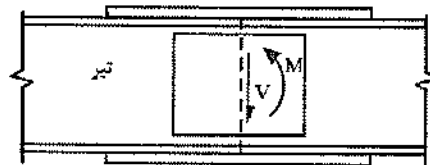
۱۱ - ۶ وصله تیرها

به دلایل متعددی مجبور هستیم که نیمرخ‌های نورد شده و یا تیر ورق‌ها را وصله نماییم. بعضی از این دلایل به‌قرار زیر می‌باشد:

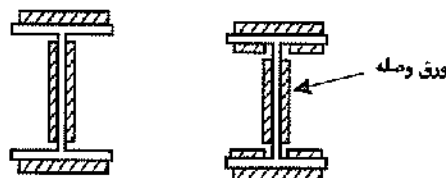
- ❶ طول استاندارد نیمرخ‌های نورد شده که در کارخانه تولید می‌شود، ممکن است کافی نباشد.
- ❷ گاهی مواقع از لحاظ اجرا اقتصادی‌تر است که تیرها در طول‌های کوتاه به‌محل کار حمل شوند و در محل کار به‌یکدیگر وصله شوند.
- ❸ به‌دلت کاهش ضایعات تیر آهن ممکن است که مجبور به‌وصله کارگاهی باشیم.

شکل ۱۱ - ۳۸ - الف وصله استاندارد را نشان می‌دهد که از چهار ورق تشکیل یافته است، به‌همین مناسبت به‌چنین وصله‌ای، وصله چهار ورقی می‌گوییم. در مواقعی که بال تیر ضخیم باشد، ممکن است که مجبور شویم همانند شکل ۱۱ - ۳۸ - ب از هشت ورق استفاده نماییم.

به عنوان قانون طراحی، هر قطعه از وصله باید برای نیروی قسمتی که جایگزین آن می‌شود، محاسبه گردد. از آنجایی که سهم بیشتر نیروی برشی توسط جان و سهم بیشتر لنگر خمشی توسط بال نیمرخ حمل می‌شود، بنابراین وصله‌های جان عهده‌دار تحمل نیروی برشی و وصله‌های بال عهده‌دار تحمل لنگر خمشی می‌باشند.



(الف)

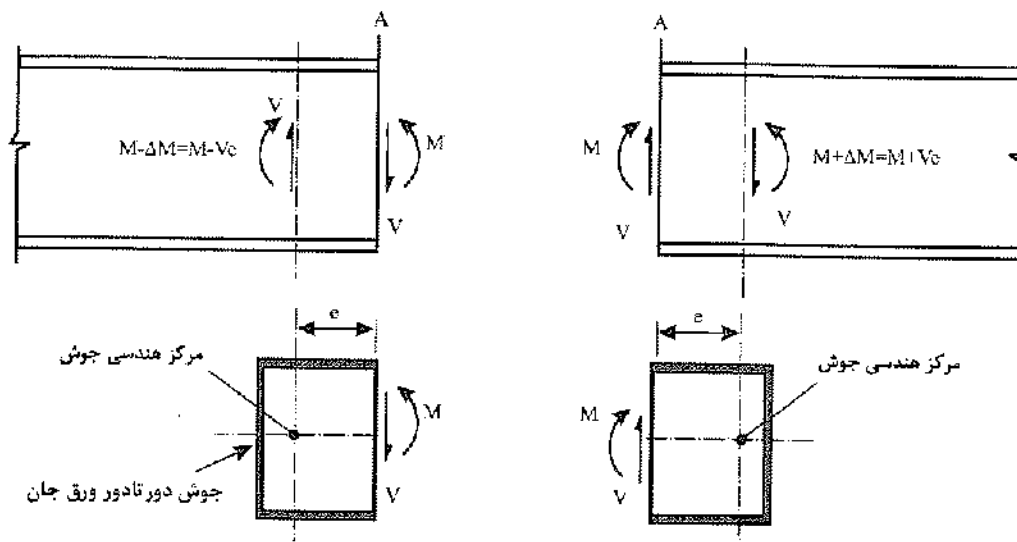


(ب)

شکل ۱۱ - ۳۸

وصله‌ها را معمولاً برای نیروهای داخلی موجود در نقطه قطع که از روی نمودار تغییرات نیروی برشی و لنگر خمشی به دست می‌آید، طراحی می‌نمایند. لیکن آیین‌نامه‌ها مقدار این نیروها را به حد اقلی محدود می‌کنند. مثلاً مبحث دهم مقرر می‌دارد که نیروهای طراحی یک وصله نباید از ۵۰ درصد ظرفیت نیمرخ کامل کمتر باشند. آیین‌نامه پل‌سازی آشتو این مقدار را به ۷۵ درصد ظرفیت نیمرخ محدود می‌کند. البته اگر برای وصله تیرها بخواهیم از اتصال لب به لب با جوش شیاری استفاده نماییم، طبق مفاد آیین‌نامه جوش شیاری را باید برای تمام ظرفیت تیر طراحی نماییم.

در هنگام تعیین نیروهای طراحی وصله، به این نکته باید توجه داشته باشیم که وصله دارای طول مشخصی می‌باشد (بین ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر). در این طول، مقدار لنگر خمشی و نیروی برشی تغییر می‌نماید. طبق اصل مورد استفاده در طراحی اتصالات جوشی، گروه جوش باید برای نیروهایی طراحی شوند که در مرکز هندسی آنها وجود دارد. از شکل ۱۱ - ۳۳ پیداست که از لحاظ تئوری، لنگر موجود در مرکز هندسی جوش‌ها در یک طرف وصله با لنگر موجود در طرف دیگر متفاوت می‌باشد. بنابراین بعضی از طراحان، اتصال هر دو طرف وصله را برای لنگر $M_1 = M + Ve$ طراحی می‌نمایند. در وضعیت‌های نادری که وصله در محلی که نیروی برشی و لنگر خمشی هر دو بزرگ هستند، قرار دارد، چنین طرز عملی به‌جا به‌نظر می‌رسد. اما از آنجایی که در اغلب موارد وصله در محلی قرار دارد که یکی از مقادیر نیروی برشی و یا لنگر خمشی کوچک می‌باشد و نیروهای حداقل آیین‌نامه‌ای کنترل‌کننده طرح هستند، استفاده از $M_1 = M + Ve$ منطقی به‌نظر نمی‌رسد.



شکل ۱۱ - ۳۹

بنابراین در اکثر مواقع توصیه می‌شود که اتصال برای نیروهای واقعی در محل قطع و یا حداقل آیین‌نامه‌ای طراحی گردد و هیچ‌گونه خروج از مرکزیتی در نظر گرفته نشود. اگر نیروهای برشی و لنگرهای خمشی سازه با استفاده از تئوری سازه‌های نامعین بدون هیچ‌گونه مفصل داخلی، به‌دست آمده باشند، طراح نباید وصله‌ای طرح کند که به‌علت نرمی زیاد همانند یک مفصل عمل نماید.

مثال ۱۱ - ۱۱

مطلوب است طراحی وصله چهار ورقی تیر IPE600 از فولاد نرمه با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع. در محل وصله مقدار لنگر خمشی ۳۷ تن متر و نیروی برشی ۳۲ تن می‌باشد. ورق‌های وصله از فولاد نرمه و الکتروود مصرفی از نوع E60 می‌باشد. ظرفیت وصله نباید از ۵۰ درصد ظرفیت نیم‌رخ کمتر در نظر گرفته شود.

حل: مشخصات IPE600

$$h = 60 \text{ , } b = 22 \text{ , } t_w = 1/2 \text{ , } t_f = 1/9 \text{ cm , } h - 2c = 51.4 \text{ cm}$$

$$A = 156 \text{ cm}^2 \text{ , } I_x = 92080 \text{ cm}^4 \text{ , } S_x = 3070 \text{ cm}^3$$

الف) ظرفیت IPE600 (با فرض مقطع فشرده)

$$M = F_y S_x = 0.66 F_y S_x = 0.66(2400)(3070) \times 10^{-5} = 48.63 \text{ ton.m}$$

$$V = F_v d t_w = 0.4 F_y d t_w = 0.40(2400)(60)(1.2) 10^{-3} = 69.12 \text{ ton}$$

ب) شرایط طراحی

$$\text{واقعی } M = 37 \text{ ton.m} > 0.50 \times 48.63 = 24.32 \text{ ton.m}$$

پس:

$$\text{طراحی } M = 37 \text{ ton.m}$$

$$\text{واقعی } V = 32 \text{ ton} < 0.50 \times 69.12 = 34.56 \text{ ton}$$

پس:

$$\text{طراحی } V = 34.56 \text{ ton}$$

پ) طراحی ورق‌های وصله جان

ورق‌های وصله جان باید قادر باشند که کل نیروی برشی را تحمل نمایند.

$$\text{لازم } A_g = \frac{V}{0.4F_y} = \frac{34.56 \times 10^3}{0.4(2400)} = 36 \text{ cm}^2$$

$$\text{حداکثر ارتفاع ممکن } = h - 2c = 51.4 \text{ cm}$$

$$\text{لازم } t = \frac{A_g}{2(\text{ارتفاع})} = \frac{36}{2(51.4)} = 0.35 \text{ cm}$$

از ورق ۶ میلی‌متری به‌عنوان حداقل عملی استفاده می‌شود. پس از دو ورق ۶×۵۳۰ میلی‌متر استفاده شود.

ت) طراحی ورق‌های وصله بال

برای طراحی ورق‌های وصله بال از این فلسفه استفاده می‌کنیم که چون این ورق‌ها باید نقش بال را در محل وصله انجام دهند، سطح مقطع آنها باید مساوی سطح مقطع بال (به‌نسبت لنگر طراحی به‌ظرفیت خمشی تیر) باشد.

$$\text{IPB600 سطح مقطع بال} = (22)(1.9) = 41.8 \text{ cm}^2$$

$$\text{درصد لنگر طراحی به‌ظرفیت کامل} = \frac{37}{48.63}(100) = \%76$$

$$\text{سطح مقطع لازم برای وصله بال} > 0.76 \times (41.8) = 31.77 \text{ cm}^2$$

$$\text{لازم } t = \frac{31.77}{(22-2)} = 1.59 \text{ cm}$$

برای وصله بار از ورق ۱۶×۲۰۰ میلی‌متر با سطح مقطع ۳۲ سانتی‌متر مربع استفاده می‌شود.

البته سطح مقطع ورق وصله بال را می‌توان به‌نسبت فاصله مرکز به‌مرکز ورق‌های بال به‌فاصله مرکز به مرکز ورق‌های وصله کاهش داد.

$$\text{درصد کاهش} = \left[1 - \frac{(60-1.9)}{(60+1.6)} \right] \times 100 = \%5.681$$

در طراحی از این کاهش صرف‌نظر می‌شود.

$$f = \frac{MC}{I} \text{ رابطه از استفاده بال با استفاده از رابطه}$$

$$I = I_w + I_f = \left[2 \times \frac{1}{12} (0.6)(53)^3 \right] + \left[2(1.6 \times 20) \left(30 + \frac{1.6}{2} \right)^2 \right]$$

$$I = 14887.7 + 60712.96 = 75601 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{37(10^5)(31.8)}{75601} = 1556 \text{ kg/cm}^2 < 0.66F_y = 1584 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{با فرض مقطع فشرده})$$

ج) طراحی طول ورق‌های وصله بال و جوش‌های آن

ابتدا نیروی موجود در ورق‌های وصله بال را به دست می‌آوریم. لازم به توضیح است که لنگر به نسبت ممان اینرسی بین بال و جان تقسیم می‌شود.

$$M = \frac{I_f}{I} (M) = \frac{60713}{75601} (37) = 0.80(37) = 29.71 \text{ ton.m}$$

$$F = \frac{M}{d} = \frac{(29.71)10^2}{(60 + 1.6)} = 48.23 \text{ ton}$$

نیرو در وصله بال را به طریق زیر نیز می‌توان به دست آورد:

$$F = \sigma_f \cdot A_f = \frac{37(10^5) \left(30 + \frac{1.6}{2} \right)}{75601} \times (1.6 \times 20) 10^{-3} = 48.23 \text{ ton}$$

A_f, σ_f به ترتیب تنش ناشی از خمش در مرکز سطح و مساحت ورق وصله بال می‌باشند.

$$L_{wf} = \frac{F}{650D} \text{ طول لازم جوش وصله بال}$$

اگر از جوش به اندازه $D = 8 \text{ mm}$ استفاده کنیم:

$$L_{wf} = \frac{48.23 \times 10^3}{650(0.8)} = 92.8 \text{ cm}$$

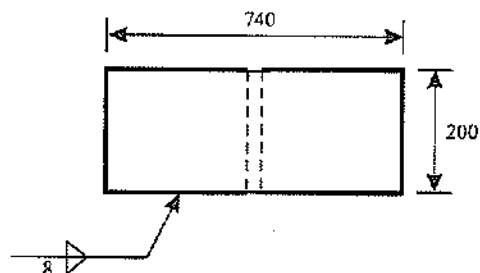
طول لازم ورق وصله بال در یک طرف درز:

$$L_1 = \frac{1}{2}(92.8 - 20) = 36.4 \text{ cm}$$

طول کل لازم ورق وصله بال:

$$2 \times (36.4) = 72.8 \text{ cm}$$

بنابراین از ورق‌های $۱۶ \times ۲۰۰ \times ۷۴۰$ میلی‌متر در بالا و پایین تیر و جوش ۸ میلی‌متر استفاده می‌کنیم.



شکل ۱۱ - ۴۰ پلان جوش‌های وصله بال.

چ) طراحی طول ورق‌های وصله جان و جوش‌های آن
 لنگر پیچشی وارد بر مجموعه جوش جان عبارت است از سهم جان از لنگر خمشی طرح به علاوه لنگر پیچشی ناشی از انتقال نیروی برشی به مرکز هندسی مجموعه جوش.
 برای جان از دو ورق وصله ۶×۵۳۰×۶۰ - میلی‌متر استفاده می‌نماییم.

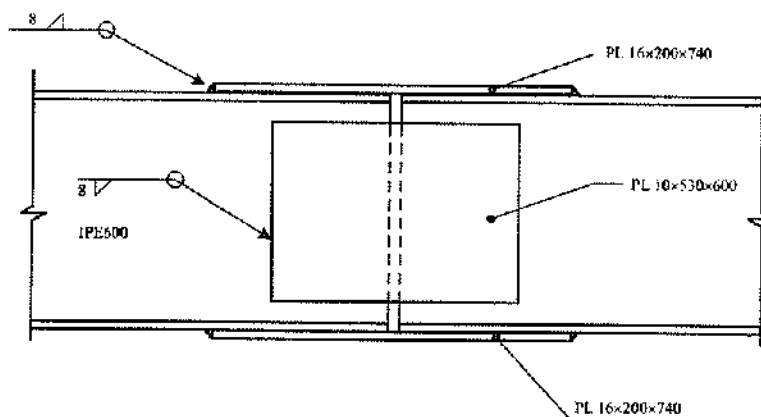
$$b = \frac{60}{2} = 30 \quad , \quad d = 53 \text{ cm}$$

$$\bar{X} = \frac{30^2}{2(30) + 53} = 7.96 \text{ cm}$$

$$I_p = 2 \left[\frac{8(30)^3 + 6(30)(53)^2 + (53)^3}{12} - \frac{(30)^4}{2(30) + 53} \right] = 130746.6 \text{ cm}^3$$

$$M_T = \frac{I_w}{I} M + V_e = \frac{14887.7}{75601} (37) + (34.56)(30 - 7.96) \times 10^{-2}$$

$$M_T = 7.29 + 7.62 = 14.91 \text{ ton.m}$$



شکل ۱۱ - ۴۱

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

$$f'_x = \frac{V}{A} = \frac{34.56 \times 10^3}{2(2 \times 30 + 53)} = 152.92 \text{ kg/cm}$$

$$f''_x = \frac{M_T \cdot Y}{I_p} = \frac{(14.91 \times 10^5)}{130746.6} \times \frac{53}{2} = 302.20 \text{ kg/cm}$$

$$f''_y = \frac{M_T \cdot X}{I_p} = \frac{(14.91 \times 10^5) \times (30 - 7.96)}{130746.6} = 251.34 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = \sqrt{(302.20)^2 + (152.92 + 251.34)^2} = 504.73 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = 650 D \rightarrow D = \frac{504.73}{650} = 0.78 \text{ cm}$$

از جوش $D = 8 \text{ mm}$ استفاده می‌کنیم. چون اندازه جوش از ضخامت ورق جان بیشتر است، بنابراین برای وصله جان از دو ورق $10 \times 53 \times 600$ میلی‌متر استفاده می‌شود.

۱۱-۷ وصله ستون‌ها

۱۱-۷-۱ معرفی

با رفتن به طبقات بالاتر، بار محوری ستون‌ها کم می‌شود، در نتیجه می‌توان برای آنها نیمرخ‌های سبک‌تری انتخاب نمود. این موضوع و همچنین محدود بودن طول تیرآهن، استفاده از وصله در ستون‌ها را ایجاب می‌نماید. هر چند که کاستن از شماره نیمرخ با کم شدن نیروی محوری، باعث سبک‌تر شدن ستون و کاهش فولاد مصرفی می‌شود، لیکن باید توجه داشت که وصله نیمرخ جدید به نیمرخ قدیم، اضافه مخارجی در بر دارد که ممکن است کاهش مخارج ناشی از سبک‌تر کردن نیمرخ را جبران ننماید. لذا در عمل تا ارتفاعی مساوی طول یک شاخه تیرآهن (۱۲ متر - در حدود سه طبقه)، شماره نیمرخ عوض نمی‌شود و همان نیمرخ پایین‌ترین طبقه، تا ۲ طبقه بعد نیز ادامه می‌یابد.

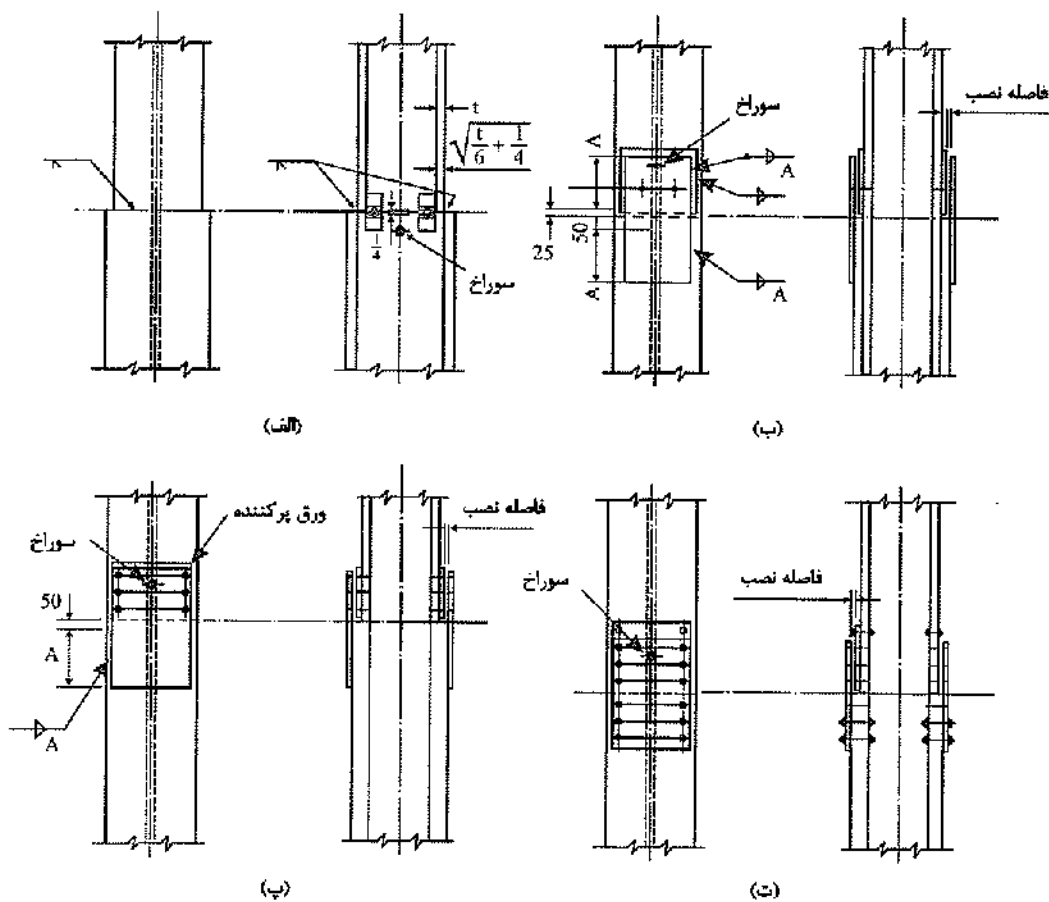
۱۱-۷-۲ محل وصله

وقتی که وصله ستون اجتناب‌ناپذیر شد، بهترین محل برای وصله در حدود ۱۰۰ سانتی‌متری بالای کف طبقه است. چون اولاً در این محل به قدر کافی از محل اتصال تیر به ستون دور شده‌ایم و ثانیاً از لحاظ انجام عملیات جوشکاری، ارتفاع بسیار مناسبی را در اختیار داریم.

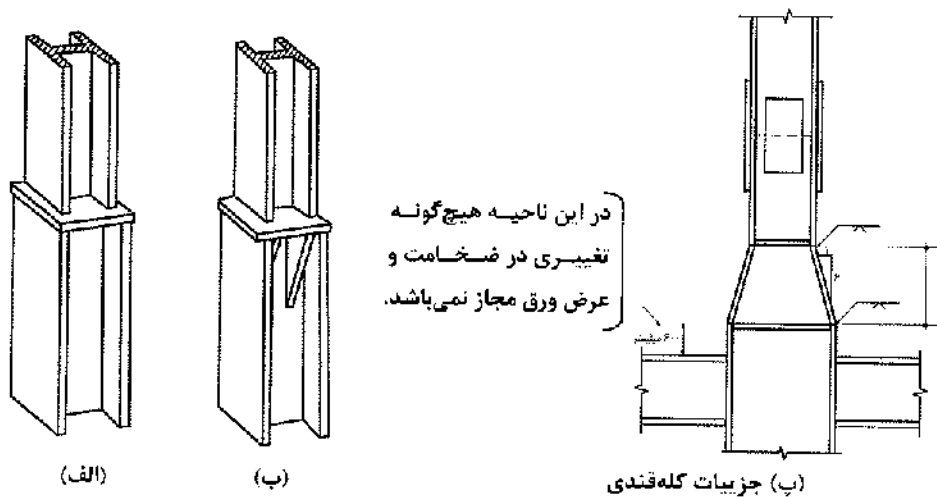
در صورتی که ستون عضوی از قاب خمشی باشد، در اثر بارهای جانبی در آن ایجاد لنگر خمشی می‌گردد که نقطه عطف آن تقریباً در وسط ارتفاع قرار دارد. در این حالت بهترین محل برای وصله ستون، وسط ارتفاع طبقه است که در آن لنگر خمشی مساوی با صفر می‌باشد. اما در طرف دیگر، انجام عملیات جوشکاری در وسط ارتفاع طبقه، مشکلاتی همراه دارد که ممکن است طراح را به انتخاب ارتفاع کمتر برای وصله وا دارد.

۱۱-۷-۳ انواع وصله

در شکل ۱۱-۴۲، مثال‌های متعددی از وصله ستون‌ها نشان داده شده است. غالباً برای تنظیم و قرارگیری ستون‌ها در محل وصله، زائده‌های کوچکی به لبه ستون‌ها جوش می‌شود که از سوراخ‌های موجود در داخل این زائده‌ها، پیچ‌های مونتاژ عبور داده می‌شود. این موضوع در شکل ۱۱-۴۲ الف، نشان داده شده است. شکل‌های ۱۱-۴۲ ب و ۱۱-۴۲ پ، حالاتی را نشان می‌دهند که در آن اتصال ورق به ستون پایینی توسط جوش در کارخانه و یا پای کار قبل از واداشتن ستون انجام شده و اتصال ورق به ستون فوقانی توسط جوش یا پیچ به صورت درجا صورت پذیرفته است. در هر دو اتصال برای پر کردن فاصله به وجود آمده در اثر اختلاف ابعاد دو ستون، از ورق‌های پرکننده استفاده شده است. در صورتی که اختلاف در ابعاد دو ستون زیاد باشد، اتصال آنها به یکدیگر باید مطابق شکل ۱۱-۴۳ با استفاده از یک ورق سر ضخیم که تغییرشکل پذیری ناچیزی داشته باشد، و یا جزییات کله‌قندی انجام گردد.



شکل ۱۱-۴۲



شکل ۱۱ - ۴۳

۱۱-۷-۴ نیروهای وصله

اگر لبه‌های در حال تماس دو ستون گونیا شده و خوب سنگ زده شود، می‌توان درصدی از بار طراحی ستون‌ها را به‌صورت فشار تماسی انتقال داد و در نتیجه از ابعاد ورق‌های اتصال کاست. با توجه به‌اضافه مخارج عمل سنگ زدن و گونیا کردن لبه‌های در حال تماس و عدم اطمینان از نظارت دقیق بر این عمل، استفاده از چنین تمهیداتی برای کاهش نیروهای طرح منطقی به‌نظر نمی‌رسد. لیکن در صورتی که از اجرای دقیق کار مطمئن باشیم، در این صورت طبق توصیه AISC، ورق وصله مربوط به‌بال یا جانی که تحت اثر نیروی فشاری و لنگر خمشی به‌فشار کار می‌کند، می‌تواند برای ۵۰ درصد نیروی فشاری طراحی گردد. اگر تحت اثر نیروی محوری و لنگر خمشی در بالای نیروی کششی ایجاد گردد، در این صورت ورق وصله مربوط به‌این بال باید برای اثر مشترک لنگر ناشی از نیروهای جانبی (باد یا زلزله) و ۷۵ درصد نیروی فشاری ناشی از بار مرده (بدون احتساب بار زنده)، طراحی گردد.

۱۱-۷-۵ پُرکننده‌ها

در اتصالات جوشی ساختمان‌ها، پُرکننده‌هایی را که ضخامت‌شان از ۶ میلی‌متر بیشتر باشد باید به اندازه کافی از لبه ورق وصله ادامه داد و قسمت ادامه یافته را با جوش کافی به‌قطعه‌ای که در زیرش قرار دارد متصل نمود. (شکل ۱۱ - ۴۲ ت). قدرت جوش باید طوری باشد که تنش‌های ورق وصله را که به‌صورت بار برون‌محور بر روی سطح صفحه پُرکننده وارد می‌شود، تحمل نماید. جوشی که ورق وصله را به‌پُرکننده متصل می‌نماید باید طوری باشد که بتواند تنش‌های ورق وصله را به‌ورق پُرکننده منتقل نموده و خط جوش باید به‌اندازه کافی بزرگ باشد تا از تنش بیش از حد صفحه پُرکننده در ناحیه جوش‌ها جلوگیری به‌عمل آید. لبه پُرکننده با ضخامت کمتر از ۶ میلی‌متر باید با لبه ورق وصله هم‌سطح شده و اندازه جوشی که به‌کار برده می‌شود باید برابر مجموع اندازه لازم برای انتقال تنش ورق وصله به‌ورق پُرکننده به‌علاوه ضخامت ورق پُرکننده باشد. در صورتی که ضخامت ورق پُرکننده زیاد باشد، توصیه می‌شود از جزییات شکل ۱۱ - ۴۳ استفاده نمود.

۱۱ - ۷ - ۶ اتصالات اعضای فشاری و کششی در خرپاها

اتصالات در دو انتهای اعضای کششی و یا فشاری خرپاها باید نیروی ناشی از باری که در طراحی به کار برده شده است را تحمل نماید، ولی این اتصالات نباید مقاومتی کمتر از ۵۰ درصد مقاومت مؤثر قطعات را بر مبنای نوع تنش که قطعه بر آن اساس انتخاب می‌شود، دارا باشند.

مثال ۱۱ - ۱۲

مطلوبست طراحی وصله یک ستون IPB240 به ستون طبقه زیر آن که یک ستون IPB260 می‌باشد.

نیروهای موجود در محل اتصال عبارتند از:

$$P = 65 \text{ ton (نیروی محوری)}$$

$$M_x = 5 \text{ ton.m (لنگر)}$$

$$V_x = 4 \text{ ton (برش)}$$

ارتفاعات طبقه ۳/۸ متر می‌باشد و ضریب $K_x = 1/15$ و $K_y = 1$ تعیین گردیده است و فولاد مصرفی از نوع ST37 با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ می‌باشد.

حل:

تعیین تنش مجاز برای ستون:

$$\frac{K_x L_x}{r_x} = \frac{1.15 \times 380}{10.3} = 42.4$$

$$\frac{K_y L_y}{r_y} = \frac{1 \times 380}{6.08} = 63 \rightarrow F_a = 1149 \text{ kg/cm}^2$$

IPB260	IPB240	مشخصات هندسی
۲۶	۲۴	ارتفاع (cm)
۲۶	۲۴	پهنای بال (cm)
۱	۱	ضخامت جان (cm)
۱/۷۵	۱/۷	ضخامت پال (cm)
۱۱۸	۱۰۶	مساحت (cm ²)
۲۲/۵	۲۰/۶	ارتفاع جان (cm)
۱۴۹۲۰	۱۱۲۶۰	I_x (cm ⁴)
۱۱/۲	۱۰/۳	r_x (cm)
۶/۵۸	۶/۰۸	r_y (cm)

نیروی محوری را به نسبت مساحت و لنگر خمشی را به نسبت ممان اینرسی بین بال و جان IPB240 تقسیم می‌کنیم:

$$I_w = \frac{1 \times 20.6^3}{12} = 728 \text{ cm}^4$$

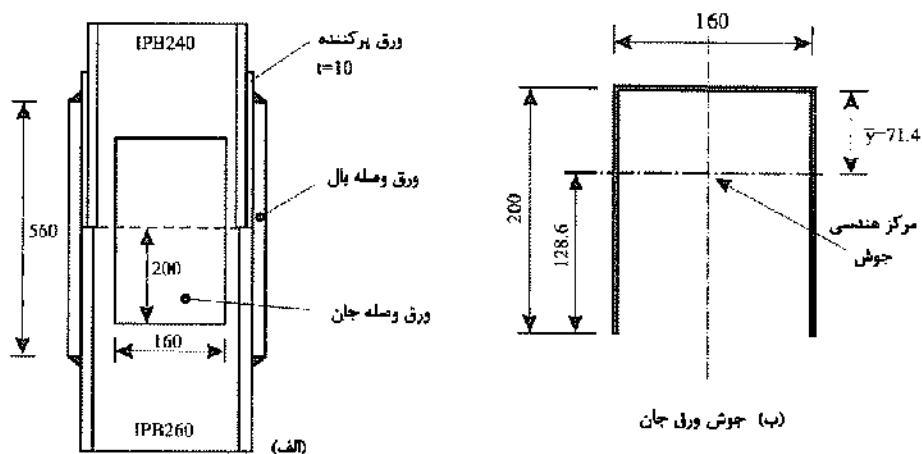
$$A_w = 1 \times 20.6 = 20.6 \text{ cm}^2$$

$$P_w = 65 \times \frac{20.6}{106} = 12.6 \text{ ton}$$

$$P_f = \frac{65 - 12.6}{2} = 26.2 \text{ ton}$$

$$M_w = 5 \times \frac{728}{11260} = 0.32 \text{ ton.m}$$

$$M_f = 5 - 0.32 = 4.68 \text{ ton.m}$$



شکل ۱۱ - ۴۴ مربوط به مثال ۱۱ - ۱۲ (ابعاد به میلی‌متر).

محاسبه وصله بال

$$\text{نیروی محوری بال} = 26.2 \pm \frac{4.68 \times 100}{(24 - 1.7)} = 26.2 \pm 21$$

$$\text{نیروی حداکثر} = 47.2 \text{ ton}$$

$$\text{نیروی حداقل} = 5.2 \text{ ton}$$

وصله بال را برای تمام نیروی موجود در محل مقطع طراحی می‌نماییم.

$$\text{سطح لازم برای وصله} = \frac{47.2 \times 1000}{1149} = 41 \text{ cm}^2$$

$$\text{پهنای ورق} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{ضخامت ورق} = \frac{41}{20} = 2.05 \rightarrow t = 2.2 \text{ cm}$$

محاسبه جوش

$$D = 10 \text{ mm}$$

$$650 \times 1 \times L = 47.2 \times 1000$$

$$L = 72.6 \text{ cm}$$

$$\text{طول جوش ران} = \frac{72.6 - 20}{2} = 26.3 \text{ cm}$$

طول وصله را در هر طرف ۲۸ سانتی متر در نظر می گیریم.

$$\text{ارتفاع کل وصله بال} = 28 \times 2 = 56 \text{ cm}$$

ورق پُرکننده بال

$$\text{ضخامت ورق پُرکننده} = \frac{26 - 24}{2} = 1 \text{ cm}$$

$$\text{ارتفاع ورق پُرکننده} = 28 + 4 = 32 \text{ cm}$$

$$\text{پهنای ورق پُرکننده} = 20 + 2 = 22 \text{ cm}$$

جوش ورق پُرکننده مطابق جوش ورق بال انتخاب می گردد، یعنی $D = 10 \text{ mm}$ به طور دور تا دور انجام می شود.

محاسبه وصله جان

از دو ورق $160 \times 8 \text{ mm}$ استفاده کرده و آن را کنترل می کنیم:

$$S = 2 \times \frac{0.8 \times 16^2}{6} = 68.3 \text{ cm}^3$$

$$A = 2 \times 16 \times 0.8 = 25.6 \text{ cm}^2$$

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{S} = \frac{12.6 \times 1000}{25.6} \pm \frac{0.32 \times 10^5}{68.3} = 492 \pm 469$$

$$\text{تنش حداکثر} = 961 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{خوبست})$$

$$\text{تنش حداقل} = 23 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{خوبست})$$

محاسبه جوش

این جوش تحت اثر لنگر پیچشی و نیروهای محوری و برشی قرار دارد. چون دو ورق وصله داریم، بنابراین نیروی هر یک برابر است با:

$$V = \frac{4}{2} = 2 \text{ ton}$$

$$P = \frac{12.6}{2} = 6.3 \text{ ton}$$

$$M = \frac{0.32}{2} = 0.16 \text{ ton.m}$$

ابعاد جوش را طبق شکل ۱۱ - ۴۴ - ب، در نظر می‌گیریم:

$$b = 16 \text{ cm} \quad d = 20 \text{ cm}$$

$$A = 16 + 2 \times 20 = 56 \text{ cm}^2 / \text{cm}$$

$$f'_y = \frac{P}{A} = \frac{6.3 \times 1000}{56} = 112.5 \text{ kg/cm}$$

$$f'_x = \frac{V}{A} = \frac{2 \times 1000}{56} = 35.7 \text{ kg/cm}$$

$$I_p = \frac{(16)^3 + 6(16)^2(20) + 8(20)^3}{12} - \frac{(20)^4}{2(20) + 16} = 5377 \text{ cm}^4 / \text{cm}$$

$$\bar{Y} = \frac{d^2}{b + 2d} = \frac{20^2}{16 + 40} = 7.14 \text{ cm}$$

$$\text{فاصله نقطه A تا مرکز ثقل} = 20 - 7.14 = 12.86 \text{ cm}$$

$$M_t = 2 \times 12.86 \times 10^{-2} + 0.16 = 0.42 \text{ ton.m}$$

$$f''_x = \frac{M_t y}{I_p} = \frac{0.42 \times 10^5 \times 12.86}{5377} = 100.45 \text{ kg/cm}$$

$$f''_y = \frac{M_t x}{I_p} = \frac{0.42 \times 10^5 \times 8}{5377} = 62.49 \text{ kg/cm}$$

$$f_x = 35.7 + 100.45 = 136.15 \text{ kg/cm}$$

$$f_y = 112.5 + 62.49 = 174.99 \text{ kg/cm}$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 221.72 \text{ kg/cm}$$

$$650D = 221.72$$

$$D = 0.34 \text{ cm}$$

انتخاب می‌شود: $D = 5 \text{ mm}$

۱۱-۸ اتصالات مهاربند همگرا

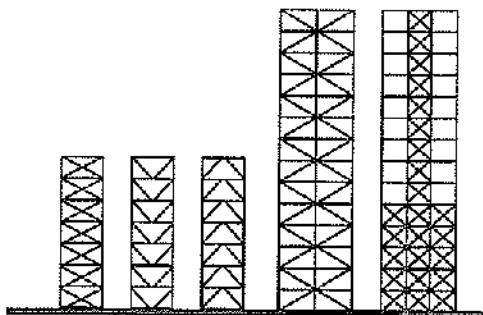
۱۱-۸-۱ مقدمه

انواع مهاربندهای همگرا و اتصالات آنها در شکل ۱۱-۴۵ نشان داده شده‌اند. در اتصال این نوع مهاربندها، عضو قطری به ورق^۷ اتصال به وسیله جوش و یا پیچ متصل شده و ورق اتصال به وسیله جوش‌های گوشه افقی و قائم به تیر و ستون جوش می‌گردد.

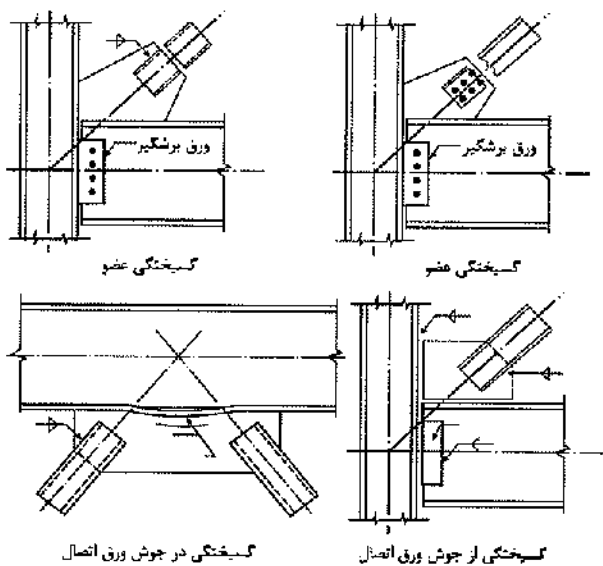
۱۱-۸-۲ نکات فنی

اتصال تیر به ستون باید قادر به انتقال نیروی قائم و محوری عضو افقی به ستون باشد، از این رو غالباً آن را با جوش مستقیم به ستون یکپارچه می‌سازند. اعضای قطری معمولاً از نیمرخ نبشی و یا ناودانی به صورت تک و یا زوج انتخاب می‌گردند. هنگام استفاده از نیمرخ‌های زوج به منظور کاهش طول‌های افقی و قائم جوش ورق به تیر و ستون، می‌توان این جوش را دوطرفه انجام داد.

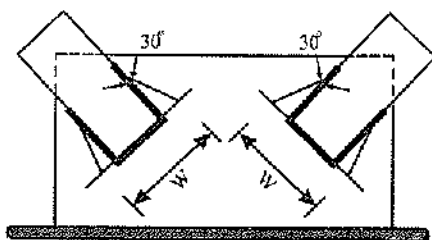
برای جلوگیری از ایجاد لنگرهای ثانویه در اتصال، حتی‌الامکان باید سعی نمود تا محور هندسی مهاربند از محل برخورد محورهای هندسی تیر و ستون عبور نماید و زاویه اعضای قطری با افق در حدود ۴۵ درجه باشد. در عمل ورق اتصال را با شکل‌ها و برش‌های مختلفی به کار می‌برند که شکل ۱۱-۴۶ یک نمونه از آنها را نشان می‌دهد. هندسه ورق اتصال طوری باید باشد که طول جوش‌های محاسبات L_{wh} ، L_{wv} و L_{wd} تأمین شود.



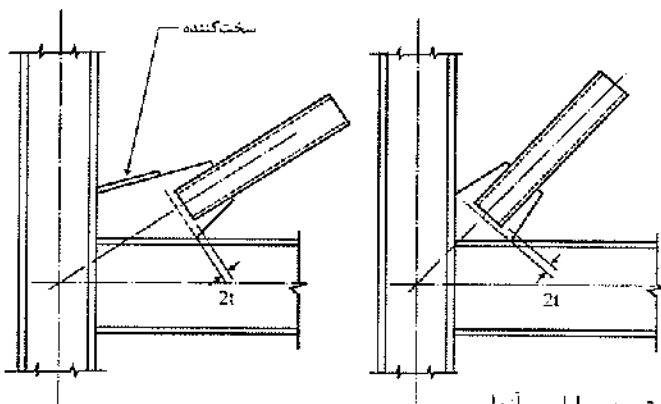
(الف) کاربرد انواع مهاربند در ساختمان



(ب) شکل‌های گسیختگی مهاربند

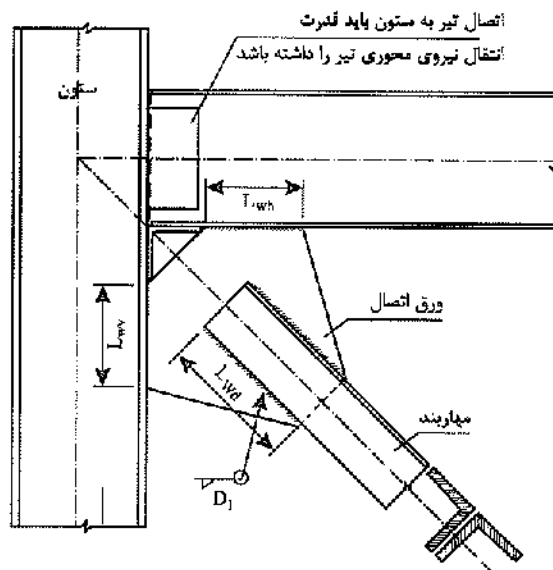


(پ) روش وینمور برای گسترش نیرو در ورق مهاربند



(ت) رعایت فاصله $2t$ در انتهای عضو مهاربند به منظور شکل‌پذیری مهاربند

شکل ۱۱ - ۴۵ کاربرد مهاربندهای همگرا در ساختمان و نکات مهم طراحی آنها.



شکل ۱۱ - ۴۶ یک نمونه از اتصال مهاربندی.

۱۱ - ۸ - ۳ طرح اتصال مهاربندی

طراحی اتصال عضو قطری مهاربند، شامل طراحی و کنترل موارد زیر می‌باشد:

- ۱ - کنترل ورق اتصال
- ۲ - اتصال عضو مهاربند به ورق اتصال
- ۳ - اتصال ورق اتصال به تیر و ستون
- ۴ - اتصال تیر به ستون

۱۱ - ۸ - ۳ - ۱ کنترل ورق اتصال

ورق اتصال باید جوابگوی ۵ کنترل تنش زیر باشد:

۱. کنترل تنش کششی در عرض مؤثر ویتمور (W)، مطابق شکل ۱۱ - ۴۷:

$$f = \frac{P}{W_t} \leq 0.6F_y \quad (۱۱ - ۵۶)$$

۲. کماتش ورق اتصال در فشار مطابق شکل ۱۱ - ۴۸

$$f_a = \frac{P}{W_t} < F_a \quad (۱۱ - ۵۷)$$

f_u = تنش فشاری در عرض مؤثر ویتمور

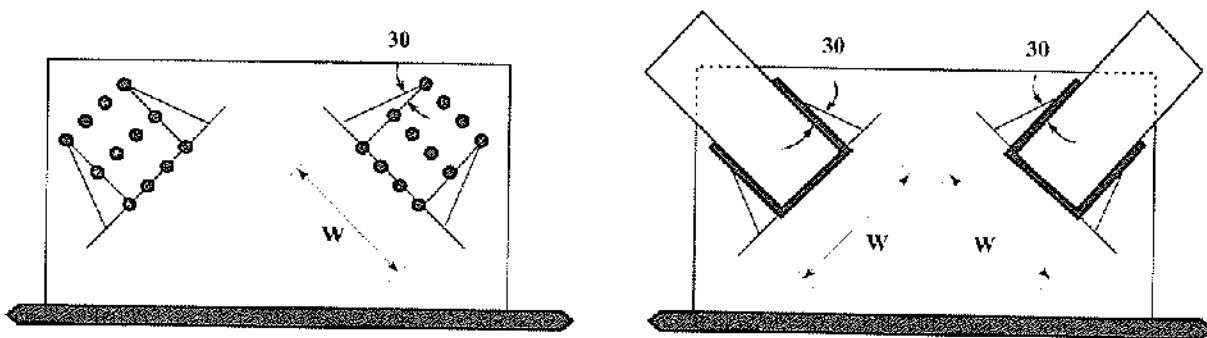
P = نیروی محوری فشاری مهاربند

W = عرض مؤثر ویتمور

t = ضخامت ورق اتصال

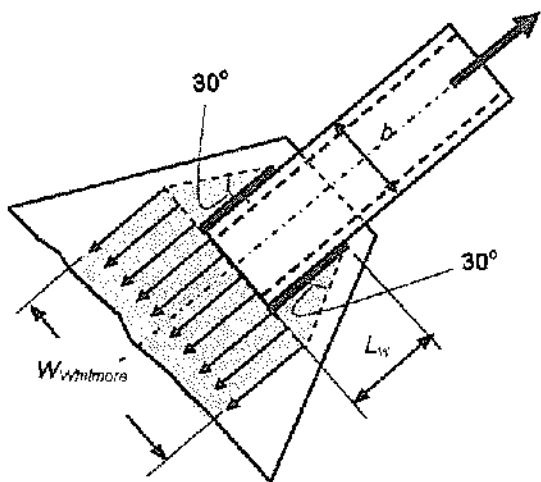
F_a = تنش فشاری مجاز با لاغری $\frac{KL}{r}$

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

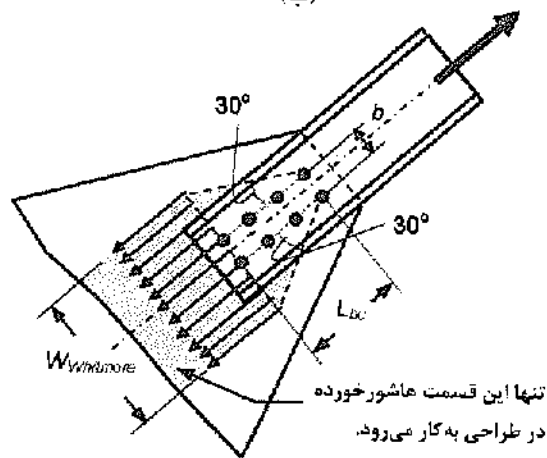


(الف)

(ب)

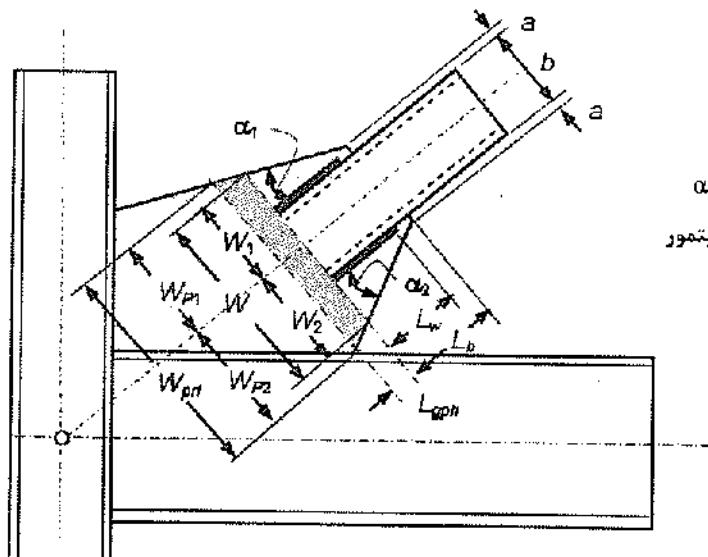


(پ) اتصال جوشی



(ت)

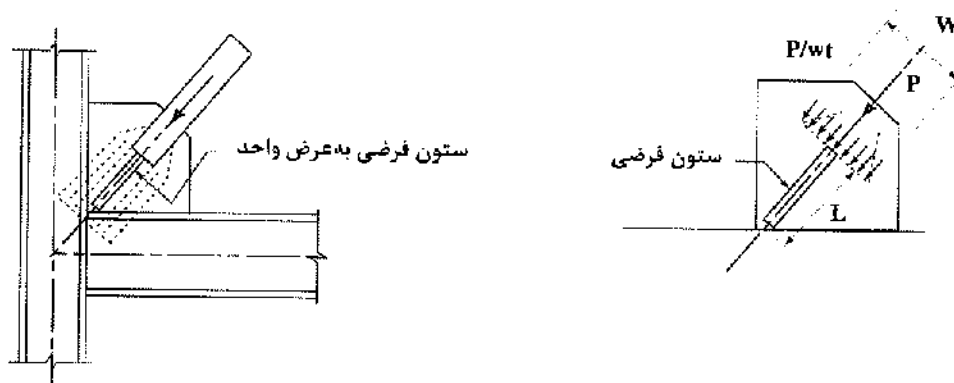
تنها این قسمت مانشور خورده در طراحی به کار می‌رود.



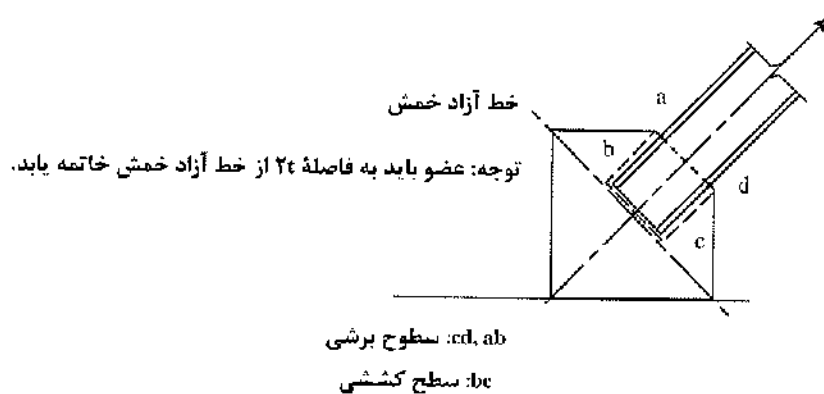
$\alpha_1, \alpha_2 \leq 30^\circ$
 $W = \text{عرض وینمور}$

(ث) تعیین عرض مؤثر وینمور در صورتی که در یک‌طرف محدودیت در ورق به وجود آید.

شکل ۱۱ - ۴۷



شکل ۱۱ - ۴۸ کمانش ورق اتصال در فشار.



شکل ۱۱ - ۴۹ کنترل برش قالبی.

$L =$ طول آزاد ورق اتصال

$K =$ ضریب طول مؤثر مساوی $1/2$

$t =$ شعاع زیراسیون ورقی به عرض واحد مساوی $0.3t$

۳. برش قالبی در کشش مطابق شکل ۱۱ - ۴۹

$$T \leq A_v F_v + A_t F_t \quad (۱۱ - ۵۸)$$

$A_v =$ سطح مقطع خالص در برش

$F_v =$ تنش برشی مجاز (مساوی $0.3F_u$)

$A_t =$ سطح مقطع خالص کششی

$F_t =$ تنش کششی مجاز (مساوی $0.5F_u$)

$T =$ نیروی کششی مهاربند

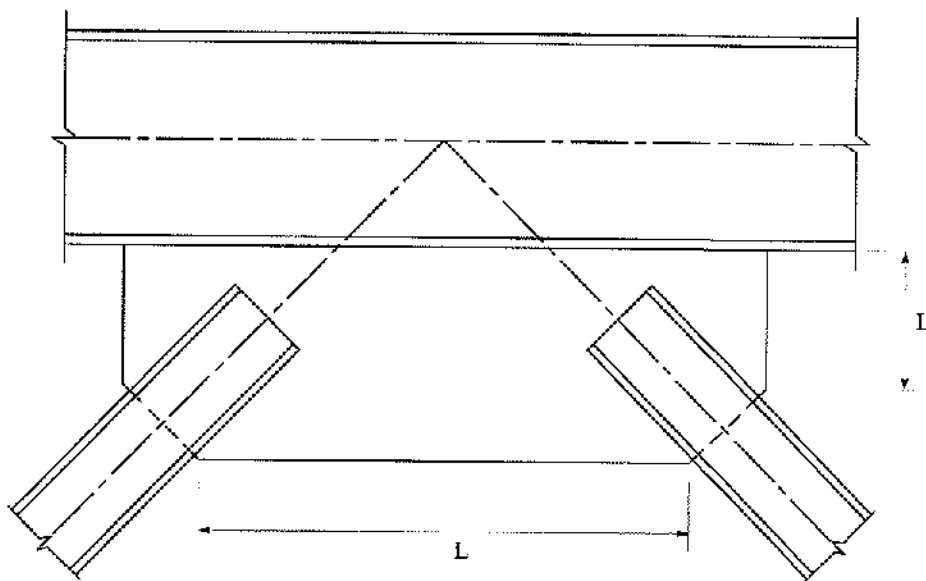
۴. کنترل کمانش لبه آزاد ورق اتصال مطابق شکل ۱۱ - ۵۰

$$\frac{L}{t} \leq 0.85 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (۱۱ - ۵۹)$$

E = ضریب الاستیسیته فولاد

F_y = تنش تسلیم فولاد

نسبت فوق برای فولاد نرمه با $F_y = 240 \text{ N/mm}^2$ مساوی ۲۵ به دست می‌آید.



شکل ۱۱ - ۵۰ کمانش لبه آزاد ورق اتصال.

۵. کنترل تنش ترکیبی در هر مقطع دلخواه از ورق اتصال مطابق شکل ۱۱ - ۵۱.

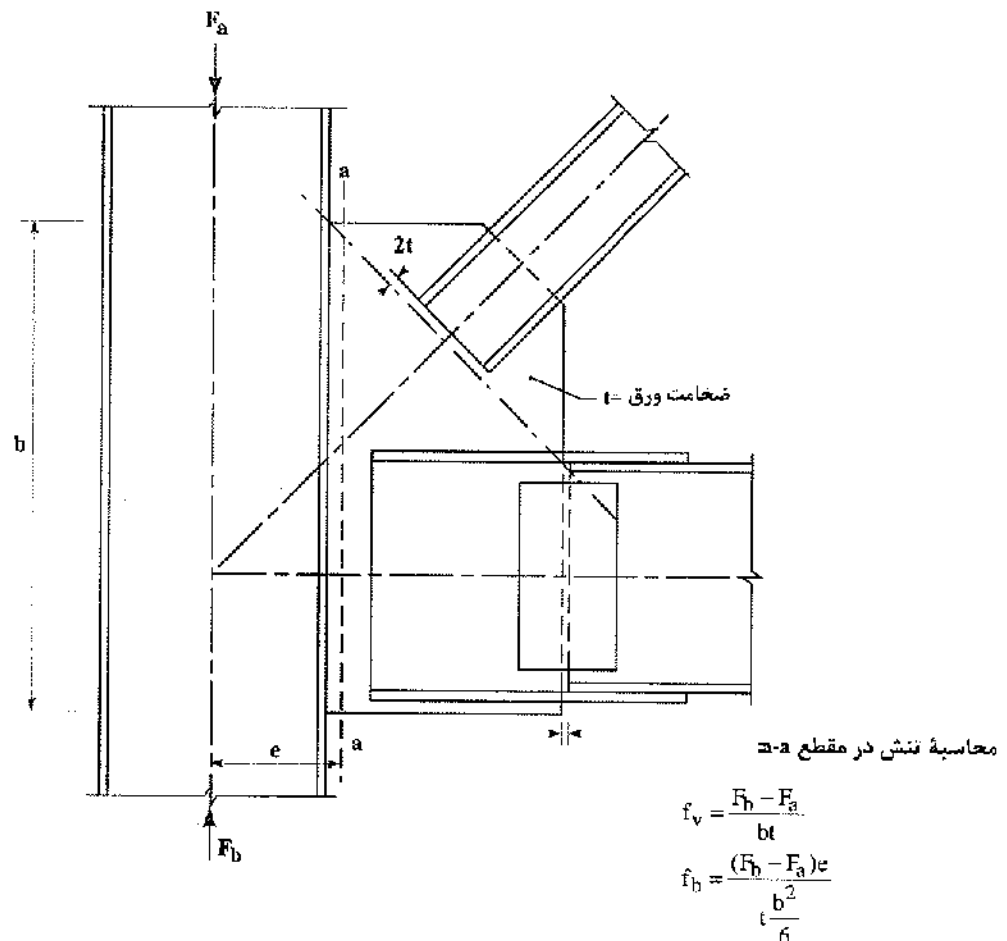
$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_b}{0.6F_y} + \frac{f_v}{0.4F_y} \leq 1 \quad (۱۱ - ۶۰)$$

که در آن:

f_a = تنش محوری در مقطع مورد مطالعه

f_b = تنش خمشی در مقطع مورد مطالعه

f_v = تنش برشی در مقطع مورد مطالعه



شکل ۱۱-۵۱ کنترل تنش ترکیبی در مقطع a-a.

۱۱-۸-۳-۲ اتصال عضو قطری مهاربند به ورق اتصال

عضو قطری مهاربند که تحت نیروی محوری قرار دارد، باید با وسایل اتصال کافی (پیچ یا جوش) به ورق اتصال متصل گردد. مقاومت مجاز اتصال، کمترین مقدار از مقادیر زیر می‌باشد:

۱- مقاومت کششی عضو مهاربند (مساوی $0.16 F_y A$ که A سطح مقطع عضو و F_y تنش تسلیم فولاد می‌باشد).

۲- حداکثر نیرویی که از سیستم بر مهاربند اعمال می‌شود.

۱۱-۸-۳-۳ اتصال ورق اتصال به تیر و ستون

روش‌های مختلفی جهت کنترل اتصال ورق مهاربندی به تیر و ستون آرایه شده و از گذشته مورد استفاده بوده‌اند که

* در طرح لرزه‌ای و در حالت شکل‌پذیری زیاد $F_{ye} = 1.15 F_y$ جایگزین F_y می‌شود.

تعدادی از آنها براساس اصول کلاسیک تحلیل سازه و برخی براساس نتایج مدل‌سازی‌های عددی و مطالعات آزمایشگاهی ارایه شده‌اند. در این قسمت تعدادی از این روش‌ها به شرح زیر معرفی می‌شوند:

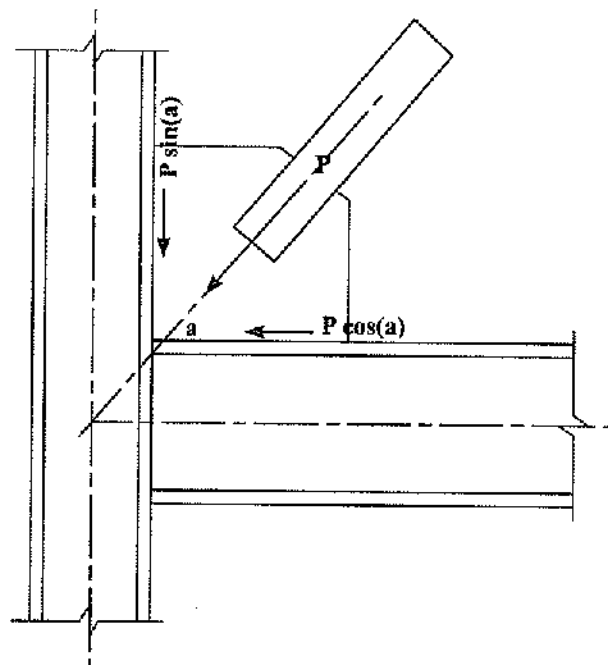
۱- روش تجزیه نیروها

۲- روش آستانه

۳- مجموعه روش‌های تورنتون

۱- روش تجزیه نیروها

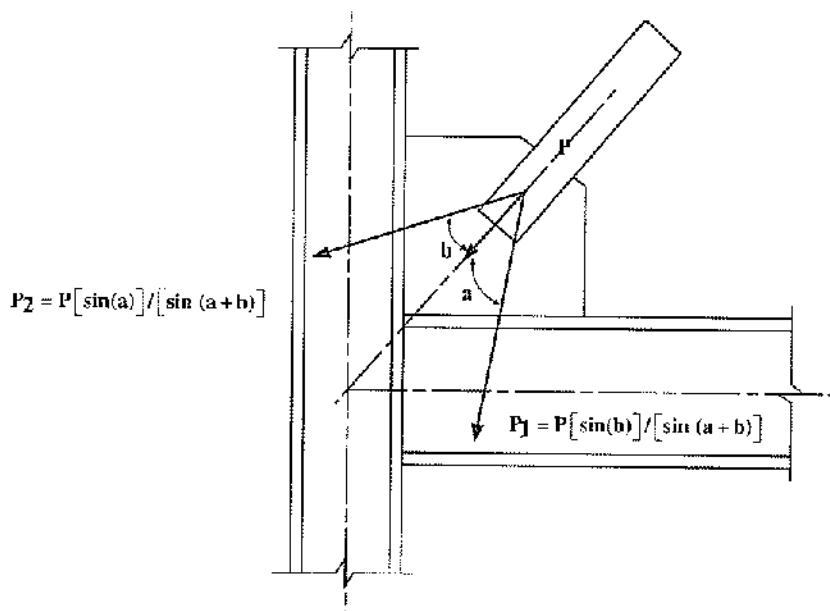
این روش جزو روش‌های قدیمی بوده و در دهه‌های گذشته مورد استفاده بوده است. در این روش، نیروی مهاربندی به دو مؤلفه متقاطع یا موازی مطابق شکل تجزیه می‌شود. روش تجزیه به دو مؤلفه متعامد بسیار متداول می‌باشد (شکل ۱۱ - ۵۲).



شکل ۱۱ - ۵۲ روش تجزیه نیروهای مهاربندی.

۲- روش تشبیه به خرپا (روش آستانه)

این روش توسط استاد آستانه اصل در سال ۱۹۸۹ ارایه شده است. در این روش با تشبیه ورق اتصال به خرپا، نیروی عضو قطری مهاربندی به دو مؤلفه وارد بر مرکز وجوه متصل به تیر و ستون تجزیه و محاسبه می‌گردد. شکل ۱۱ - ۵۳ مقادیر نیروهای محاسبه شده در وجوه متصل به تیر و ستون را در این روش نشان می‌دهد.



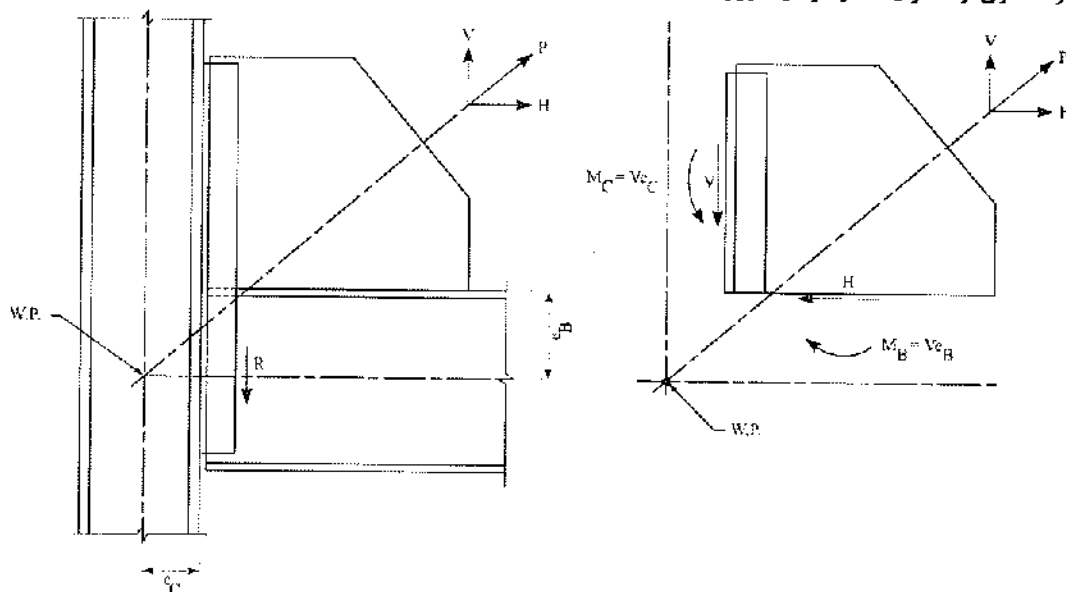
شکل ۱۱ - ۵۳ روشی آسانه در تعیین نیروهای تکیه‌گاهی ورق اتصال.

۳ - مجموعه روش‌های تورنتون

در این قسمت چندین روش مختلف که در قالب مقاله‌ای توسط تورنتون (۱۹۹۱) از طرف کمیته مشترک انجمن فولاد آمریکا و انجمن مهندسين عمران آمریکا ارایه شده است، معرفی می‌شود. در این روش‌ها بر اساس فرضیات مختلف، نمودار آزاد نیروهای وارد بر ورق مهاربندی تعیین شده و ورق اتصال برای این نیروها کنترل و طراحی می‌شود.

الف - روش کیس (KISS)

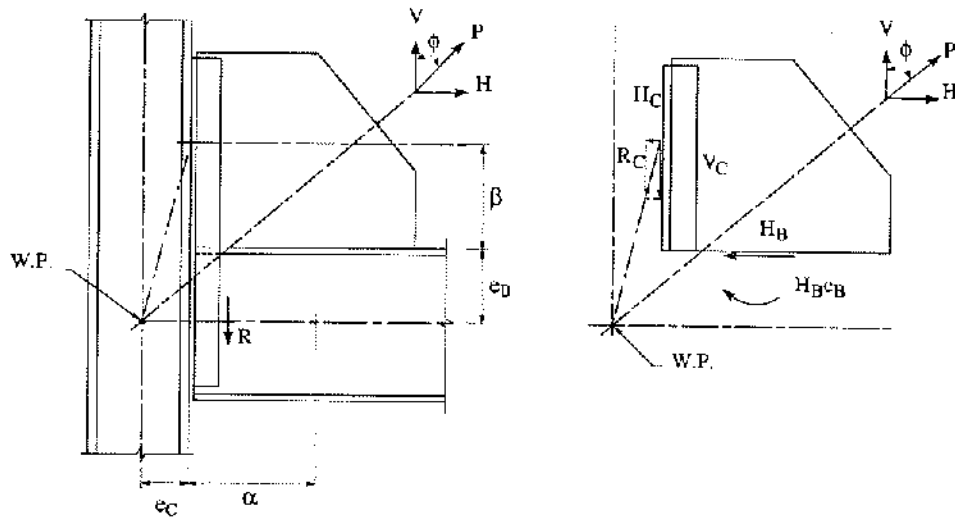
در این روش با تشبیه قاب مهاربندی شده همگرا به یک خرپای قائم و با فرض محل تقاطع نیروها در محل تقاطع خط محور تیر، ستون و فطری، نمودار آزاد ورق مهاربندی مطابق شکل ۱۱ - ۵۴ به دست می‌آید.



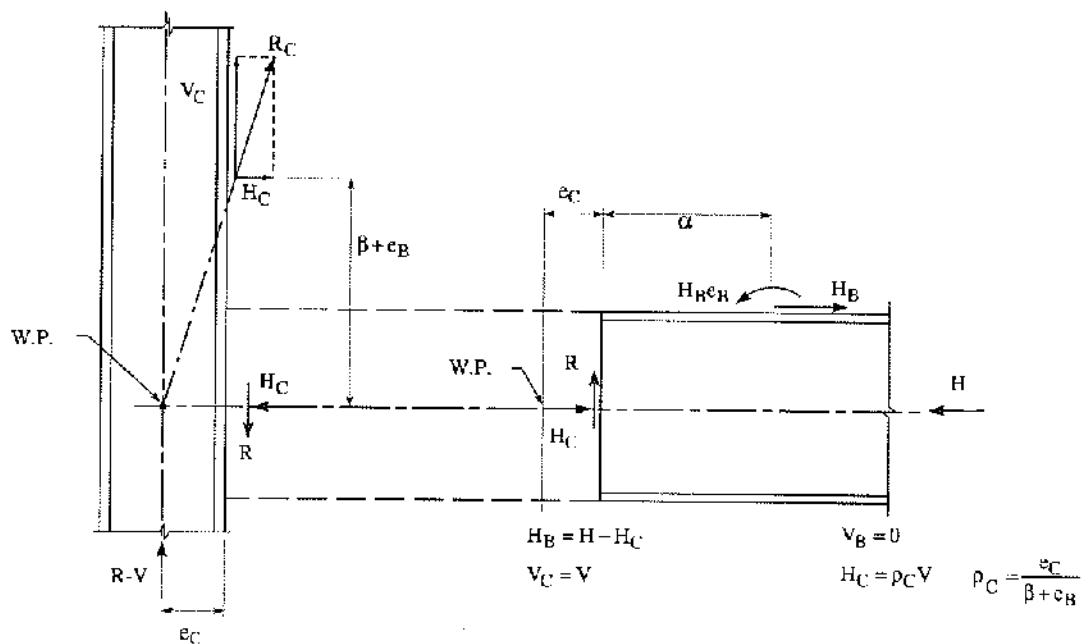
شکل ۱۱ - ۵۴ نیروهای وارد بر وجوه ورق اتصال در روش KISS.

ب - روش AISC

مطابق شکل ۱۱ - ۵۵، در این روش فرض می‌شود که برآیند نیروهای وارد بر وجه جان ستون از نقطه فرضی عملکرد نیروها می‌گذرد و در این روش لنگری بر وجه اتصال ورق به جان ستون ایجاد نمی‌شود. شکل ۱۱ - ۵۶ فرضیات این روش را نشان می‌دهد.



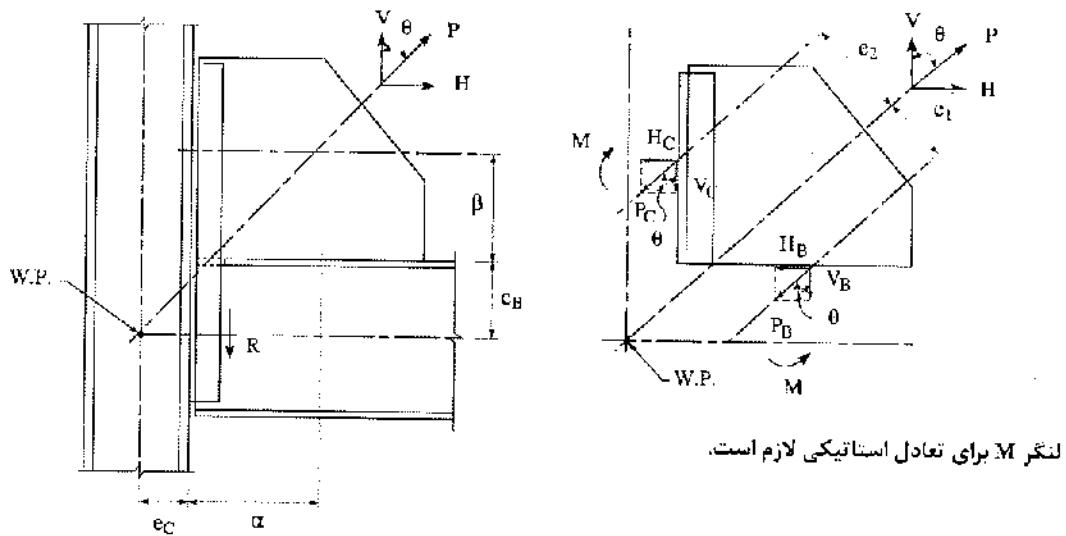
شکل ۱۱ - ۵۵ نیروهای وارد بر وجوه ورق اتصال در روش AISC.



شکل ۱۱ - ۵۶ نمودار آزاد تیر و ستون در روش AISC.

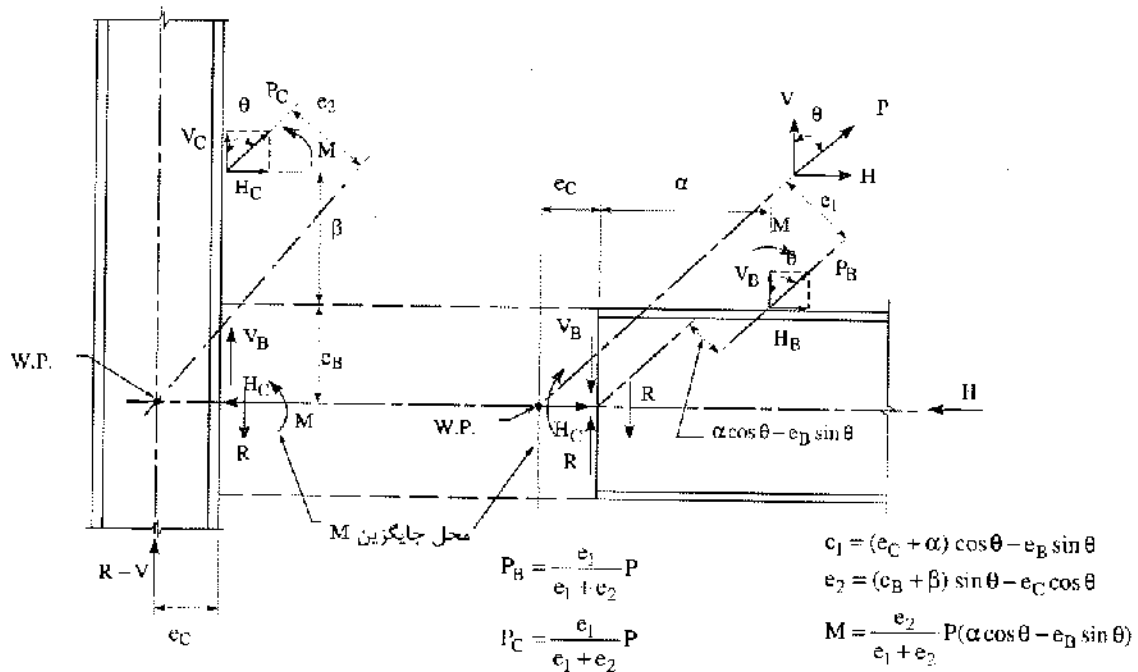
پ - روش ریکر^۸

در این روش فرض بر این است که برآیند نیروهای لبه ورق اتصال در هر دو وجه با خط اثر نیروی قطری موازی است. طبق نمودار آزاد نشان داده شده در شکل ۱۱ - ۵۷ وجود لنگر خمشی در لبه‌ها لازم است. از آنجا که لنگر مورد نظر به صورت بردار آزاد است، موقعیت اثر آن می‌تواند در وجه متصل به تیر، وجه متصل به ستون یا در محل اتصال تیر و ستون فرض شود. شکل ۱۱ - ۵۸ خلاصه‌ای از روابط محاسباتی این روش را نشان می‌دهد.



لنگر M برای تعادل استاتیکی لازم است.

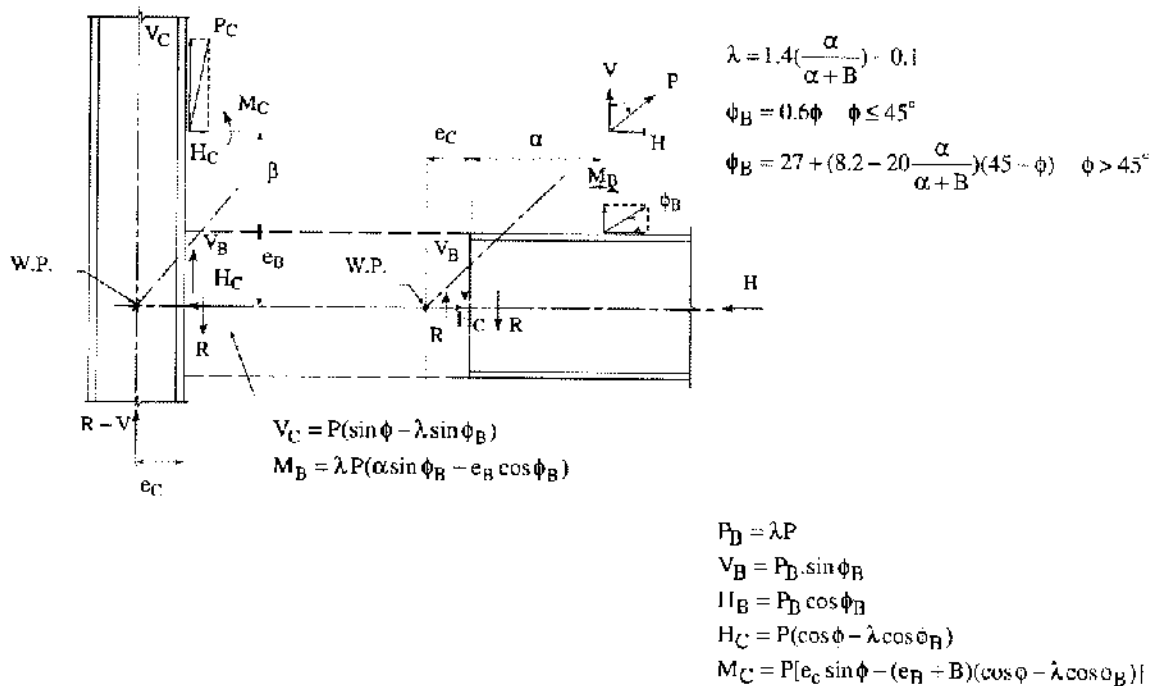
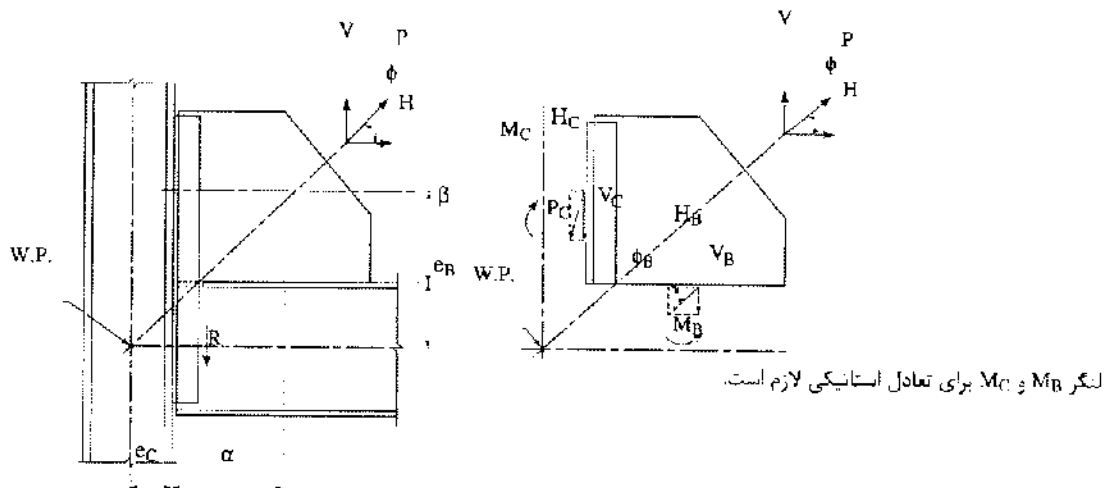
شکل ۱۱ - ۵۷ نیروهای وارد بر وجوه ورق اتصال در روش ریکر.



شکل ۱۱ - ۵۸ نمودار آزاد تیر و ستون در روش ریکر.

ت - روش اصلاح‌شده ریچارد

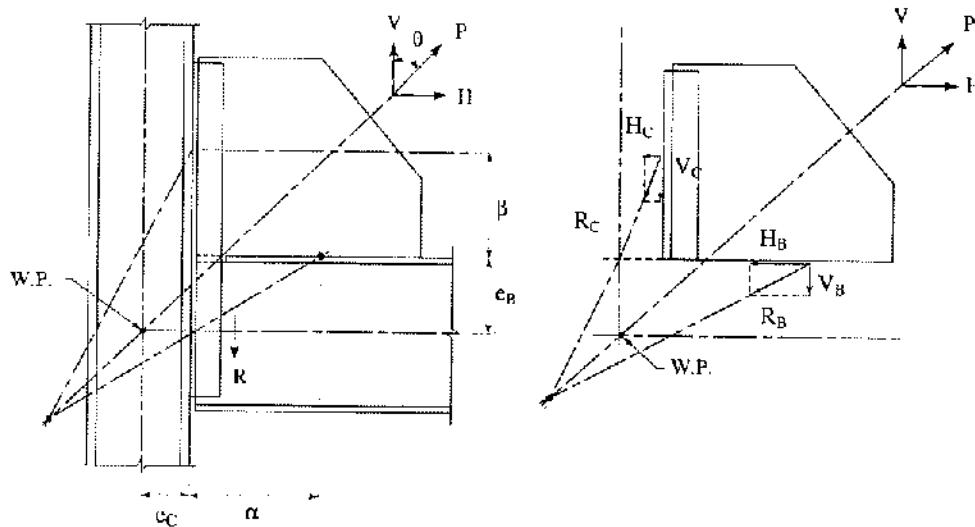
در این روش موقعیت برآیند نیروها در وجه اتصال ورق مهاربندی به تیر و ستون معرفی نمی‌شود ولی در هر وجه یک لنگر خمشی در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱۱ - ۵۹ روابط محاسباتی جهت تعیین نیروهای وارد بر ورق اتصال را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ - ۵۹ نمودار آزاد ورق اتصال و روابط محاسباتی روش اصلاح‌شده ریچارد.

ث - روش نیروی یکنواخت

در این روش فرض بر این است که سازه و اجزای آن، به همان شکلی که طراح مایل است، رفتار خواهند کرد، به شرط آنکه او مسیری با مقاومت کافی برای انتقال نیرو فراهم نماید. کفایت مقاومت این مسیر بر مبنای اصول استاتیک و مقاومت مصالح تعیین می‌گردد. شکل ۱۱ - ۶۰ نیروهای وارد بر وجوه ورق اتصال را در روش نیروی یکنواخت نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ - ۶۰ نیروهای وارد بر وجوه ورق اتصال در روش نیروی یکنواخت.

مطابق شکل ۱۱ - ۶۱، نیروی عضو قطری مهاربند و نیروهای وارد بر وجوه ورق اتصال همه با هم متقاطعند. بنابراین هیچ لنگری برای برقراری تعادل مورد نیاز نخواهد بود. از سوی دیگر برآیند نیروی وجه ستون با محور ستون و مؤلفه افقی نیروی وجه تیر متقاطع است. همچنین نیروی برآیند وجه تیر با محور تیر و مؤلفه عمودی نیروی وجه ستون متقاطع است. بنابراین هیچ لنگری به ستون و یا تیر اعمال نمی‌شود. این روش توانایی ایجاد توزیع تنش یکنواخت در تمام وجوه را دارد لذا آن را روش نیروی یکنواخت یا به اختصار UFM می‌خوانند.

براساس نسبت‌های هندسی، محل نقطه تقارب نیروها قابل محاسبه می‌باشد. از انجام این محاسبات رابطه زیر

حاصل می‌گردد:

$$\alpha - \beta \tan \theta = e_B \tan \theta - e_C \quad (11 - 61)$$

که در آن:

e_B = نصف ارتفاع تیر

e_C = نصف ارتفاع ستون

α = فاصله بین وجه ستون تا مرکز هندسی اتصال ورق به تیر

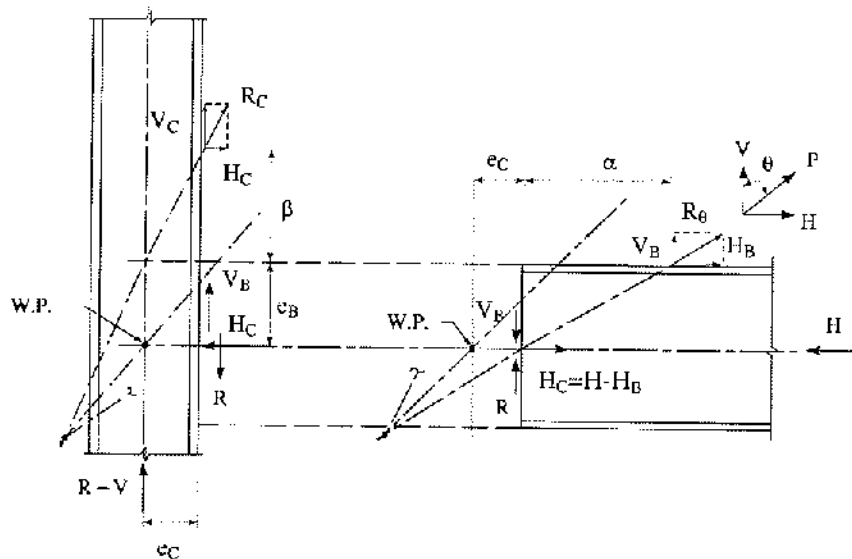
β = فاصله بین وجه تیر تا مرکز هندسی اتصال ورق به ستون

H = مؤلفه افقی نیروی مهاربند

V = مؤلفه قائم نیروی مهاربند

P = نیروی محوری مهاربند

A = نیروی محوری در میانه دهانه تیر



$$H_B = \frac{\alpha}{r} P$$

$$V_B = \frac{e_B}{r} P$$

$$V_C = \frac{\beta}{r} P$$

$$H_C = \frac{e_C}{r} P$$

$$r = \sqrt{(\alpha + e_C)^2 + (\beta + e_B)^2}$$

شکل ۱۱-۶۱ نمودار آزاد تیر تو ستون در روش نیروی یکنواخت.

مراحل کنترل و طراحی در این روش به‌قرار زیر است:

۱- ابتدا با توجه به هندسه اتصال مقادیر فواصل α و β تعیین می‌شوند.

۲- پارامتر r از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$r = \sqrt{(\alpha + e_C)^2 + (\beta + e_B)^2} \quad (۱۱-۶۲)$$

۳- نیروهای بین ورق اتصال و تیر، H_B و V_B تعیین می‌شوند.

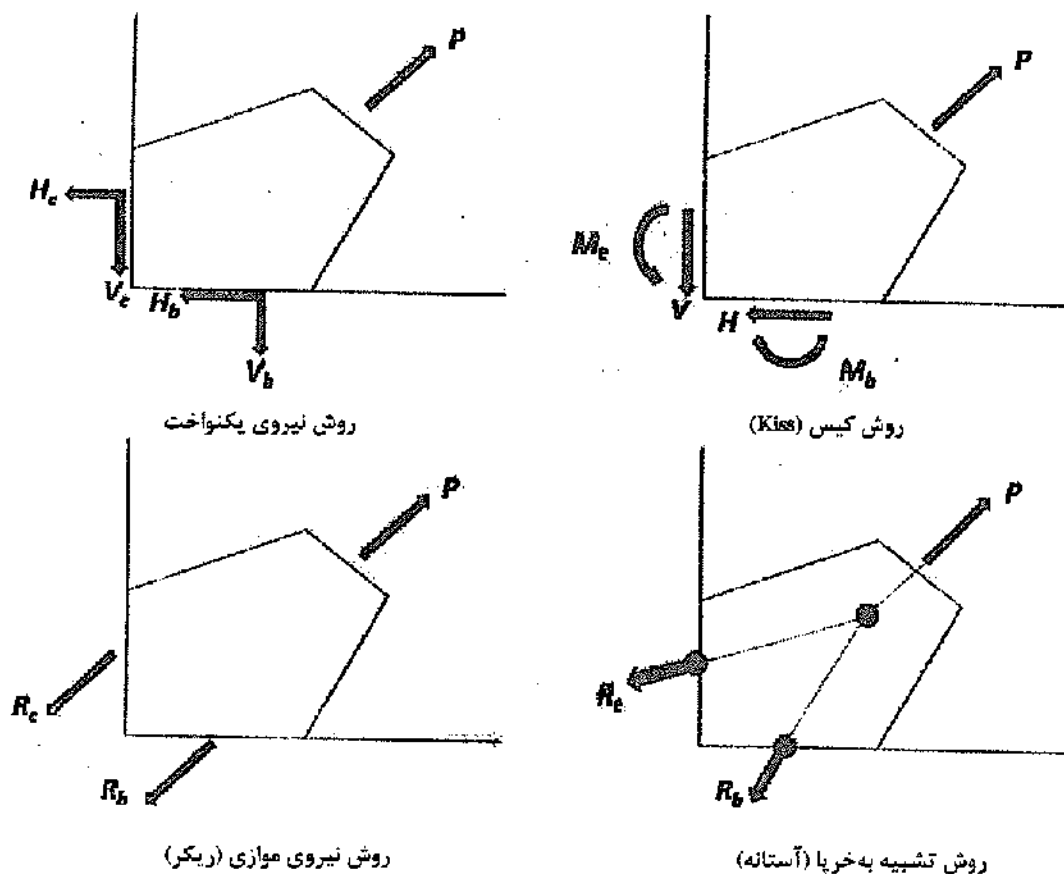
۴- نیروهای بین ورق اتصال و ستون، H_C و V_C تعیین می‌شوند.

۵- اتصال تیر به ستون باید برای نیروی برشی $R - V_B$ و نیروی محوری $A \pm (H - H_B)$ کنترل شود که R واکنش

انتهای تیر و A نیروی محوری آن است.

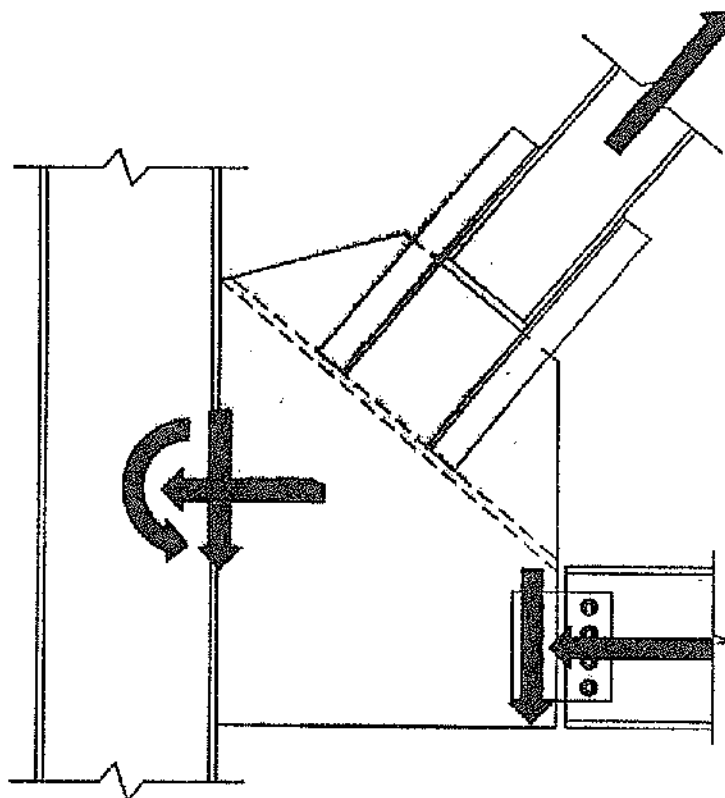
در شکل ۱۱-۶۲ خلاصه‌ای از روش‌های نوین برای محاسبه نیروهای ورق اتصال به تیر و ستون نشان داده شده

است.

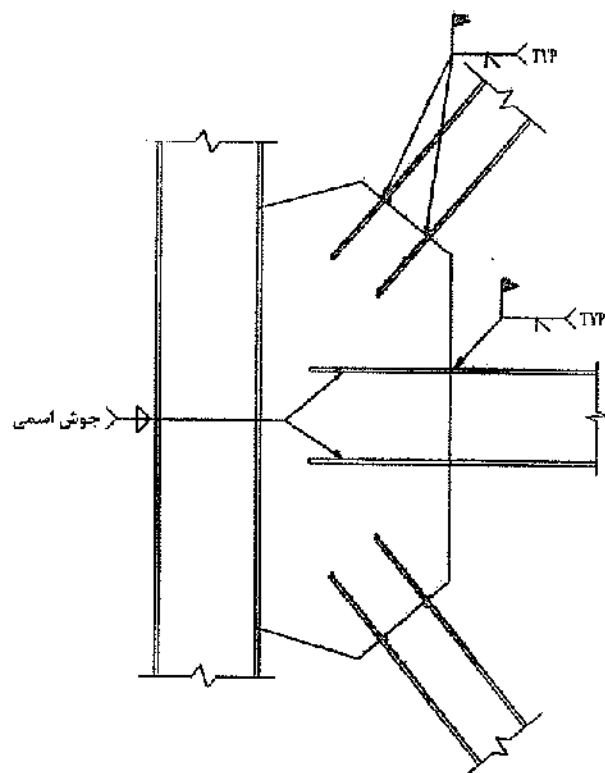


شکل ۱۱ - ۶۲ خلاصه‌ای از روش‌های نوین برای تعیین نیروها در فصل مشترک ورق اتصال با تیر و ستون.

به‌طور سنتی، ورق اتصال به‌صورت غیریکپارچه به‌تیر و ستون متصل می‌شود، لیکن ممکن است به‌علت برقراری اتصالات کارگاهی ساده‌تر، ورق اتصال را به‌صورت یکپارچه^۴ در نظر گرفت که اعضای قطری و تیر افقی به‌آن متصل شده است. (شکل‌های ۱۱ - ۶۳ و ۱۱ - ۶۴). در این حالت تعیین نیروهای داخلی در محل اتصال ورق اتصال به‌ستون شامل نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی خواهد بود که تعیین آنها نسبتاً ساده است (شکل ۱۱ - ۶۳).



شکل ۱۱ - ۶۳ ورق اتصال یکپارچه برای عضو قطری و تیر.



شکل ۱۱ - ۶۴ ورق اتصال یکپارچه برای کلیه اعضای قطری و تیر.

مثال ۱۱ - ۱۳

اتصال مهاربندی در شکل ۱۱ - ۶۵ با هندسه نشان داده شده مفروض است. مقطع مهاربندی از دو عدد UNP240 طراحی شده است. ابعاد مناسبی برای ورق اتصال مهاربندی تعیین کنید و نیروهای وارد بر ورق اتصال را در محل اتکا به تیر و ستون براساس ظرفیت حداکثر کششی مقطع مهاربندی به روش یکنواخت محاسبه کنید.

حل:

مقطع مهاربندی 2UNP 240

سطح مقطع کل $A_g = 2 \times 42.3 = 84.6 \text{ cm}^2$

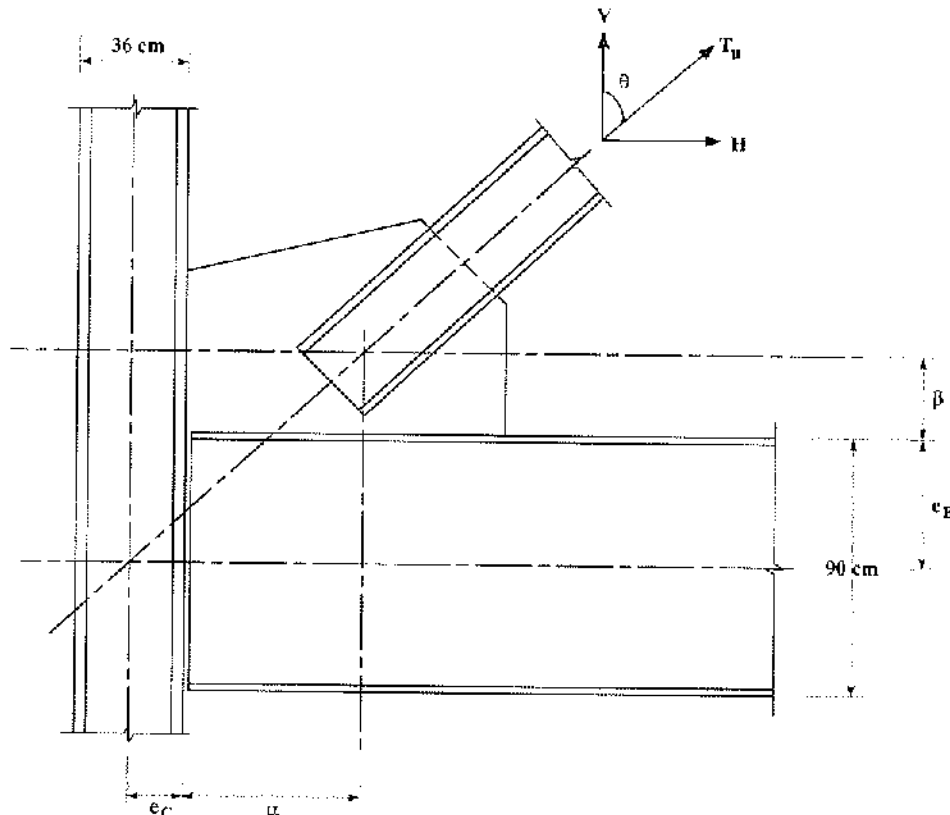
ظرفیت کششی مجاز $T = A_g 0.6 F_y = 84.6 \times 0.6 \times 2400 \times 10^{-3} = 122 \text{ ton}$

$\theta = 47^\circ$ (طبق طرح هندسه)

$\tan \theta = \tan 47^\circ = 1.07$

$e_B =$ نصف ارتفاع تیر $= 0.5 \times 90 = 45 \text{ cm}$

$e_C =$ نصف ارتفاع ستون $= 0.5 \times 36 = 18 \text{ cm}$



شکل ۱۱ - ۶۵

با انجام چندین نوبت سعی و خطا مقدار β معادل ۳۰ سانتی متر انتخاب می شود.

رامنای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

$$\alpha = e_B \tan \theta - e_C + \beta \tan \theta$$

$$\alpha = (45)(\tan 47) - 18 + 30(\tan 47)$$

$$\alpha = 62.4 \text{ cm}$$

$$r = \sqrt{(\alpha + e_C)^2 + (\beta + e_B)^2}$$

$$r = \sqrt{(62.4 + 18)^2 + (30 + 45)^2}$$

$$r = 110 \text{ cm}$$

نیروهای وارد بر ورق اتصال در محل اتکا به تیر و ستون براساس نیروی T به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

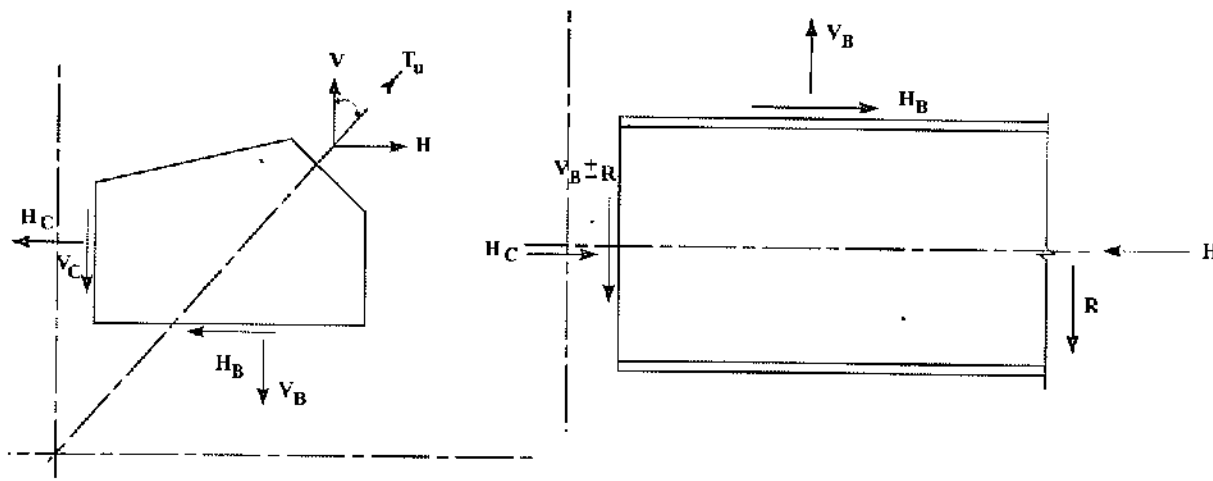
$$V_C = \frac{\beta}{r}(T) = \frac{30}{110}(122) = 33.3 \text{ ton}$$

$$H_C = \frac{e_C}{r}(T) = \frac{18}{110}(122) = 20 \text{ ton}$$

$$H_B = \frac{\alpha}{r}(T) = \frac{62.4}{110}(122) = 69.2 \text{ ton}$$

$$V_B = \frac{e_B}{r}(T) = \frac{45}{110}(122) = 49.9 \text{ ton}$$

نمودار آزاد ورق اتصال و تیر ورق مطابق شکل زیر است:



شکل ۱۱ - ۶۶

کنترل جسم آزاد ورق اتصال:

$$\sum H = 0$$

$$H = H_B + H_C$$

$$H = 122 \sin 47^\circ = 89.2 \text{ ton}$$

$$H_B + H_C = 69.2 + 20 = 89.2 \text{ ton}$$

$$\sum V = 0$$

$$V = V_B + V_C$$

$$V = 122 \cos 47^\circ = 83.2 \text{ ton}$$

$$V_B + V_C = 49.9 + 33.3 = 83.2 \text{ ton}$$

اتصال جوشی ورق اتصال در محل اتصال به تیر و ستون براساس نیروهای محاسبه شده کنترل می‌شود. به‌عنوان مثال خط جوش اتصال ورق به تیر برای نیروی V_B و H_B (جوش تحت اثر ترکیب برش و کشش) کنترل و محاسبه خواهد شد.

مثال ۱۱ - ۱۴

گره اتصال اعضای مهاربندی به تیر و ستون مطابق شکل ۱۱ - ۶۷ مفروض است. فولادهای مصرفی از نوع ST37 و الکتروود جوشکاری از نوع E60 است. با توجه به مشخصات مقاطع تیر، ستون و مهاربند، اتصال ورق اتصال را به تیر و ستون با استفاده از روش AISC طراحی کنید. سازه مورد نظر در منطقه لرزه‌خیز شدید قرار دارد و $\Omega_0 = 2$ است.

مقطع مهاربندی : 2UNP 200

$$A = 2 \times 32.20 = 64.40 \text{ cm}^2$$

مقطع تیر : IPE450 , $d = 45 \text{ cm}$, $b_f = 19 \text{ cm}$

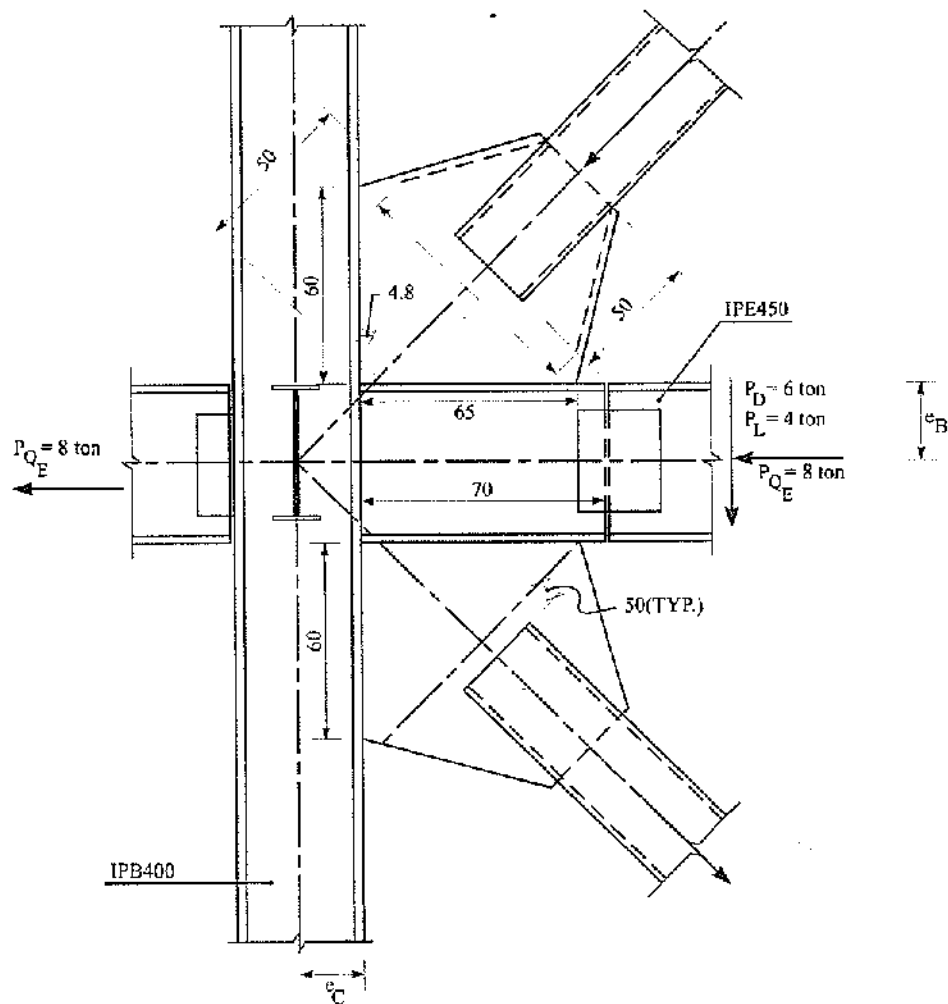
$$t_w = 0.94 \quad t_f = 1.46 \text{ cm}$$

مقطع ستون : IPB400 , $d = 40 \text{ cm}$, $b_f = 30 \text{ cm}$

$$t_w = 1.35 \quad t_f = 2.4 \text{ cm}$$

حل:

برای حل مسئله ابتدا ظرفیت کششی و فشاری مجاز مقطع مهاربندی را تعیین نموده و سپس اتصال به‌صورت تمام قدرت طراحی می‌شود. از روش تنش مجاز استفاده شده است.



شکل ۱۱ - ۶۷

۱ - محاسبه ظرفیت مقطع مهاربندی:

$$T_u = \text{ظرفیت کششی مجاز} = 0.6 F_y A_g$$

$$= 0.6 \times 2400 \times 64.4 \times 10^{-3} = 93 \text{ ton}$$

تنش مجاز فشاری را 1200 kg/cm^2 فرض می‌کنیم

$$P_c = 1.25 F_a A_g$$

$$= 1.25 \times 1200 \times 64.4 \times 10^{-3} = 97 \text{ ton}$$

نیروی طراحی مهاربند را در فشار و کشش معادل مقادیر به‌دست آمده در نظر می‌گیریم.

ضخامت اولیه ورق اتصال را ۳۰ میلی‌متر فرض می‌کنیم.

۲. محاسبه نیروهای وارد بر ورق اتصال

با فرض عدم وجود لنگر خمشی در ستون و براساس هندسه نشان داده شده در شکل، از روش AISC جهت تعیین نیروهای وارد بر ورق اتصال استفاده می‌شود:

$$e_B = \text{نصف ارتفاع تیر} = \frac{1}{2} \times 45 = 22.5 \text{ cm}$$

$$e_C = \text{نصف ارتفاع ستون} = \frac{1}{2} \times 40 = 20 \text{ cm}$$

$$\theta = \text{طبق شکل} = 45^\circ$$

$$\beta = \text{باسی و خطا} = 30 \text{ cm}$$

$$\alpha = e_B \tan \theta - e_C + \beta \tan \theta \\ = (22.5) \tan 45 - 20 + 30 \tan 45 = 32.5 \text{ cm}$$

نیروهای بدون ضریب ثقلی وارد بر تیر عبارتند از:

$$R = P_D + P_L = 6 + 4 = 10 \text{ ton}$$

فاصله محل اثر واکنش تیر از ستون برابر ۷۰ سانتی‌متر است. کل نیروی برشی وارد بر لب ستون برابر است با:

$$V_f = (93 + 97) \times \frac{1}{\sqrt{2}} + 10 = 144 \text{ ton}$$

مقدار لنگر در بر بال ستون برابر است با:

$$M_f = (93 + 97) \times \frac{1}{\sqrt{2}} e_C - R(70) \\ = \left[190 \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times 20 - 10 \times (70) \right] \times 10^{-2} = 19.87 \text{ ton.m}$$

بازوی لنگر جهت تحمل لنگر خمشی فوق برابر است با فاصله بین مراکز هندسی ناحیه اتصال ورق‌های اتصال بالا و پایین به‌وجه ستون:

$$d_{\text{arm}} = d_b + 2\beta = 45 + 2 \times 30 = 105 \text{ cm}$$

$$H_{UC} = \frac{M_f}{d_{\text{arm}}} = \frac{19.87}{1.05} = 18.92 \text{ ton}$$

نیروی برشی به‌نسبت سطح برشی ورق‌های اتصال و سطح برشی جان تیر توزیع می‌شود. در این مثال سطح برشی ورق‌های اتصال (در بالا و پایین) برابر است با:

$$A_{\text{guss}} = 2 \times 3 \times 60 = 360 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{تیر}} = d_b \cdot t_w = 45 \times 0.94 = 42.3 \text{ cm}^2$$

بنابراین سهم ورق اتصال از کل نیروی برشی در پیر ستون برابر است با:

$$V_{UC} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{360}{360 + 42.3} \right) \times 144 = 64.4 \text{ ton}$$

$$R_{UB} = \text{سهم تیر} = 144 - 2 \times 64.4 = 15.20 \text{ ton}$$

برای ورق اتصال مهاربند فشاری:

$$H_{UB} = P_c \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) - H_{UC} = 97 \times \frac{1}{\sqrt{2}} - 18.92 = 49.67 \text{ ton}$$

$$V_{UB} = P_c \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) - V_{UC} = 97 \times \frac{1}{\sqrt{2}} - 64.4 = 4.20 \text{ ton}$$

بازوی لنگر مؤلفه قائم نیروی مهاربندی برابر است با فاصله مرکز هندسی اتصال ورق به تیر تا محل برخورد محور مهاربندی با خط اتصال ورق با بال تیر. داریم:

$$\text{فاصله} = \alpha - 4.8 = 32.5 - 4.8 = 27.7 \text{ cm}$$

مجموع لنگرها حول مرکز خط اتصال ورق به بال تیر برای مهاربند فشاری برابر است با:

$$\begin{aligned} M_{UB} &= 97 \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) \times 27.7 - V_{UC} \alpha - H_{UC} \beta \\ &= [68.6 \times 27.7 - 64.4 \times 32.5 - 18.92 \times 30] \times 10^{-2} = -7.60 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

برای مهاربند کششی داریم:

$$H_{UC} = 18.92 \text{ ton}$$

$$V_{UC} = 64.4 \text{ ton}$$

$$H_{UB} = T_r \frac{1}{\sqrt{2}} - H_{UC} = 93 \times \frac{1}{\sqrt{2}} - 18.92 = 46.84 \text{ ton}$$

$$V_{UB} = T_r \frac{1}{\sqrt{2}} - V_{UC} = 93 \times \frac{1}{\sqrt{2}} - 64.4 = 1.4 \text{ ton}$$

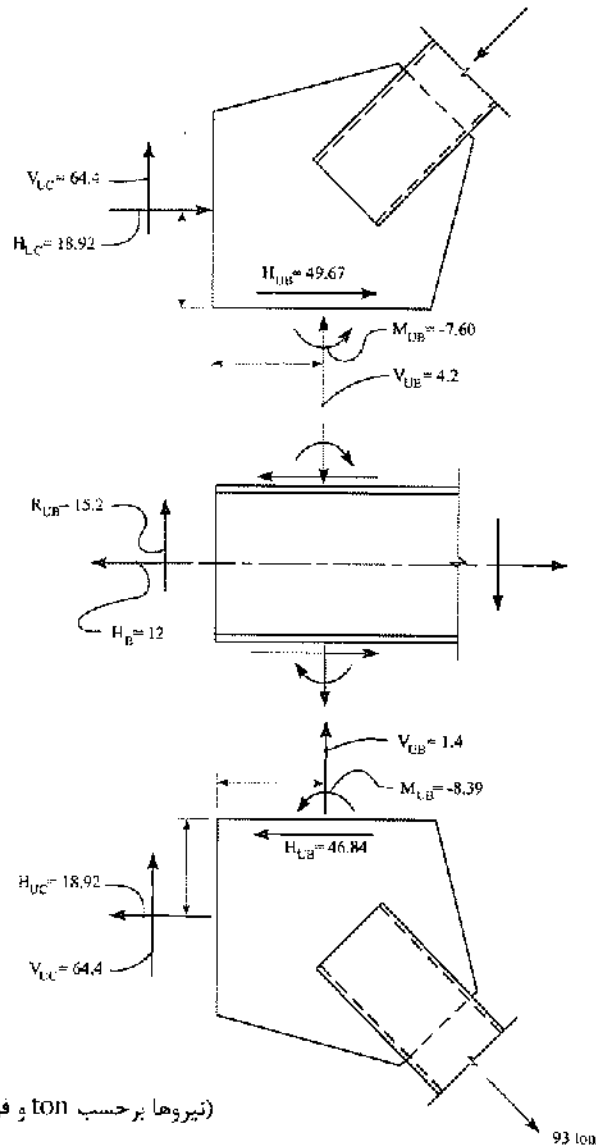
مجموع لنگرها حول مرکز اتصال ورق به بال تیر برای مهاربند کششی برابر است با:

$$\begin{aligned} M_{UB} &= (93 \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times 27.7 - V_{UC} \alpha - H_{UC} \beta) \times 10^{-2} \\ &= -8.39 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

$$H_B = 0.75 \Omega_0 P_{QE} = 0.75 \times 2 \times 8 = 12 \text{ ton}$$

نیروی محوری موجود در تیر طبق صورت مسئله معادل ۸ تن و به دلیل رده‌بندی ساختمان ضریب $\Omega_0 = 2$ انتخاب شده است.

نیروهای وارد بر ورق اتصال در محل اتصال به تیر و ستون در شکل زیر نشان داده شده است. لازم به ذکر است که ممان وارد بر تیر در بالا و پایین غیرمتعادل است که از آن صرف نظر می‌شود. این اختلاف به دلیل اختلاف نیروی H_c در ورق اتصال بالا و پایین است.



(نیروها بر حسب ton و فواصل بر حسب سانتی متر هستند.)

شکل ۱۱ - ۶۸

طرح جوش اتصال ورق به ستون

نیروهای وارد بر ورق اتصال در محازات ستون برای مهاربند کششی و فشاری یکسان است. نیروهای وارد بر خط جوش برابرند با:

$$f_v = \frac{V_{UC}}{L_w} = \frac{64.4 \times 10^3}{60} = 1073 \text{ kg/cm}$$

$$f_a = \frac{H_{UC}}{L_w} = \frac{18.92 \times 10^3}{60} = 315.33 \text{ kg/cm}$$

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

$$f_r = \sqrt{1073^2 + 315.33^2} = 1118.37 \text{ kg/cm}$$

$$F_w = (0.3\phi F_u) \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2} D\right) = 650D$$

$$D = \frac{f_r}{650} = \frac{1118.37}{650} = 1.72 \text{ cm}$$

انتخاب $D = 18 \text{ mm}$

کنترل ضخامت جوش‌ها برحسب ضخامت ورق اتصال معادل ۳۰ میلی‌متر و ضخامت عضو مهاربندی متصل برعهده خوانندگان است.

طرح جوش اتصال ورق به تیر

نیروهای وارد بر اتصال شامل نیروی محوری، برش و لنگر خمشی است.

$$\text{اساس مقطع جوش} \quad S_w = \frac{L_w^2}{6} = \frac{65^2}{6} = 704 \text{ cm}^2$$

$$\text{برای مهاربند فشاری} \quad f_v = \frac{H_{UB}}{L_w} = \frac{49.67 \times 10^3}{65} = 764.15 \text{ kg/cm}$$

$$f_a = \frac{V_{UB}}{L_w} = \frac{4.20 \times 10^3}{65} = 64.6 \text{ kg/cm}$$

$$f_b = \frac{M_{UB}}{S_w} = \frac{7.60 \times 10^5}{704} = 1079.55 \text{ kg/cm}$$

$$f_{\max} = \sqrt{f_v^2 + (f_a + f_b)^2} = 1375.86 \text{ kg/cm}$$

$$D \geq \frac{1375.86}{650} = 2.12 \text{ cm}$$

ورق اتصال $t = 30 \text{ mm}$

$$\rightarrow \begin{cases} t_{\min} = 6 \text{ mm} \\ t_{\max} = 30 - 2 = 28 \text{ mm} \end{cases}$$

بال تیر $t_f = 14.6 \text{ mm}$

انتخاب $t = 25 \text{ mm}$

مثال ۱۱ - ۱۵

در این مثال طراحی مهاربند ضربدری همگرا^{۱۱} برای ساختمان‌های کوتاه (مثلاً مسکونی) مورد توجه قرار می‌گیرد. مهاربند یک دهانه و دو طبقه شکل ۱۱ - ۶۹ را در نظر بگیرید. برش طبقه اول مساوی ۹۰ تن می‌باشد که فرض می‌شود به‌طور مساوی بین قطری‌های فشاری و کششی تقسیم می‌گردد. فولاد مصرفی از نوع ST37 با $F_y = 2400$ و $F_u = 3700$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد. (مطلوب است طراحی عضو قطری مهاربند و اتصال آن)

$$L = \sqrt{3.6^2 + 6^2} = 7 \text{ m} \quad (\text{طول محور به‌محور عضو قطری})$$

$$F = \frac{7}{6} \times \frac{90}{2} = 52.5 \text{ ton} \quad (\text{نیروی مهاربند به صورت کششی یا فشاری})$$

طول آزاد برای کمانش در صفحه مهاربند، نصف طول کل قطری در نظر گرفته می‌شود:

$$L_{x-x} = \frac{L}{2}$$

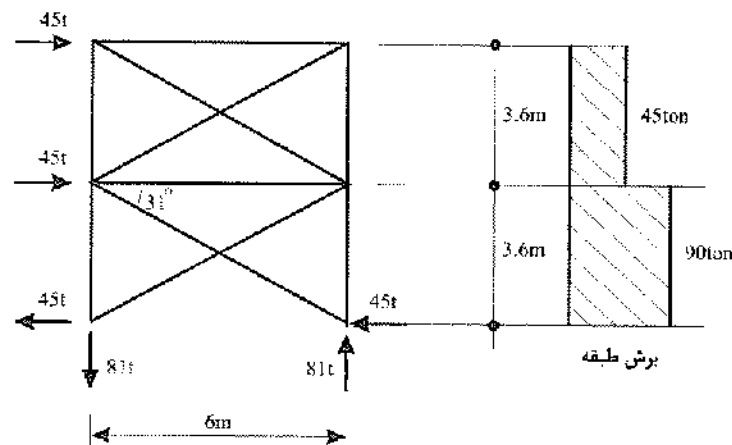
طول آزاد برای کمانش خارج از صفحه، دو سوم طول کل مهاربند منظور می‌گردد:

$$L_{y-y} = \frac{2L}{3}$$

اگر نیمرخ ستون بال پهن IPB300 و نیمرخ تیر از IPE330 باشد، طول آزاد مهاربند برابر است با:

$$L = \sqrt{(6 - 0.3)^2 + (3.6 - 0.33)^2} = 6.57 \text{ m} \quad (\text{طول آزاد مهاربند})$$

(البته وجود ورق اتصال نیز از طول آزاد عضو قطری خواهد کاست).



شکل ۱۱ - ۶۹

اگر برای مقطع عضو قطری از دو نبشی پشت به پشت $۱۲ \times ۱۲ \times ۱۲۰$ میلی‌متر استفاده شود، مشخصات هندسی آن به‌قرار زیر خواهد بود:

(در تخمین اولیه، ضخامت ورق اتصال ۱۰ میلی‌متر انتخاب شده است).

$$A = 55 \text{ cm}^2 \quad r_x = 3.65 \text{ cm} \quad r_y = 5.35 \text{ cm}$$

الف) کنترل کمانش

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{1}{2} \times \frac{657}{3.65} = 90 \quad (\text{حاکم است}) < 6025 / \sqrt{2400} = 123$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{2}{3} \times \frac{657}{5.35} = 82$$

$$F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2, \quad \lambda_{غری} = 90 \rightarrow F_u = 959 \text{ kg/cm}^2$$

تنش موجود در قطری:

$$f_a = \frac{0.75 \times 52.5 \times 10^3}{55} = 716 < 959$$

(ب) کنترل ظرفیت کششی

تنش کششی مجاز برابر است با:

$$F_t = 0.6F_y = 0.6 \times 2400 = 1440 \text{ kg/cm}^2$$

تنش موجود در مهاربند همان‌طور که در بند (الف)، محاسبه شد:

$$f_a = 716 < 1440 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{خوبست})$$

(پ) طراحی جوش نبشی به ورق

مبحث دهم مقرر می‌دارد: «به‌جز در مورد اعضای که تحت بارهای خستگی قرار دارند، اتصال متعادل شده برای نبشی تک، نبشی دوپل و اعضای مشابه ضرورتی ندارد».

براساس توصیه فوق، طرح جوش نبشی به ورق بر مبنای جوش نامتعادل انجام می‌گیرد:

در انتخاب اول از جوش با اندازه ساق ۷ میلی‌متر استفاده می‌شود. ظرفیت لازم برای اتصال برابر است با:

$$\text{ظرفیت کششی مجاز} = 0.6 \times 2400 \times 55 \times 10^{-3} = 79.2 \text{ ton}$$

$$R_{w1} = 650 D_1 = 650 \times 0.7 = 455 \text{ kg/cm} \quad (\text{ارزش جوش})$$

طول جوش لازم برای هر نبشی برابر است با:

$$L_{w1} = \frac{79.2 \times 10^3}{2 \times (455)} = 87 \text{ cm}$$

دو طول ۴۴ سانتی‌متری در کنار نبشی انجام می‌شود.

(ت) طراحی جوش ورق اتصال به تیر و ستون

$$F_h = 79.2 \times \cos 31^\circ = 67.9 \text{ ton} \quad (\text{نیروی افقی مهاربند})$$

$$F_v = 79.2 \times \sin 31^\circ = 40.8 \text{ ton} \quad (\text{نیروی قائم مهاربند})$$

در تخمین اول از جوش دو طرفه با اندازه $D_2 = 7 \text{ mm}$ استفاده می‌شود:

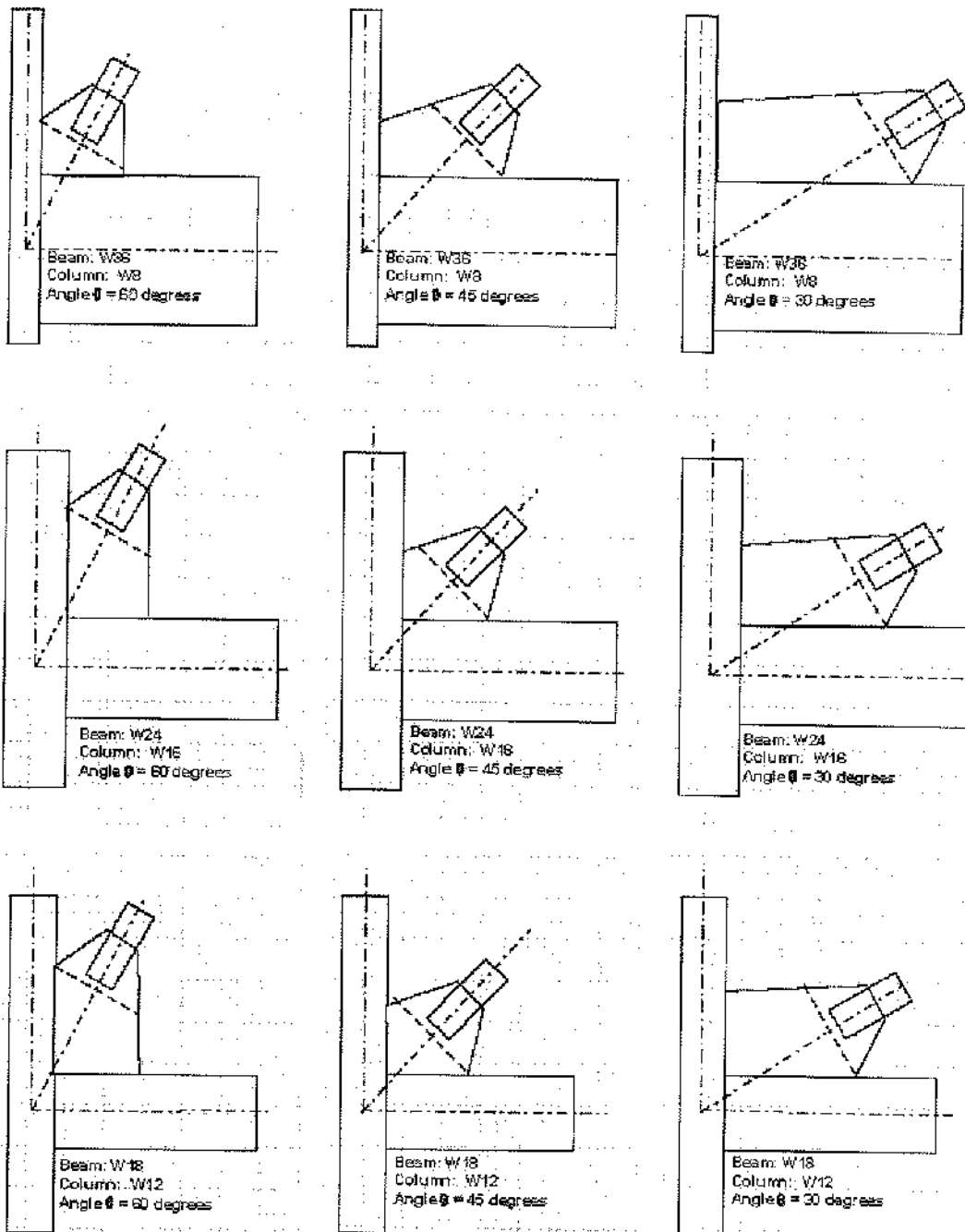
$$R_{w2} = 650 D_2 = 650 \times (2 \times 0.7) = 910 \text{ kg/cm} \quad (\text{ارزش جوش})$$

$$\text{ارزش ورق اتصال} = (0.4 F_y) t = (0.4 \times 2400) \times 1 = 960 \text{ kg/cm}$$

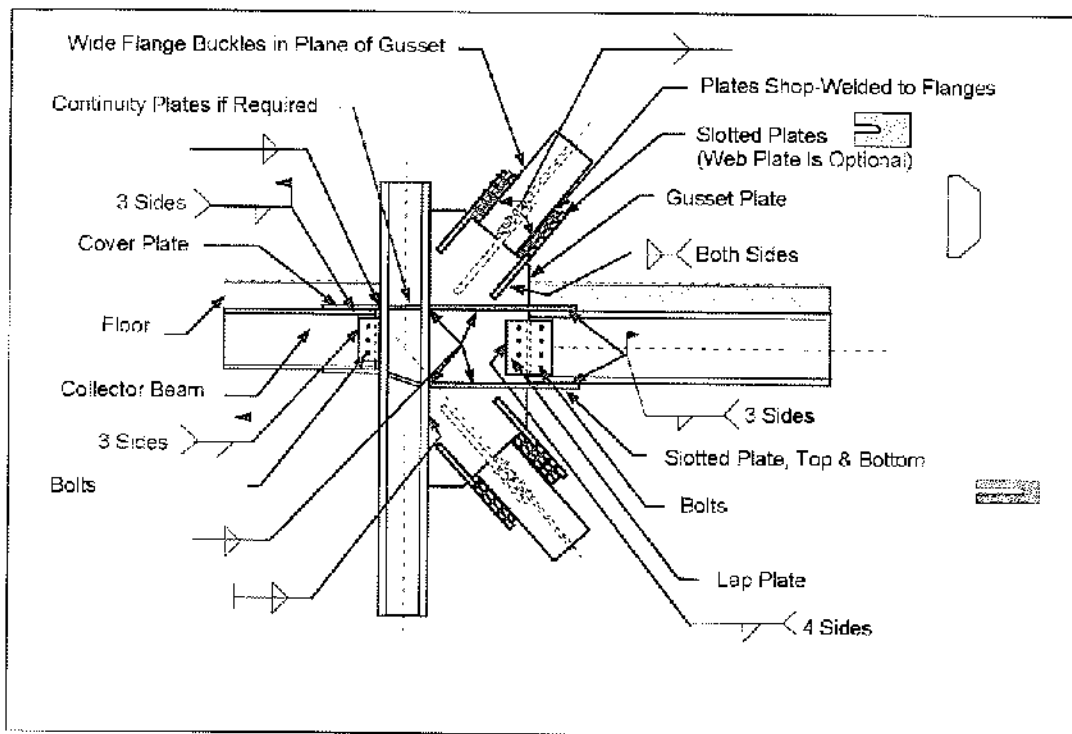
$$L_{wh} = \frac{F_h}{R_{w2}} = \frac{67.9 \times 10^3}{910} = 74.6 \text{ cm} \quad (\text{طول جوش افقی})$$

مثال‌هایی از اتصالات مهاربندها

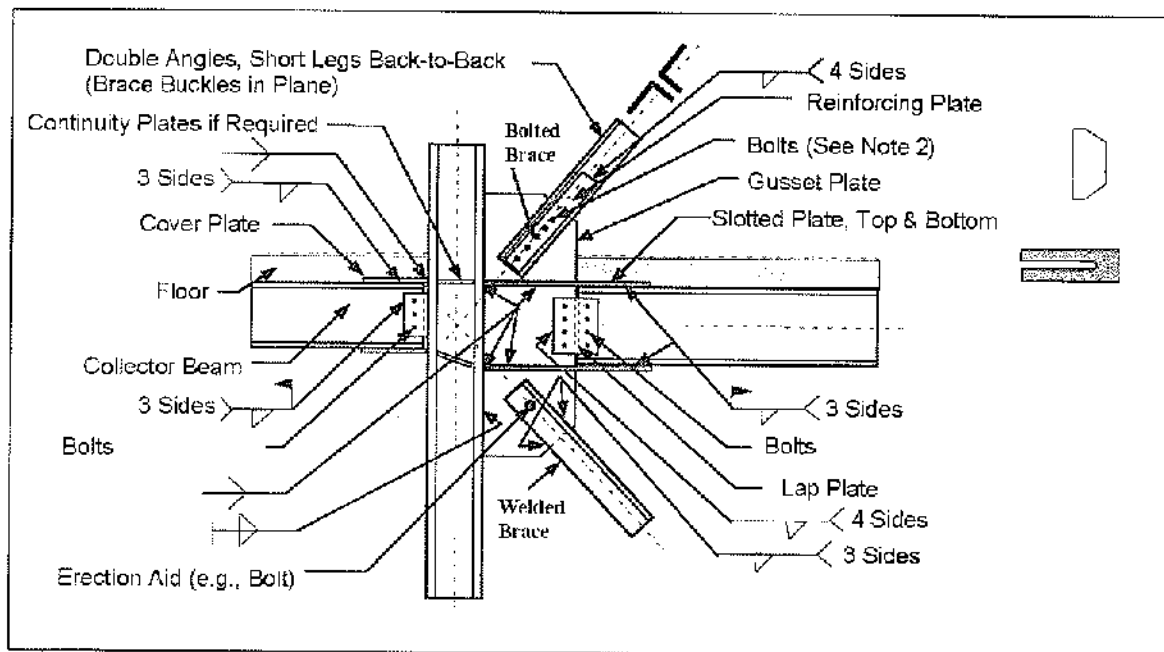
در این قسمت مثال‌های متعددی از جزئیات پیشنهادی اسناد آستانه اصل در اتصالات مهاربندها نشان داده شده است.



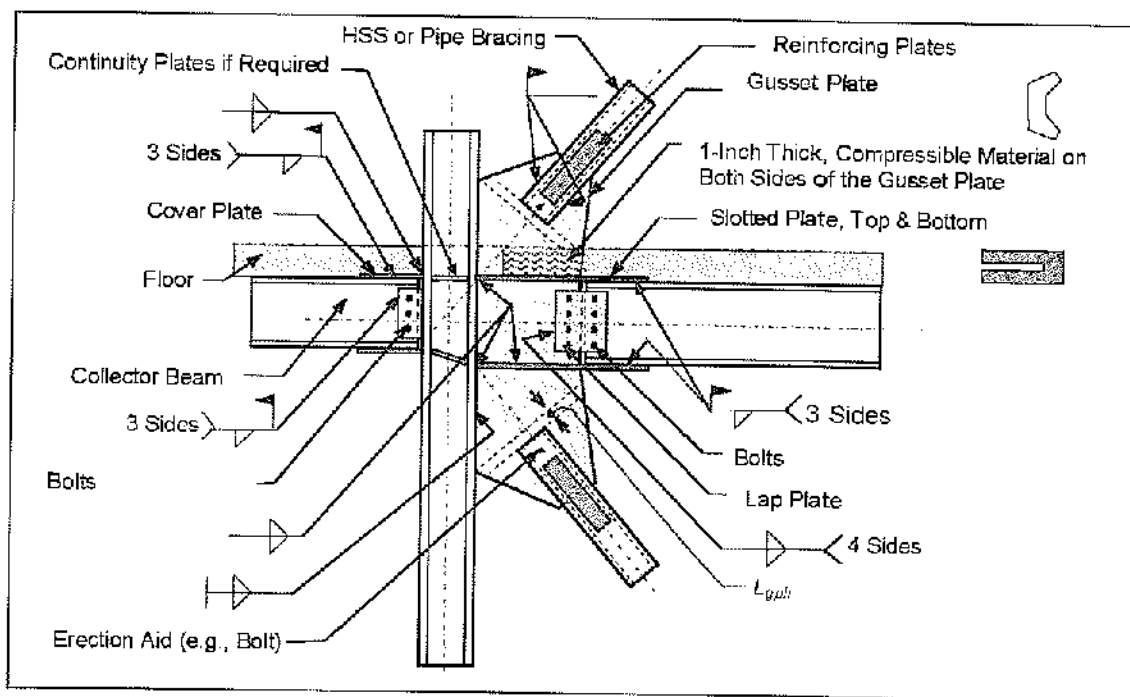
شکل ۱۱ ... ۷۲



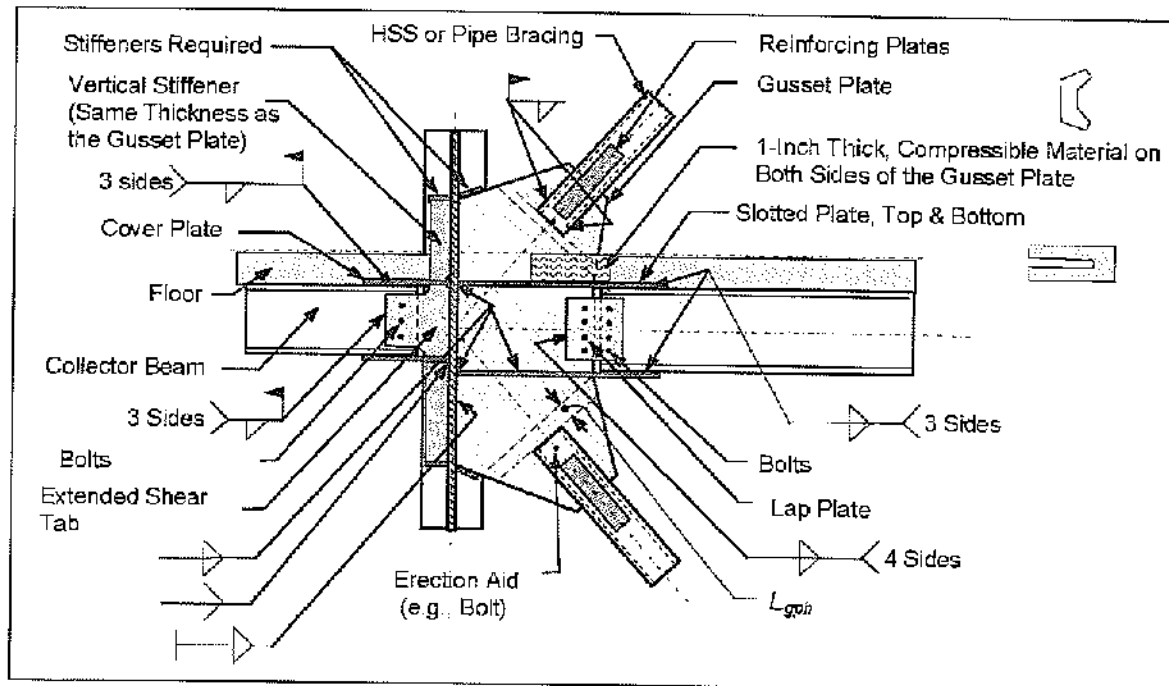
شکل ۱۱ - ۷۳



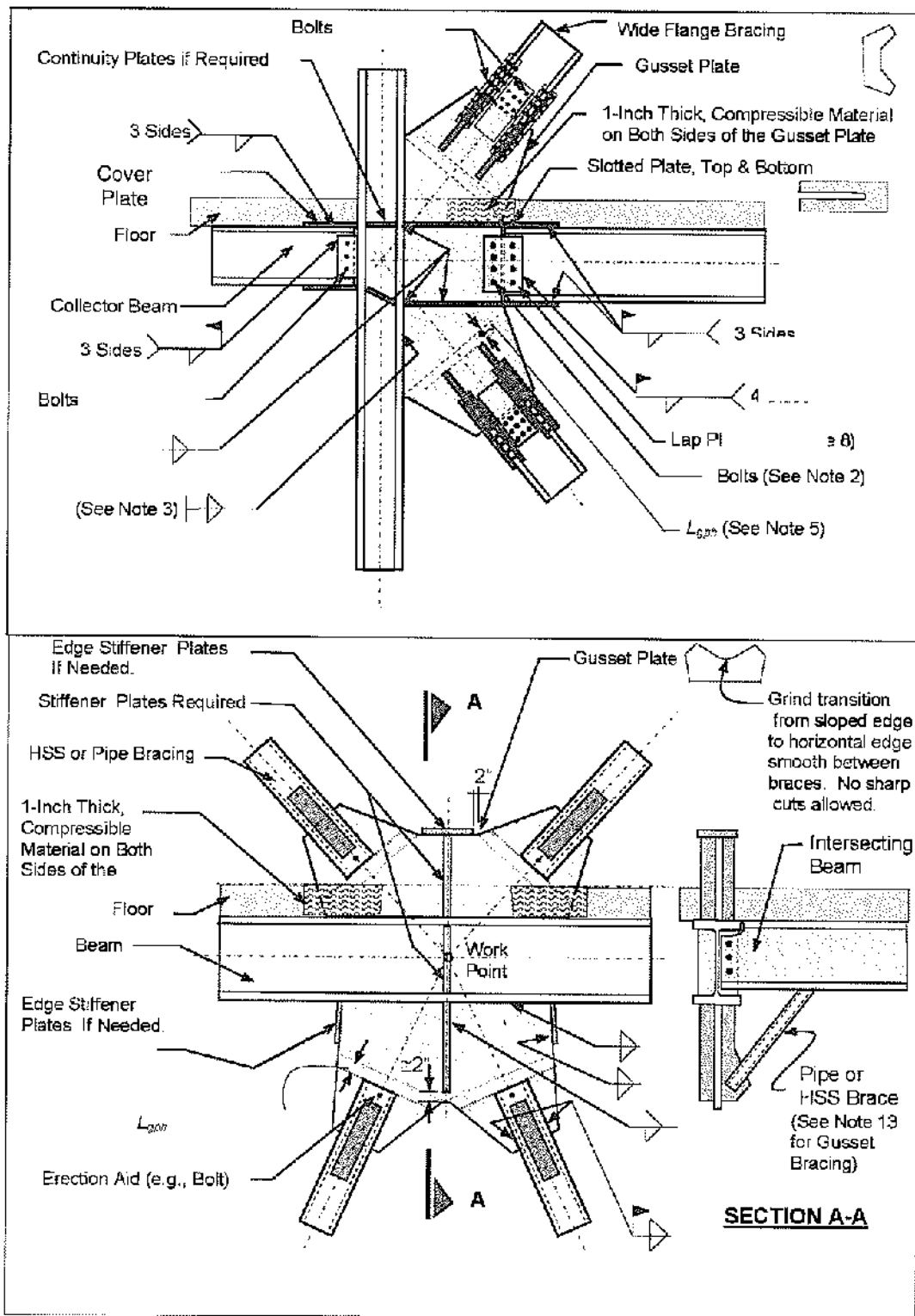
شکل ۱۱ - ۷۴



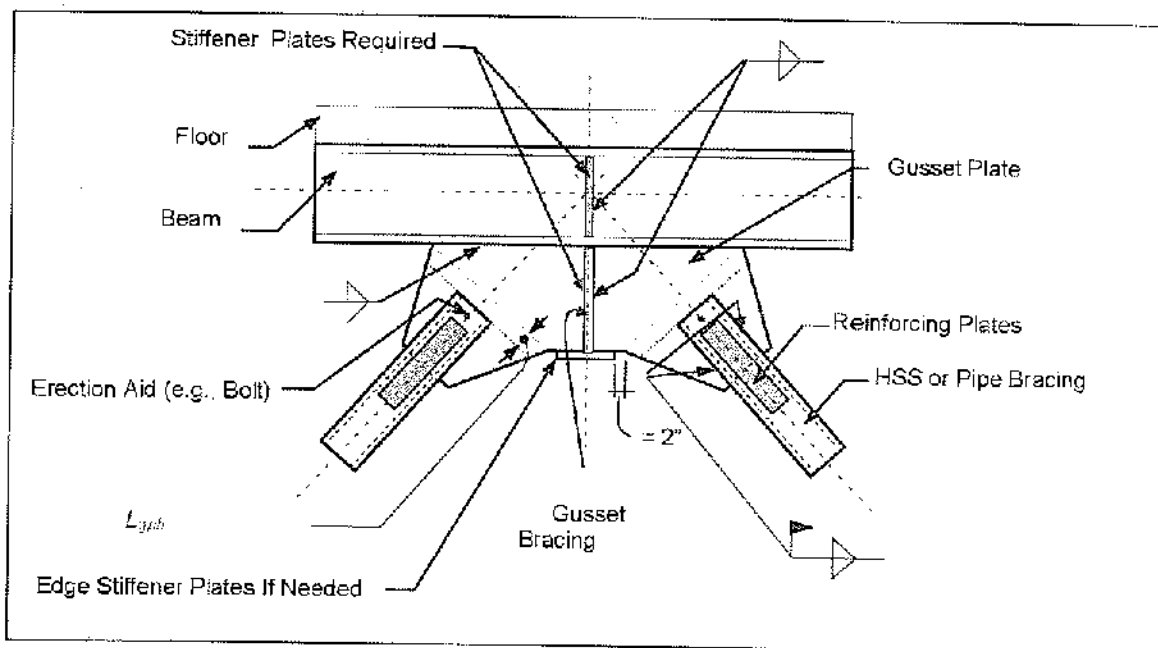
شکل ۱۱ - ۷۵



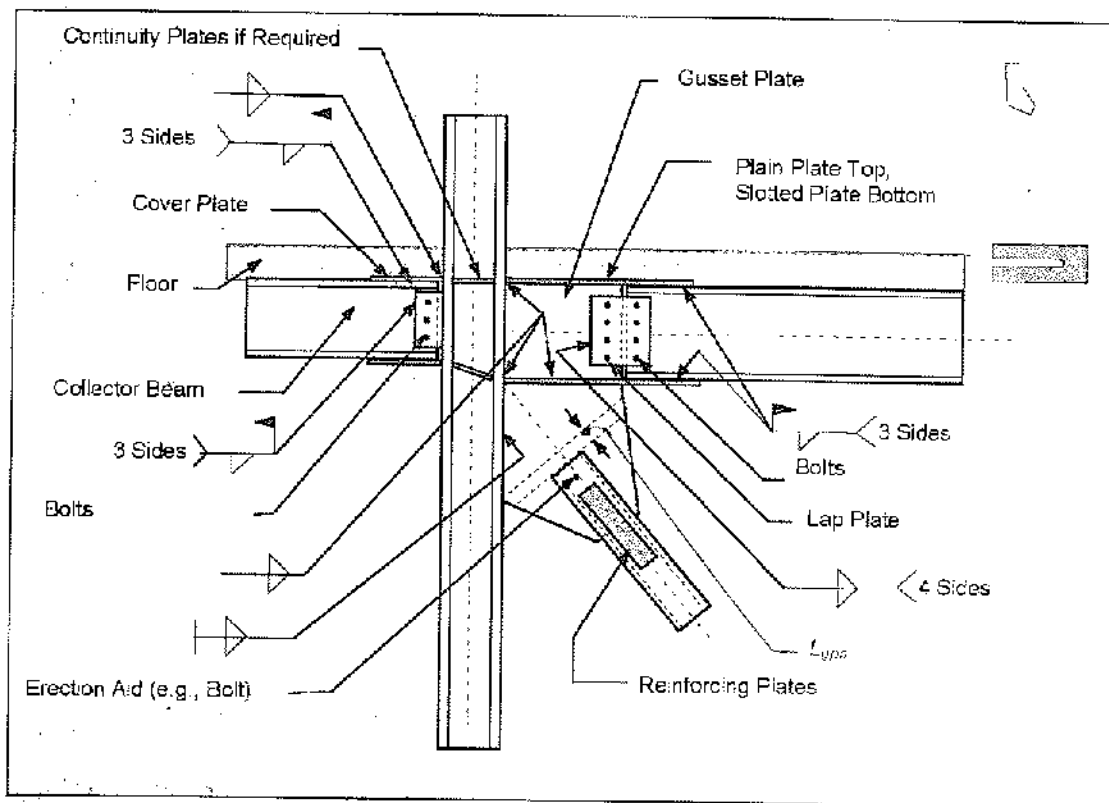
شکل ۱۱ - ۷۶



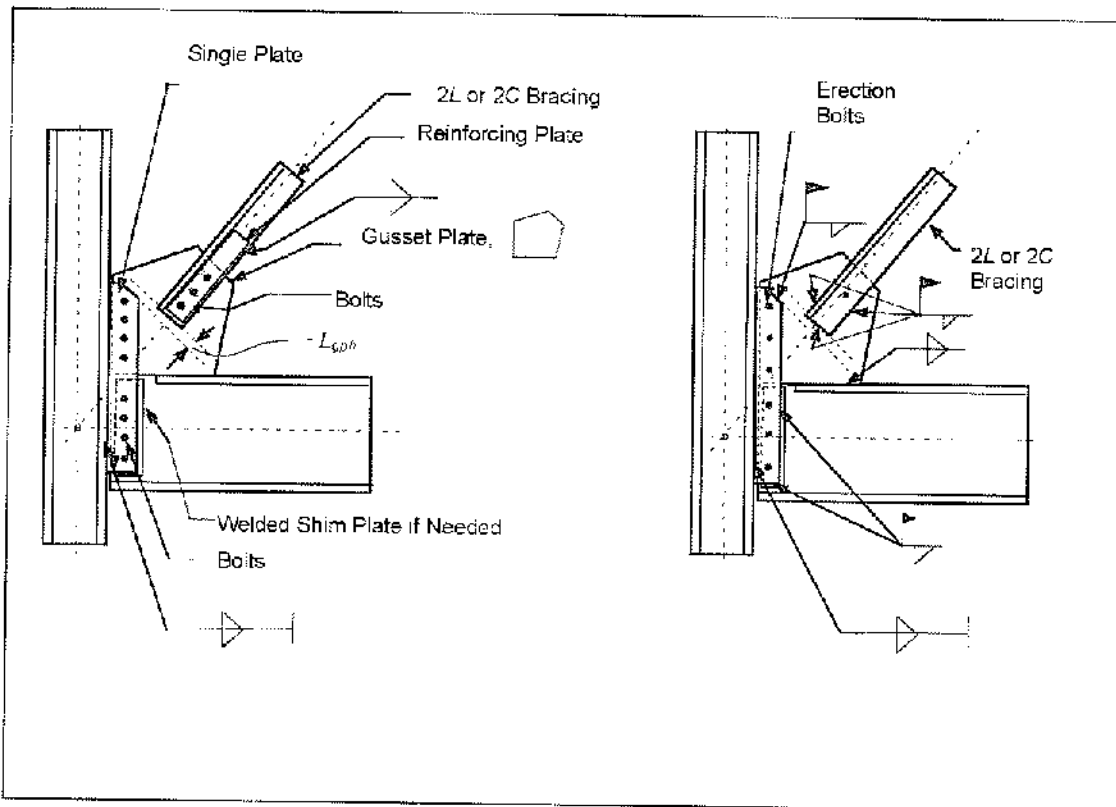
شکل ۱۱ - ۷۸



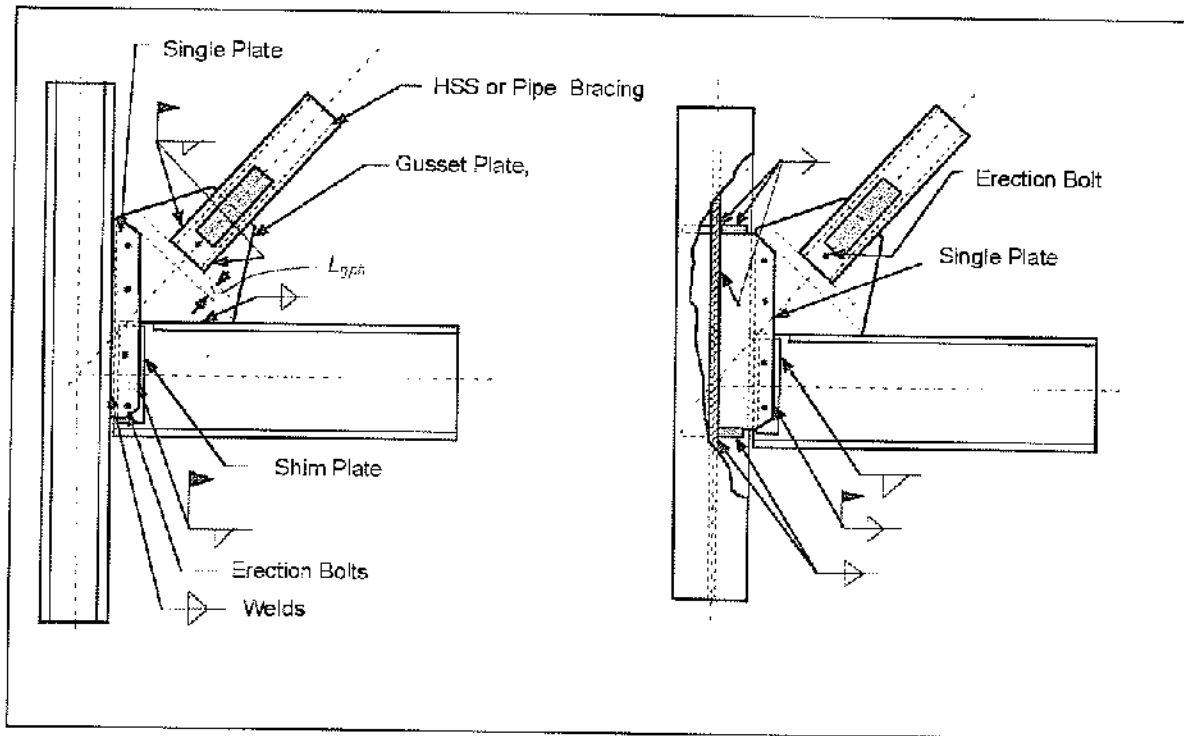
شکل ۱۱ - ۷۹



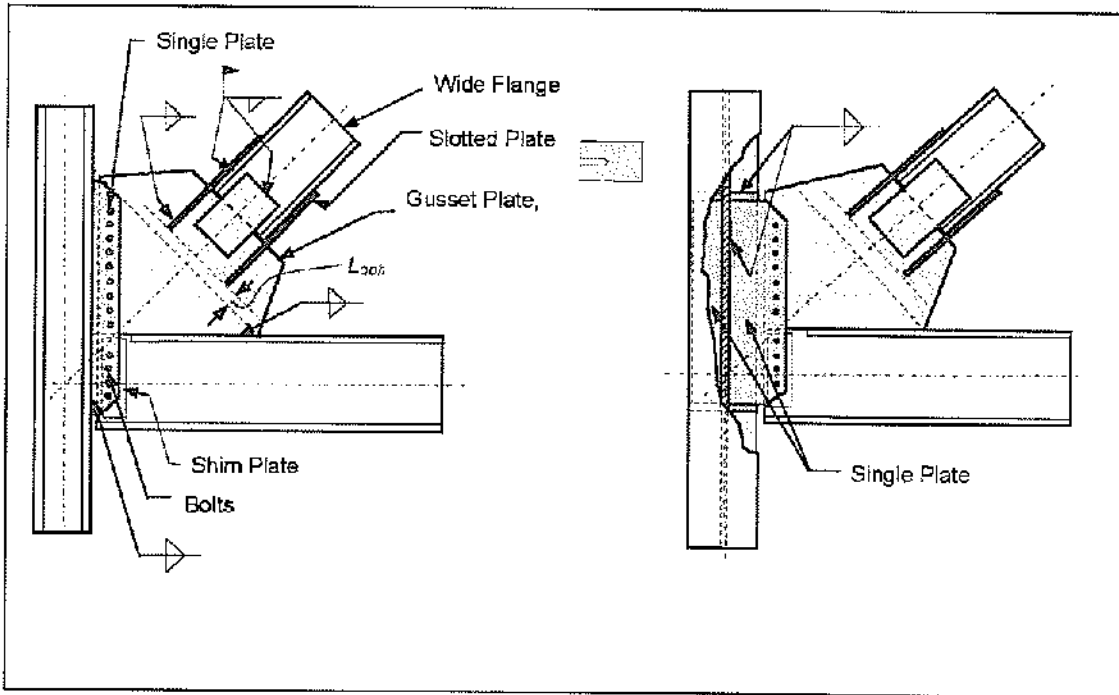
شکل ۱۱ - ۸۰



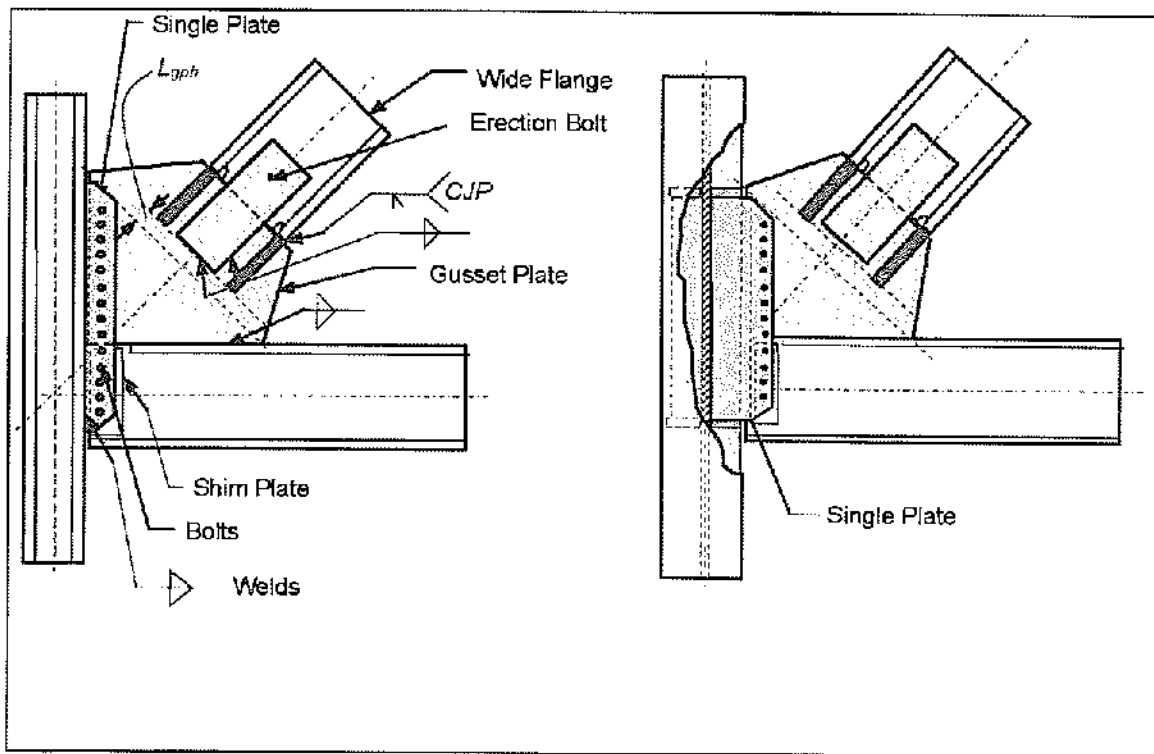
شکل ۱۱ - ۸۱



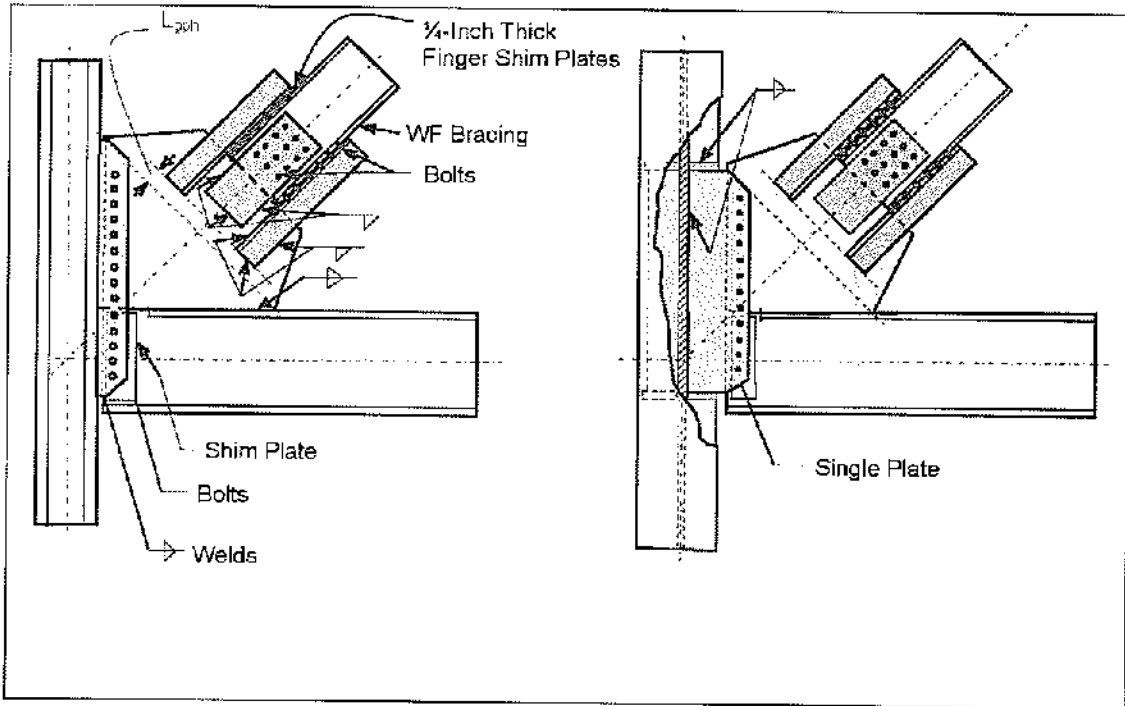
شکل ۱۱ - ۸۲



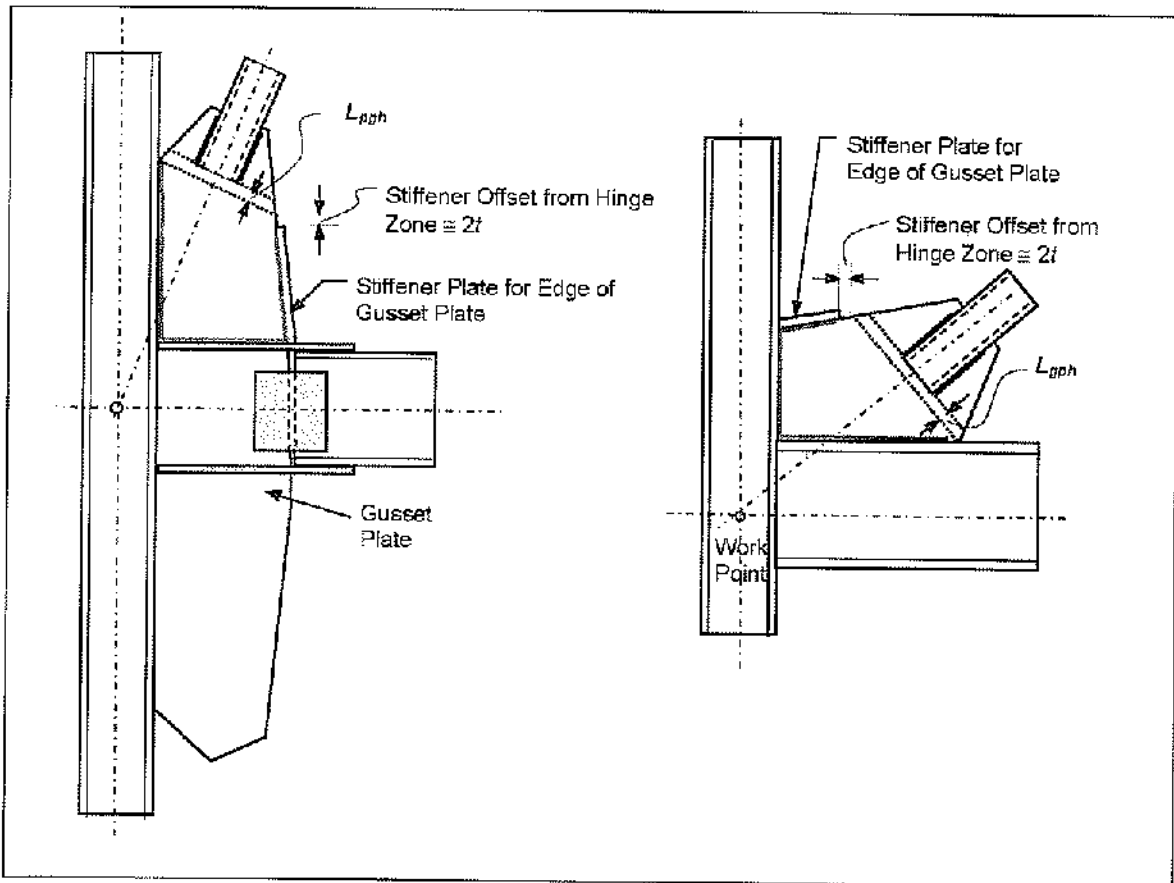
شکل ۱۱ - ۸۳



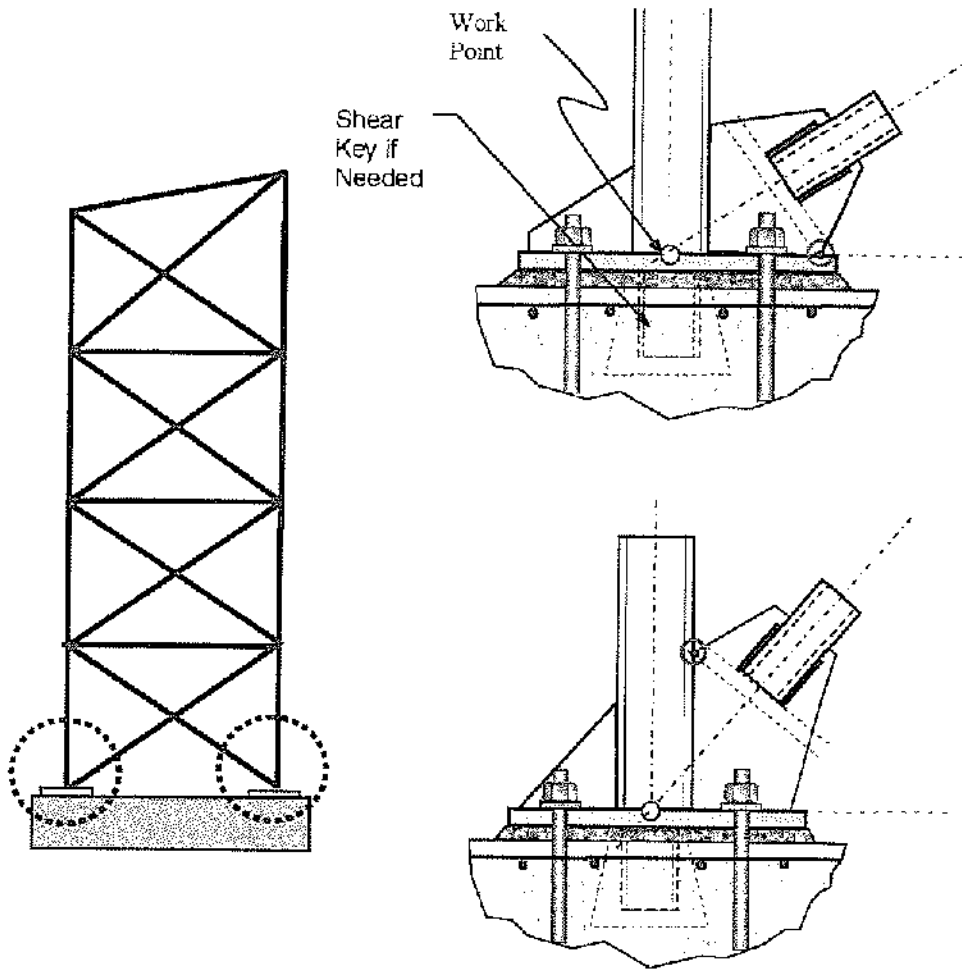
شکل ۱۱ - ۸۴



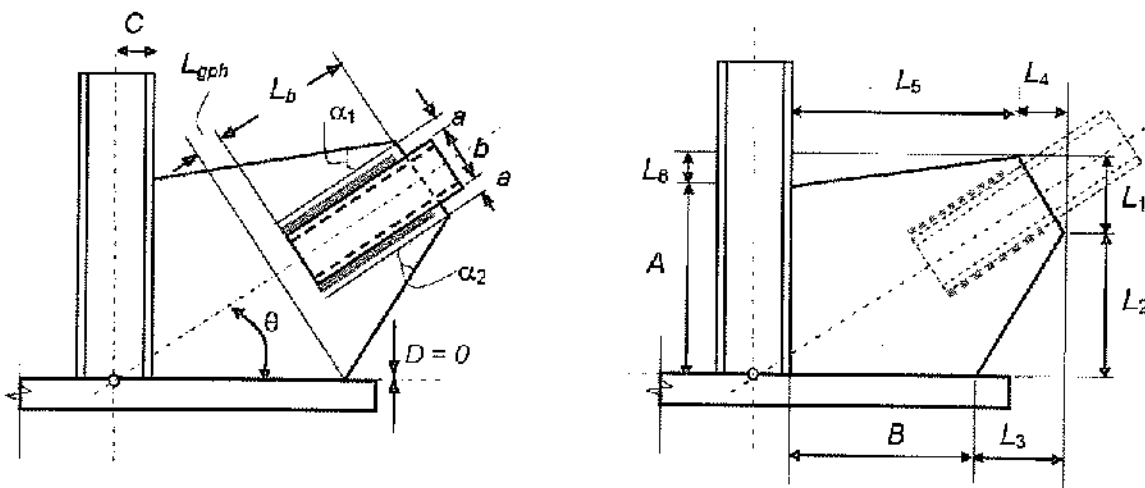
شکل ۱۱ - ۸۵



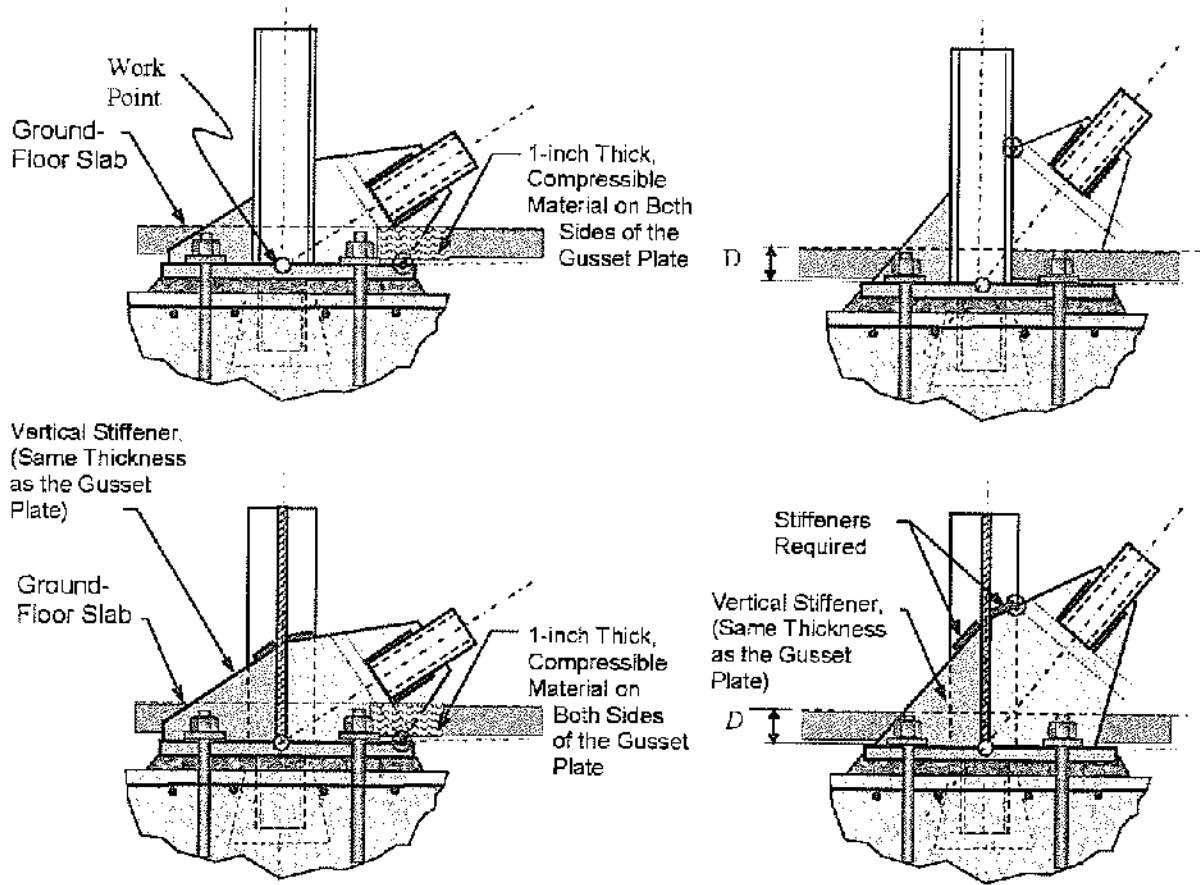
شکل ۱۱ - ۸۶



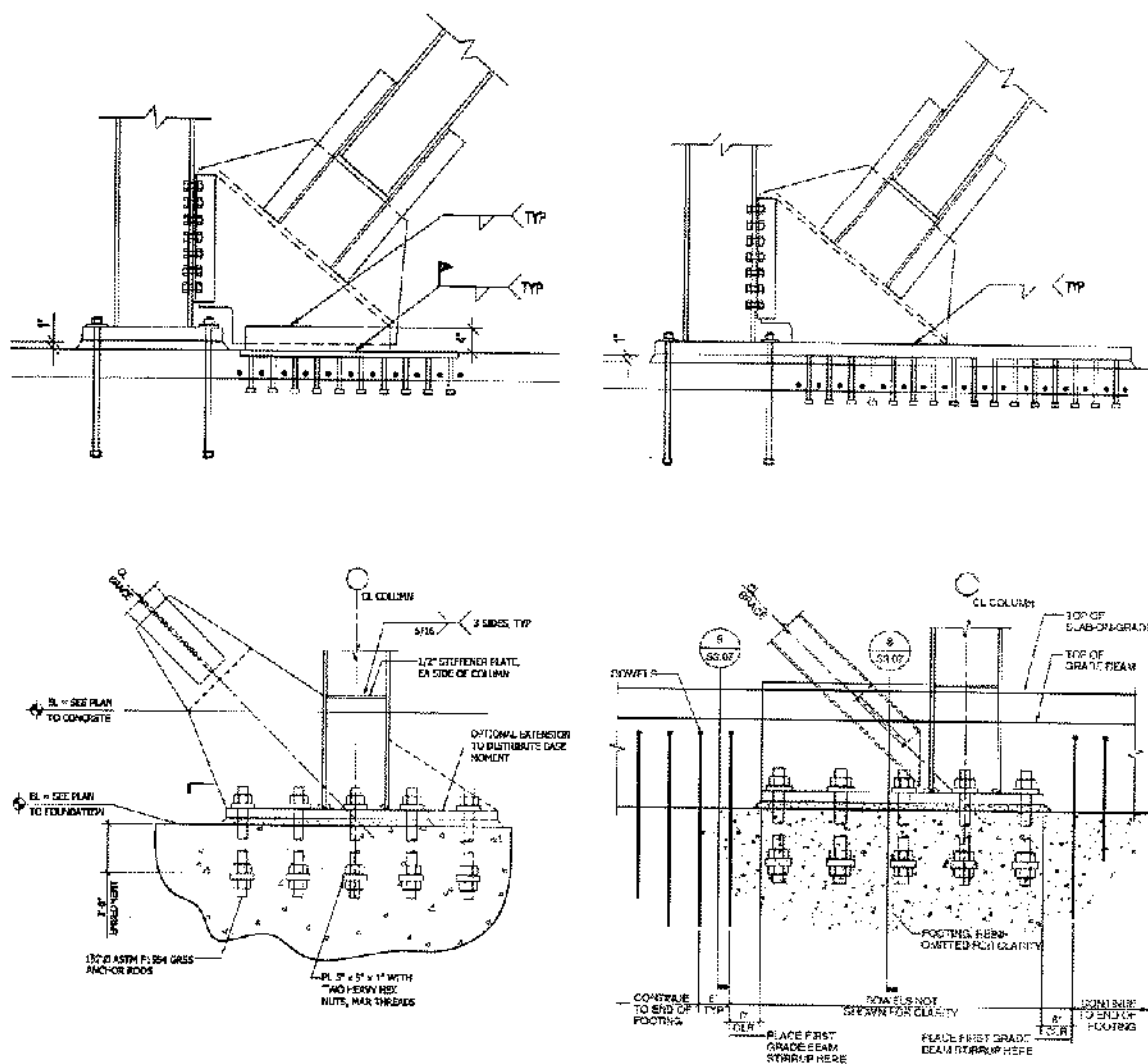
شکل ۱۱ - ۸۷ جزئیات ورق پای ستون.



شکل ۱۱ - ۸۸ جزئیات ورق پای ستون.



شکل ۱۱ - ۸۹ جزئیات ورق پای ستون.



شکل ۱۱-۹

۱۱-۹ اتصالات پای ستون (کف ستون)

۱۱-۹-۱ مقدمه

در طراحی اتصال پای ستون دو شرط اصلی زیر باید تأمین گردد:

- الف) نیروی فشاری موجود در بال‌ها و جان ستون طوری باید توسط ورق پای ستون در شالوده گسترش پیدا کند که تنش فشاری تماسی از مقادیر مجاز توصیه شده توسط آیین‌نامه‌ها کمتر شود.
- ب) ورق پای ستون و ستون کاملاً به‌بتن شالوده مهار گردند.

این‌نامه تنش خمشی مجاز را برای ورق پای ستون مساوی $0.75F_y$ توصیه می‌کند. بنابراین ضخامت لازم را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$f = \frac{3f_p m^2}{t^2} \leq 0.75 F_y \quad (۱۱ - ۶۷)$$

$$t = 2m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad \text{یا} \quad t = 2n \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad (۱۱ - ۶۸ - \text{الف})$$

اگر بخواهیم ضخامت را براساس لنگر واحد عرض طراحی نماییم، خواهیم داشت:

$$0.75F_y = \frac{M}{1 \times \frac{t^2}{6}} \rightarrow t = \sqrt{\frac{6M}{0.75F_y}} \quad (۱۱ - ۶۸ - \text{ب})$$

مثال ۱۱ - ۱۶

مطلوب است طراحی کف ستون برای ستونی از نیمرخ IPB360 که باری معادل ۲۲۵ تن ناشی از بار مرده و زنده را تحمل می‌نماید. فولاد ستون و ورق پای ستون از نوع نرمه با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد. تنش فشاری مجاز بین ورق پای ستون و شالوده را ۷۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نظر بگیرید.

حل:

مشخصات IPB360 بر حسب سانتی‌متر:

$$D = 36 \quad , \quad b = 30 \quad , \quad t_w = 1.25 \quad , \quad t_f = 2.25$$

اغلب طراحان ترجیح می‌دهند که ورق پای ستون را به عوض بارهای وارد بر ستون، برای ظرفیت کامل ستون طراحی نمایند. در این صورت اتصال ضعیف‌ترین جزء نخواهد بود. البته تعیین ظرفیت باربری مجاز ستون باید بر پایه ملاحظات کماتشی آن صورت پذیرد. در این مثال، ورق پای ستون برای بار موجود طراحی خواهد شد.

الف) تعیین ابعاد ورق کف ستون

$$\text{لازم} \quad A = \frac{P}{F_p} = \frac{225(10)^3}{(70)} = 3215 \text{ cm}^2$$

از نظر کاهش ریسک اشتباه اجرایی، ابعاد باید نزدیک به مربع باشد. البته بعضی از طراحان عقیده دارند که برای مساوی شدن m و n بهتر است که ابعاد ورق کف ستون (یعنی B و N) متناسب با ابعاد خارجی ستون باشد.

$$0.80b = 0.8(30) = 24 \text{ cm}$$

$$0.95d = 0.95(36) = 34.2 \text{ cm}$$

$$n = 0.5(B - 0.80b) = 0.5(B - 24)$$

$$m = 0.5(N - 0.95d) = 0.5(N - 34.2)$$

با فرض $m = n$ داریم:

$$0.5(B - 24) = 0.5(N - 34.2)$$

$$B = N - 10.2$$

$$B \times N = 3215$$

$$(N - 10.2)N = 3215$$

$$N^2 - 10.20N - 3215 = 0$$

$$N = 62.03 \text{ cm}$$

$$B = 62.03 - 10.2 = 51.83 \text{ cm}$$

انتخاب می‌کنیم:

$$N = 60 \quad , \quad B = 50 \text{ cm}$$

$$A = 60(50) = 3000 \text{ cm}^2 \quad \text{قابل قبول است}$$

$$\text{موجود} \quad n = 0.5(50 - 24) = 13 \text{ cm}$$

$$m = 0.5(60 - 34.2) = 12.9 \text{ cm}$$

$$\text{موجود} \quad f_p = \frac{225(10)^3}{60 \times 50} = 75 \quad \text{قابل قبول است}$$

$$\text{لازم} \quad t = 2n \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} = 2(13) \sqrt{\frac{75}{2400}} = 4.59 \text{ cm}$$

بنابراین از ورق $۶۰۰ \times ۵۰۰ \times ۴۵$ میلی‌متر استفاده نماییم.

۱۱ - ۹ - ۳ تنش مجاز فشار تماسی بین ورق پای ستون و شالوده بتنی

طبق مفاد مبحث دهم، تنش مجاز فشار تماسی بین ورق پای ستون و شالوده بتنی برابر است با:

$$F_p = 0.3f_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 0.6f_c \quad (۱۱ - ۶۹)$$

که در آن:

f_c = مقاومت مشخصه فشاری بتن بر روی نمونه استوانه‌ای استاندارد

A_1 = سطح ورق زیرستون در تماس با شالوده

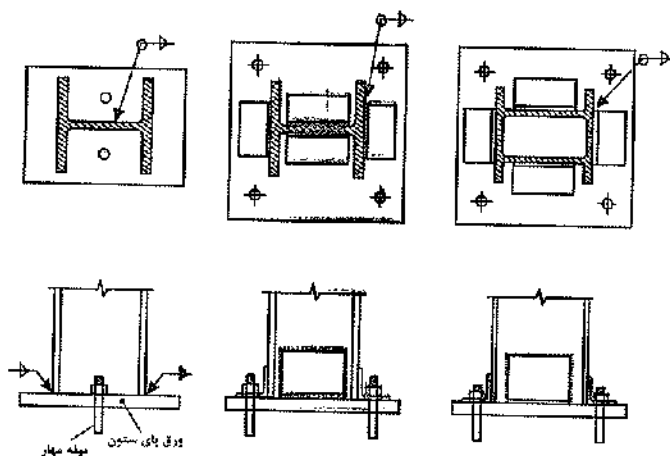
A_2 = حداکثر سطحی از شالوده، هم‌مرکز و متشابه با ورق کف ستون

۱۱-۹-۴ اتصال ورق پای ستون به شالوده در ستون‌ها با بار محوری

ورق پای ستون توسط ۲ تا ۶ پیچ مهار (معمولاً چهار پیچ در چهار گوشه آن) به شالوده بتنی مهار می‌شود (شکل ۱۱-۹۲). در صورت مفصلی بودن پای ستون، هیچ نیرویی به این مهارها وارد نمی‌شود. فقط در هنگام نصب ستون ممکن است بر این پیچ‌ها نیرو وارد گردد که این مسئله نباید از طرف مهندس محاسب نادیده گرفته شود. در ساختمان‌های معمولی قطر این پیچ‌ها حدود ۱۸ تا ۲۴ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود و با افزایش اهمیت ساختمان، قطرهای بزرگتری به کار می‌رود.

۱۱-۹-۵ اتصال ستون به ورق پای ستون

در اتصال مفصلی پای ستون، فقط نیروی محوری از ستون به ورق پای ستون منتقل می‌شود. در شکل ۱۱-۹۲ چند نمونه از جزییات اتصال ساده ستون به ورق پای ستون نشان داده شده است. انتهای ستون که با ورق پای ستون در تماس است، باید به صورت گونیا بریده شده و سنگ زده شود تا در تماس کامل با ورق پای ستون قرار بگیرد. در چنین حالتی اکثر نیروی محوری توسط فشار تماسی منتقل می‌شود و نبشی‌ها و یا جوش فقط عمل نگهداری و انتقال نیروی برشی را بر عهده می‌گیرند. در صورتی که انتهای ستون سنگ زده نشود، جوش و نبشی‌های اتصال باید بتوانند صد در صد نیروی محوری را انتقال دهند.



شکل ۱۱-۹۲

۱۱-۹-۶ استفاده از ورق‌های سخت‌کننده در اتصال پای ستون

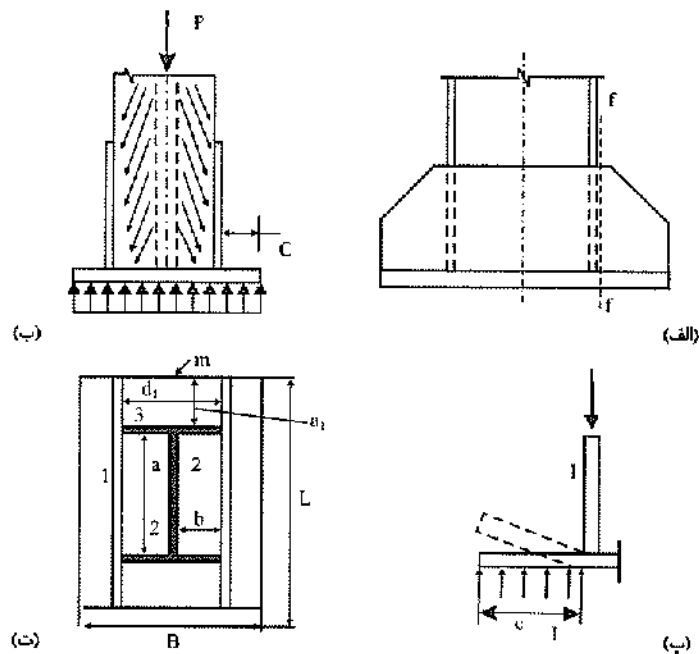
گاهی مواقع به منظور کم کردن ضخامت ورق پای ستون، از ورق‌های سخت‌کننده مثلی یا دوزنقه‌ای در اتصال پای ستون استفاده می‌تود. در شکل ۱۱-۹۳ نمونه‌ای از این نوع اتصال پای ستون نشان داده شده است. در طراحی، سه ناحیه متمایز در ورق پای ستون دیده می‌شود که نحوه محاسبه هر ناحیه را در زیر شرح می‌دهیم:

در ناحیه ۱ ورق پای ستون همانند یک تیر طره‌ای عمل می‌نماید.

لنگر حداکثر بر واحد طول صفحه در این ناحیه برابر است با:

$$M = \frac{f_p c^2}{2}$$

(۱۱-۷۰)



شکل ۱۱ - ۹۳

ناحیه ۲ همانند ورقی می‌ماند که در چهار طرف تکیه دارد و تحت فشار یکنواخت f_p می‌باشد. لنگر حداکثر چنین ورقی که در وسط دهانه قرار دارد، از روابط زیر به دست می‌آید:

$$M_a = \alpha_1 f_p b^2$$

$$M_b = \alpha_2 f_p b^2$$

(۱۱ - ۷۱)

که در روابط فوق:

M_a = لنگر برای نواری به عرض ۱ سانتی‌متر به موازات ضلع a

M_b = لنگر برای نواری به عرض ۱ سانتی‌متر به موازات ضلع b

b = طول ضلع کوچکتر ناحیه ۲ به سانتی‌متر

f_p = فشار یکنواخت وارد بر ورق پای ستون بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع

α_1 و α_2 = ضرایبی که بر حسب نسبت ضلع بزرگتر به ضلع کوچکتر (a/b) از جدول ۱۱ - ۱ به دست می‌آیند.

بزرگترین مقادیر M_a و M_b حاکم بر طرح می‌باشد. در صورتی که چهار طرف ورق گیردار فرض گردد، می‌توان

لنگرهای به دست آمده از رابطه ۱۱ - ۷۱ را ۲۰ درصد کاهش داد.

ناحیه ۳ همانند ورقی می‌باشد که در سه طرف تکیه دارد و در یک طرف آزاد است. نقطه بحرانی در چنین ورقی،

وسط لبه آزاد می‌باشد (نقطه m در شکل ۱۱ - ۹۳). لنگر مربوط به نقطه m از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$M_3 = \alpha_3 f_p d_1^2$$

(۱۱ - ۷۲)

α_3 = ضریبی که بر حسب نسبت a_1/d_1 از جدول ۱۱ - ۱ به دست می‌آید.

d_1 = طول لبه آزاد ورق

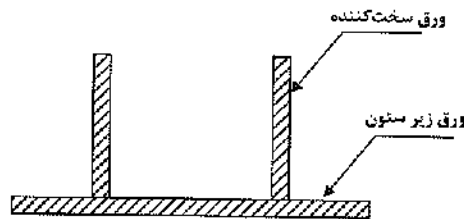
راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

اگر نسبت a_1/d_1 کوچکتر از $0/5$ باشد، ورق همانند تیر طره‌ای تحلیل می‌گردد. ضخامت ورق پای ستون که برای تمام مناطق ثابت اختیار می‌گردد، براساس بزرگترین لنگر به دست آمده از روابط ۱۱ - ۷۰، ۱۱ - ۷۱ و ۱۱ - ۷۲ طراحی می‌شود.

جدول ۱۱ - ۱

نسبت a/b											ضرایب	ورق در هر چهار طرف تکیه دارد
بالای ۲	۲	۱/۹	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱/۱			۱
۰/۱۳۵	۰/۱۰۰	۰/۰۹۸	۰/۰۹۴	۰/۰۹۱	۰/۰۸۶	۰/۰۸۱	۰/۰۷۵	۰/۰۶۹	۰/۰۶۳	۰/۰۵۵	۰/۰۴۸	α_1
۰/۰۲۷	۰/۰۴۶	۰/۰۴۷	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۴۹	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰	۰/۰۴۹	۰/۰۴۸	α_2
نسبت a_1/d_1											α_3	ورق در سه طرف تکیه دارد
بالای ۲	۲	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۶	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴		
۰/۱۳۳	۰/۱۳۳	۰/۱۳۶	۰/۱۲۰	۰/۱۱۴	۰/۱۰۷	۰/۱۰۷	۰/۱۰۸۸	۰/۱۰۷۴	۰/۱۰۶			

پس از تعیین ضخامت ورق، باید کل مقطع ورق به علاوه سخت‌کننده‌ها در مقطعی نظیر f-f (شکل ۱۱-۹۳-الف) در مقابل لنگر خمشی ناحیه طره‌ای کنترل گردد. مقطع f-f همانند شکل ۱۱ - ۹۴ می‌باشد. در هنگام استفاده از سخت‌کننده‌های پای ستون باید دقت شود که کاهش ضخامت ورق پای ستون، جبران اضافه وزن ناشی از وجود سخت‌کننده‌ها را بنماید.



شکل ۱۱-۹۴ مقطع f-f.

مثال ۱۱ - ۱۷

در مثال ۱۱ - ۱۶ با استفاده از ورق سخت‌کننده، ضخامت ورق کف ستون را کاهش دهید.

حل:

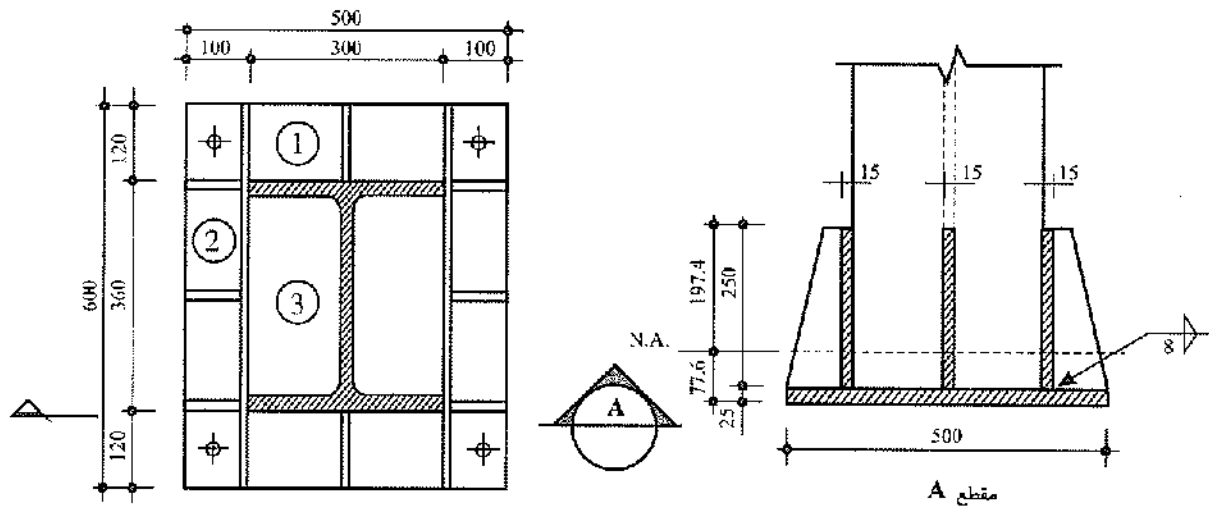
با توجه به مثال ۱۱ - ۳ تنش زیر کف ستون $f_p = 75 \text{ kg/cm}^2$ می‌باشد. اکنون لنگر در سه ناحیه ۱ و ۲ و ۳ تعیین می‌گردد.

ناحیه ۱ (ورق سه طرف تکیه‌دار)

$$a_1 = 12 \text{ cm} \quad d_1 = 15 \text{ cm}$$

$$a_1 / d_1 = 12 / 15 = 0.8 \quad \rightarrow \quad \alpha_3 = 0.097$$

$$M_3 = 0.097 \times 75 \times 15^2 = 1637 \text{ kg.cm/cm}$$



شکل ۱۱ - ۹۵

ناحیه ۲ (ورق سه طرف تکیه‌دار)

$$a_1 = 10 \text{ cm} \quad d_1 = 18 \text{ cm}$$

$$a_1 / d_1 = 10 / 18 = 0.56 \rightarrow \alpha_3 = 0.068$$

$$M_3 = 0.068 \times 75 \times 18^2 = 1652 \text{ kg.cm/cm}$$

ناحیه ۳ (ورق چهار طرف تکیه‌دار)

$$a = 36 - 2.25 \times 2 = 31.5 \quad b = 15 - \frac{1.25}{2} = 14.37$$

$$a/b = \frac{31.5}{14.37} = 2.19 > 2$$

$$\alpha_1 = 0.125 \quad \alpha_2 = 0.037$$

$$M_a = 0.125 \times 75 \times 14.37^2 = 1936 \text{ kg.cm/cm}$$

$$M_b = 0.037 \times 75 \times 14.37^2 = 573 \text{ kg.cm/cm}$$

حداکثر لنگر موجود ۱۹۳۶ kg.cm/cm می‌باشد. ضخامت لازم به دست می‌آید:

$$f = \frac{M}{S}, \quad F = 0.75 F_y$$

$$S = \frac{M}{0.75 F_y} \rightarrow \frac{t^2}{6} = \frac{M}{0.75 F_y} \rightarrow t = \sqrt{\frac{6M}{0.75 F_y}}$$

$$t = \sqrt{\frac{6 \times 1936}{0.75 \times 2400}} = 2.54 \text{ cm} \rightarrow t = 25 \text{ mm} \quad \text{انتخاب}$$

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

ضخامت ورق کف ستون از ۴۵ میلی‌متر به ۲۵ میلی‌متر کاهش یافته است. اکنون با فرض ضخامت ۱۵ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵۰ میلی‌متر برای سخت‌کننده‌ها، مقطع A-A کنترل می‌گردد.

$$\bar{X} = \frac{50 \times 2.5^2 / 2 + 3 \times 25 \times 1.5 \times 15}{50 \times 2.5 + 3 \times 25 \times 1.5} \approx 7.76 \text{ cm}$$

$$I = 50 \times \frac{2.5^3}{12} + 50 \times 2.5(7.76 - 1.25)^2 + 3 \times 1.5 \times 25^3 / 12 + 3 \times 25 \times 1.5 \times 7.24^2 = 17119 \text{ cm}^4$$

$$S_t = 867 \text{ cm}^3 \quad S_b = 2206 \text{ cm}^3$$

$$M = 50 \times 75 \times 12^2 / 2 = 270000 \text{ kg.cm}$$

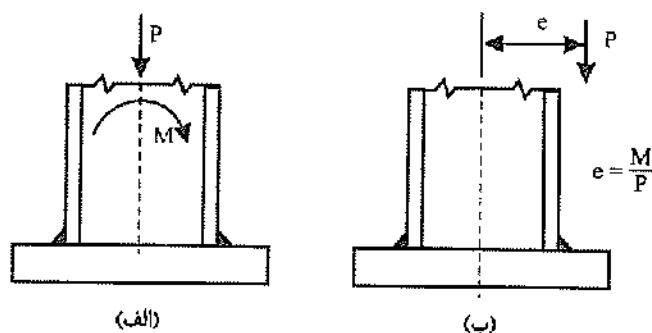
$$f = 27 \times 10^4 / 867 = 311 \text{ kg/cm}^2 \text{ خوبست}$$

۱۱-۹-۷ اتصالات پای ستون که تحمل لنگر خمشی می‌نمایند

اغلب پیش می‌آید که اتصالات پای ستون، علاوه بر نیروی محوری، لنگر خمشی هم تحمل می‌کنند. برای فهم دقیق‌تر موضوع، این مسئله را در دو قسمت تحت مطالعه و بررسی قرار می‌دهیم؛ انتقال نیرو از ستون به ورق پای ستون و انتقال نیرو از ورق پای ستون به شالوده.

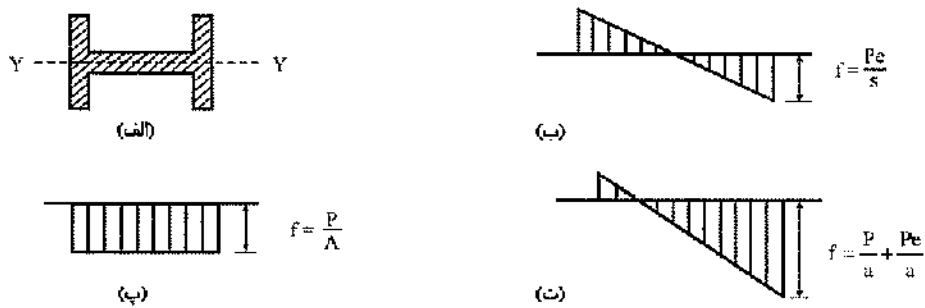
۱۱-۹-۷-۱ انتقال نیرو از ستون به ورق پای ستون

هر گاه به انتهای ستون ترکیب نیروی محوری فشاری P و لنگر خمشی M وارد آید، بهتر است که اثر آنها را به صورت یک نیروی فشاری تنها با برون محوری e نمایش دهیم (شکل ۱۱-۹۶).



شکل ۱۱-۹۶

بدون توجه به طرز نمایش نیروها، در این حالت مقطع ستون تحت دوسری تنش قرار خواهد داشت، یکی تنش حاصل از نیروی محوری فشاری (شکل ۱۱-۹۷-ب) و دیگری تنش حاصل از اثر لنگر خمشی (شکل ۱۱-۹۷-ا)، ترکیب این دو تنش در شکل ۱۱-۹۷-ت نشان داده شده است.



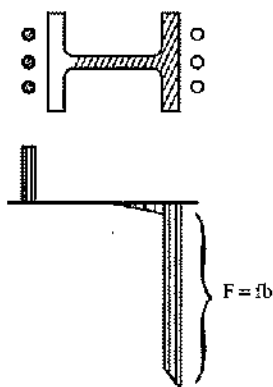
شکل ۱۱ - ۹۷

حال اگر تنش‌ها را در پهنای بال و ضخامت جان (به ترتیب در ناحیه بال و جان) ضرب کنیم، گسترش نیرویی همانند شکل ۱۱ - ۹۸ به دست می‌آید که این نیروها به ورق پای ستون منتقل خواهد شد. این حالت در صورتی است که فرض کنیم ستون مستقیماً به صفحه زیر ستون جوش شده است.

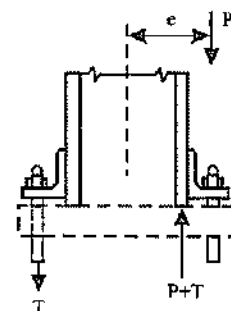


شکل ۱۱ - ۹۸

حال اگر همانند شکل ۱۱ - ۹۹ ستون به ورق پای ستون جوش نشود و به وسیله میله مهاریه نگه داشته شده باشد (همان‌طور که از شکل پیداست، در این حالت نیروی فشاری توسط تنش فشاری تماسی بین بال و ورق پای ستون حمل می‌شود و نیروی کششی حاصل از لنگر توسط میله مهاریه که از سوراخ ورق پای ستون عبور کرده و در شالوده مهار شده است، حمل می‌گردد). وضعیت گسترش تنش بین ستون و ورق پای ستون فرق می‌کند. گسترش تنش در این حالت بدین صورت خواهد بود که نیروهای کششی را میله مهار و نیروهای فشاری را بال ستون تحمل خواهد کرد (شکل ۱۱ - ۱۰۰).



شکل ۱۱ - ۱۰۰



شکل ۱۱ - ۹۹

۱۱-۹-۷-۲ انتقال نیرو از ورق پای ستون به شالوده

رفتار ورق پای ستون در این حالت بسیار شبیه به رفتار ستون‌های بتن مسلح تحت تأثیر نیروی محوری و لنگر خمشی می‌باشد.

نیروی محوری فشاری تولید تنش فشاری تماسی بین ورق پای ستون و سطح تماس شالوده می‌نماید. با تأثیر لنگر خمشی، تنش فشاری در ناحیه کششی لنگر کاهش می‌یابد و با افزایش مقدار لنگر خمشی، این تنش به صفر می‌رسد و با افزایش بیشتر لنگر خمشی، بین ورق پای ستون و شالوده جدایی حاصل می‌شود و در این حالت است که پیچ‌های مهاری اتصال پای ستون تحت تأثیر نیروی کششی قرار می‌گیرند تا از بلند شدن ورق پای ستون جلوگیری نمایند. در ناحیه فشار لنگر خمشی، همواره تنش فشاری خواهیم داشت که مقدار آن در تار انتهایی فشاری، حداکثر است.

از مقاومت مصالح می‌دانیم که تنش ترکیبی ناشی از نیروی محوری و لنگر خمشی در یک محیط همگن از

رابطه زیر به دست می‌آید:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{S} \quad (۱۱-۷۳)$$

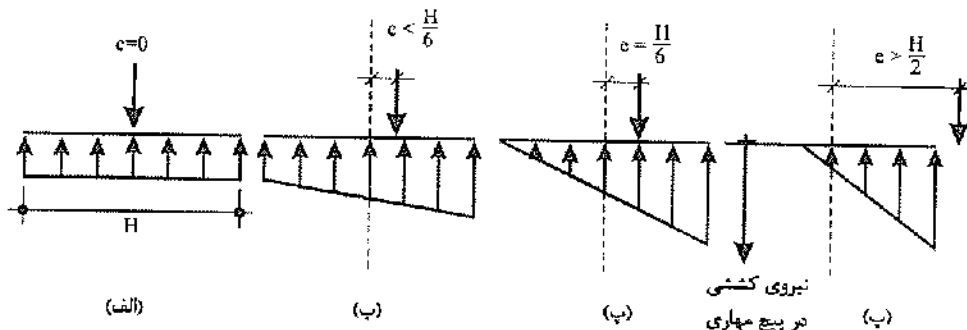
که در آن:

P = نیروی فشاری وارد بر مقطع

A = مساحت سطح تماس

M = لنگر خمشی

S = اساس مقطع سطح تماس



شکل ۱۱-۱۰

در حالتی که سطح تماس به صورت مربع مستطیل با ارتفاع H در جهت لنگر خمشی باشد، داریم:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{6M}{HA} \quad (۱۱-۷۴)$$

با تعریف برون‌محوری $e = \frac{M}{P}$ رابطه فوق به صورت زیر در می‌آید:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{6Pe}{HA} = \frac{P}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{H} \right) \quad (۱۱-۷۵)$$

اگر عبارت داخل پرانتز بزرگتر از صفر باشد، در این صورت هیچ‌گونه جدایی بین ورق پای ستون و شالوده ایجاد نمی‌گردد و پیچ‌های مهاري تحت کشش قرار نمی‌گیرد و در سطح تماس تماماً فشار خواهیم داشت (شکل ۱۱ - ۱۰۱ - ب). شرط فوق را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$1 - \frac{6e}{H} \geq 0 \rightarrow e \leq \frac{H}{6} \quad (۱۱ - ۷۶)$$

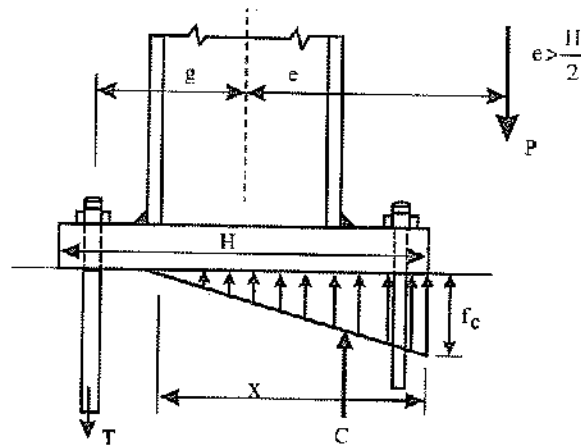
در این حالت محاسبات مربوط به تخمین ضخامت ورق پای ستون، مشابه حالت نیروی محوری تنهاست و در هنگام محاسبه به طور محافظه کارانه فرض می‌شود که تنش حداکثر به طور یکنواخت در کل سطح تماس توزیع شده است. در این صورت پیچ‌های مهاري تحت هیچ‌گونه کششی قرار ندارند و همانند گذشته، قطر آنها به طور اسمی طراحی می‌شود.

۱۱-۹-۷-۳ محاسبه اتصال ستون در حالت $e > \frac{H}{6}$

وقتی که مقدار e از $\frac{H}{6}$ تجاوز نماید، عبارت داخل پرانتز در رابطه ۱۱ - ۷۵ منفی می‌شود و بین سطح تماس ورق و شالوده جدایی رخ می‌دهد. در صورتی که e بزرگتر از $\frac{H}{6}$ ولی کوچکتر از $\frac{H}{2}$ باشد، با وجود جدایی، پیچ‌ها به کشش نمی‌افتند و ارتفاع تار خنثی و تنش فشاری حداکثر در بتن از روابط زیر به دست می‌آید:

$$x = 3 \left(\frac{H}{2} - e \right) \rightarrow f_c = 2P / (xB) \quad (۱۱ - ۷۷)$$

در صورتی که $e > \frac{H}{2}$ باشد، در پیچ‌های مهاري کشش ایجاد می‌شود (شکل ۱۱ - ۱۰۲). در این حالت چون سطح تماس دیگر یک محیط همگن نیست، رابطه ۱۱ - ۷۵ اعتبار خود را از دست می‌دهد و برای پیدا کردن نیروی کششی در پیچ‌های مهاري و تنش فشاری حداکثر باید متوسل به شیوه‌هایی شد که در طراحی ستون‌های بتن مسلح تحت برون محوری بزرگ از آنها استفاده می‌شود. در شکل ۱۱ - ۱۰۲ توزیع تنش‌ها در این حالت نشان داده شده است.



شکل ۱۱ - ۱۰۲

با فرض رفتار الاستیک و اعمال معادلات تعادل ایستایی و شرایط سازگاری تغییرشکل‌ها، ارتفاع تار خنثی، یعنی X از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$X^3 + K_1 X^2 + K_2 X + K_3 = 0 \quad (11 - 78)$$

که در آن:

$$K_1 = 3 \left(e - \frac{H}{2} \right)$$

$$K_2 = \frac{6nA_s}{B} (g + e)$$

$$K_3 = -K_2 \left(\frac{H}{2} + g \right)$$

$$T = -P \begin{bmatrix} \frac{H}{2} - \frac{X}{3} - e \\ \frac{H}{2} - \frac{X}{3} + g \end{bmatrix} \quad \text{نیروی کششی}$$

تمام پارامترها در شکل نشان داده شده‌اند، غیر از B که پهناى ورق پای ستون (در امتداد عمود بر H) و A_s که سطح پیچ‌های مهارى کششى می‌باشد. n نیز نسبت ضرایب الاستیسیته فولاد به بتن است، که مساوی ۱۰ در نظر گرفته می‌شود. تذکر دو نکته در مورد رابطه ۱۱ - ۷۸ ضروری می‌باشد.

اول اینکه حل معادله درجه ۳ بهتر است به صورت عددی انجام بگیرد. دوم اینکه در هنگام استفاده از این معادله باید مقادیر H ، B و A_s معلوم باشند که تخمین صحیح آنها به تجربه مهندس محاسب واگذار می‌شود. پس از تعیین مقدار X ، مقادیر نیروی کششى T در پیچ‌های مهارى و f_c (تنش فشاری حداکثر در بتن) با استفاده از معادلات تعادل استاتیک به دست می‌آیند.

۱۱-۹-۷-۴ روش تقریبی

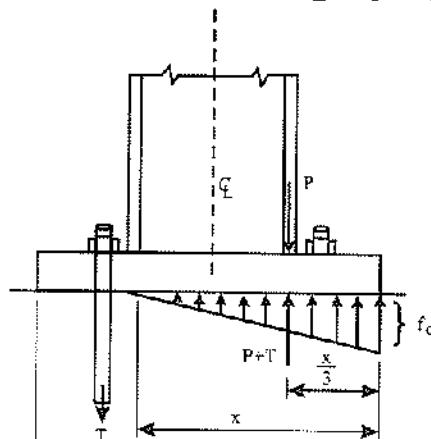
مطالعه شکل‌های ۱۱-۹۸، ۱۱-۹۹ و ۱۱-۱۰۰ نشان می‌دهد که برآیند نیروی فشاری منتقل شده از ستون به ورق پای ستون، تقریباً در مرکز سطح بال فشاری قرار دارد. بنابراین در صورتی که ورق پای ستون کاملاً صلب نباشد، می‌توان انتظار داشت که برآیند نیروهای فشاری بین ورق پای ستون و شالوده در زیر بال فشاری قرار داشته باشد (شکل ۱۱-۱۰۳). با قبول این فرض و نیز فرض مثلی بودن توزیع تنش‌های فشاری، مقدار X سه برابر فاصله مرکز ثقل بال ستون تا لبه آزاد ورق پای ستون خواهد شد. با داشتن X ، مقادیر نیروی کششى پیچ‌های مهارى و تنش

* یک روش حل عددی معادله سه مجهولی، روش نیوتن با استفاده از رابطه زیر می‌باشد:

$$X_{i+1} = X_i - \frac{f(X_i)}{f'(X_i)}$$

که در آن f تابع نشان‌دهنده معادله درجه ۳ و f' مشتق آن است.

فشاری f_c ، از استاتیک به دست می‌آید. تذکر این نکته ضروری است که وقتی ستون همانند شکل ۱۱ - ۹۹ بدون استفاده از جوش، فقط توسط پیچ‌های مهاریه نگه داشته شده باشد، استاتیک مسئله ایجاب می‌کند که برآیند نیروهای فشاری بین ورق پای ستون و شالوده، حتماً در زیر مرکز ثقل بال فشاری قرار داشته باشد و در این حالت تنها فرض تقریبی مسئله، توزیع مثلی تنش فشاری می‌باشد که ممکن است در واقعیت چنین نباشد.



شکل ۱۱ - ۱۰۳

مثال ۱۱ - ۱۸

جزئیات پای ستون نشان داده شده در شکل ۱۱ - ۱۰۴ - الف، از جزئیات بسیار مناسب و متداول برای اثر توأم نیروی محوری و لنگر خمشی می‌باشد. مطلوب است طراحی این اتصال برای تحمل نیروی محوری ۶۳ تن به علاوه لنگر خمشی ۲۳ تن متر که از ستون IPB360 بر آن وارد می‌شود. فولاد مصرفی از نوع نرمه با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است. ورق پای ستون در روی یک شالوده بتنی بزرگ با مقاومت نمونه استوانه‌ای $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ قرار دارد. بنابراین تنش تماسی فشاری مجاز مساوی $0.3 \times 250 = 75 \text{ kg/cm}^2$ می‌باشد.

حل:

در اتصال پای ستون نشان داده شده، هیچ‌گونه جوشی بین پای ستون و ورق پای ستون وجود ندارد (و یا اگر جوش اسمی به‌خاطر عملیات مونتاژ و یا انتقال برش وجود داشته باشد، در این محاسبات آن را نادیده می‌گیریم). نیروی کششی حاصل از لنگر خمشی توسط پیچ‌های مهاریه و نیروی فشاری توسط فشار تماسی بین بال ستون و ورق پای ستون حمل می‌شود (شکل ۱۱ - ۱۰۴ - ب). بنابراین منطقی است فرض نماییم که برآیند نیروهای فشاری تماسی بین بتن شالوده و ورق پای ستون درست در مقابل بال فشاری قرار دارد. البته نمودار آزاد ورق ستون نشان می‌دهد که برای حفظ تعادل ستون، باید برآیند نیروهای فشاری تماسی بین ورق پای ستون و شالوده درست در مقابل مرکز ثقل بار فشاری باشد. اما توزیع نیروهای فشاری تماسی بین ورق پای ستون و شالوده مشخص نمی‌باشد که ما در اینجا این توزیع را مثلی فرض می‌نماییم.

الف) تخمین ابعاد ورق پای ستون

برون محوری بارهای وارده برابر است با:

$$e = \frac{M}{P} = \frac{23(100)}{63} = 36.51 \text{ cm}$$

در صورتی که نخواهیم بین ورق پای ستون و شالوده جدایی حاصل شود باید حداقل H مساوی 6c یا ۲۱۹/۰۶ سانتی‌متر باشد که انتخاب چنین ورق پای ستونی غیرمعقول است. بنابراین قطعاً بین ورق پای ستون و شالوده منطقه‌ای بدون فشار ایجاد می‌شود و پیچ‌های مهارتی در کشش قرار می‌گیرند.

فاصله محور پیچ‌های مهارتی تا بر ستون را مساوی ۵ سانتی‌متر فرض می‌نماییم. در نتیجه فاصله بین مراکز ثقل نیروهای فشاری و کششی برابر است با (توجه شود که مرکز ثقل نیروهای فشاری همان مرکز ثقل بال فشاری می‌باشد):

$$\text{بازوی لنگر} = d - 0.5t_f + 5 = 36 - 0.5(2.25) + 5 = 39.88$$

در تخمین اولیه H فرض می‌نماییم که رأس مثلث توزیع تنش تا نیروی کششی امتداد داشته باشد.

$$X = \frac{3}{2} (\text{بازوی لنگر}) = 1.5(39.88) = 59.82 \text{ cm}$$

(ارتفاع تار خنثی از تار فشاری)

$$\frac{X}{3} = \frac{59.82}{3} = 19.94 \text{ cm}$$

بنابراین فاصله لبه خارجی ورق پای ستون تا محور پیچ‌ها برابر است با:

$$19.94 - 0.5(2.25) - 5 = 13.82 \text{ cm}$$

$$H = X + 13.82 = 59.82 + 13.82 = 73.64$$

ارتفاع H=70cm انتخاب می‌شود. با انتخاب H سایر ابعاد مطابق شکل ۱۱ - ۱۰۴ - پ تنظیم می‌گردد.

پهنای B نیز براساس ملاحظات تنش مجاز فشاری تماسی بین پای ستون و شالوده انتخاب می‌شود.

با لنگرگیری حول مرکز ثقل نیروهای فشاری، نیروی کششی T به دست می‌آید:

$$T = \frac{63(19.63)}{39.88} = 31.01 \text{ ton}$$

$$\text{نیروی فشاری} \quad R = 63 + T = 63 + 31.01 = 94.01 \text{ ton}$$

با توجه به احتیاجات طراحی پهنای B را مساوی ۵۰ سانتی‌متر انتخاب می‌نماییم.

$$f_{p \max} = \frac{2R}{XB} = \frac{2(94.01)(1000)}{59.82(50)} = 62.86 \text{ kg/cm}^2 < 75 \text{ kg/cm}^2$$

تعیین ضخامت کف ستون

با مراجعه به شکل ۱۱ - ۱۰۴ طول طره برابر است با:

$$\text{طول طره} = \frac{(70-36)}{2} - 5 = 12 \text{ cm}$$

مقطع بحرانی برای خمش، وسط لبه سخت‌کننده و لبه ستون در نظر گرفته شده است.

برای تعیین ضخامت ورق، فرض می‌نماییم که تنش حداکثر تا مقطع بحرانی به‌طور یکنواخت است. با توجه به‌ناشناخته بودن توزیع تنش، انتخاب این فرض چندان دور از منطق نیست.

به‌ازای عرض واحد:

$$M = 62.86 \times \frac{12^2}{2} = 4526 \text{ kg.cm/cm}$$

$$t = \sqrt{\frac{6M}{0.75F_y}}$$

$$t = \sqrt{\frac{6(4526)}{0.75(2400)}} = 3.88 \text{ cm}$$

بنابراین برای کف ستون از ورق $40 \times 50 \times 70$ میلی‌متر استفاده می‌نماییم.

ب) انتخاب میله مهارها

از فولاد CK ۴۵ با تنش نهایی $F_u = 6000 \text{ kg/cm}^2$ استفاده می‌شود.

$$F_t = 0.33F_u = 0.33 \times 6000 = 1980 \approx 2000 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = \frac{31.01(1000)}{2000} = 15.5 \text{ cm}^2$$

از سه میله مهار ۲۵ میلی‌متر استفاده می‌نماییم.

$$A_s = 3(4.9) = 14.71 \text{ cm}^2 \quad \text{قابل قبول است}$$

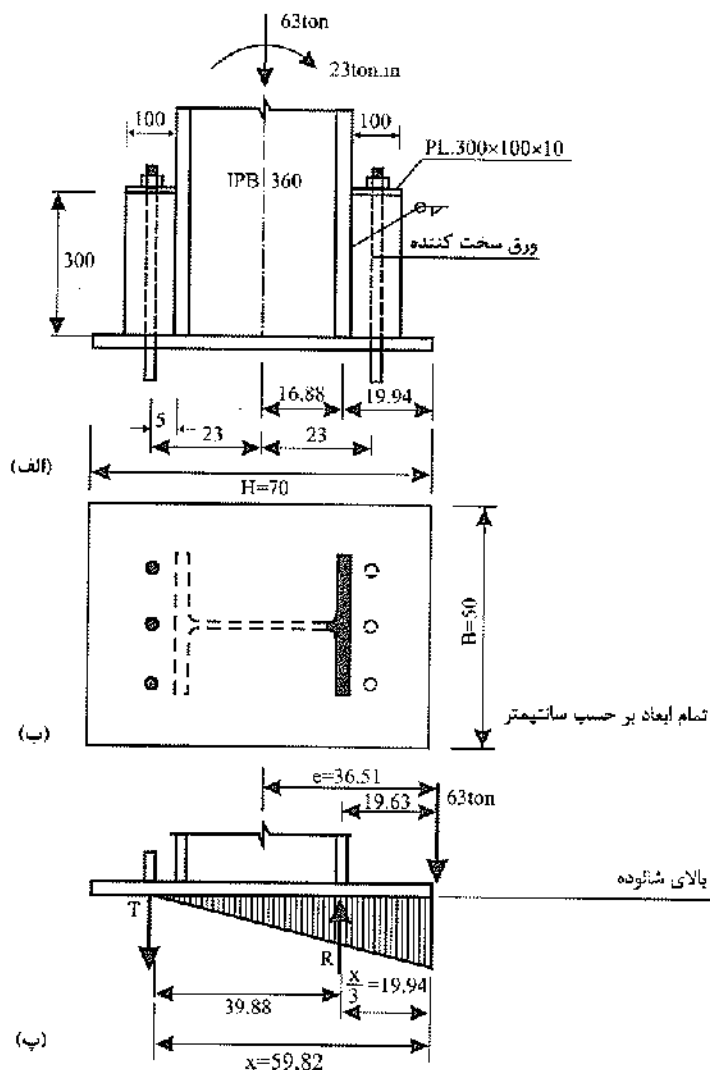
پ) سخت‌کننده‌ها و اتصالات مربوط به آنها

همان‌طور که در شکل ۱۱ - ۱۰۵ - الف، نشان داده شده است، نیروی پیچ مهار، توسط چهار ورق سخت‌کننده حمل می‌گردد. می‌توان فرض نمود که نیروی وارد بر هر یک از ورق‌های سخت‌کننده میانی مساوی نیروی یک پیچ می‌باشد.

$$\text{نیروی وارد بر هر ورق سخت‌کننده میانی} = \frac{31.01}{3} = 10.34 \text{ ton}$$

$$A_s \text{ لازم} = \frac{10.34}{0.60F_y} = \frac{10.34(1000)}{0.6(2400)} = 7.18 \text{ cm}^2$$

بنابراین از ورق 10×10 میلی‌متر به‌عنوان سخت‌کننده استفاده می‌نماییم.



شکل ۱۱ - ۱۰۴

همان‌طور که در شکل ۱۱ - ۱۰۵ - ب، نشان داده شده است، نیروی ۱۰/۳۴ تنی که تحت برون‌محوری ۵ سانتی‌متر اثر می‌نماید، توسط عمل ترکیبی نیروی F_1 (که در جوش افقی به وجود می‌آید) و نیروی F_2 (که در جوش قائم به وجود می‌آید) تحمل می‌شود. می‌توان این‌طور فرض نمود که نیروی F_1 لنگر ناشی از برون‌محوری و نیروی F_2 برش ناشی از نیروی ۱۰/۳۴ تنی را حمل می‌نماید. نتایج حاصل از این روش به شرح زیر می‌باشند:

$$F_2 = 10.34 \text{ ton} \quad , \quad F_1 = \frac{10.34}{30} \times 5 = 1.72 \text{ ton}$$

$$\text{نیروی وارد بر واحد طول جوش قائم} = \frac{10.34}{30} \times 1000 = 345 \text{ kg/cm}$$

$$\text{نیروی وارد بر واحد طول جوش افقی} = \frac{1.72(1000)}{10} = 172 \text{ kg/cm}$$

اگر بخواهیم از جوش ۵ میلی‌متر در دو طرف سخت‌کننده استفاده نماییم، داریم:

$$R_w = 2(650)D = 2(650)0.5 = 650 \text{ kg/cm}$$

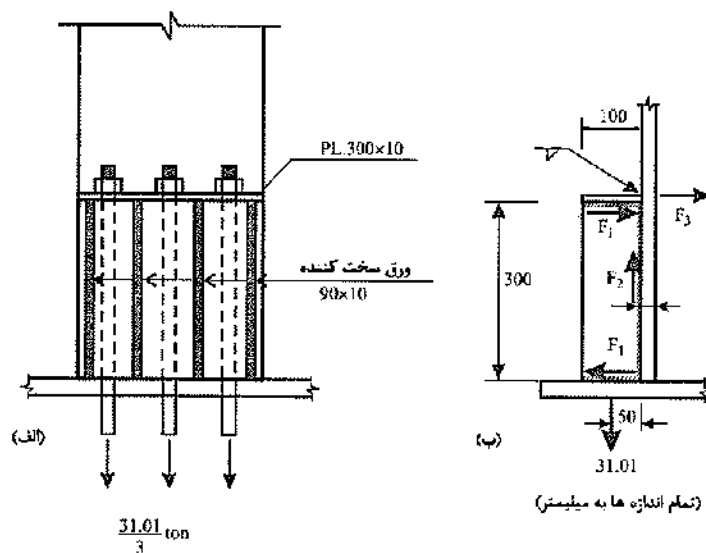
که خیلی بزرگتر از مقادیر مورد نیاز است.

در جهت اطمینان همین جوش را به‌طور پیوسته انتخاب می‌کنیم.

ت) اتصال ورق فوقانی به بال ستون

مجموع نیروهای F_1 باید توسط جوشی که سخت‌کننده را به بال ستون متصل می‌نماید، حمل گردد. در شکل ۱۱ - ۱۰۵، نیروی جوش توسط F_3 نشان داده شده است.

$$F_3 = \frac{\text{لنگر}}{\text{ارتفاع ناودانی}} = \frac{31.01(5)}{30} = 5.17 \text{ ton}$$



شکل ۱۱ - ۱۰۵

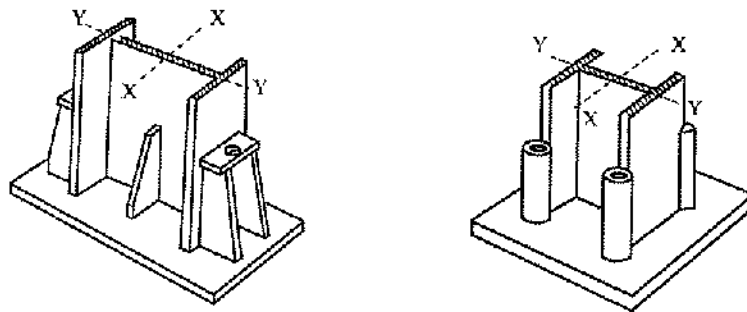
اندازه ساق جوش برابر است با:

$$30(650)D = 5.17(1000)$$

$$D = 0.26 \text{ cm}$$

از جوش ۵ میلی‌متر استفاده شود.

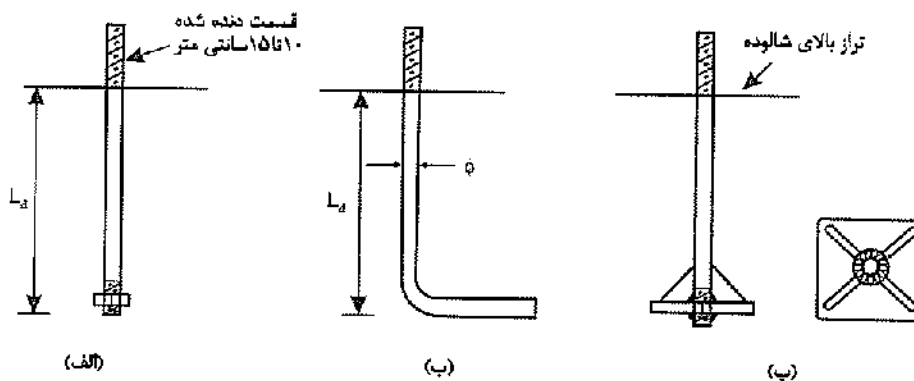
در صورتی که ستون و نیروهای وارد بر ستون کوچک باشد، تعداد پیچ‌های مهاري کمتر خواهد شد. در چنین مواردی برای انتقال نیروی پیچ مهاري به ستون، به جای سخت‌کننده از جزییات ساده‌تری همانند شکل ۱۱ - ۱۰۶ می‌توان استفاده نمود.



شکل ۱۱-۱۰۶

۱۱-۹-۸ مه‌ار میله مه‌ارها

میله مه‌ارها تا حصول مقاومت کششی کل باید در بتن شالوده مه‌ار شوند. میله مه‌ارها معمولاً از دنده کردن میله‌گردهای صاف (بدون آج) ساخته می‌شوند. لذا برای ایجاد مه‌ار مکانیکی، انتهای میل مه‌ار به یکی از صور نشان داده شده در شکل ۱۱-۶۰ درمی‌آید.



شکل ۱۱-۱۰۷

برای محاسبه طول مه‌اری می‌توان از روابط آیین‌نامه بتن برای میله‌گردهای قلاب‌دار در کشش استفاده نمود. به عنوان مثال روابط آیین‌نامه آبا به قرار زیر است:

$$L_d = \frac{F_y}{4F_b} d_b$$

$$F_b = 0.75 f_{bm} = 0.75 \times 2.05 \sqrt{f_c} = 1.54 \sqrt{f_c} \quad (\text{برای میله‌گرد صاف با قلاب انتهایی})$$

* شواهد زیادی از وقوع شکنندگی در ناحیه دنده شده میله‌گردهای آجدار AIII در کارگاه‌ها مشاهده شده است. لذا استفاده از این نوع میله‌گردها به عنوان میل مه‌ار توصیه نمی‌شود، مگر اینکه عدم شکنندگی آنها به وسیله آزمایش تأیید گردد. در صورت نیاز به مقاومت زیاد، استفاده از میله‌گردهای CK ۴۵ ($F_u = 6000 \text{ kg/cm}^2$) برای میله‌ها قابل توصیه است که دارای شکل پذیری مناسب است.

$$L_d = \frac{F_y}{6.15\sqrt{f_c}} d_b$$

f_c = مقاومت مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن (kg/cm^2)

F_y = تنش تسلیم فولاد (kg/cm^2)

d_b = قطر پیچ

برای $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ و $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ مقدار فوق حدود ۲۵ برابر قطر به دست می‌آید.

۱۱ - ۱۰ اتصالات لوله‌ها و قوطی‌ها (مقاطع توخالی)

۱۱-۱۰-۱ معرفی

استفاده از لوله‌ها و قوطی‌ها امروزه در سازه‌های فولادی بسیار متداول می‌باشد. علاوه بر کاربردهای عمومی ساختمان، در سازه‌های خاصی نظیر سکوه‌های دریایی^{۱۱}، برج‌های مخابراتی^{۱۲}، و سازه‌های فضایی^{۱۳}، عمدتاً از لوله و بعضاً از قوطی استفاده می‌شود. در سایر سازه‌ها نیز استفاده از لوله و قوطی می‌تواند کیفیت‌های معماری و امکانات سازه‌ای ویژه‌ای فراهم سازد.

فواید استفاده از نیمرخ‌های لوله و قوطی از گذشته به‌خوبی شناخته شده لیکن عاملی که امروزه موجب رواج این کاربردها شده، پیشرفت در تکنیک‌های اجرایی اتصال خصوصاً استفاده از جوشکاری در آنهاست. با توجه به یکسان بودن مشخصات هندسی لوله‌ها نسبت به تمام محورهایی که از مرکز سطح می‌گذرند، و مشابه بودن نسبی آنها در قوطی‌ها، این نیمرخ‌ها برای تحمل فشار و کشش بسیار کارآمد هستند، و کاربرد آنها به‌طرح‌های سبک و اقتصادی منجر می‌گردد. اگرچه سطوح داخلی لوله‌ها و قوطی‌ها را به‌راحتی نمی‌توان رنگ‌آمیزی کرد، ولی این موضوع غالباً اهمیت عملی ندارد، زیرا زنگ‌زدگی در داخل لوله‌ها و قوطی‌های بسته خصوصاً در سازه‌هایی که از اتصالات جوشی مستقیم برای اتصال قطعات استفاده شده، امکان بروز ندارد. اتصالات جوشی مانع ورود هر گونه رطوبت و جریان هوا به‌داخل نیمرخ می‌گردند و به‌دلیل محدود بودن هوای داخل قوطی یا لوله تعادل الکتروشیمیایی خیلی زود رخ داده، فرآیند زنگ زدن متوقف می‌گردد.

مشکل عمده در استفاده از نیمرخ‌های لوله و قوطی، اتصالات آنها به‌خصوص اتصال لوله‌هاست. لوله‌ها در محل تقاطع دارای فصل مشترک منحنی شکل فضایی هستند و برای اتصال آنها باید لبه‌های اعضا با دقت خاصی برش خورده، جفت و جور شوند. اغلب برش‌ها به‌وسیله شعله گاز صورت می‌گیرد، ولی در بعضی مواقع از اره‌های مخصوص برای این کار استفاده می‌کنند. در هر حال برش و اتصال این گونه نیمرخ‌ها وقت‌گیر و پرهزینه است.

11. Off-Shore Platforms

12. Communication towers

13. Space Structures

۱۱-۱۰-۲ اتصال مستقیم لوله‌ها و قوطی‌ها

در اتصالات مستقیم لوله‌ها و قوطی‌ها، که به وسیله جوشکاری انجام می‌شوند، اگرچه مقداری وقت و هزینه صرف جوشکاری خاص انتهای لوله‌ها و جفت و جور کردن قطعات می‌شود، ولی معمولاً جوشکاری‌ها در حداقل ممکن و ظاهر اتصال بسیار بی‌پیرایه است. این مزیت‌ها هم از دیدگاه اقتصادی و هم به دلیل زیبایی متکلات این نوع اتصال را قابل تحمل می‌نماید.

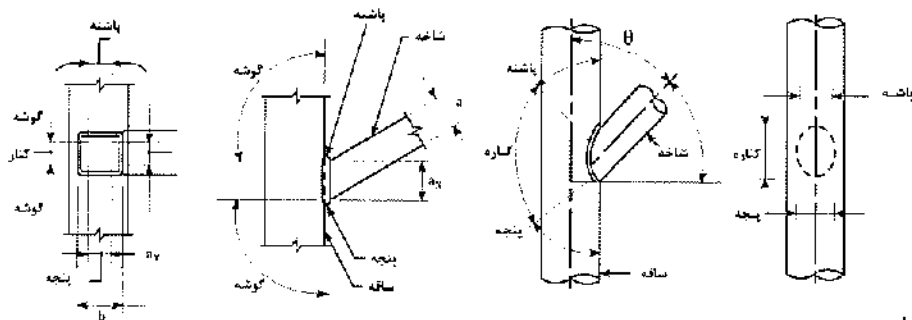
شکل ۱۱-۱۰ انواع اتصالات مستقیم لوله‌ها و قوطی‌ها را به نمایش گذاشته است و اسامی بخش‌های مختلف این گونه اتصالات را معرفی می‌نماید.

در محل اتصال، عضو ممتد سوراخ نمی‌شود. سوراخ کردن لوله‌ها در گره اتصال برای عبور سیال، در اتصالات جوشی در لوله‌کشی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که معرفی جزئیات آن خارج از حیطه بحث حاضر می‌باشد.

برعکس به خاطر تمرکز تنش‌ها در منطقه اتصال ممکن است تقویت‌هایی در گره اتصال لازم باشد که معمولاً چون تقویت لوله و قوطی از داخل مشکل است، این تقویت‌ها بیشتر از بیرون و به صورت روپوش کردن جدار لوله ممتد یا استفاده از سخت‌کننده حلقوی انجام می‌پذیرد. نمونه‌هایی از این نحوه‌های تقویت در شکل ۱۱-۹-۱۰-۱۱ آرایه شده است. اتصال مستقیم چند عضو در یک گره می‌تواند به صورت هم‌مرکز و یا خارج از مرکز سازمان داده شود. شکل

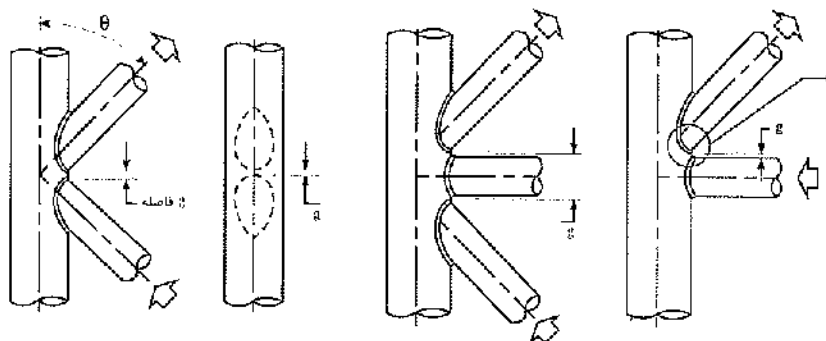
۱۱-۱۱۰ نمونه‌هایی از هر دو اتصال را به نمایش گذاشته است. در اتصالات هم‌مرکز که محور همه اعضای وارد به اتصال از یک نقطه عبور می‌کند، معمولاً نیمرخ‌ها همپوشانی پیدا می‌کنند و برش و جفت و جور کردن اتصال پیچیده‌تر می‌شود. اتصالات خارج از مرکز از نظر جزئیات ساده‌تر هستند ولی در آنها به دلیل لنگر خروج از مرکزیت، تنش‌های اضافی ایجاد می‌شود.

وقتی که اعضا در گره اتصال به یکدیگر برخورد می‌کنند بهتر است ابتدا شاخه کششی مستقیماً به ساقه متصل شده، و سپس عضو فشاری با برش مناسب به گره جوش شود. این تمهیدات به این نیت انجام می‌گیرد که اتصال کششی مناسب‌تری برقرار گردد. شکل ۱۱-۱۱۱ نمونه چنین اتصالی را عرضه می‌دارد. کلاً مواردی که در بالا به عنوان اثر خروج از مرکزیت و اثر همپوشانی ذکر شد بحث‌های نظری هستند. در عمل این اثرها چندان مهم نیستند. به طور مثال در اتصال شکل ۱۱-۱۱۱ قسمت عمده‌ای از مؤلفه قائم نیروی عضو کششی، قبل از اینکه به وسیله جوش a به عضو اصلی (ساقه) برسد از طریق جوش ناحیه b به عضو فشاری و از آن طریق به عضو اصلی انتقال می‌یابد. قسمتی از جوش a که در ناحیه همپوشانی اعضای کششی و فشاری قرار دارد تحت نیروی کوچکی قرار دارد زیرا کشش و فشار وارد بر این منطقه یکدیگر را خنثی می‌نماید.

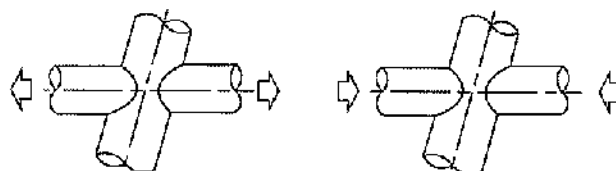


(الف) مقاطع لوله‌ای

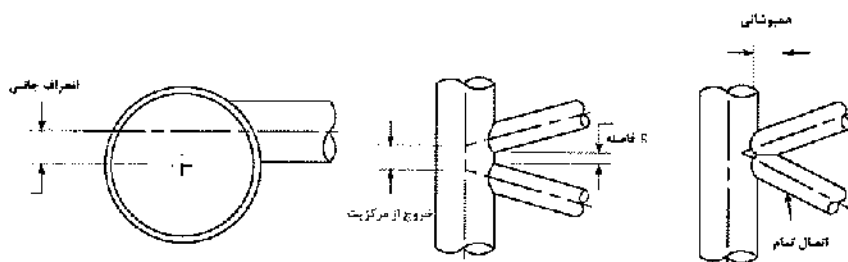
(ب) مقطع قوطی



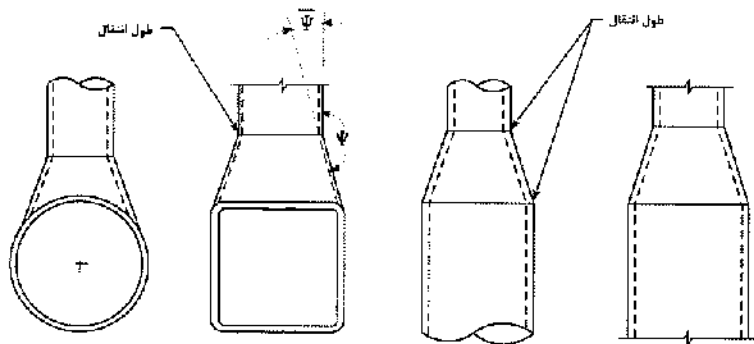
(پ) اتصالات دوشاخه و سه شاخه



(ت) اتصالات ضربدری

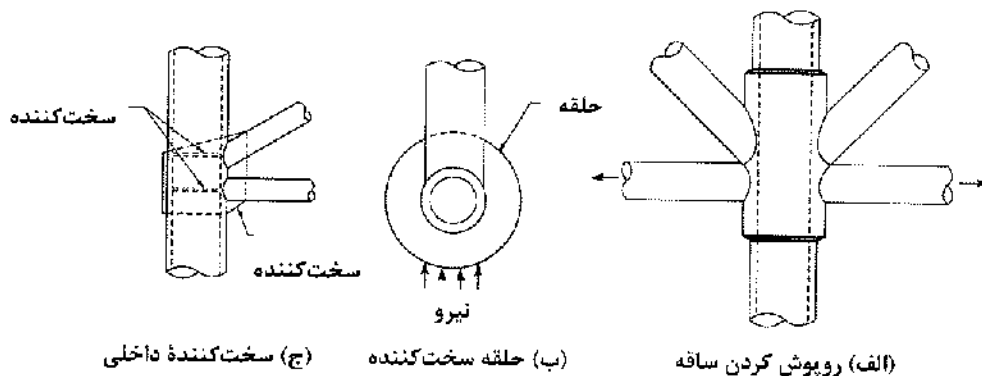


(ث) اتصالات خارج از مرکز



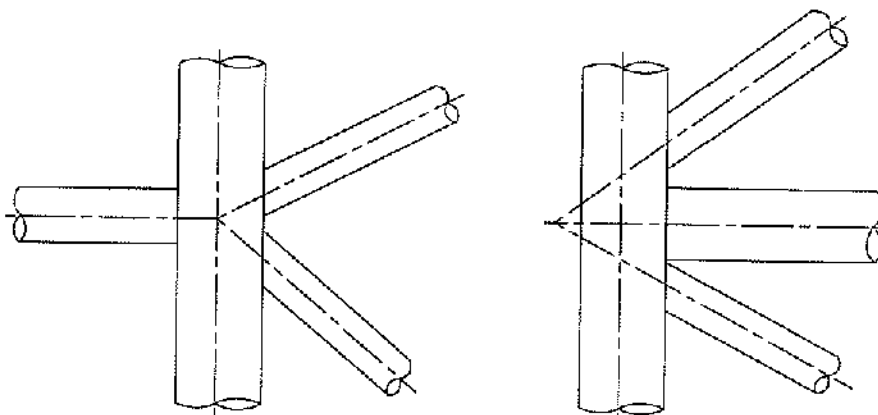
(ج) اتصالات انتقالی

شکل ۱۱ - ۱۰۸ اتصال مستقیم لوله و قوطی‌ها.



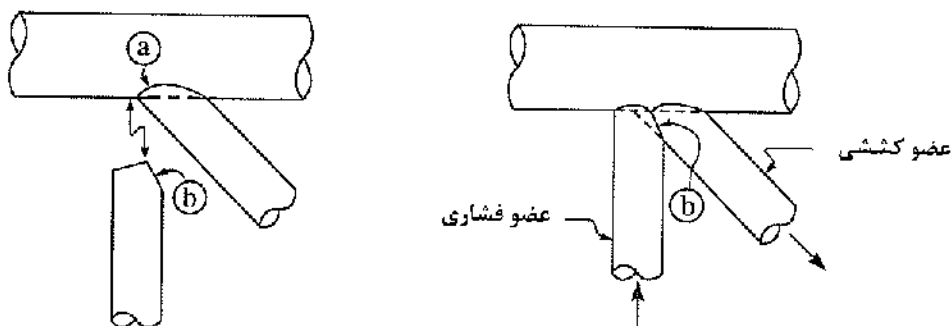
(الف) روپوش کردن ساقه (ب) حلقه سخت کننده (ج) سخت کننده داخلی

شکل ۱۱ - ۱۰۹ اتصالات تقویت شده.



(الف) اتصال هم‌مرکز (بدون همپوشانی) (ب) اتصال خارج از مرکز

شکل ۱۱ - ۱۱۰ اتصالات هم‌مرکز و خارج از مرکز.



شکل ۱۱ - ۱۱۱ ترتیب جوشکاری اتصالات هم‌پوشان.

۱۱ - ۱۰ - ۳ استفاده از ورق‌های اتصال

در طراحی اتصالات لوله‌ها به‌چند دلیل ممکن است از ورق‌های واسطه برای اتصال استفاده شود. این دلایل به‌طور خلاصه عبارتند از:

- استفاده از ورق، طول بیشتری برای جوشکاری در اختیار می‌گذارد.
- ورق‌های واسطه امکان استفاده از اتصالات پیچی را به‌هنگام نصب فراهم می‌سازند.

- در این نوع اتصالات امکان استفاده از جوش‌های گوشه فراهم بوده، در نتیجه دقت‌های بیش از حد و آماده‌سازی و جفت و جور کردن لبه‌ها که برای اتصالات مستقیم با جوش شیاری لازم است منتفی می‌گردد.
- با استفاده از ورق‌های اتصال، برش خاص انتهای لوله‌ها به‌منظور جفت و جور شدن آنها دیگر ضروری نخواهد بود. به این ترتیب برقراری اتصال بسیار ساده‌تر می‌شود.
- صفحه اتصال، نیروهای اعضای قطری را در سطح وسیع‌تری از عضو اصلی (ساقه) توزیع می‌نماید و به‌خصوص در موارد ضخامت جداره کم لوله اصلی، نیاز به تقویت را در منطقه اتصال کاهش می‌دهد.

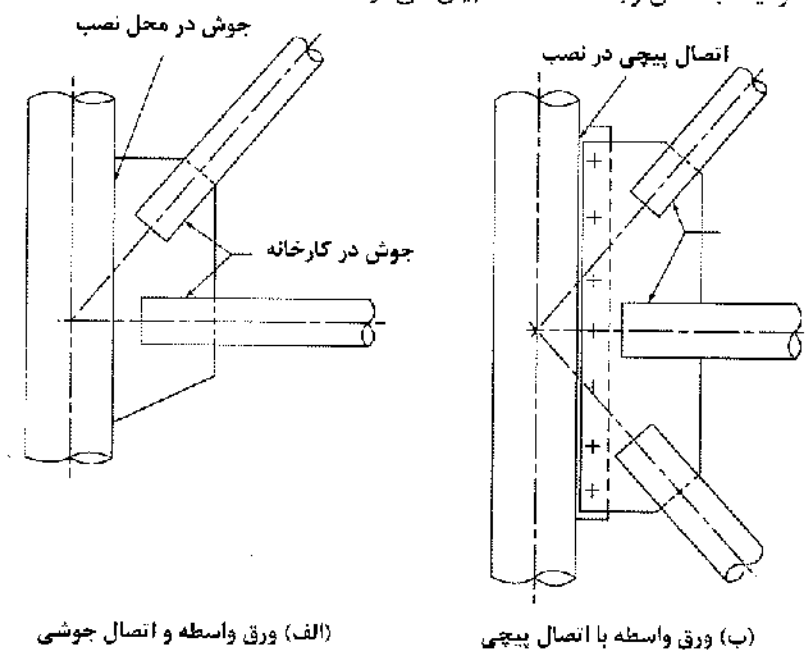
شکل ۱۱ - ۱۱۲ نمونه‌هایی از اتصال لوله‌ها به کمک ورق واسطه را به‌نمایش می‌گذارد.
برای اتصال لوله‌ها و قوطی‌ها به ورق واسطه معمولاً لوله و قوطی از وسط شکاف داده می‌شود تا ورق اتصال در داخل شکاف قرار گیرد و لبه‌های شکاف به‌ورق اتصال جوش داده می‌شود. شکل ۱۱ - ۱۱۳ این نحوه اتصال را به‌نمایش می‌گذارد.

۱۱-۱۰-۴ توصیه‌های طراحی

در مراجع مختلف از جمله آیین‌نامه جوشکاری سازه‌ای انجمن جوشکاری آمریکا^{۱۴} علاوه بر رعایت ضوابط طراحی آیین‌نامه عمومی طراحی سازه‌های فولادی، رعایت ضوابط دیگری در مورد سازه‌های لوله‌ای ضروری دانسته شده است. این ضوابط در زیر معرفی شده‌اند.

الف) محدودیت نسبت عرض به ضخامت

در مورد لوله‌ها این محدودیت به شکل رابطه ۱۱ - ۷۹ بیان می‌گردد.

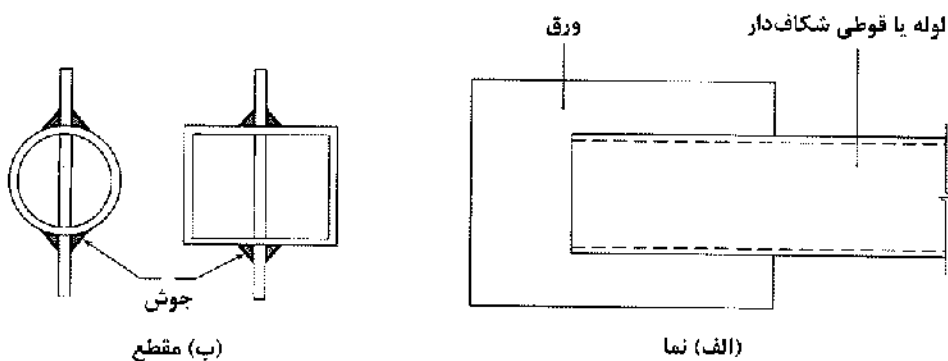


(الف) ورق واسطه و اتصال جوشی

(ب) ورق واسطه با اتصال پیچی

شکل ۱۱ - ۱۱۲ اتصال لوله‌ها به کمک ورق واسطه.

14. AWS, Structural Welding Code D1.1-94



شکل ۱۱ - ۱۱۳ جزئیات اتصال لوله به ورق.

$$D/t \leq \frac{230000}{F_y} \quad (۷۹ - ۱۱)$$

در رابطه بالا D قطر خارجی لوله و t ضخامت جدار آن بر حسب سانتی‌متر و F_y تنش جاری شدن فولاد بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

در مورد قوطی‌ها محدودیت عرض به ضخامت از روابط ۱۱ - ۸۰ و ۱۱ - ۸۱ به دست می‌آید:

$$D/t \leq \frac{1760}{\sqrt{F_y}} \quad (۸۰ - ۱۱)$$

نسبت به دست آمده از رابطه ۱۱ - ۸۰ نباید از ۳۵ بیشتر باشد.

برای نیمرخ‌های با همپوشانی در منطقه اتصال:

$$D/t \leq \frac{1590}{\sqrt{F_y}} \quad (۸۱ - ۱۱)$$

در روابط فوق D ضلع بزرگتر نیمرخ قوطی و t ضخامت جدار قوطی بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. F_y تنش جاری شدن فولاد بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است.

(ب) حداقل ضخامت جدار لوله

اگرچه AWS در این مورد دستورالعمل خاصی آرایه نکرده است لیکن طبق ضوابط استاندارد انگلستان حداقل ضخامت جدار لوله‌ها برای کاربردهای سازه‌ای به شرط آنکه راه نفوذ هوا و رطوبت با استفاده از درپوش یا اتصال مناسب سد شده باشد به ترتیب زیر به دست می‌آید:

$$t_{\min} = 4 \text{ mm}$$

اعضای واقع در محیط خارجی

$$t_{\min} = 3 \text{ mm}$$

اعضای واقع در محیط بسته

پ) تأثیر خروج از مرکزیت در اتصال

در مورد خروج از مرکزیت‌های شدید، اثرات خروج از مرکزیت باید در تحلیل و طراحی اعضا و اتصالات به حساب آورده شود.

۱۱-۱۰-۵ طراحی اتصالات مقاطع توخالی لوله‌ای و قوطی‌ها براساس ضوابط آیین‌نامه AISC

مطالب این بخش در مورد اتصالات مقاطع توخالی لوله‌ای و قوطی شکل با ضخامت جداره یکنواخت می‌باشد. مقاومت این اتصالات، به ابعاد مقطع توخالی به خصوص ضخامت جداره اعضای خرپایی بستگی داشته و توسط آن کنترل می‌شود که این موضوع باید در طراحی اولیه مورد توجه قرار گیرد.

مطالب ارائه شده در این بخش عبارتند از:

الف) نیروهای متمرکز در مقاطع توخالی

ب) اتصالات خرپایی مقاطع توخالی

پ) اتصالات خمشی مقاطع توخالی

ت) جوش صفحات و اعضای فرعی (شاخه) به مقاطع توخالی قوطی شکل

الف) نیروهای متمرکز در مقاطع توخالی

در صورت وجود نیروی متمرکز در اتصال، ظرفیت اتصال را می‌توان از روابط ارائه شده در جدول‌های این بخش برای حالت‌های مختلف محاسبه نمود.

روابط مربوط به اتصالات مقاطع لوله‌ای در جدول ۱۱ - ۲ - الف و روابط مربوط به اتصالات مقاطع قوطی شکل در جدول ۱۱ - ۳ - الف ارائه شده‌اند.

لازم به ذکر است که در صورتی می‌توان از روابط موجود در این جدول‌ها استفاده نمود که شرایط ذکر شده برای هر گروه از اتصالات و اعضای آن برقرار باشد. شرایط مربوط به اتصالات مقاطع لوله‌ای در جدول ۱۱ - ۲ - ب و شرایط مربوط به اتصالات مقاطع قوطی شکل در جدول ۱۱ - ۳ - ب ارائه شده‌اند.

معرفی پارامترهای موجود در جدول‌ها:

* پارامترهای معرفی شده، باید به صورت متجانس مورد استفاده قرار گیرند.

$$A_g = \text{سطح مقطع کلی عضو}$$

$$B = \text{عرض مقطع قوطی شکل عمود بر صفحه اتصال}$$

$$B_p = \text{عرض ورق عمود بر صفحه اتصال}$$

$$D = \text{قطر خارجی مقطع لوله‌ای}$$

$$F_c = \text{حداکثر تنش قابل قبول. (مساوی } F_y \text{ در حالت مقاومت نهایی و } 0.6F_y \text{ در حالت تنش مجاز)}$$

$$F_y = \text{حداقل تنش تسلیم مصالح عضو توخالی}$$

F_{yp} = حداقل تنش تسلیم مصالح ورق

F_u = حداقل مقاومت کششی مصالح عضو توخالی

H = ارتفاع عضو توخالی قوطی شکل که در صفحه اتصال اندازه‌گیری می‌شود.

S = اساس مقطع عضو

t_b = طول مقاوم در مقابل بارگذاری، موازی محور عضو توخالی. (برای صفحات پوششی بارگذاری شده برابر عرض

مقطع توخالی می‌باشد).

t = ضخامت جداره مقطع توخالی

t_p = ضخامت ورق

ب) اتصالات خرابایی مقاطع توخالی

برای محاسبه ظرفیت اتصالات خرابایی مقاطع توخالی می‌توان از مطالب بیان شده در این قسمت استفاده نمود.

روابط مربوط به اتصالات خرابایی مقاطع لوله‌ای در جدول ۱۱ - ۴ - الف و روابط مربوط به اتصالات خرابایی

مقاطع قوطی شکل در جدول ۱۱ - ۵ - الف ارایه شده است.

لازم به ذکر است که شرایط و محدودیت‌های لازم جهت استفاده از روابط باید کنترل شود و در صورت برقراری

شرایط و محدودیت‌ها می‌توان از این روابط استفاده نمود. شرایط مربوط به اتصالات مقاطع لوله‌ای در جدول ۱۱ - ۴ - ب

و شرایط مربوط به اتصالات مقاطع قوطی شکل در جدول ۱۱ - ۵ - ب ارایه شده‌اند. انواع مختلف اتصالات خرابایی

مقاطع توخالی که در آنها اعضای فرعی (شاخه) مستقیماً به عضو اصلی (ساقه) جوش می‌شوند عبارتند از:

الف) در حالتی که نیروی پانچ $(P_r \sin\theta)$ در عضو فرعی (شاخه) توسط برش در عضو اصلی (ساقه) متعادل

می‌شود، اگر شاخه به عضو اصلی عمود باشد اتصال T شکل و در غیر این صورت اتصال Y شکل می‌باشد.

ب) اگر نیروی پانچ $(P_r \sin\theta)$ یک عضو فرعی توسط اعضای دیگر متعادل شود (با حداکثر ۲۰٪ اختلاف)،

اتصال K شکل می‌باشد.

پ) اگر نیروی پانچ $(P_r \sin\theta)$ توسط عضو اصلی به‌عضای سمت دیگر منتقل و متعادل شود، اتصال عرضی

می‌باشد.

ت) اگر اتصال دارای بیش از ۲ عضو فرعی (شاخه) باشد و یا اعضای شاخه‌ای در بیش از یک صفحه قرار گرفته

باشند، اتصال به عنوان «اتصال کلی» یا چند صفحه‌ای رده‌بندی می‌شود.

وقتی اعضای شاخه‌ای قسمتی از بار خود را به‌صورت K و قسمتی از بار را به‌صورت T یا Y یا X انتقال می‌دهند،

کفایت اتصال باید با درون‌یابی از نسبت مقاومت قابل حصول هر یک از کل تعیین شود.

معرفی پارامترهای موجود در جدول‌ها:

A_g = سطح مقطع کلی عضو

B = عرض مقطع عضو اصلی (ساقه) قوطی شکل عمود بر صفحه اتصال

B_f = عرض مقطع عضو فرعی (شاخه) عمود بر صفحه اتصال

D = قطر خارجی مقطع عضو لوله‌ای اصلی (ساقه)

D_b = قطر خارجی مقطع عضو لوله‌ای فرعی (شاخه)
 F_c = حداکثر تنش قابل قبول در عضو اصلی (ساقه) (مساوی F_y در حالت مقاومت نهایی و $0.6F_y$ در حالت تنش مجاز)

F_y = حداقل تنش تسلیم مصالح عضو توخالی اصلی (ساقه)
 F_{yb} = حداقل تنش تسلیم مصالح عضو توخالی فرعی (شاخه)
 F_u = حداقل مقاومت کششی مصالح فولادی عضو توخالی

H = ارتفاع عضو توخالی قوطی شکل اصلی (ساقه) که در صفحه اتصال اندازه‌گیری می‌شود.
 H_b = ارتفاع عضو توخالی قوطی شکل فرعی (شاخه) که در صفحه اتصال اندازه‌گیری می‌شود.
 $O_v = I_{ov} / I_p \times 100$ = درصد

S = اساس مقطع عضو

e = خروج از مرکزیت در اتصال خرابایی که مطابق شکل ۱۱ - ۱۱۵ - ۵، در جهت مخالف شاخه‌ها، مثبت فرض می‌شود.

g = فاصله بین اعضای فرعی (شاخه‌ها) در اتصال K شکل

$$\frac{H_b}{\sin \theta} = I_b$$

l_{ov} = طول همپوشانی شده در طول عضو اصلی (ساقه) و در زیر دو عضو فرعی (شاخه)

l_p = طول همپوشانی تصویر شده اعضای فرعی (شاخه) روی عضو اصلی (ساقه)

t = ضخامت جداره مقطع توخالی اصلی (ساقه)

t_b = ضخامت جداره مقطع توخالی فرعی (شاخه)

β = برابر است با نسبت $\frac{D_b}{D}$ برای مقاطع لوله‌ای و $\frac{B_b}{B}$ برای مقاطع قوطی شکل

β_{eff} = عبارت است از $\frac{\text{مجموع محیط دو عضو فرعی}}{\text{عرض ساقه } \times 8}$ در اتصال K شکل

γ = برابر است با نسبت $\frac{D}{2t}$ برای مقاطع لوله‌ای و $\frac{B}{2t}$ برای مقاطع قوطی شکل

π = برابر است با نسبت $\frac{l_b}{B}$ برای مقاطع قوطی شکل

θ = زاویه بین عضو فرعی (شاخه) و عضو اصلی (ساقه) برحسب درجه

ζ = برابر است با نسبت $\frac{g}{B}$ در مقاطع قوطی شکل

پ) اتصالات خمشی مقاطع توخالی

برای محاسبه ظرفیت اتصالات خمشی مقاطع توخالی می‌توان از مطالب آرایه شده در این بخش استفاده نمود. روابط مربوط به اتصالات خمشی مقاطع لوله‌ای در جدول ۱۱ - ۶ - الف و روابط مربوط به اتصالات خمشی مقاطع قوطی شکل در جدول ۱۱ - ۷ - الف آرایه شده است.

محدودیت‌های استفاده از روابط ذکر شده برای مقاطع لوله‌ای در جدول ۱۱ - ۶ - ب و برای مقاطع قوطی شکل در جدول ۱۱ - ۷ - ب آرایه شده‌اند.

انواع مختلف اتصالات خمشی مقاطع توخالی که در آنها یک یا دو عضو فرعی (شاخه) مستقیماً به عضو اصلی (ساقه) جوش می‌شوند عبارتند از:

الف) اگر اتصال دارای یک عضو فرعی (شاخه) و عمود بر عضو اصلی (ساقه) باشد، اتصال T شکل و اگر اتصال دارای یک عضو فرعی (شاخه) و غیرعمود بر عضو اصلی (ساقه) باشد، اتصال Y شکل می‌باشد.

ب) اگر در سمت دیگر عضو اصلی (ساقه)، عضو فرعی (شاخه) دیگری موجود باشد، اتصال عرضی می‌باشد.

معرفی پارامترهای موجود در جدول‌ها:

- A_g = سطح مقطع کلی عضو
- B = عرض مقطع عضو اصلی (ساقه) قوطی شکل عمود بر صفحه اتصال
- B_b = عرض مقطع عضو فرعی (شاخه) عمود بر صفحه اتصال
- D = قطر خارجی مقطع عضو لوله‌ای اصلی (ساقه)
- D_b = قطر خارجی مقطع عضو لوله‌ای فرعی (شاخه)
- F_c = حداکثر تنش قابل قبول (برابر F_y در حالت مقاومت نهایی و $0.6F_y$ در حالت تنش مجاز)
- F_t = حداقل تنش تسلیم مصالح عضو توخالی اصلی (ساقه)
- F_{t_b} = حداقل تنش تسلیم مصالح عضو توخالی فرعی (شاخه)
- F_u = حداقل مقاومت کششی مصالح فولادی عضو توخالی
- H = ارتفاع عضو توخالی قوطی شکل اصلی (ساقه) که در صفحه اتصال اندازه‌گیری می‌شود.
- H_b = ارتفاع عضو توخالی قوطی شکل فرعی (شاخه) که در صفحه اتصال اندازه‌گیری می‌شود.
- S = اساس مقطع عضو
- Z_b = اساس مقطع پلاستیک عضو فرعی (شاخه) حول محور خمش
- t = ضخامت جداره مقطع توخالی اصلی (ساقه)
- t_b = ضخامت جداره مقطع توخالی فرعی (شاخه)
- β = برابر است با نسبت $\frac{D_b}{D}$ برای مقاطع لوله‌ای و $\frac{B_b}{B}$ برای مقاطع قوطی شکل
- γ = برابر است با نسبت $\frac{D}{2t}$ برای مقاطع لوله‌ای و $\frac{B}{2t}$ برای مقاطع قوطی شکل.
- η = برابر است با نسبت $\frac{I_b}{I}$ و $\frac{H_b}{B \sin \theta}$
- θ = زاویه بین عضو فرعی (شاخه) و عضو اصلی (ساقه) بر حسب درجه

ت) جوش صفحات و اعضای فرعی (شاخه) به مقاطع توخالی قوطی شکل:

مقاومت اتصال اعضای فرعی (شاخه) باید براساس حالت حدی انتقال غیریکتواخت نیرو در طول خط جوش تعیین شود.

مقاومت اتصال را می‌توان با استفاده از روابط زیر محاسبه نمود:

$$\begin{aligned} R_n \text{ یا } P_n &= F_{nw} t_w l_e \\ M_{n-ip} &= F_{nw} S_{ip} \\ M_{n-op} &= F_{nw} S_{op} \end{aligned} \quad (11 - 82)$$

پارامترهای روابط فوق را می‌توان با استفاده از روابط جدول ۱۱ - ۸ محاسبه نمود.

در روابط فوق:

F_{nw} = تنش اسمی فلز جوش بدون افزایش در اثر هدایت نیرو

S_{ip} = اساس مقطع مؤثر جوش برای خمش داخل صفحه

S_{op} = اساس مقطع مؤثر جوش برای خمش خارج صفحه

l_e = طول مؤثر جوش گوشه یا شیاری در مقاطع قوطی شکل برای محاسبه مقاومت جوش

t_w = حداقل گلوئی مؤثر جوش در پیرامون عضو فرعی (شاخه) و یا ورق

- برای جوش گوشه:

$$\phi = 0.75 \quad (\text{در حالت مقاومت نهایی})$$

$$\Omega = 2.00 \quad (\text{در حالت تنش مجاز})$$

برای جوش شیاری با نفوذ نسبی:

$$\phi = 0.80 \quad (\text{در حالت مقاومت نهایی})$$

$$\Omega = 1.88 \quad (\text{در حالت تنش مجاز})$$

مثال ۱۱ - ۱۹

اتصال نشان داده شده در شکل ۱۱ - ۱۱۴ تحت اثر نیروهای وارد شده از سوی اعضای توخالی لوله‌ای متصل به آن قرار دارد. ظرفیت اتصال را تعیین نمایید.

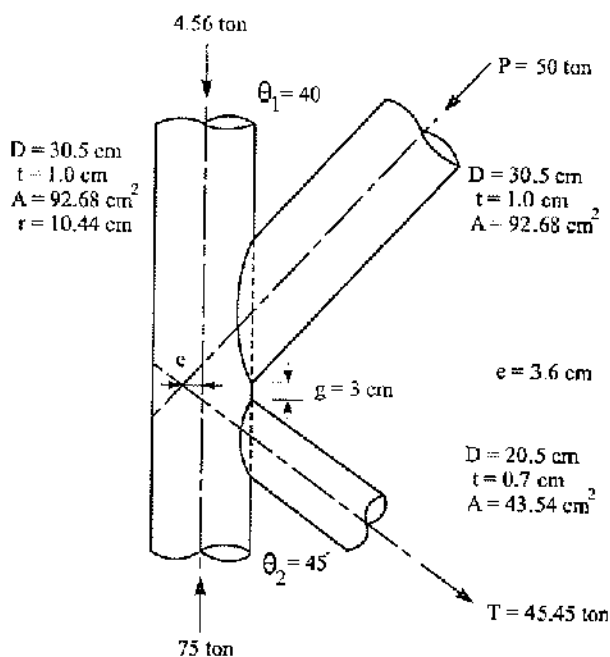
حل:

کنترل محدودیت‌های جدول (۱۱ - ۴ - ب) جهت استفاده از روابط جدول (۱۱ - ۴ - الف):

$$\frac{e}{D} = \frac{3.6}{30.5} = 0.12 \rightarrow -0.55 < \frac{e}{D} < 0.25 \quad (1)$$

$$\theta_1 = 40^\circ, \theta_2 = 45^\circ \rightarrow \theta_1, \theta_2 > 30^\circ \quad (2)$$

$$\text{عضو اصلی (تنه)} \quad \frac{D}{t} = \frac{30.5}{11} = 30.5 < 50 \quad (3)$$



شکل ۱۱ - ۱۱۴ مربوط به مثال ۱۱ - ۱۹.

$$\text{شاخه فشاری} \begin{cases} \frac{D_b}{t_b} = \frac{30.5}{1} = 30.5 < 50 \\ \frac{D_b}{t_b} = 30.5 < \frac{0.05E}{F_{yb}} = \frac{0.05 \times 2.1 \times 10^6}{2400} = 43.75 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{عضو فشاری} \quad \frac{D_b}{D} &= \frac{30.5}{30.5} = 1 \\ \text{عضو کششی} \quad \frac{D_b}{D} &= \frac{20.5}{30.5} = 0.67 \end{aligned} \quad \rightarrow 0.4 \leq \left(\frac{D_b}{D} \right) \leq 1 \quad (5)$$

عضو فشاری و کششی

$$\text{مقاومت مصالح: } F_y, F_{yb} = 240 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$\frac{F_y}{F_u}, \frac{F_{yb}}{F_u} = \frac{240 \text{ MPa}}{370 \text{ MPa}} = 0.65 \leq 0.8 \quad (7)$$

پس می‌توان از روابط جدول ۱۱ - ۴ - الف استفاده نمود.

با استفاده از حالت چهارم جدول ۱۱ - ۴ - الف داریم:

$$(P_n \sin \theta) \text{ عضو فشاری} = F_y t^2 (2.0 + 11.33 \frac{D_b}{D} \text{ عضو فشاری}) Q_g Q_r$$

داریم:

$$\theta_1 = 40^\circ, \quad F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2, \quad t = 1 \text{ cm} \quad (\text{ضخامت عضو اصلی})$$

$$D_p = 30.5 \text{ cm} \quad (\text{قطر خارجی عضو فشاری (شاخه)}, \quad D = 30.5 \text{ cm} \quad (\text{قطر خارجی عضو اصلی (ساقه)})$$

محاسبه Q_g :

$$Q_g = \gamma^{0.2} \left[1 + \frac{0.024\gamma^{1.2}}{\exp\left(\frac{0.5g}{t} - 1.33\right) + 1} \right]$$

$$\begin{cases} \gamma = \frac{D}{2t} = \frac{30.5}{2 \times 1} = 15.25 \\ g = 3 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\Rightarrow Q_g = 15.25^{0.2} \left[1 + \frac{0.024 \times (15.25)^{1.2}}{\exp\left(\frac{0.5 \times 3}{1} - 1.33\right) + 1} \right] = 2.22$$

محاسبه Q_f :

$$Q_f = 1.0 - 0.3U(1 + U)$$

$$U = \left| \frac{P_{ro}}{F_c \cdot A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c S} \right|$$

$$\begin{cases} P_{ro} = P_a = 50 \text{ ton} \\ F_c = 0.6F_y = 0.6 \times 2400 = 1440 \text{ kg/cm}^2 \\ A_g = 92.68 \text{ cm}^2 \\ M_{ro} = 0 \quad \text{عضو خرابایی و خروج از مرکزیت کم} \end{cases}$$

$$\Rightarrow U = \frac{50 \times 10^3}{1440 \times 92.68} = 0.374$$

$$\Rightarrow Q_f = 1 - 0.3(0.374)(1 + 0.374) \rightarrow Q_f = 0.84$$

حال می‌توانیم از رابطه اصلی استفاده کرده و ظرفیت اتصال را محاسبه نماییم:

$$P_n \sin 40^\circ = 2400 \times (1)^2 \left(2 + 11.33 \times \frac{30.5}{30.5} \right) \times 2.22 \times 0.84 \times 10^{-3}$$

$$\Rightarrow P_n \sin 40^\circ = 59.65 \text{ ton}$$

$$\Rightarrow P_n = \frac{59.65}{\sin 40^\circ} \Rightarrow P_n = 92.8 \text{ ton}$$

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

برای محاسبه مقاومت مجاز اتصال (در سطح تنش مجاز) لازم است مقدار P_n بر ضریب $\Omega = 1/67$ تقسیم شود:

$$\text{مقاومت فشاری مجاز اتصال} = \frac{P_n}{1.67} = \frac{92.8}{1.67} = 55.57 \text{ ton} > 50 \text{ ton}$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود مقاومت فشاری مجاز اتصال برابر 55.57 ton می‌باشد.

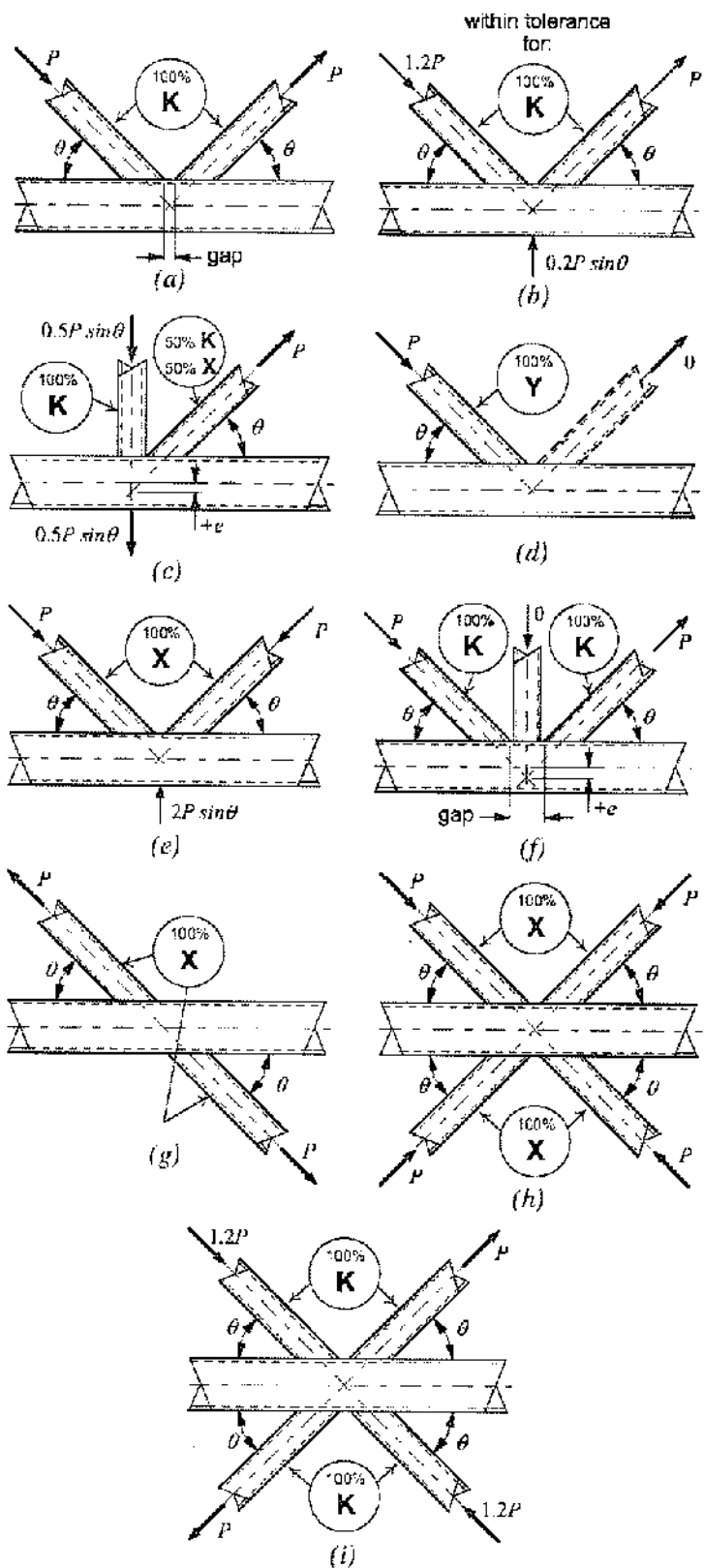
$$(P_n \sin \theta)_{\text{شاخه فشاری}} = (P_n \sin \theta)_{\text{شاخه کششی}}$$

$$(P_n \sin \theta_2)_{\text{شاخه کششی}} = 59.65 \text{ ton} \rightarrow (P_n \sin 45)_{\text{شاخه کششی}} = 59.65 \text{ ton}$$

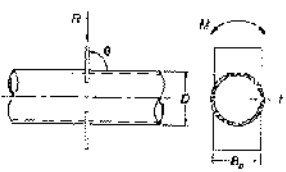
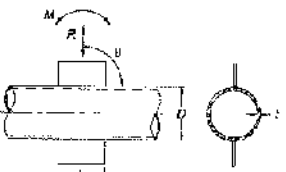
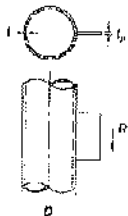
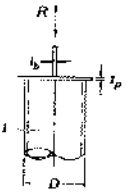
$$\Rightarrow (P_n)_{\text{شاخه کششی}} = \frac{59.65}{\sin 45} = 84.35 \text{ ton} > 45.45 \text{ ton}$$

$$\text{مقاومت کششی مجاز اتصال} = \frac{84.35}{1.67} = 50.51 \text{ ton}$$

مشاهده می‌شود که ظرفیت فشاری و کششی مجاز اتصال، جواب‌گوی نیروهای موجود خواهد بود.



شکل ۱۱ - ۱۱۵ رده بندی اتصالات ها.

جدول ۱۱ - ۲ - الف بار مجاز ورق متصل به لوله			
Connection Type	Connection Available Strength	Plate Bending	
		In-Plane	Out-of-Plane
Transverse Plate T- and Cross-Connections 	Limit State: HSS Local Yielding Plate Axial Load $R_n \sin \theta = F_y t_p^2 \left(\frac{5.5}{1 - 0.8 t_p \frac{b_p}{D}} \right) Q_t \quad (K1-1)$ $\phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$	—	$M_n = 0.5 B_p R_n$
Longitudinal Plate T-, Y- and Cross-Connections 	Limit State: HSS Plastification Plate Axial Load $R_n \sin \theta = 5.5 F_y t_p^2 \left(1 + 0.25 \frac{b_p}{D} \right) Q_t \quad (K1-2)$ $\phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$	$M_n = 0.8 t_p R_n$	—
Longitudinal Plate T-Connections 	Limit States: Plate Limit States and HSS Punching Shear Plate Shear Load For R_n , see Chapter J. Additionally, the following relationship shall be met: $t_p \leq \frac{F_y}{F_{yp}} t \quad (K1-3)$	—	—
Cap Plate Connections 	Limit State: Local Yielding of HSS Axial Load $R_n = 2 F_y t (5 t_p + l_b) \leq F_y A \quad (K1-4)$ $\phi = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.50 \text{ (ASD)}$	—	—
FUNCTIONS			
$Q_t = 1$ for HSS (connecting surface) in tension $= 1.0 - 0.3U (1 + U)$ for HSS (connecting surface) in compression		(K1-5)	
$U = \left[\frac{P_{ro}}{F_c A_b} + \frac{M_{ro}}{F_c S} \right]$ where P_{ro} and M_{ro} are determined on the side of the joint that has the lower compression stress. P_{ro} and M_{ro} refer to required strengths in the HSS.		(K1-6)	
$P_{ro} = P_u$ for LRFD; P_a for ASD. $M_{ro} = M_u$ for LRFD; M_a for ASD.			

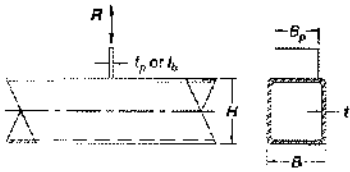
جدول ۱۱ - ۲ - ب

محدودیت‌های جدول ۱۱ - ۲ - الف

Plate load angle:	θ	$\geq 30^\circ$
HSS wall	D/t	≤ 50 for T-connections under branch plate axial load or bending
slenderness:	D/t	≤ 40 for cross-connections under branch plate axial load or bending
	D/t	$\leq 0.11 E/F_y$ under branch plate shear loading
	D/t	$\leq 0.11 E/F_y$ for cap plate connections in compression
Width ratio:	$0.2 < B_p/D \leq 1.0$	for transverse branch plate connections
Material strength:	F_y	≤ 52 ksi (360 MPa)
Ductility:	F_y/F_u	≤ 0.8

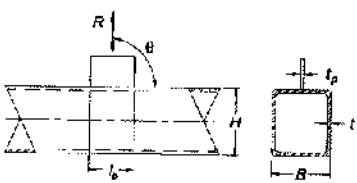
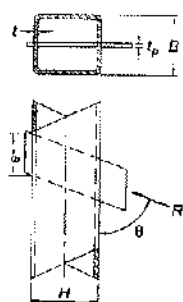
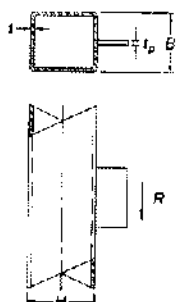
جدول ۱۱ - ۳ - الف

بار مجاز ورق متصل به قوطی

Connection Type	Connection Available Strength
<p>Transverse Plate T- and Cross-Connections, Under Plate Axial Load</p>  <p>where $\beta = \frac{B_p}{D}$</p>	<p>Limit State: Local Yielding of Plate, For All β</p> $R_n = \frac{10}{B/t} F_y t B_p \leq F_{yp} t_p B_p \quad (K1-7)$ <p>$\phi = 0.95$ (LRFD) $\Omega = 1.50$ (ASD)</p>
	<p>Limit State: HSS Shear Yielding (Punching), When $0.85B \leq B_p \leq B - 2t$</p> $R_n = 0.6 F_y t (2t_p + 2B_{ap}) \quad (K1-8)$ <p>$\phi = 0.95$ (LRFD) $\Omega = 1.58$ (ASD)</p>
	<p>Limit State: Local Yielding of HSS Sidewalls, When $\beta = 1.0$</p> $R_n = 2F_y t (5k + l_b) \quad (K1-9)$ <p>$\phi = 1.00$ (LRFD) $\Omega = 1.50$ (ASD)</p>
	<p>Limit State: Local Crippling of HSS Sidewalls, When $\beta = 1.0$ and Plate is in Compression, for T-Connections</p> $R_n = 1.6t^2 \left(1 + \frac{3l_b}{H-3t} \right) \sqrt{EF_y Q_t} \quad (K1-10)$ <p>$\phi = 0.75$ (LRFD) $\Omega = 2.00$ (ASD)</p>
	<p>Limit State: Local Crippling of HSS Sidewalls, When $\beta = 1.0$ and Plate is in Compression, for Cross-Connections</p> $R_n = \left(\frac{48t^3}{H-3t} \right) \sqrt{EF_y Q_t} \quad (K1-11)$ <p>$\phi = 0.90$ (LRFD) $\Omega = 1.67$ (ASD)</p>

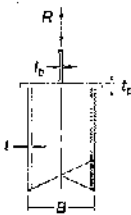
جدول ۱۱ - ۳ - الف

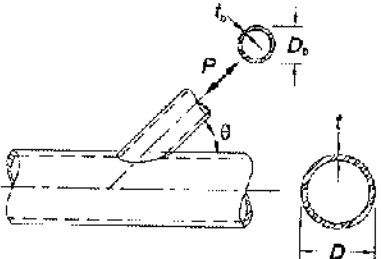
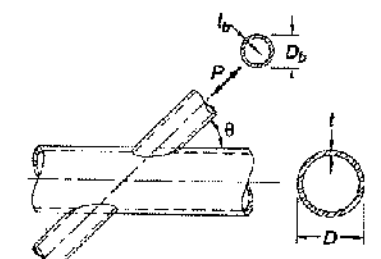
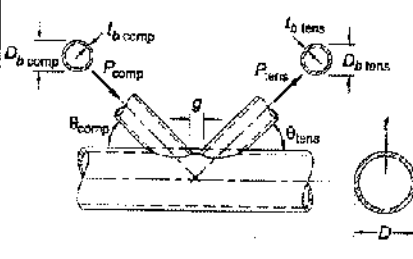
ادامه

Connection Type	Connection Available Strength
<p>Longitudinal Plate T-, Y- and Cross-Connections, Under Plate Axial Load</p> 	<p>Limit State: HSS Plastification</p> $R_n \sin \theta = \frac{F_y t^2}{1 - \frac{t_p}{B}} \left(\frac{2l_b}{B} + 4 \sqrt{1 - \frac{t_p}{B}} Q_f \right) \quad (K1-12)$ <p>$\phi = 1.00$ (LRFD) $\Omega = 1.50$ (ASD)</p>
<p>Longitudinal Through Plate T- and Y-Connections, Under Plate Axial Load</p> 	<p>Limit State: HSS Wall Plastification</p> $R_n \sin \theta = \frac{2F_y t^2}{1 - \frac{t_p}{B}} \left(\frac{2l_b}{B} + 4 \sqrt{1 - \frac{t_p}{B}} Q_f \right) \quad (K1-13)$ <p>$\phi = 1.00$ (LRFD) $\Omega = 1.50$ (ASD)</p>
<p>Longitudinal Plate T-Connections, Under Plate Shear Load</p> 	<p>Limit States: Plate Limit States and HSS Punching Shear</p> <p>For R_n, see Chapter J. Additionally, the following relationship shall be met:</p> $t_p \leq \frac{F_u}{F_y} t \quad (K1-3)$

جدول ۱۱ - ۳ - الف

ادامه

Connection Type	Connection Available Strength
<p>Cap Plate Connections, under Axial Load</p> 	<p>Limit State: Local Yielding of Sidewalls</p> $R_n = 2F_y t (5t_p + l_b), \text{ when } (5t_p + l_b) < B \quad (K1-14a)$ $R_n = F_y A, \text{ when } (5t_p + l_b) \geq B \quad (K1-14b)$ <p>$\phi = 1.00$ (LRFD) $\Omega = 1.50$ (ASD)</p> <p>Limit State: Local Crippling of Sidewalls, When Plate Is in Compression</p> $R_n = 1.6t^2 \left[1 + \frac{6l_b}{B} \left(\frac{t}{t_p} \right)^{1.5} \right] \sqrt{EF_y \frac{t_p}{t}}, \text{ when } (5t_p + l_b) \geq B \quad (K1-15)$ <p>$\phi = 0.75$ (LRFD) $\Omega = 2.00$ (ASD)</p>
FUNCTIONS	
<p>$Q_y = 1$ for HSS (connecting surface) in tension</p> $= 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta} \leq 1.0 \text{ for HSS (connecting surface) in compression, for transverse plate connections} \quad (K1-16)$ $= \sqrt{1 - U^2} \text{ for HSS (connecting surface) in compression, for longitudinal plate and longitudinal through plate connections} \quad (K1-17)$ <p>$U = \frac{\left| \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c S} \right|}{\left| \frac{P_u}{F_c A_g} + \frac{M_u}{F_c S} \right|}$ where P_{ro} and M_{ro} are determined on the side of the joint that has the lower compression stress. P_{ro} and M_{ro} refer to required strengths in the HSS. $P_{ro} = P_u$ for LRFD; P_a for ASD. $M_{ro} = M_u$ for LRFD; M_a for ASD. $(K1-6)$</p> $B_{wp} = \frac{10B_p}{B/t} \leq B_p \quad (K1-18)$ <p>k = outside corner radius of HSS $\geq 1.5 t$</p>	
جدول ۱۱ - ۳ - ب	
محدودیت‌های جدول ۱۱ - ۳ - الف	
Plate load angle:	$\theta \geq 30^\circ$
HSS wall slenderness:	B/t or $H/t \leq 35$ for loaded wall, for transverse branch plate connections
	B/t or $H/t \leq 40$ for loaded wall, for longitudinal branch plate and through plate connections
	$(B-3t)/t$ or $(H-3t)/t \leq 1.40 \sqrt{E/F_y}$ for loaded wall, for branch plate shear loading
Width ratio:	$0.25 \leq B_p/B \leq 1.0$ for transverse branch plate connections
Material strength:	$F_y \leq 52 \text{ ksi (380 MPa)}$
Ductility:	$F_y/F_u \leq 0.8$ Note: ASTM A500 Grade C is acceptable.

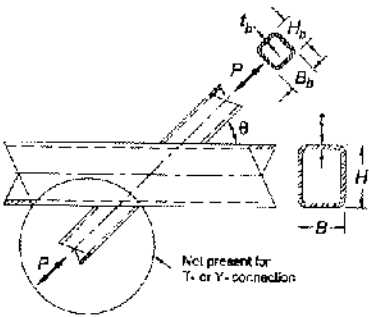
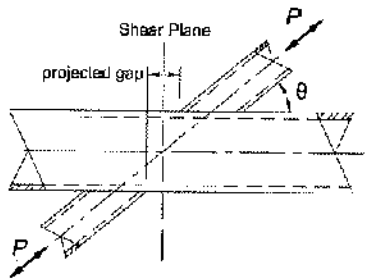
جدول ۱۱ - ۴ - الف بار مجاز اتصالات مقاطع لوله‌ای - اتصال مفصلی خرابایی	
Connection Type	Connection Available Axial Strength
<p>General Check For T-, Y-, Cross- and K-Connections With Gap, When $D_{b(tens/comp)} < (D - 2t)$</p>	<p>Limit State: Shear Yielding (Punching)</p> $P_n = 0.6F_y t \pi D_b \left(\frac{1 + \sin \theta}{2 \sin^2 \theta} \right) \quad (K2-1)$ <p>$\phi = 0.95$ (LRFD) $\Omega = 1.58$ (ASD)</p>
<p>T- and Y-Connections</p> 	<p>Limit State: Chord Plastification</p> $P_n \sin \theta = F_y t^2 (3.1 + 15.6 \beta^2) \gamma^{0.2} Q_t \quad (K2-2)$ <p>$\phi = 0.90$ (LRFD) $\Omega = 1.67$ (ASD)</p>
<p>Cross-Connections</p> 	<p>Limit State: Chord Plastification</p> $P_n \sin \theta = F_y t^2 \left(\frac{5.7}{1 - 0.81 \beta} \right) Q_t \quad (K2-3)$ <p>$\phi = 0.90$ (LRFD) $\Omega = 1.67$ (ASD)</p>
<p>K-Connections With Gap or Overlap</p> 	<p>Limit State: Chord Plastification</p> $(P_n \sin \theta)_{\text{compression branch}} = F_y t^2 \left(2.0 + 11.33 \frac{D_{b,comp}}{D} \right) Q_g Q_t \quad (K2-4)$ $(P_n \sin \theta)_{\text{tension branch}} = (P_n \sin \theta)_{\text{compression branch}} \quad (K2-5)$ <p>$\phi = 0.90$ (LRFD) $\Omega = 1.67$ (ASD)</p>

جدول ۱۱ - ۴ - الف (ادامه)	
FUNCTIONS	
$Q_p = 1$ for chord (connecting surface) in tension	(K1-5a)
$= 1.0 - 0.3U(1 + U)$ for HSS (connecting surface) in compression	(K1-5b)
$U = \left[\frac{P_{ro}}{F_c A_g} - \frac{M_{ro}}{F_c S} \right]$ where P_{ro} and M_{ro} are determined on the side of the joint that has the lower compression stress. P_{ro} and M_{ro} refer to required strengths in the HSS.	(K1-6)
$P_{ro} = P_u$ for LRFD; P_d for ASD. $M_{ro} = M_u$ for LRFD; M_d for ASD.	
$Q_g = \gamma^{0.2} \left[1 - \frac{0.024\gamma^{1.2}}{\exp\left(\frac{0.5g}{t} - 1.33\right) + 1} \right]$	(K2-6)
[1] Note that $\exp(x)$ is equal to e^x , where $e = 2.71828$ is the base of the natural logarithm.	

جدول ۱۱ - ۴ - ب محدودیت‌های جدول ۱۱ - ۴ - الف		
Joint eccentricity:	-0.55	$\leq e/D \leq 0.25$ for K-connections
Branch angle:	θ	$\geq 30^\circ$
Chord wall slenderness:	D/t	≤ 50 for T-, Y- and K-connections
	D/t	≤ 40 for cross-connections
Branch wall slenderness:	D_b/t_b	≤ 50 for compression branch
	D_b/t_b	$\leq 0.05E/F_{yb}$ for compression branch
Width ratio:	0.2	$< D_b/D \leq 1.0$ for T-, Y-, cross- and overlapped K-connections
	0.4	$\leq D_b/D \leq 1.0$ for gapped K-connections
Gap:	g	$\geq t_{b \text{ comp}} + t_{b \text{ tens}}$ for gapped K-connections
Overlap:	25%	$\leq O_v \leq 100\%$ for overlapped K-connections
Branch thickness:	$t_{b \text{ overlapping}}$	$\leq t_{b \text{ overlapped}}$ for branches in overlapped K-connections
Material strength:	F_y and F_{yb}	$\leq 52 \text{ ksi (360 MPa)}$
Ductility:	F_y/F_u and F_{yb}/F_{ub}	≤ 0.8 Note: ASTM A500 Grade C is acceptable.

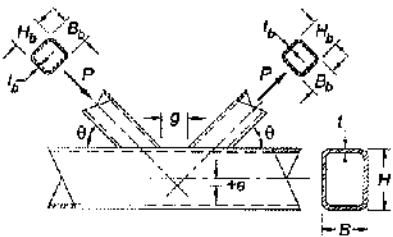
جدول ۱۱ - ۵ - الف

بار مجاز اتصالات مقاطع قوطی در اتصال مفصلی خرابایی

Connection Type	Connection Available Axial Strength
<p>T-, Y- and Cross-Connections</p> 	<p>Limit State: Chord Wall Plastification, When $\beta \leq 0.85$</p> $P_n \sin \theta = F_y t^2 \left[\frac{2\eta}{(1-\beta)} + \frac{4}{\sqrt{1-\beta}} \right] Q_t \quad (K2-7)$ <p>$\phi = 1.00$ (LRFD) $\Omega = 1.50$ (ASD)</p> <p>Limit State: Shear Yielding (Punching), When $0.85 < \beta \leq 1 - 1/\gamma$ or $B/t < 10$</p> $P_n \sin \theta = 0.6 F_y t B (2\eta + 2\beta_{occ}) \quad (K2-8)$ <p>$\phi = 0.95$ (LRFD) $\Omega = 1.58$ (ASD)</p> <p>Limit State: Local Yielding of Chord Sidewalls, When $\beta = 1.0$</p> $P_n \sin \theta = 2 F_y t (5k + t_b) \quad (K2-9)$ <p>$\phi = 1.00$ (LRFD) $\Omega = 1.50$ (ASD)</p>
<p>Case for checking limit state of shear of chord side walls</p> 	<p>Limit State: Local Crippling of Chord Sidewalls, When $\beta = 1.0$ and Branch is in Compression, for T- or Y-Connections</p> $P_n \sin \theta = 1.6 t^2 \left(1 + \frac{3t_b}{H-3t} \right) \sqrt{E F_y} Q_t \quad (K2-10)$ <p>$\phi = 0.75$ (LRFD) $\Omega = 2.00$ (ASD)</p>
	<p>Limit State: Local Crippling of Chord Sidewalls, When $\beta = 1.0$ and Branches are in Compression, for Cross-Connections</p> $P_n \sin \theta = \left(\frac{48t^3}{H-3t} \right) \sqrt{E F_y} Q_t \quad (K2-11)$ <p>$\phi = 0.90$ (LRFD) $\Omega = 1.67$ (ASD)</p>
	<p>Limit State: Local Yielding of Branch/Branches Due to Uneven Load Distribution, When $\beta > 0.85$</p> $P_n = F_y t_b (2H_b + 2b_{occ} - 4t_b) \quad (K2-12)$ <p>$\phi = 0.95$ (LRFD) $\Omega = 1.58$ (ASD)</p> <p>where</p> $b_{occ} = \frac{10}{B/t} \left(\frac{F_y t}{F_y t_b} \right) B_b \leq B_b \quad (K2-13)$

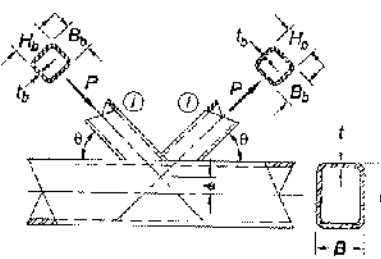
جدول ۱۱ - ۵ - الف

(ادامه)

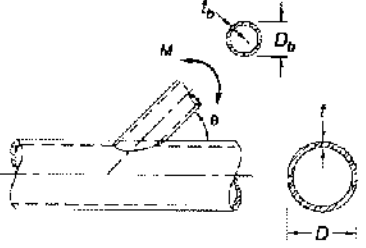
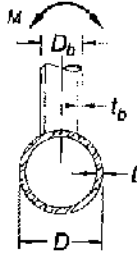
Connection Type	Connection Available Axial Strength
T-, Y- and Cross-Connections	Limit State: Shear of Chord Sidewalls For Cross-Connections With $\theta < 90^\circ$ and Where a Projected Gap is Created (See Figure). Determine $P_n \sin \theta$ in accordance with Section G5.
<p>Gapped K-Connections</p> 	<p>Limit State: Chord Wall Plastification, for All β</p> $P_n \sin \theta = F_y t^2 (9.8 \beta_{eff} \gamma^{0.5}) Q_f \quad (K2-14)$ <p>$\phi = 0.90$ (LRFD) $\Omega = 1.67$ (ASD)</p> <p>Limit State: Shear Yielding (Punching), when $B_b < B - 2t$ Do not check for square branches.</p> $P_n \sin \theta = 0.6 F_y t B (2\eta + \beta + \beta_{ocp}) \quad (K2-15)$ <p>$\phi = 0.95$ (LRFD) $\Omega = 1.58$ (ASD)</p> <p>Limit State: Shear of Chord Sidewalls, in the Gap Region Determine $P_n \sin \theta$ in accordance with Section G5. Do not check for square chords.</p> <p>Limit State: Local Yielding of Branch/Branches Due to Uneven Load Distribution. Do not check for square branches or if $B/t \geq 15$.</p> $P_n = F_{yb} t_b (2H_b + B_b + b_{ocp} - 4t_b) \quad (K2-16)$ <p>$\phi = 0.95$ (LRFD) $\Omega = 1.58$ (ASD)</p> <p>where</p> $b_{ocp} = \frac{10}{B/t} \left(\frac{F_y t}{F_{yb} t_b} \right) B_b \leq B_b \quad (K2-13)$

جدول ۱۱ - ۵ - الف

(ادامه)

Connection Type	Connection Available Axial Strength
<p>Overlapped K-Connections</p>  <p>Note that the force arrows shown for overlapped K-connections may be reversed; <i>i</i> and <i>j</i> control member identification.</p>	<p>Limit State: Local Yielding of Branch/Branches Due to Uneven Load Distribution</p> <p>$\phi = 0.95$ (LRFD) $\Omega = 1.58$ (ASD)</p> <p>When $25\% \leq O_v < 50\%$:</p> $P_{n,i} = F_{yt} t_{bi} \left[\frac{O_v}{50} (2H_{bi} - 4t_{bi}) + b_{eoi} + b_{soj} \right] \quad (K2-17)$ <p>When $50\% \leq O_v < 80\%$:</p> $P_{n,i} = F_{yt} t_{bi} (2H_{bi} - 4t_{bi} + b_{eoi} + b_{soj}) \quad (K2-18)$ <p>When $80\% \leq O_v < 100\%$:</p> $P_{n,i} = F_{yt} t_{bi} (2H_{bi} - 4t_{bi} + B_{bi} + b_{soj}) \quad (K2-19)$ $b_{eoi} = \frac{10}{B/t} \left(\frac{F_y t}{F_{yt} t_{bi}} \right) B_{bi} \leq B_{bi} \quad (K2-20)$ $b_{soj} = \frac{10}{B_j/t_{bj}} \left(\frac{F_{yt} t_{bj}}{F_{yt} t_{bi}} \right) B_{bi} \leq B_{bi} \quad (K2-21)$ <p>Subscript <i>i</i> refers to the overlapping branch Subscript <i>j</i> refers to the overlapped branch</p> $P_{n,j} = P_{n,i} \left(\frac{F_{yt} A_{bi}}{F_{yt} A_{bj}} \right) \quad (K2-22)$
FUNCTIONS	
<p>$Q_y = 1$ for chord (connecting surface) in tension</p>	(K1-5a)
<p>$= 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta} \leq 1$ for chord (connecting surface) in compression, for T-, Y- and cross-connections</p>	(K1-16)
<p>$= 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta_{eff}} \leq 1.0$ for chord (connecting surface) in compression, for gapped K-connections</p>	(K2-23)
<p>$U = \left| \frac{P_{ro}}{F_c A_b} + \frac{M_{ro}}{F_c S} \right|$ where P_{ro} and M_{ro} are determined on the side of the joint that has the higher compression stress. P_{ro} and M_{ro} refer to required strengths in the HSS. $P_{ro} = P_u$ for LRFD; P_r for ASD. $M_{ro} = M_u$ for LRFD; M_e for ASD.</p>	(K1-6)
<p>$\beta_{eff} = \left[(B_b + H_b)_{compression\ branch} + (B_b + H_b)_{tension\ branch} \right] / 4B$</p>	(K2-24)
<p>$\beta_{exp} = \frac{5\beta}{\gamma} \leq \beta$</p>	(K2-25)

جدول ۱۱ - ۵ - ب		
محدودیت‌های جدول ۱۱ - ۵ - الف		
Joint eccentricity:	-0.55	$\leq e/H \leq 0.25$ for K-connections
Branch angle:	0	$\geq 30^\circ$
Chord wall slenderness:	B/t and H/t	≤ 35 for gapped K-connections and T-, Y- and cross-connections
Branch wall slenderness:	B/t	≤ 30 for overlapped K-connections
	H/t	≤ 35 for overlapped K-connections
	B_b/t_b and H_b/t_b	≤ 35 for tension branch
		$\leq 1.25 \sqrt{\frac{E}{F_{yb}}}$ for compression branch of gapped K-, T-, Y- and cross-connections
		≤ 35 for compression branch of gapped K-, T-, Y- and cross-connections
		$\leq 1.1 \sqrt{\frac{E}{F_{yb}}}$ for compression branch of overlapped K-connections
Width ratio:	B_b/B and H_b/B	≥ 0.25 for T-, Y- cross- and overlapped K-connections
Aspect ratio:	0.5	$\leq H_b/B_b \leq 2.0$ and $0.5 \leq H/B \leq 2.0$
Overlap:	25%	$\leq O_v \leq 100\%$ for overlapped K-connections
Branch width ratio:	B_{bi}/B_{bj}	≥ 0.75 for overlapped K-connections, where subscript i refers to the overlapping branch and subscript j refers to the overlapped branch
Branch thickness ratio:	t_{bi}/t_{bj}	≤ 1.0 for overlapped K-connections, where subscript i refers to the overlapping branch and subscript j refers to the overlapped branch
Material strength:	F_y and F_{yb}	≤ 52 ksi (360 MPa)
Ductility:	F_y/F_u and F_{yb}/F_{ub}	≤ 0.8
ADDITIONAL LIMITS FOR GAPPED K-CONNECTIONS		
Width ratio:	$\frac{B_b}{B}$ and $\frac{H_b}{B}$	$\geq 0.1 + \frac{Y}{50}$
	β_{eff}	≥ 0.35
Gap ratio:	$\zeta = g/B$	$\geq 0.5 (1 - \beta_{eff})$
Gap:	g	$\geq t_b$ compression branch + t_b tension branch
Branch size:	smaller B_b	> 0.63 (larger B_b), if both branches are square
Note: Maximum gap size will be controlled by the e/H limit. If gap is large, treat as two Y-connections.		

جدول ۱۱ - ۶ - الف لنگر مجاز اتصالات مقاطع لوله‌ای - اتصال صلب	
Connection Type	Connection Available Flexural Strength
Branch(es) under in-Plane Bending T-, Y- and Cross-Connections 	Limit State: Chord Plastification $M_n \sin \theta = 5.39 F_y t^2 \gamma^{0.5} \beta D_b Q_t \quad (K3-1)$ $\phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$
	Limit State: Shear Yielding (Punching), When $D_b < (D - 2t)$ $M_n = 0.6 F_y t D_b^2 \left(\frac{1 + 3 \sin \theta}{4 \sin^2 \theta} \right) \quad (K3-2)$ $\phi = 0.95 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.58 \text{ (ASD)}$
Branch(es) under Out-of-Plane Bending T-, Y- and Cross-Connections 	Limit State: Chord Plastification $M_n \sin \theta = F_y t^2 D_b \left(\frac{3.0}{1 - 0.81 \beta} \right) Q_t \quad (K3-3)$ $\phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$
	Limit State: Shear Yielding (Punching), When $D_b < (D - 2t)$ $M_n = 0.6 F_y t D_b^2 \left(\frac{3 + \sin \theta}{4 \sin^2 \theta} \right) \quad (K3-4)$ $\phi = 0.95 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.58 \text{ (ASD)}$
For T-, Y- and cross-connections, with branch(es) under combined axial load, in-plane bending and out-of-plane bending, or any combination of these load effects: $\frac{P_r}{P_c} + \left(\frac{M_{r-ip}}{M_{c-ip}} \right)^2 + \left(\frac{M_{r-op}}{M_{c-op}} \right)^2 \leq 1.0 \quad (K3-5)$	
$M_{c-ip} = \phi M_n =$ design flexural strength for in-plane bending from Table K3.1, kip-in. (N-mm) $= M_n / \Omega =$ allowable flexural strength for in-plane bending from Table K3.1, kip-in. (N-mm) $M_{c-op} = \phi M_n =$ design flexural strength for out-of-plane bending from Table K3.1, kip-in. (N-mm) $= M_n / \Omega =$ allowable flexural strength for out-of-plane bending from Table K3.1, kip-in. (N-mm) $M_{r-ip} =$ required flexural strength for in-plane bending, using LRFD or ASD load combinations, as applicable, kip-in. (N-mm) $M_{r-op} =$ required flexural strength for out-of-plane bending, using LRFD or ASD load combinations, as applicable, kip-in. (N-mm) $P_c = \phi P_n =$ design axial strength from Table K2.1, kips (N) $= P_n / \Omega =$ allowable axial strength from Table K2.1, kips (N) $P_r =$ required axial strength using LRFD or ASD load combinations, as applicable, kips (N)	

جدول ۱۱ - ۶ - الف

(ادامه)

FUNCTIONS

 $Q_r = 1$ for chord (connecting surface) in tension

$$= 1.0 - 0.3U (1 + U) \text{ for HSS (connecting surface) in compression} \quad (K1-5)$$

$$U = \left| \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c S} \right| \text{ where } P_{ro} \text{ and } M_{ro} \text{ are determined on the side of the joint that has the lower compression stress. } P_{ro} \text{ and } M_{ro} \text{ refer to required strengths in the HSS.} \quad (K1-6)$$

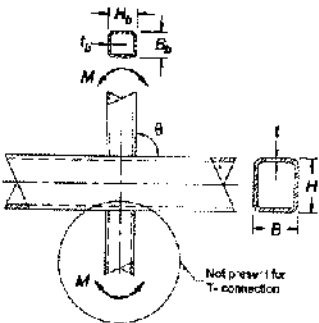
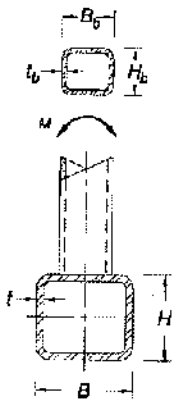
$P_{ro} = P_u$ for LRFD; P_a for ASD. $M_{ro} = M_u$ for LRFD; M_a for ASD.

جدول ۱۱ - ۶ - ب

محدودیت‌های جدول ۱۱ - ۶ - الف

Branch angle:	θ	$\geq 30^\circ$
Chord wall slenderness:	D/t	≤ 50 for T- and Y-connections
	D/t	≤ 40 for cross-connections
Branch wall slenderness:	D_b/t_b	≤ 50
	D_b/t_b	$\leq 0.05E/F_{yb}$
Width ratio:	0.2	$< D_b/D \leq 1.0$
Material strength:	F_y and F_{yb}	$\leq 52 \text{ ksi (360 MPa)}$
Ductility:	F_y/F_u and F_{yb}/F_{ub}	≤ 0.8

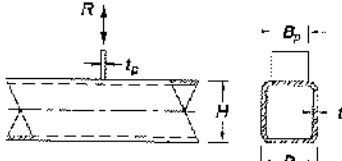
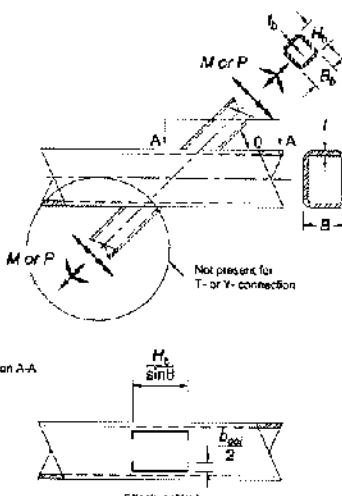
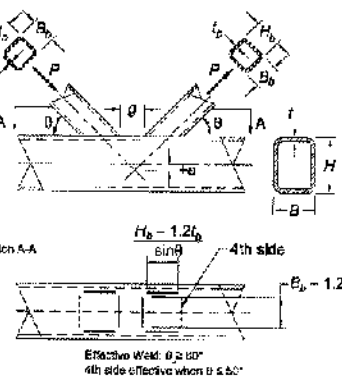
جدول ۱۱ - ۷ - الف
لنگر مجاز اتصالات مقاطع قوطی - اتصال صلب

Connection Type	Connection Available Flexural Strength
Branch(es) under In-Plane Bending T- and Cross-Connections 	Limit State: Chord Wall Plastification, When $\beta \leq 0.85$ $M_n = F_y t^2 H_b \left[\frac{1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{(1-\beta)} \right] Q_r \quad (K3-6)$ $\phi = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.50 \text{ (ASD)}$
	Limit State: Sidewall Local Yielding, When $\beta > 0.85$ $M_n = 0.5 F_y t (H_b + 5t)^2 \quad (K3-7)$ $\phi = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.50 \text{ (ASD)}$
	Limit State: Local Yielding of Branch/Branches Due to Uneven Load Distribution, When $\beta > 0.85$ $M_n = F_{yb} \left[Z_b - \left(1 - \frac{b_{ocd}}{B_b} \right) B_b H_b t_b \right] \quad (K3-8)$ $\phi = 0.95 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.58 \text{ (ASD)}$
Branch(es) under Out-of-Plane Bending T- and Cross-Connections 	Limit State: Chord Wall Plastification, When $\beta \leq 0.85$ $M_n = F_y t^2 \left[\frac{0.5 H_b (1+\beta)}{(1-\beta)} + \sqrt{\frac{2 B B_b (1+\beta)}{(1-\beta)}} \right] Q_r \quad (K3-9)$ $\phi = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.50 \text{ (ASD)}$
	Limit State: Sidewall Local Yielding, When $\beta > 0.85$ $M_n = F_y t (B - t) (H_b + 5t) \quad (K3-10)$ $\phi = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.50 \text{ (ASD)}$
	Limit State: Local Yielding of Branch/Branches Due to Uneven Load Distribution, When $\beta > 0.85$ $M_n = F_{yb} \left[Z_b - 0.5 \left(1 - \frac{b_{ocd}}{B_b} \right)^2 B_b^2 t_b \right] \quad (K3-11)$ $\phi = 0.95 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.58 \text{ (ASD)}$

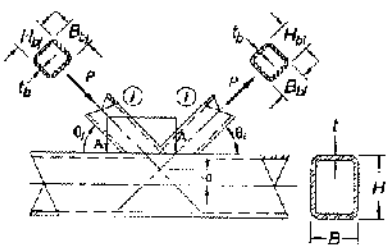
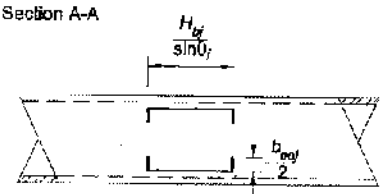
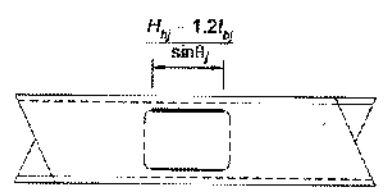
جدول ۱۱ - ۷ - الف (ادامه)	
Connection Type	Connection Available Flexural Strength
Branch(es) under Out-of-Plane Bending T- and Cross-Connections (continued)	Limit State: Chord Distortional Failure, for T-Connections and Unbalanced Cross-Connections $M_n = 2F_y t \left[H_b t + \sqrt{BHt(B+H)} \right] \quad (K3-12)$ $\phi = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.50 \text{ (ASD)}$
For T- and cross-connections, with branch(es) under combined axial load, in-plane bending and out-of-plane bending, or any combination of these load effects:	
$\frac{P_r}{P_c} + \left(\frac{M_{r-ip}}{M_{c-ip}} \right) + \left(\frac{M_{r-op}}{M_{c-op}} \right) \leq 1.0 \quad (K3-13)$	
$M_{c-ip} = \phi M_n =$ design flexural strength for in-plane bending from Table K3.2, kip-in. (N-mm) $= M_n / \Omega =$ allowable flexural strength for in-plane bending from Table K3.2, kip-in. (N-mm) $M_{c-op} = \phi M_n =$ design flexural strength for out-of-plane bending from Table K3.2, kip-in. (N-mm) $= M_n / \Omega =$ allowable flexural strength for out-of-plane bending from Table K3.2, kip-in. (N-mm) $M_{r-ip} =$ required flexural strength for in-plane bending, using LRFD or ASD load combinations, as applicable, kip-in. (N-mm) $M_{r-op} =$ required flexural strength for out-of-plane bending, using LRFD or ASD load combinations, as applicable, kip-in. (N-mm) $P_c = \phi P_n =$ design axial strength from Table K2.2, kips (N) $= P_n / \Omega =$ allowable axial strength from Table K2.2, kips (N) $P_r =$ required axial strength using LRFD or ASD load combinations, as applicable, kips (N)	
FUNCTIONS	
$Q_f = 1$ for chord (connecting surface) in tension (K1-15)	
$= 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta} \leq 1.0$ for chord (connecting surface) in compression (K1-16)	
$U = \left| \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c S} \right|$ where P_{ro} and M_{ro} are determined on the side of the joint that has the lower compression stress. P_{ro} and M_{ro} refer to required strengths in the HSS. (K1-6) $P_{ro} = P_u$ for LRFD; P_r for ASD. $M_{ro} = M_u$ for LRFD; M_a for ASD.	
$F_y^* = F_y$ for T-connections and $= 0.8F_y$ for cross-connections	
$b_{oo} = \frac{10}{B/t} \left(\frac{F_y t}{F_y t_b} \right) B_b \leq B_b$ (K2-13)	

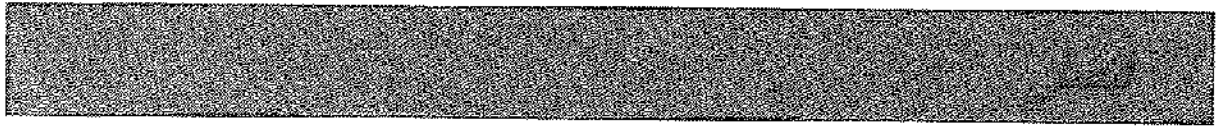
جدول ۱۱ - ۷ - ب		
محدودیت‌های جدول ۱۱ - ۷ - الف		
Branch angle:	θ	$\cong 90^\circ$
Chord wall slenderness:	B/t and H/t	≤ 35
Branch wall slenderness:	B_b/t_b and H_b/t_b	≤ 35
		$\leq 1.25 \sqrt{\frac{E}{F_{yt}}}$
Width ratio:	B_b/B	≥ 0.25
Aspect ratio:	0.5	$\leq H_b/B_b \leq 2.0$ and $0.5 \leq H/B \leq 2.0$
Material strength:	F_y and F_{yt}	$\leq 52 \text{ ksi (360 MPa)}$
Ductility:	F_y/F_u and F_{yb}/F_{ub}	≤ 0.8

جدول ۱۱ - ۸
مشخصات جوش

Connection Type	Connection Weld Strength
<p>Transverse Plate T- and Cross-Connections Under Plate Axial Load</p> 	<p>Effective Weld Properties</p> $l_e = 2 \left(\frac{10}{B/t} \right) \left(\frac{F_y t}{F_{yp} t_p} \right) B_p \leq 2B_p \quad (K4-4)$ <p>where l_e = total effective weld length for welds on both sides of the transverse plate</p>
<p>T-, Y- and Cross-Connections Under Branch Axial Load or Bending</p> 	<p>Effective Weld Properties</p> $l_e = \frac{2H_b}{\sin\theta} + 2b_{eff} \quad (K4-5)$ $S_w = \frac{t_w}{3} \left(\frac{H_b}{\sin\theta} \right)^2 + t_w b_{eff} \left(\frac{H_b}{\sin\theta} \right) \quad (K4-6)$ $S_{op} = t_w \left(\frac{H_b}{\sin\theta} \right) B_b + \frac{t_w}{3} (B_b^2) - \frac{(t_w/3)(B_b - b_{eff})^3}{B_b} \quad (K4-7)$ $b_{eff} = \frac{10}{B/t} \left(\frac{F_y t}{F_{yp} t_b} \right) B_b < B_b \quad (K2-13)$ <p>When $\beta > 0.85$ or $\theta > 50^\circ$, $b_{eff}/2$ shall not exceed $2t$.</p>
<p>Gapped K-Connections Under Branch Axial Load</p> 	<p>Effective Weld Properties</p> <p>When $\theta \leq 50^\circ$:</p> $l_e = \frac{2(H_b - 1.2t_b)}{\sin\theta} + 2(B_b - 1.2t_b) \quad (K4-8)$ <p>When $\theta \geq 60^\circ$:</p> $l_e = \frac{2(H_b - 1.2t_b)}{\sin\theta} + (B_b - 1.2t_b) \quad (K4-9)$ <p>When $50^\circ < \theta < 60^\circ$, linear interpolation shall be used to determine l_e.</p>

جدول ۱۱ - ۸
(ادامه)

Connection Type	Connection Weld Strength
<p style="text-align: center;">Overlapped K-Connections under Branch Axial Load</p>  <p>Note that the force arrows shown for overlapped K-connections may be reversed; <i>i</i> and <i>j</i> control member identification</p> <p>Section A-A</p>  <p style="text-align: center;">Effective Weld: Eq. K4-13</p> <p>When $\frac{B_{ij}}{B} \leq 0.85$ and $\theta_j \leq 50^\circ$</p>  <p style="text-align: center;">Effective Weld:</p> <p>When $\frac{B_{ji}}{B} > 0.85$ or $\theta_j > 50^\circ$</p>	<p style="text-align: center;">Overlapping Member Effective Weld Properties (all dimensions are for the overlapping branch, <i>i</i>)</p> <p>When $25\% \leq O_v < 50\%$:</p> $l_{e,i} = \frac{2O_v}{50} \left[\left(1 - \frac{O_v}{100} \right) \left(\frac{H_{bi}}{\sin\theta_i} \right) + \frac{O_v}{100} \left(\frac{H_{bj}}{\sin(\theta_i + \theta_j)} \right) \right] + b_{eoi} + b_{eoj} \quad (K4-10)$ <p>When $50\% \leq O_v < 80\%$:</p> $l_{e,i} = 2 \left[\left(1 - \frac{O_v}{100} \right) \left(\frac{H_{bi}}{\sin\theta_i} \right) + \frac{O_v}{100} \left(\frac{H_{bj}}{\sin(\theta_i + \theta_j)} \right) \right] + b_{eoi} + b_{eoj} \quad (K4-11)$ <p>When $80\% \leq O_v \leq 100\%$:</p> $l_{e,i} = 2 \left[\left(1 - \frac{O_v}{100} \right) \left(\frac{H_{bi}}{\sin\theta_i} \right) + \frac{O_v}{100} \left(\frac{H_{bj}}{\sin(\theta_i + \theta_j)} \right) \right] + B_{bi} + b_{eoi} \quad (K4-12)$ $b_{eoi} = \frac{10}{B/t} \left(\frac{F_y t}{F_y t_{bi}} \right) B_{bi} \leq B_{bi} \quad (K2-20)$ $b_{eoj} = \frac{10}{B_{ji}/t_{ji}} \left(\frac{F_y t_{ij}}{F_y t_{ji}} \right) B_{bi} \leq B_{bi} \quad (K2-21)$ <p>when $B_{bi}/B_b > 0.85$ or $\theta_i > 50^\circ$, $b_{eoi}/2$ shall not exceed $2t$ and when $B_{ji}/B_{bj} > 0.85$ or $(180 - \theta_i - \theta_j) > 50^\circ$, $b_{eoj}/2$ shall not exceed $2t_{ij}$</p> <p>Subscript <i>i</i> refers to the overlapping branch Subscript <i>j</i> refers to the overlapped branch</p> $l_{e,i} = \frac{2H_{bi}}{\sin\theta_i} + 2b_{eoi} \quad (K4-13)$ $b_{eoi} = \frac{10}{B/t} \left(\frac{F_y t}{F_y t_{bi}} \right) B_{bi} \leq B_{bi} \quad (K4-14)$ <p>When $B_{bi}/B > 0.85$ or $\theta_i > 50^\circ$,</p> $l_{e,i} = 2 (H_{bi} - 1.2t_{bi})/\sin\theta_i$



جوش درزهای استاندارد

۱۲



راهنمای استفاده از جدول‌های درزهای استاندارد

شماره مشخص کننده انواع درز

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| ۱ - شیار ساده | ۶ - شیار لاله‌ای |
| ۲ - شیار جناغی | ۷ - شیار لاله‌ای دوطرفه |
| ۳ - شیار جناغی دوطرفه | ۸ - شیار نیم‌لاله‌ای |
| ۴ - شیار نیم‌جناغی | ۹ - شیار نیم‌لاله‌ای دوطرفه |
| ۵ - شیار نیم‌جناغی دوطرفه | ۱۰ - شیار پیشانی |

علائم اختصاری فرآیندهای جوشکاری

- SM = جوش قوس الکتریکی با الکتروود دستی (SMAW)
S = جوش زیرودری (SAW)
G = جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود مصرفی (GMAW)

علائم اختصاری وضعیت‌های جوشکاری

- F = تخت
V = قائم
ALL = تمام وضعیت‌ها
H = افقی
OH = سقفی

علامت اختصاری تذکرات فنی

- A : برای جوش گاز با مدار کوتاه مناسب نیست.
- B : جوشکاری از یک طرف درز انجام می‌شود.
- C : قبل از جوشکاری طرف دیگر ریشه جوش، تا رسیدن به فلز سالم سنگ زده شود.
- E : حداقل اندازه گلوگاه مؤثر مندرج در آیین‌نامه.
- J : اگر از جوش گوشه برای تقویت جوش شیاری در اتصالات سپری یا کنج استفاده می‌شود باید اندازه آن $T_1 \frac{1}{4}$ در نظر گرفته شود ولی از ۱۰ میلی‌متر بیشتر نباشد.
- L : جوش‌های لب به لب و گونیا در پل‌سازی پیش‌آزموده نیستند.
- M : جوش‌های شیاری دوطرفه می‌توانند عمق‌های نامساوی داشته باشند ولی در هیچ حالت نباید عمق شیاری از $\frac{1}{4}$ ضخامت قطعه نازکتر، کمتر باشد.
- N : زاویه دو قطعه اتصال می‌تواند بین ۱۳۵ درجه تا ۱۸۰ درجه تغییر یابد به شرط آنکه زاویه شیاری ثابت باقی مانده و ضخامت گلوگاه مؤثر حفظ شود.
- Q : در جوش‌های سپری و گونیا زاویه بین دو قطعه می‌تواند تغییر یابد به شرط آنکه زاویه شیاری ثابت باقی مانده مشخص گردد.
- R : زاویه بین قطعات اتصال در اتصال کنج می‌تواند از ۴۵ تا ۱۳۵ درجه و اتصال سپری از ۴۵ تا ۹۰ درجه تغییر یابد به شرط آنکه هندسه اصلی درز و ضخامت گلوگاه حفظ شود.
- Z : اندازه گلوگاه مؤثر براساس جوش‌هایی که سطح آنها مسطح است تعیین می‌شود.

جوش های شیاری با نفوذ کامل

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود U=)		شکاف ریشه	آماده سازی درز		وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂		رواداری ها			
		T ₁	T ₂		در طراحی	در مونتاژ		
SMAW	B-L 1a	6 max	-	R=T ₁	+2 , -0	+6 , -2	All	N
	C-L 1a	6 max	U	R=T ₁	+2 , -0	+6 , -2	All	-
GMAW	B-L 1a-GF	10 max		R=T ₁	+2 , -0	+6 , -2	All	A ₁ N

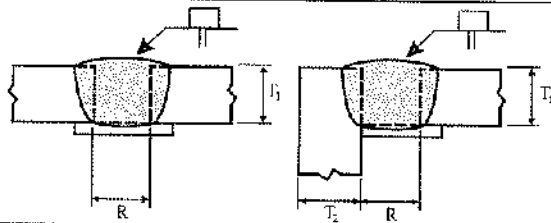
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود U=)		شکاف ریشه	آماده سازی درز		وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂		رواداری ها			
		T ₁	T ₂		در طراحی	در مونتاژ		
SMAW	B-L 1b	6 max	-	R=T ₁ /2	+2 , -0	+2 , -3	All	C,N
GMAW	B-L 1b-GF	10 max	-	R=0 تا 3	+2 , -0	+2 , -3	All	A ₁ C,N
SAW	B-L 1-S	10 max	-	R=0	±0	+2 , -0	F	N
SAW	B-L 1a-S	16 max	-	R=0	±0	+2 , -0	F	C,N

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود U=)		شکاف ریشه	آماده سازی درز		وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂		رواداری ها			
		T ₁	T ₂		در طراحی	در مونتاژ		
SMAW	TC-L 1b	6 max	U	R=T ₁ /2	+2 , -0	+2 , -3	All	C,J
GMAW	TC-L 1-GF	10 max	U	R=0 تا 3	+2 , -0	+2 , -3	All	A ₁ C,J
SAW	TC-L 1-S	10 max	U	R=0	±0	+2 , -0	F	J,C

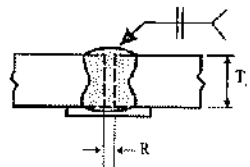
(تمام اندازه ها به میلی متر است)

برای تدرکات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

- (I) جوش شیاری ساده
- (B) اتصال لب به لب
- (C) اتصال کنج (گونیا)

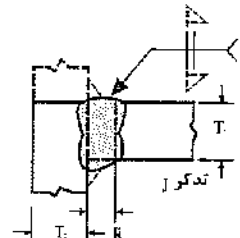


- (I) جوش شیاری ساده
- (B) اتصال لب به لب



ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود (به جز B-L 1-S)

- (I) جوش شیاری ساده
- (T) اتصال پیری
- (C) اتصال کنج



ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود (به جز B-L 1-S)

جوش‌های شیاری با نفوذ کامل

(2) جوش شیاری جناغی (B) اتصال لب به لب		رواداری‌ها <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th>در طراحی</th> <th>در مونتاژ</th> </tr> <tr> <td>R=+2 , -0</td> <td>+6 , -2</td> </tr> <tr> <td>$\alpha=+10^\circ , -0^\circ$</td> <td>+10° , -5°</td> </tr> </table>	در طراحی	در مونتاژ	R=+2 , -0	+6 , -2	$\alpha=+10^\circ , -0^\circ$	+10° , -5°
در طراحی	در مونتاژ							
R=+2 , -0	+6 , -2							
$\alpha=+10^\circ , -0^\circ$	+10° , -5°							

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز		وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شکاف		
		SMAW	B-U2a	U	-			R=6 R=10 R=12	$\alpha=45^\circ$ $\alpha=30^\circ$ $\alpha=20^\circ$	All F,V,OH F,V,OH	N N N
GMAW	B-U2a-GF	U	-	R=5 R=10 R=6	$\alpha=30^\circ$ $\alpha=30^\circ$ $\alpha=45^\circ$	F,V,OH F,V,OH F,V,OH	A,N A,N A,N
SAW	B-L2a-S	50max	-	R=6	$\alpha=30^\circ$	F	N
SAW	B-U2-S	U	-	R=16	$\alpha=20^\circ$	F	N

(2) جوش شیاری جناغی (C) اتصال کنج		رواداری‌ها <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th>در طراحی</th> <th>در مونتاژ</th> </tr> <tr> <td>R=+2 , -0</td> <td>+6 , -2</td> </tr> <tr> <td>$\alpha=+10^\circ , -0^\circ$</td> <td>+10° , -5°</td> </tr> </table>	در طراحی	در مونتاژ	R=+2 , -0	+6 , -2	$\alpha=+10^\circ , -0^\circ$	+10° , -5°
در طراحی	در مونتاژ							
R=+2 , -0	+6 , -2							
$\alpha=+10^\circ , -0^\circ$	+10° , -5°							

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز		وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شکاف		
		SMAW	C-U2a	U	U			R=6 R=10 R=12	$\alpha=45^\circ$ $\alpha=30^\circ$ $\alpha=20^\circ$	All F,V,OH F,V,OH	Q Q Q
GMAW	B-U2a-GF	U	U	R=5 R=10 R=6	$\alpha=30^\circ$ $\alpha=30^\circ$ $\alpha=45^\circ$	F,V,OH F,V,OH F,V,OH	A A,Q A,Q
SAW	C-L2a-S	50max	U	R=6	$\alpha=30^\circ$	F,V,OH	Q
SAW	C-U2-S	U	U	R=16	$\alpha=20^\circ$	F	Q

(تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است) برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

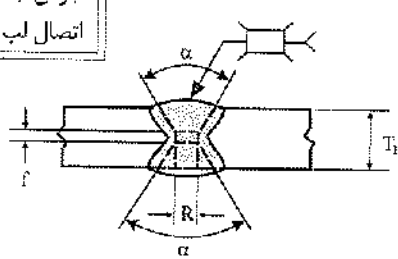
جوش های شیاری با نفوذ کامل

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود U)		آماده سازی درز		وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر					
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه ضخامت ریشه زاویه شیاری	رواداری ها							
					در طراحی			در مونتاژ				
SMAW	B-U2	26mm	-	R=0 تا 3 f=0 تا 3 $\alpha=60^\circ$	+2 , -0 +2 , -0 +10° , -0°	+2 , -3 بدون محدودیت +10° , -5°	All	C,N				
				GMAW	B-U2-GF	U	-	R=0 تا 3 f=0 تا 3 $\alpha=60^\circ$	+2 , -0 +2 , -0 +10° , -0°	+2 , -3 بدون محدودیت +10° , -5°	All	A,C,N
				SAW	B-L2c-S	بین 12 تا 25	-	R=0 , $\alpha=60^\circ$ f=6max	R=±0 f=+0 , -f	+1.5-0 ±1.5	F	C,N
		بین 25 تا 38	-	R=0 , $\alpha=60^\circ$ f=12max	$\alpha=+10^\circ , -0^\circ$	+10° , -5°						
		بین 38 تا 50	-	R=0 , $\alpha=60^\circ$ f=16max								

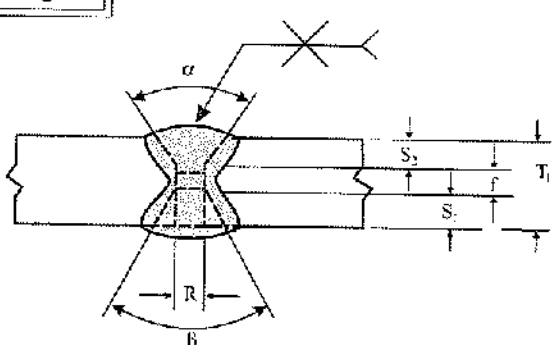
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود U)		آماده سازی درز		وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر					
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه ضخامت ریشه زاویه شیاری	رواداری ها							
					در طراحی			در مونتاژ				
SMAW	C-U2	U	U	R=0 تا 3 f=0 تا 3 $\alpha=60^\circ$	+2 , -0 +2 , -0 +10° , -0°	+2 , -3 بدون محدودیت +10° , -5°	All	C,I,R				
				GMAW	C-U2-GF	U	U	R=0 تا 3 f=0 تا 3 $\alpha=60^\circ$	+2 , -0 +2 , -0 +10° , -0°	+2 , -3 بدون محدودیت +10° , -5°	All	A,C,I,R
				SAW	C-U2b-S	U	U	R=0 f=6max $\alpha=60^\circ$	=0 +0 , -6 +10° , -0°	+2 , -0 ±2 +10° , -5°	F	C,I,R

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه ها به میلی متر است)

جوش‌های شیاری با نفوذ کامل

(3) جوش جناغی دوطرفه (B) اتصال لب به لب		ریشه جوش از پشت برداشته شده دوباره با جوش پر شود	رواداری‌ها	
			در طراحی	در مونتاژ
			$R = \pm 0$	+6, -0
			$f = \pm 0$	+2, -0
			$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°
		فاصله	SAW ± 0	+2, -0
		دهنده	SMAW $+0$	+3, -0

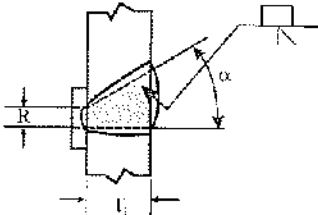
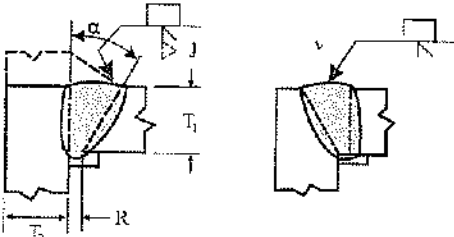
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز			وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	ضخامت ریشه	زاویه شیاری		
SMAW	B-U3a	U	-	R=6	f=0 تا 3	$\alpha=45^\circ$	All	C,M,N
				R=10	f=0 تا 3	$\alpha=30^\circ$	F,OH,V	
				R=12	f=0 تا 3	$\alpha=20^\circ$	F,OH,V	
SAW	B-U3a-S	U	-	R=16	f=0 تا 6	$\alpha=20^\circ$	F	C,M,N

(3) جوش جناغی دوطرفه (B) اتصال لب به لب		ریشه جوش از پشت برداشته شده دوباره با جوش پر شود.	فقط برای B-U3c-S		
			T ₁	S ₁	
			تا	از	
			50	60	35
			60	70	45
			75	90	55
			90	100	60
			100	120	70
			120	140	80
			140	160	95
			T ₁ > 160 یا T ₁ ≤ 50		
			S ₁ = 2/3(T ₁ - 6) برای		

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز			وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	رواداری‌ها			
				ضخامت ریشه	در طراحی	در مونتاژ		
SMAW	B-U3b	U	-	R=0 تا 3	+2, -0	+2, -3	All	C,M,N
GMAW	B-U3-GF			f=0 تا 3	+2, -0	بدون محدودیت	All	A,C,M,N
				$\alpha = \beta = 60^\circ$	+10°, -0	+10°, -5°		
SAW	B-U3c-S	U	-	R=0	+2, -0	+2, -0	F	C,M,N
				f=6 min	+6, -0	+6, -0		
				$\alpha = \beta = 60^\circ$	+10°, -0°	+10°, -5°		
				برای تعیین S ₁ به جدول فوق مراجعه کنید				
				S ₂ = T ₁ - (S ₁ + f)				

(تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است) برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

جوش های شیاری با نفوذ کامل

جوش نیم جناغی یکطرفه (4) اتصال لب به لب (B)				رواداری ها			
				در طراحی	در مونتاژ		
				R=+2 , -0	+6 , 2		
				$\alpha=+10^\circ , -0^\circ$	$+10^\circ , -5^\circ$		
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده سازی درز		وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شیار		
SMAW	B-U4a	U	-	R=6	$\alpha=45^\circ$	All	Br,N
				R=10	$\alpha=30^\circ$	All	Br,N
GMAW	B-U4a-GF	U	-	R=5	$\alpha=30^\circ$	All	A,Br,N
				R=6	$\alpha=45^\circ$	All	A,Br,N
				R=10	$\alpha=30^\circ$	F	A,Br,N
جوش نیم جناغی یکطرفه (4) اتصال گونیا (T) اتصال کنج (C)				رواداری ها			
				در طراحی	در مونتاژ		
				R=+2 , -0	+6 , -2		
				$\alpha=+10^\circ , -0^\circ$	$+10^\circ , -5^\circ$		
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده سازی درز		وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شکاف		
SMAW	TC-U4a	U	U	R=6	$\alpha=45^\circ$	All	J,Q,V
				R=10	$\alpha=30^\circ$	F,OH,H	J,Q,V
GMAW	TC-U4a-GF	U	U	R=5	$\alpha=30^\circ$	All	A,J,Q,V
				R=10	$\alpha=30^\circ$	F	A,J,Q,V
				R=6	$\alpha=45^\circ$	All	A,J,Q,V
SAW	TC-U4a-S	U	U	R=10	$\alpha=30^\circ$	F	J,Q,V
				R=6	$\alpha=45^\circ$		

(تمام اندازه ها به میلی متر است)

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

جوش‌های شیاری با نفوذ کامل

ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود.

جوش نیم‌جناغی یکطرفه (4)
اتصال لب به لب (B)

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز		وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر	
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	رواداری‌ها			
				ضخامت ریشه زاویه شیاری	در طراحی			در مونتاژ
SMAW	B-U4b	U	—	R=0 تا 3	+2 , -0	+2 , -3	All	Br,C,N
GMAW	B-U4b-GF	U	—	f=0 تا 3 α=45°	+2 , -0 +10° , -0°	بدون محدودیت +10° , -5°	All	A ₃ ,Br,C,N

ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود.

جوش نیم‌جناغی یکطرفه (4)
اتصال گونیا (T)
اتصال کنج (C)

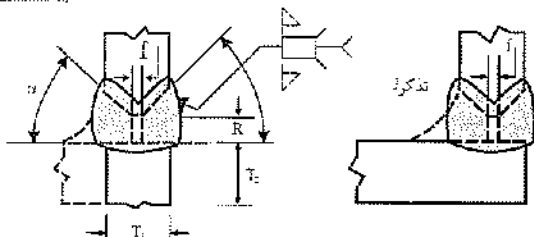
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز		وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر	
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	رواداری‌ها			
				ضخامت ریشه زاویه شیاری	در طراحی			در مونتاژ
SMAW	TC-U4b	U	U	R=0 تا 3	+2 , -0	+2 , -3	All	C,J,R,V
GMAW	TC-U4b-GF	U	U	f=0 تا 3 α=45°	+2 , -0 +10° , -0°	بدون محدودیت +10° , -5°	All	A ₃ ,C,J, R,V
SAW	TC-U4b-S	U	U	R=0 f=6 max α=60°	+0 , -3 +10° , -0°	+6 , -0 ±2 +10° , -5°	F	C,J,R,V

(تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است) برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

جوش های شیاری با نفوذ کامل

		رواداری ها	
		در طراحی	در مونتاژ
(S) جوش نیم جنانگی دو طرفه		$R = \pm 0$	+2 , -0
(B) اتصال لب به لب		$f = +2 , -0$	± 2
(T) اتصال گوتیا		$\alpha = +10^\circ , -0^\circ$	+10° , -5°
(C) اتصال کنج		فاصله = +0	+2 , -0

ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پُر شود



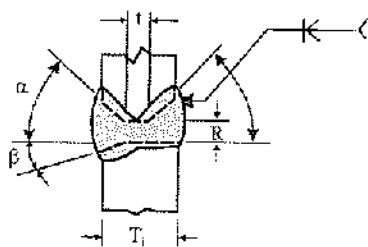
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (U نامحدود)		آماده سازی درز			وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T1	T2	شکاف ریشه	ضخامت ریشه	زاویه شیاری		
SMAW	B-USb	U	U	R=6	f=0 تا 3	$\alpha=45^\circ$	All	Br,C, M,N
		فاصله = R/8						
	TC-U5a	U	U	R=6	f=0 تا 3	$\alpha=45^\circ$	All	C,J, M,R,V
فاصله = R/8				R=10	f=0 تا 3	$\alpha=30^\circ$	F,OH	C,J,M, R,V

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه ها به میلی متر است)

جوش‌های شیاری با نفوذ کامل

جوش نیم‌جناغی دوطرفه (S)
اتصال لب به لب (B)

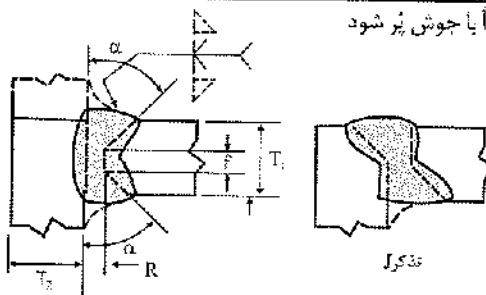
ریشه جوش از پشت برداشته شده و مجدداً با جوش پر شود.



فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز			وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T1	T2	شکاف ریشه ضخامت ریشه زاویه شیاری	رواداری‌ها			
					در طراحی	در مونتاژ		
SMAW	B-USa	U	-	R=0 تا 3 f=0 تا 3 $\alpha=45^\circ$ $\beta=0^\circ$ تا 15°	+2 , -0 +2 , -0 +10° $\alpha+\beta$, -0°	+2 , -3 بدون محدودیت +10° $\alpha+\beta$, -5°	All	Br,C, M,N
GMAW	B-US-GF	U	-	R=0 تا 3 f=0 تا 3 $\alpha=45^\circ$ $\beta=0^\circ$ تا 15°	+2 , -0 +2 , -0 $\alpha+\beta$ = +10° , -0°	+2 , -3 بدون محدودیت $\alpha+\beta$ = +10° , -5°	All	A,Br,C, M,N

جوش نیم‌جناغی دوطرفه (S)
اتصال پیری (T)
اتصال کنج (C)

ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود.



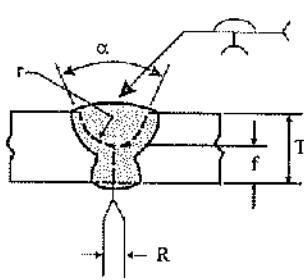
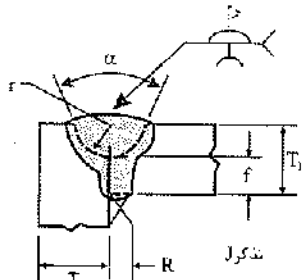
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز			وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T1	T2	شکاف ریشه ضخامت ریشه زاویه شیاری	رواداری‌ها			
					در طراحی	در مونتاژ		
SMAW	TC-USb	U	U	R=0 تا 3 f=0 تا 3 $\alpha=45^\circ$	+2 , -0 +2 , -0 +10° , -0°	+2 , -5 بدون محدودیت +10° , -5°	All	G,J,M, R,V
GMAW	TC-US-GF	U	U	$\alpha=45^\circ$	+10° , -0°	+10° , -5°	All	A,C,I, M,R,V
SAW	TC-US-S	U	U	R=0 f=5 max $\alpha=60^\circ$	=0 +0 , -5 +10° , -0°	+2 , -3 ± 2 +10° , -5°	F	G,J,M R,V

(تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است)

برای تذکرات پراهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

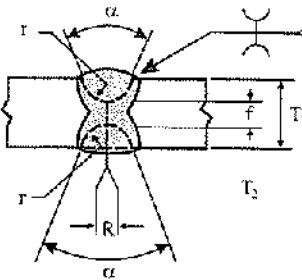
جوش های شیاری با نفوذ کامل

(G) جوش لاله ای یکطرفه	ریشه جوش از پشت برداشته مجدداً با جوش پر شود ریشه جوش از پشت برداشته مجدداً با جوش پر شود	رواداری ها	
(B) اتصال لب به لب		در طراحی	در مونتاژ
(C) اتصال کنج		$R=+2, 0$	$+2, -3$
		$\alpha=+10^\circ, 0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
		$f=\pm 2$	نامحدود
		$r=+3, 0$	$+3, -0$

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده سازی درز				وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T1	T2	شکاف ریشه	زاویه شیاری	ضخامت ریشه	شعاع شیاری		
SMAW	B-U6	U	U	$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=45^\circ$	$f=3$	$r=6$	All	C,N
				$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=20^\circ$	$f=3$	$r=6$	F,OH	C,N
	C-U6	U	U	$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=45^\circ$	$f=3$	$r=6$	All	C,J,R
				$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=20^\circ$	$f=3$	$r=6$	F,OH	C,J,R
SMAW	B-U6-GF	U	U	$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=20^\circ$	$f=3$	$r=6$	All	A,C,N
	C-U6-GF	U	U	$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=20^\circ$	$f=3$	$r=6$	All	A,C,J,R

(7) جوش لاله ای دو طرفه	رواداری ها برای B-U7-GF و B-U7 در طراحی | در مونتاژ	رواداری ها برای B-U7-S	
(B) اتصال لب به لب		در طراحی	در مونتاژ
		$R=\pm 0$	$+2, -0$
	$\alpha=+10^\circ, 0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$	
	$f=+2, -0$	بدون محدودیت	± 2
	$f=+6, -0$	± 2	



فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده سازی درز				وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T1	T2	شکاف ریشه	زاویه شیاری	ضخامت ریشه	شعاع شیاری		
SMAW	B-U7	U	-	$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=45^\circ$	$f=3$	$r=6$	All	C,M,N
				$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=20^\circ$	$f=3$	$r=6$	F,OH	C,M,N
GMAW	B-U7-GF	U	-	$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=20^\circ$	$f=3$	$r=6$	All	A,C,M,N
SAW	B-U7-S	U	-	$R=0$	$\alpha=20^\circ$	$f=6\text{max}$	$r=6$	F	C,M,N

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه ها به میلی متر است)

جوش‌های شیاری با نفوذ کامل

جوش نیم‌لاله‌ای یکطرفه (8) اتصال لب به لب (14)	ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود	رواداری‌ها در طراحی $R = \pm 2, -0$ $\alpha = +10^\circ, -0^\circ$ $f = +2, -0$ $r = +6, -0$	در مونتاژ $+2, -3$ $+10^\circ, -5^\circ$ نامحدود ± 2

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز				وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شیار	ضخامت ریشه	شعاع شیار		
SMAW	B-U8	U	-	R=0 تا 3	$\alpha=45^\circ$	f=3	r=10	All	Br,C,N
GMAW	B-U8-GF	U	-	R=0 تا 3	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	All	A,Br,C,N

جوش نیم‌لاله‌ای یکطرفه (8) اتصال گونیا (T) اتصال کنج (C)	ریشه جوش از پشت برداشته و مجدداً با جوش پر شود	رواداری‌ها در طراحی $R = +2, -0$ $\alpha = +10^\circ, -0^\circ$ $f = +2, -0$ $r = +6, -0$	در مونتاژ $+2, -3$ $+10^\circ, -5^\circ$ بدون محدودیت ± 2

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز				وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شیار	ضخامت ریشه	شعاع شیار		
SMAW	TC-U8a	U	U	R=0 تا 3	$\alpha=45^\circ$	f=3	r=10	All	C,J,R,V
				R=0 تا 3	$\alpha=45^\circ$	f=3	r=10	F,OH	C,J,R,V
GMAW	B-U8a-GF	U	U	R=0 تا 3	$\alpha=45^\circ$	f=3	r=10	All	A,C,J,R,V

برای تذاکرات پیراهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است)

جوش‌های شیاری با نفوذ کامل

جوش نیم‌لانه‌ای دوطرفه (9) اتصال لب پهلپ (B)		ریشه جوش از پشت برداشته شده و مجدداً با جوش پر شود		رواداری‌ها					
				در طراحی	در مونتاژ				
		$R=±2$	$+2, -0$	$+2, -3$					
		$\alpha=+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$						
		$f=+2, -0$	نامحدود						
		$r=+3, -0$	± 2						
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز				وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شیاری	ضخامت ریشه	شعاع شیاری		
SMAW	B-U9	U	-	$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=45^\circ$	$f=3$	$r=10$	All	Br,C,M,N
GMAW	B-U9-GF	U		$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=30^\circ$	$f=3$	$r=10$	All	A,Br,C,M,N
جوش بی‌لانه‌ای دوطرفه (9) اتصال پیری (T) اتصال کنج (C)		ضخامت فلز مینا (نامحدود U)		رواداری‌ها					
				در طراحی	در مونتاژ				
		$R=+2$	$+2, -0$	$+2, -3$					
		$\alpha=+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$						
		$f=+2, -0$	نامحدود						
		$r=+3, -0$	$+2$						
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز				وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شیاری	ضخامت ریشه	شعاع شیاری		
SMAW	TC-U9a	U	U	$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=45^\circ$	$f=3$	$r=10$	All	C,J,M,R,V
SMAW	TC-U9a	U	U	$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=30^\circ$	$f=3$	$r=10$	F,OH	C,J,M,R,V
GMAW	B-U9a-GF	U	U	$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=30^\circ$	$f=3$	$r=10$	All	A,C,I,M,R,V

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است)

جوش‌های شیاری با نفوذ ناقص

فرآیند جوشکاری		مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز		وضعیت‌های مجاز جوشکاری	گلوگاه مؤثر (E)	تذکر	
			T ₁	T ₂	شکاف ریشه	رواداری‌ها در مونتاز/در طراحی				
(1) جوش شیاری ساده (B) اتصال لب به لب		B-P1a	3 max	-	R=0 تا 1.5	+2, -0 ± 2	All	T ₁ -1	B	
(1) جوش شیاری ساده (B) اتصال لب به لب		B-P1c	6 max	-	R= $\frac{T_1}{2}$ min	+2, -0 ± 2	All	$\frac{T_1}{2}$	B	
(2) جوش جناغی (B) اتصال لب به لب (C) اتصال کنج		BC-P2	6 min	U	R=0 f=1 min α=60°	0, +2 بدون محدودیت +10°, -0°	+3, -2 ± 2 +10°, -5°	All	S	B,E, Q2
(2) جوش جناغی (B) اتصال لب به لب (C) اتصال کنج		BC-P2-GF	6 min	U	R=0 f=3 min α=60°	0, +2 بدون محدودیت +10°, -0°	+3, -2 ± 2 +10°, -5°	All	S	A,B,E, Q2
(2) جوش جناغی (B) اتصال لب به لب (C) اتصال کنج		BC-P2-S	11 min	U	R=0 f=6 min α=60°	±0 بدون محدودیت +10°, -0°	+2, -0 ± 2 +10°, -5°	F	S	B,E, Q2

(تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است)

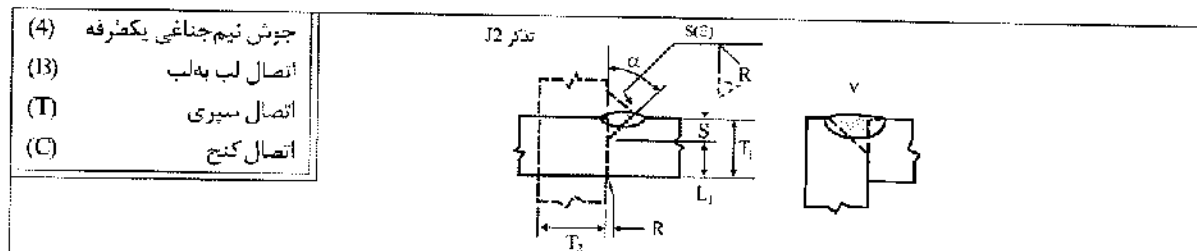
برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود

جوش های شیاری با نفوذ ناقص

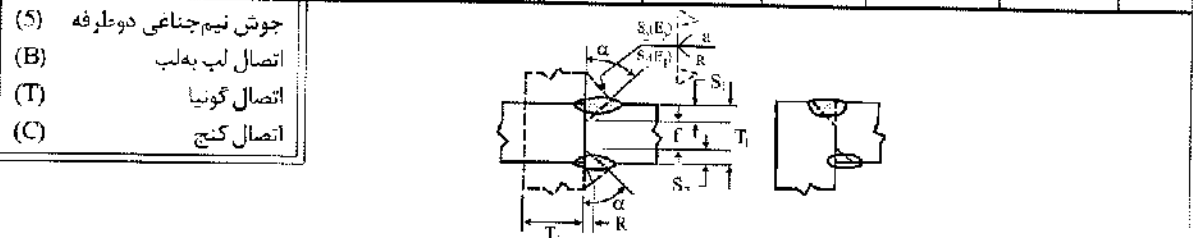
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود = U)		آماده سازی درز		وضعیت های مجاز جوشکاری	گلوگاه مؤثر (E)	تذکر	
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	رواداری ها				
				ضخامت ریشه زاویه شیاری	در طراحی				در مونتاژ
SMAW	B-P3	12 min	-	R=0 f=3 min $\alpha=60^\circ$	+2, -0 بدون محدودیت +10°, -0°	+3, -2 +2 +10°, -5°	All	S	E, Mp, Q2
GMAW	B-P3-GF	12 min	-	R=0 f=3 min $\alpha=60^\circ$	+2, -0 بدون محدودیت +10°, -0°	+3, -2 ± 2 +10°, -5°	All	S	A ₁ E, Mp, Q2
SAW	B-P3-S	20 min	-	R=0 f=6 min $\alpha=60^\circ$	± 0 بدون محدودیت +10°, -0°	+2, -0 ± 2 +10°, -5°	F	S	E, Mp, Q2

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه ها به میلی متر است)

جوش‌های شیار با نفوذ ناقص



فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود = U)		آماده‌سازی درز			وضعیت‌های مجاز جوشکاری	گلوگاه مؤثر (E)	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه ضخامت ریشه زاویه شیار	رواداری‌ها				
					در طراحی	در مونتاژ			
SMAW	BTC-P4	U	U	R=0 f=3 min $\alpha=45^\circ$	+2, -0 بدون محدودیت +10°, -0°	+3, -2 ± 2 +10°, -5°	All	S-3	B,E,J2 Q2,V
GMAW	BTC-P4-GF	6 min	U	R=0 f=3 min $\alpha=45^\circ$	+2, -0 بدون محدودیت +10°, 0°	+3, -2 ± 2 +10°, -5°	F,H V,OH	S S-3	A,B,E, J2,Q2, V
SAW	TC-P4-S	11 min	U	R=0 f=6 min $\alpha=60^\circ$	± 0 بدون محدودیت +10°, -0°	+2, -0 ± 2 +10°, 5°	F	S	B,E,J2 Q2,V



فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (U نامحدود = U)		آماده‌سازی درز			وضعیت‌های مجاز جوشکاری	گلوگاه مؤثر (E)	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه ضخامت ریشه زاویه شیار	رواداری‌ها				
					در طراحی	در مونتاژ			
SMAW	BTC-P5	8 min	U	R=0 f=3 min $\alpha=45^\circ$	+2, -0 بدون محدودیت +10°, -0°	+3, -2 ± 2 +10°, -5°	All	(S ₁ +S ₂) -6	E,J2, L,Mp, Q2,V
GMAW	BTC-P5-GF	12 min	U	R=0 f=3 min $\alpha=45^\circ$	+2, -0 بدون محدودیت +10°, -0°	+3, -2 ± 2 +10°, -5°	F,H V,OH	(S ₁ +S ₂) (S ₁ +S ₂) -6	A,E,J2, L,Mp Q2,V
SAW	TC-P5-S	20 min	U	R=0 f=6 min $\alpha=60^\circ$	± 0 بدون محدودیت +10°, -0°	+2, -0 ± 2 +10°, -5°	F	(S ₁ +S ₂)	E,J2, L,Mp, Q2,V

(تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است) برای تذکرات به راهنمای ابتدای حداقل مراجعه شود.

جوش های شیباری با نفوذ ناقص

تذکر		گلوگاه مؤثر (E)	وضعیت های مجاز جوشکاری	آماده سازی درز		ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		مشخصه اتصال	فرآیند جوشکاری			
				رواداری ها	شکاف ریشه	T ₁	T ₂					
				در مونتاز	در طراحی	ضخامت ریشه زاویه شیار						
				+2, -0	+3, -2	R=0 f=1 min r=6 $\alpha=45^\circ$	U	6 min	SMAW	BC-P6		B,E, Q2
				+2, -0	+3, -2	R=0 f=3 min r=6 $\alpha=20^\circ$	U	6 min	GMAW	BC-P6-GF		A,B, E,Q2
				+2, -0	+2, -0	R=0 f=6 min r=6 $\alpha=20^\circ$	U	11 min	SAW	BC-P6-S		B,E, Q2

تذکر		گلوگاه مؤثر (E)	وضعیت های مجاز جوشکاری	آماده سازی درز		ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		مشخصه اتصال	فرآیند جوشکاری			
				رواداری ها	شکاف ریشه	T ₁	T ₂					
				در مونتاز	در طراحی	ضخامت ریشه زاویه شیار						
				+2, -0	+3, -2	R=0 f=3 min r=6 $\alpha=45^\circ$	-	12 min	SMAW	B-P7		E ₁ ,Mp, Q2
				+2, -0	+3, -2	R=0 f=3 min r=6 $\alpha=20^\circ$	-	12 min	GMAW	B-P7-GF		A,E, Mp,Q2
				+2, 0	+2, -0	R=0 f=6 min r=6 $\alpha=20^\circ$	-	20 min	SAW	B-P7-S		E ₁ ,Mp, Q2

(تمام اندازه ها به میلی متر است)

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

جوش‌های شیاری با نفوذ ناقص

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز		وضعیت‌های مجاز جوشکاری	کلوکاه مؤثر (E)	تذکر	
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه ضخامت ریشه شعاع شیاری زاویه شیاری	رواداری‌ها				
					در طراحی				در مونتاژ
SMAW	B-P8*	6 min	U	R=0 f=3 min r=10 α=45°	+2, -0 بدون محدودیت ±2 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	All	S	E, J2, Q2, V
SMAW	TC-P8**	6 min	U	R=0 f=3 min r=10 α=30°	+2, -0 بدون محدودیت ±2 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	All	S	E, J2, Q2, V
GMAW	B-P8-GF*	6 min	U	R=0 f=3 min r=10 α=45°	+2, -0 بدون محدودیت ±2 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	All	S	A, E, J2, Q2, V
GMAW FCAW	TC-P8-GF**	6 min	U	R=0 f=3 min r=10 α=30°	+2, -0 بدون محدودیت ±2 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	All	S	A, E, J2, Q2, V
SAW	B-P8-S*	11 min	U	R=0 f=6 min r=12 α=45°	±0 بدون محدودیت +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S	E, J2, Q2, V
SAW	TC-P8-S**	11 min	U	R=0 f=6 min r=12 α=20°	±0 بدون محدودیت +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S	E, J2, Q2, V

* مربوط به جوش‌های کنج داخلی می‌شود.
 ** مربوط به جوش‌های کنج خارجی می‌شود.

(تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است)

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

جوش‌های شیاری با نفوذ ناقص

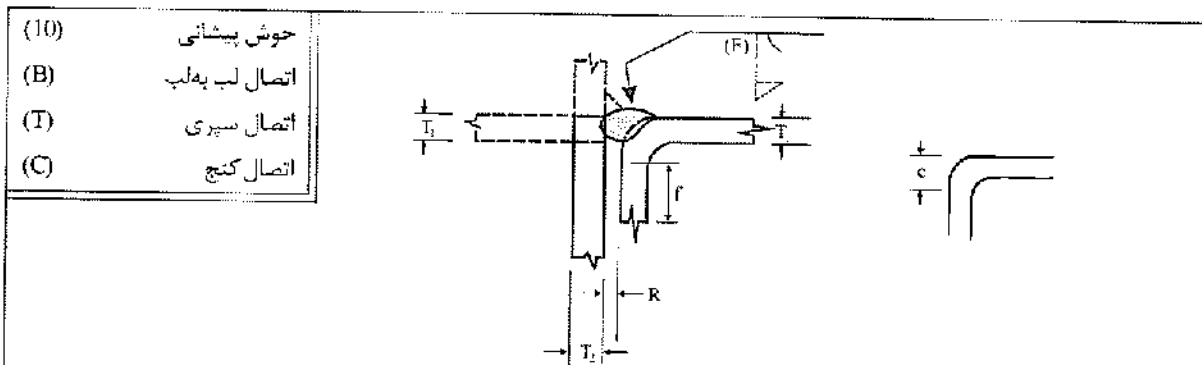
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود = U)		آماده‌سازی درز		وضعیت‌های مجاز جوشکاری	کلوکاه مؤثر (E)	تذکر	
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه ضخامت ریشه شعاع شیار زاویه شیار	رواداری‌ها				
					در طراحی				در مونتاژ
SMAW	BTC-P9*	12 min	U	R=0 f=3 min r=10 $\alpha=45^\circ$	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	All	S ₁ +S ₂	E, J2, Mp, Q2, V
GMAW	BTC-P9-GF*	6 min	U	R=0 f=3 min r=10 $\alpha=30^\circ$	+2, -0 بدون محدودیت ±2 +6, -0 +10°, 0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	All	S ₁ +S ₂	A, J2, Mp, Q2, V
SAW	B-P9-S	20 min	-	R=0 f=6 min r=12 $\alpha=20^\circ$	=0 بدون محدودیت ±2 +6, -0° +10°, -0°	+2, -0 +2 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	E, J2, Mp, Q2, V
SAW	TC-P9-S**	20 min	U	R=0 f=6 min r=12 $\alpha=20^\circ$	±0 بدون محدودیت ±2 +6, -0° +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	F, J2, Mp, Q2, V
SAW	TC-P9-S*	20 min	U	R=0 f=6 min r=12 $\alpha=45^\circ$	+0 بدون محدودیت ±2 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	E, J2, Mp, Q2

* مربوط به جوش‌های کنج داخلی می‌شود.
** مربوط به جوش‌های کنج خارجی می‌شود.

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

(تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است)

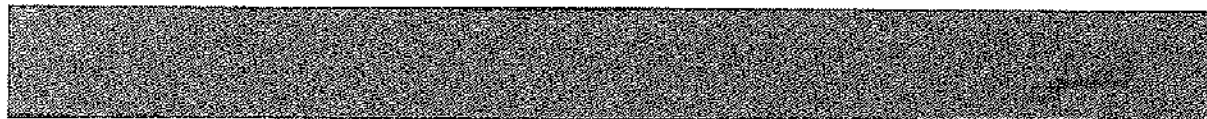
جوش‌های شیاری با نفوذ ناقص



فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)			آماده‌سازی درز		وضعیت‌های مجاز جوشکاری	گلوگاه مؤثر (E)	تذکر	
		T ₁	T ₂	T ₃	شکاف ریشه ضخامت ریشه شعاع خم	رواداری‌ها				
						در مونتاز				در طراحی
SMAW	BTC-P10	5 min	U	T ₁ min	R=0 f=5 min C= $\frac{3}{2}$ T ₁ min	+2, -0 بدون محدودیت -0, + محدود	+3, -2 +U, -2 -0, + محدود	All	$\frac{5}{8}$ T ₁	J2, Q2, Z
GMAW	BTC-P10-GF	5 min	U	T ₁ min	R=0 f=5 min C= $\frac{3}{2}$ T ₁ min	+2, -0 بدون محدودیت -0, + محدود	+3, -2 +U, -2 0, + محدود	All	$\frac{5}{8}$ T ₁	A, J2, Q2, Z
SAW	T-P10-S	12 min	12min	N/A	R=0 f=12 min C= $\frac{3}{2}$ T ₁ min	±0 بدون محدودیت -0, + محدود	+2, -5 +U, -2 -0, + محدود	F	$\frac{5}{8}$ T ₁	J2, Q2, Z

(تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است)

برای تذکرات به‌راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

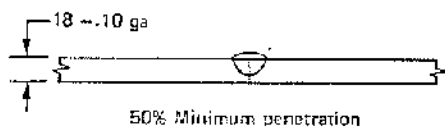


تعداد عبور ۱۳



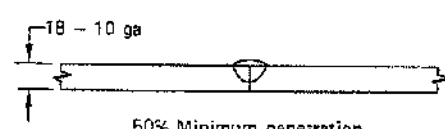
برای حصول جوش با اندازه مورد نظر، برحسب ضخامت ورق و اندازه جوش، تعداد عبور مشخصی لازم است. در جدول‌هایی که در این فصل ارائه می‌شوند، تعداد عبور استاندارد برای انواع مختلف جوش دستی نشان داده شده است. این تعداد عبور می‌تواند مبنای شروع خوبی برای تهیه دستورالعمل جوشکاری باشد و مورد استفاده قرار گیرد.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good Welded From: One side					
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)*
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class Size	E6010 3/32	E6010 1/8	E6010 1/8	E6010 5/32	E6010 3/16
Current (amp) DC(+)	40†	70†	80	120	135
Arc Speed (in./min)	22 – 26	30 – 35	25 – 30	20 – 24	17 – 21
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0244	0.0287	0.0262	0.0487	0.0695
Total Time (hr/ft of weld)	0.00833	0.00615	0.00727	0.00909	0.0105

* Use 1/16 in. gap and whip the electrode.
† DC(-)

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good Welded From: One side					
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)*
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class Size	E6011 3/32	E6011 1/8	E6011 1/8	E6011 5/32	E6011 3/16
Current (amp) AC	50	100	105	130	145
Arc Speed (in./min)	20 – 24	28 – 33	25 – 31	24 – 29	22 – 27
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0251	0.0326	0.0367	0.0527	0.0848
Total Time (hr/ft of weld)	0.00909	0.00656	0.00702	0.00755	0.00817

* Use 1/16 in. gap and whip the electrode.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Good Welded From: One side							
	Plate Thickness (in.)	5/16		3/8		1/2	
Pass	1	2	1	2 & 3	1	2	3
Electrode Class	E6011	E6027	E6011	E6027	E6011	E6011	E6027
Size	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32	1/4	1/4
Current (amp) AC	135	240	135	240	135	275	400
Arc Speed (in./min)	5.5-8.5	12.0-14.0	5.5-6.5	12.0-14.0	5.5-6.5	8.0-10.0	10.0-12.0
Electrode Req'd (lb/ft)	0.168	0.142	0.168	0.284	0.168	0.228	0.354
Total Time (hr/ft of weld)	0.0487		0.0641		0.0717		

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Good Welded From: One side						
	Plate Thickness (in.)	3/4			1	
Pass	1	2	3-6	1	2	3-10
Electrode Class	E6011	E6011	E6027	E6011	E6011	E6027
Size	5/32	1/4	1/4	5/32	1/4	1/4
Current (amp) AC	135	275	400	135	275	400
Arc Speed (in./min)	5.5-8.5	8.0-10.0	11.0-13.0	5.5-6.5	8.0-10.0	11.0-13.0
Electrode Req'd (lb/ft)	0.168	0.228	1.47	0.168	0.228	2.94
Total Time (hr/ft of weld)	0.122			0.189		

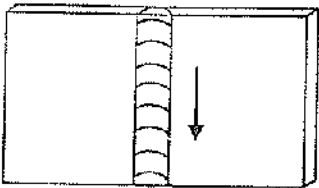
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good Welded From: One side						
Plate Thickness (in.)	5/16		3/8		1/2	
Pass	1	2-3	1	2-3	1	2-4
Electrode Class	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027
Size	3/16	1/4	3/16	1/4	3/16	1/4
Current (amp) AC	300	400	300	400	300	400
Arc Speed (in./min)	13.0-15.0	15.0-18.0	13.0-15.0	11.5-13.5	13.0-15.0	12.5-14.5
Electrode Req'd (lb/ft)	0.228	0.624	0.228	0.697	0.228	1.00
Total Time (hr/ft of weld)	0.0385		0.0463		0.0605	

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good Welded From: One side						
Plate Thickness (in.)	5/8		3/4		1	
Pass	1	2-5	1	2-6	1	2-8
Electrode Class	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027
Size	3/16	1/4	3/16	1/4	3/16	1/4
Current (amp) AC	300	400	300	400	300	400
Arc Speed (in./min)	13.0-15.0	12.5-14.5	13.0-15.0	12.5-14.5	13.0-15.0	12.5-14.5
Electrode Req'd (lb/ft)	0.228	1.35	0.228	1.69	0.228	2.37
Total Time (hr/ft of weld)	0.0759		0.0913		0.122	

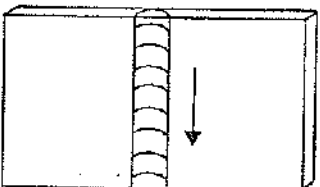
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical down Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good Welded From: One side	<p>18 - 10 ga</p>  <p>50% Minimum penetration</p>				
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)*
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010
Size	3/32	1/8	1/8	5/32	3/16
Current (amp) DC(+)	45†	75†	90	130	150
Arc Speed (in./min)	25 - 30	33 - 38	27 - 32	22 - 27	18 - 22
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0234	0.0281	0.0272	0.0478	0.0730
Total Time (hr/ft of weld)	0.00727	0.00555	0.00678	0.00817	0.00100

* Use 1/16 in. gap and whip the electrode.

† Use DC(-)

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical down Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good Welded From: One side	<p>18 - 10 ga</p>  <p>50% Minimum penetration</p>				
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)*
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6011	E6011	E6011	E6011	E6011
Size	3/32	1/8	1/8	5/32	3/16
Current (amp) AC	55	110	115	140	155
Arc Speed (in./min)	23 - 28	29 - 34	27 - 32	26 - 31	24 - 29
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0236	0.0345	0.0376	0.0523	0.0640
Total Time (hr/ft of weld)	0.00785	0.00636	0.00678	0.00703	0.00755

* Use 1/16 in. gap and whip the electrode.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical up Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Good Welded From: One side				
Plate Thickness (in.)	1/4	5/16	3/8	1/2
Pass	1 & 2	1 & 2	1 & 2	1 - 3
Electrode Class	E6010	E6010	E6010	E6010
Size	5/32	5/32	3/16	3/16
Current (amp) DC(+)	110	120	150	170
Arc Speed (in./min)*	5.2-5.8	3.8-4.2	4.8-5.3	3.8-4.2
Electrode Req'd (lb/ft)	0.323	0.440	0.586	0.990
Total Time (hr/ft of weld)	0.0901	0.118	0.130	0.152

* First pass only. Vary speed on succeeding passes to obtain proper weld size.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical up Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Good Welded From: One side			
Plate Thickness (in.)	5/8	3/4	1
Pass	1 - 4	1 - 6	1 - 10
Electrode Class	E6010	E6010	E6010
Size	3/16	3/16	3/16
Current (amp) DC(+)	170	170	170
Arc Speed (in./min)*	3.8 - 4.2	3.8 - 4.2	3.8 - 4.2
Electrode Req'd (lb/ft)	1.48	2.08	3.56
Total Time (hr/ft of weld)	0.228	0.318	0.547

* First pass only. Vary speed on succeeding passes to obtain proper weld size.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical up Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Fair Welded From: One side								
	Plate Thickness (in.)	3/8		1/2		3/4		1
Pass	1	2	1	2-3	1	2-7	1	2-11
Electrode Class	E6010	E7018	E6010	E7018	E6010	E7018	E6010	E7018
Size	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32
Current (amp) DC(+)	160	160	160	160	160	160	160	160
Arc Speed (in./min)	4.3-4.7	3.2-3.5*	4.3-4.7	3.2-3.5*	4.3-4.7	3.2-3.5*	4.3-4.7	3.2-3.5*
Electrode Req'd (lb/ft)	0.281	0.341	0.281	0.758	0.281	1.93	0.281	3.52
Total Time (hr/ft of weld)	0.104		0.175		0.381		0.659	

* Second pass only. Vary speed on succeeding passes to obtain proper weld size.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical up Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Good Welded From: Two sides								
	Plate Thickness (in.)	3/4		1		1-1/4		1-1/2
Pass	1	2-5	1	2-7	1	2-7	1	2-9
Electrode Class	E6010	E7018	E6010	E7018	E6010	E7018	E6010	E7018
Size	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32
Current (amp) DC(+)	140	160	140	160	140	160	140	160
Arc Speed (in./min)	3.5-4.1	4.1-4.9	3.5-4.1	3.5-4.1	3.9-4.1	2.3-2.9	3.5-4.1	2.4-3.6
Electrode Req'd (lb/ft)	0.240	0.900	0.240	1.66	0.240	2.40	0.240	3.16
Total Time (hr/ft of weld)	0.230		0.367		0.514		0.645	

Scrape out seam for first pass on second side.

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Fair Welded From: One side								
Plate Thickness (in.)	3/8		1/2		5/8		3/4	
Pass	1	2-5	1	2-7	1	2-9	1	2-11
Electrode Class	E7018		E7018		E7018		E7018	
Size (in.)	3/16		3/16		3/16		3/16	
Current (amp) DC(+)	240		240		240		240	
Arc Speed (in./min)	4.5-5.5	8.5-9.5	4.5-5.5	7.5-8.5	4.5-5.5	6.7-7.4	5.5-6.5	6.2-6.8
Electrode Req'd (lb/ft)	0.867		1.35		1.75		2.42	
Total Time (hr/ft of weld)	0.118		0.182		0.270		0.345	

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Fair Welded From: One side								
Plate Thickness (in.)	1*		1		1-1/4		1-1/2	
Pass	1*	2-13	14-19†	2-17	18-24†	2-22	23-31†	
Electrode Class	E7018		E7018		E7018		E7018	
Size (in.)	3/16	7/32	3/16	7/32	3/16	7/32	3/16	
Current (amp) DC(+)	240	280	240	280	240	280	240	
Arc Speed (in./min)	5-6	6.2-6.8	9.5-10.5	5.7-6.3	9.5-10.5	6.2-6.8	9.5-10.5	
Electrode Req'd (lb/ft)		3.39	9.94	4.82	1.23	6.40	1.60	
Total Time (hr/ft of weld)		0.526		.714		1.00		

* First pass for all thicknesses
† Cover passes.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Fair Welded From: Two sides								
Plate Thickness (in.)	3/4		1		1-1/4		1-1/2	
Pass	1	2 - 6	1	2 - 10	1	2 - 10	1	2 - 12
Electrode Class	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018
Size	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16
Current (amp) DC(+)	240	240	240	240	240	240	240	240
Arc Speed (in./min)	5.5-6.5	9.0-11.0	4.4-6.2	8.5-10.5	3.8-4.6	5.5-6.5	3.7-4.3	4.6-5.4
Electrode Req'd (lb/ft)	0.956		1.47		2.00		3.84	
Total Time (hr/ft of weld)	0.133		0.230		0.347		0.490	

Fill first pass side. Back gouge as required before welding second side.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Fair Welded From: One side					
Plate Thickness (in.)		3/4	1	1-1/4	1-1/2
Pass	1*	2 - 3	2 - 5	2 - 5	2 - 6
Electrode Class	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018
Size (in.)	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16
Current (amp) DC(+)	240	240	240	240	240
Arc Speed (in./min)	4.0-6.0	9.5-10.5	9.0-10.0	5.7-6.3	4.7-5.3
Electrode Req'd (lb/ft)		0.470	0.740	1.80	1.92
Total Time (hr/ft of weld)		0.0800	0.116	0.178	0.250

* First pass for all thicknesses.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Overhead
Weld Quality Level: Code
Steel Weldability: Fair
Welded From: One side

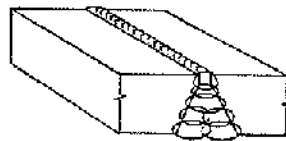
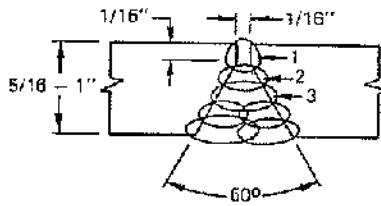
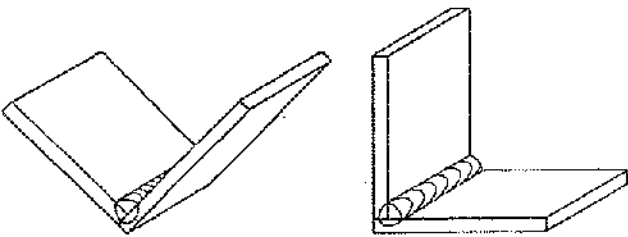


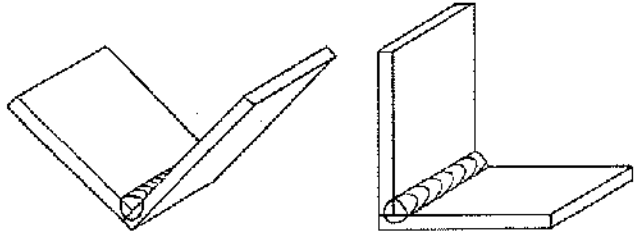
Plate Thickness (in.)	5/16		3/8		1/2		3/4		1	
Pass	1	2	1	2-3	1	2-5	1	2-9	1	2-13
Electrode Class	E6010	E7018	E6010	E7018	E6010	E7018	E6010	E7018	E6010	E7018
Electrode Size	1/8	5/32	1/8	5/32	1/8	5/32	1/8	5/32	1/8	5/32
Current (amp) DC(+)	110	170	110	170	110	170	110	170	110	170
Arc Speed (in./min)	4.3 - 4.7	3.4 - 3.8	4.3 - 4.7	3.3 - 3.7	4.3 - 4.7	3.5 - 4.0	4.3 - 4.7	4.3 - 4.7	4.3 - 4.7	3.5 - 4.0
Electrode Req'd (lb/ft)	0.155	0.327	0.155	0.671	0.155	0.918	0.155	2.08	0.155	3.70
Total Time (hr/ft of weld)	0.0999		0.153		0.202		0.399		0.575	

Spit layers after third pass, as shown in sketch.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat and horizontal Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good	 <p style="text-align: center;">18 - 10 ga</p>				
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6013	E6012	E6012	E6012	E6012
Size	3/32	1/8	5/32	3/16	3/16
Current (amp) DC(-)	70	95	140	190	200
Arc Speed (in./min)	14 - 18	15 - 19	16 - 20	20 - 24	15 - 20
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0413	0.0583	0.0848	0.0865	0.112
Total Time (hr/ft of weld)	0.0125	0.0118	0.0111	0.00910	0.0111

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat and horizontal Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good	 <p style="text-align: center;">18 - 10 ga</p>				
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6013	E6013	E6013	E6013	E6013
Size	3/32	1/8	5/32	5/32	3/16
Current (amp) AC	70	105	155	160	210
Arc Speed (in./min)	14 - 18	14 - 18	15 - 19	14 - 18	14 - 18
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0413	0.0495	0.0670	0.0742	0.0925
Total Time (hr/ft of weld)	0.0125	0.0125	0.0118	0.0125	0.0125

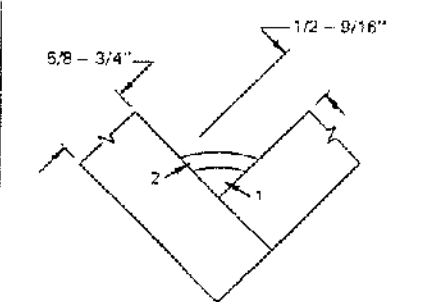
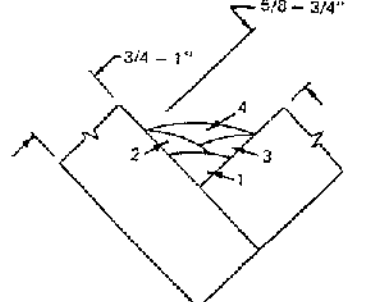
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good							
Weld Size, L (in.)							
Plate Thickness (in.)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)	3/16		1/4	
Pass	1	1	1	1	1	1	1
Electrode Class	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024
Size	3/32	1/8	1/8	1/8	5/32	5/32	3/16
Current (amp) AC	95	150	160	180	210	230	270
Arc Speed (in./min)	14.5-16.0	16.5-18.5	16.5-18.5	15.0-16.5	16.0-18.0	14.0-15.5	15.5-17.5
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0485	0.0760	0.0822	0.102	0.117	0.144	0.162
Total Time (hr/ft of weld)	0.0131	0.0114	0.0114	0.0127	0.0117	0.0136	0.0121

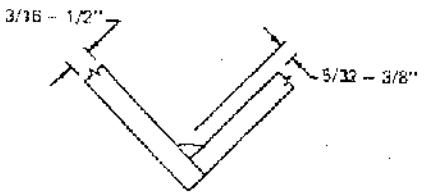
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good					
Weld Size, L (in.)	1/4					1/4	9/32	5/16	3/8
Plate Thickness (in.)	5/16		3/8		
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024
Size	3/16	7/32	1/4	1/4	5/16
Current (amp) AC	275	325	375	375	475
Arc Speed (in./min)	14.0-16.0	16.0-18.0	17.0-19.0	14.0-15.0	11.0-12.0
Electrode Req'd (lb/ft)	0.19	0.20	0.22	0.29	0.38
Total Time (hr/ft of weld)	0.0133	0.0118	0.0131	0.138	0.174

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Weldability: Good								
	Weld Size, L (in.)	1/2		9/16		5/8		3/4
Plate Thickness (in.)	5/8		3/4		3/4		1	
Pass	1	2	1	2	1	2 & 3	1	2-4
Electrode Class	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024
Size	5/16	5/16	5/16	5/16	5/16	5/16	5/16	5/16
Current (amp) AC	475	550	475	550	475	550	475	550
Arc Speed (in./min)	13.0-15.0	14.0-16.0	13.0-15.0	10.0-11.0	13.0-15.0	14.0-15.0	13.0-15.0	13.0-14.0
Electrode Req'd (lb/ft)	0.67		0.85		1.07		1.46	
Total Time (hr/ft of weld)	0.0276		0.0333		0.0429		0.507	

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good					
	Weld Size, L (in.)	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8 ID
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E7014	E7014	E7014	E7014	E7014
Size	5/32	3/16	7/32	1/4	5/16
Current (amp) AC	200	250	310	370	450
Arc Speed (in./min)	12.5-13.5	12.0-13.0	11.0-12.0	9.0-10.0	7.5-8.5
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0980	0.121	0.157	0.270	0.375
Total Time (hr/ft of weld)	0.0154	0.0160	0.0174	0.0211	0.0250

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Good								
Weld Size, L (in.)	5/32	3/16		1/4		9/32	5/16	3/8
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4		5/16		3/8		1/2
Pass	1	1	1	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027
Size	5/32	5/32	3/16	3/16	7/32	1/4	1/4	1/4
Current (amp) AC	210	220	260	270	335	380	390	400
Arc Speed (in./min)	15.5-17.0	13.5-15.0	15.5-17.0	12.5-14.0	14.5-16.0	14.0-15.5	11.0-12.0	9.5-10.5
Electrode Req'd (lb/ft)	0.119	0.146	0.167	0.215	0.228	0.269	0.343	0.428
Total Time (hr/ft of weld)	0.0123	0.0140	0.0123	0.0151	0.0131	0.0136	0.0174	0.0200

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Good								
Weld Size, L (in.)	1/2		9/16		5/8		3/4	
Plate Thickness (in.)	5/8		3/4		3/4		1	
Pass	1	2	1	2	1	2 & 3	1	2 - 4
Electrode Class	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027	E6027
Size	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4
Current (amp) AC	400	400	400	400	400	400	400	400
Arc Speed (in./min)	11.5-12.5	11.5-12.5	11.5-12.5	7.5-8.5	11.5-12.5	11.0-12.0	11.5-12.5	10.0-11.0
Electrode Req'd (lb/ft)	0.727		0.935		1.12		1.58	
Total Time (hr/ft of weld)	0.0333		0.0417		0.512		0.0737	

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Poor					
Weld Size, L (in.)	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E7028	E7028	E7028	E7028	E7028
Size	5/32	3/16	3/16	7/32	1/4
Current (amp) AC	215	260	280	330	400
Arc Speed (in./min)	13.5-15.0	13.5-15.0	11.0-12.0	10.0-12.0	8.5-9.5
Electrode Req'd (lb/ft)	0.104	0.147	0.208	0.285	0.437
Total Time (hr/ft of weld)	0.0140	0.0140	0.0175	0.0175	0.222

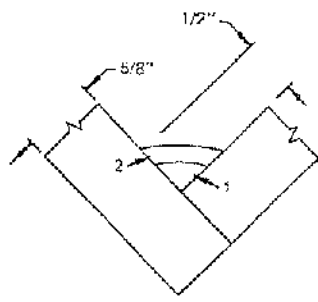
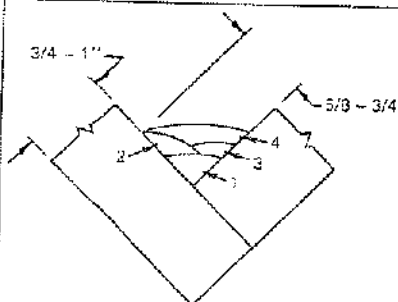
Preheat may be necessary depending on plate material.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Poor					
Weld Size, L (in.)	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018
Size	3/16	7/32	7/32	1/4	1/4
Current (amp) AC	240	275	275	350	350
Arc Speed (in./min)	13.5-15.0	13.0-14.0	9.0-10.0	7.0-8.0	6.0-6.8
Electrode Req'd (lb/ft)	0.109	0.132	0.195	0.272	0.409
Total Time (hr/ft of weld)	0.0140	0.0149	0.0202	0.0270	0.0313

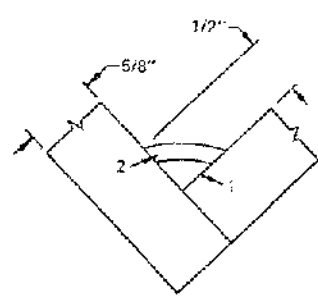
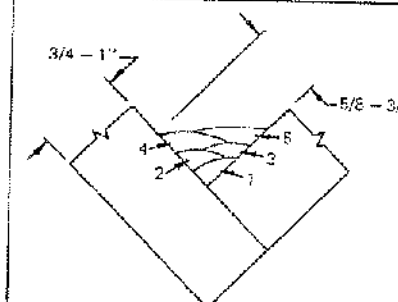
Preheat may be necessary depending on plate material.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Poor			
Weld Size, L (in.)	1/2	5/8	3/4
Plate Thickness (in.)	5/8	3/4	1
Pass	1 & 2	1 - 3	1 - 4
Electrode Class	E7028	E7028	E7028
Size	1/4	1/4	1/4
Current (amp) AC	400	400	400
Arc Speed (in./min)	9.5 - 11.5	9.0 - 11.0	9.0 - 11.0
Electrode Req'd (lb/ft)	0.776	1.24	1.79
Total Time (hr/ft of weld)	0.0384	0.0615	0.0887

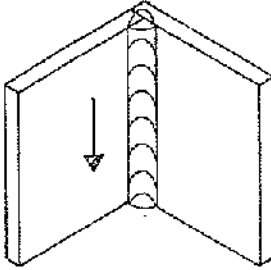
Preheat may be necessary depending on plate material.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

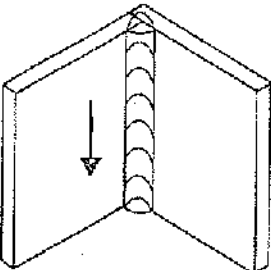
Position: Flat Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Poor			
Weld Size, L (in.)	1/2	5/8	3/4
Plate Thickness (in.)	5/8	3/4	1
Pass	1 & 2	1 - 4	1 - 5
Electrode Class	E7018	E7018	E7018
Size	1/4	1/4	1/4
Current (amp) AC	350	350	350
Arc Speed (in./min)	6.9 - 7.6	6.7 - 7.5	6.6 - 7.4
Electrode Req'd (lb/ft)	0.727	1.14	1.50
Total Time (hr/ft of weld)	0.0555	0.114	0.123

Preheat may be necessary depending on plate material.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical down Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good	 <p>18 - 10 ga</p>				
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6013	E6012	E6012	E6012	E6012
Electrode Size	3/32	1/8	5/32	3/16	3/16
Current (amp) DC(-)	70	105	150	200	210
Arc Speed (in./min)	17 - 21	18 - 22	21 - 25	23 - 28	21 - 25
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0374	0.0542	0.0713	0.0792	0.0830
Total Time (hr/ft of weld)	0.0105	0.0100	0.00870	0.00785	0.00870

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical down Quality: Commercial Weldability: Good	 <p>18 - 10 ga</p>				
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6013	E6013	E6013	E6013	E6013
Electrode Size	3/32	1/8	5/32	5/32	3/16
Current (amp) AC	75	115	165	170	225
Arc Speed (in./min)	16 - 20	17 - 21	19 - 23	16 - 22	16 - 20
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0418	0.0463	0.0583	0.0636	0.0815
Total Time (hr/ft of weld)	0.0111	0.0105	0.00953	0.0100	0.0111

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Good								
Weld Size, L (in.)	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	1
Pass	1	1	1	1	1	1-2	1-3	1-4
Electrode Class	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010
Size	5/32	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16
Current (amp) DC(+)	120	150	155	155	155	160	160	160
Arc Speed (in./min)	10.5-11.5	7.4-8.2	5.0-5.5	3.0-3.3	2.0-2.2	4.3-4.7*	4.3-4.7*	4.3-4.7*
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0712	0.137	0.211	0.346	0.514	0.850	1.31	1.93
Total Time (hr/ft of weld)	0.0182	0.0256	0.0381	0.0636	0.0952	0.147	0.227	0.333
Direction of welding	Down	Up	Up	Up	Up	Up	Up	Up

* First pass only. Vary speed on succeeding passes to obtain proper weld size.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Fair								
Weld Size, L (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	
Plate Thickness (in.)	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	1	
Pass	1	1	1	1	1	1-2	1-3	
Electrode Class	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018	
Size	1/8	1/8	1/8	5/32	5/32	5/32	5/32	
Current (amp) DC(+)	135	140	140	150	150	150	150	
Arc Speed (in./min)	5.4-5.8	3.8-4.2	2.3-2.5	1.8-2.0	1.1-1.3	1.9-2.1*	1.9-2.1*	
Electrode Req'd (lb/ft)	0.155	0.231	0.371	0.556	0.925	1.41	2.11	
Total Time (hr/ft of weld)	0.0357	0.0500	0.0833	0.105	0.167	0.261	0.389	

* First pass only. Vary speed on succeeding passes to obtain proper size.

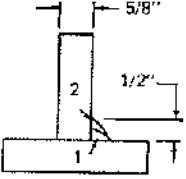
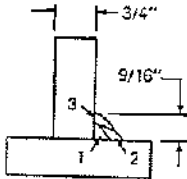
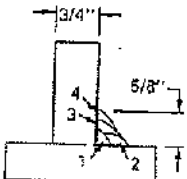
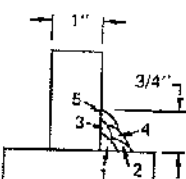
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good					
Weld Size, L (in.)					5/32
Plate Thickness (in.)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)	3/16	
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024
Size	3/32	1/8	1/8	1/8	5/32
Current (amp) AC	95	150	160	180	210
Arc Speed (in./min)	14.0-16.0	16.0-18.5	16.0-18.5	14.5-16.5	15.5-18.0
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0495	0.0770	0.0833	0.104	0.119
Total Time (hr/ft of weld)	0.0133	0.0116	0.0116	0.0129	0.0119

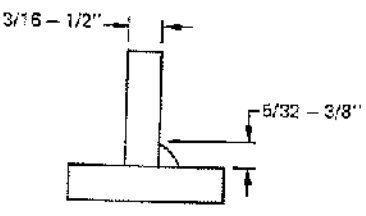
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good							
Weld Size, L (in.)	3/16		1/4		5/32	5/16	3/8
Plate Thickness (in.)	1/4		5/16		3/8		1/2
Pass	1	1	1	1	1	1	1
Electrode Class	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024
Size	5/32	3/16	3/16	7/32	1/4	1/4	1/4
Current (amp) AC	230	270	275	325	375	375	375
Arc Speed (in./min)	13.5-15.0	15.0-17.0	14.0-15.0	16.0-18.0	16.0-18.0	13.0-14.0	10.5-11.5
Electrode Req'd (lb/ft)	0.150	0.165	0.20	0.21	0.23	0.30	0.41
Total Time (hr/ft of weld)	0.0141	0.0125	0.0138	0.0118	0.0118	0.0148	0.0182

جوشکاری دستی با الکتروود روکش‌دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good										
	Weld Size, L (in.)	1/2		9/16		5/8		3/4		
Plate Thickness (in.)	5/8		3/4		3/4		1			
Pass	1	2 & 3		1	2 & 3		1	2 - 5		
Electrode Class	E7024		E7024		E7024		E7024		E7024	
Size	1/4	1/4		1/4	1/4		1/4	1/4		
Current (amp) AC	375	375		375	375		375	375		
Arc Speed (in./min)	10.5-11.5	11.0-12.0		10.5-11.5	14.0-16.0		10.5-11.5	12.0-13.0		
Electrode Req'd (lb/ft)	0.73		0.92		1.15		1.62			
Total Time (hr/ft of weld)	0.0356		0.0449		0.0582		0.0622			

جوشکاری دستی با الکتروود روکش‌دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Good								
	Weld Size, L (in.)	5/32	3/16		1/4		9/32	5/16	3/8
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4		5/16		3/8		
Pass	1	1	1	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6027							
Size	5/32	5/32	3/16	3/16	7/32	7/32	7/32	1/4
Current (amp) AC	210	220	250	260	320	325	335	360
Arc Speed (in./min)	14.5-16.0	13.0-14.5	14.5-16.0	11.5-12.5	13.0-14.5	11.5-12.5	9.5-10.5	7.5-8.5
Electrode Req'd (lb/ft)	0.128	0.151	0.173	0.224	0.241	0.281	0.356	0.463
Total Time (hr/ft of weld)	0.0131	0.0145	0.0137	0.0167	0.0145	0.0187	0.0200	0.0250

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Poor						
	Weld Size, L (in.)	5/32	3/16	1/4	5/16	5/16
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4	5/16	5/16	3/8	
Pass	1	1	1	1	1	
Electrode Class	E7028	E7028	E7028	E7028	E7028	
Size	5/32	3/16	3/16	7/32	7/32	
Current (amp) AC	215	260	280	335	335	
Arc Speed (in./min)	12.5-13.5	11.5-12.5	9.5-10.5	12.0-13.0	9.5-10.5	
Electrode Req'd (lb/ft)	0.112	0.157	0.235	0.236	0.320	
Total Time (hr/ft of weld)	0.0152	0.0167	0.0200	0.0160	0.0167	

Preheat may be necessary depending on plate material.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Poor					
	Weld Size, L (in.)	3/8*	3/8	1/2	5/8	3/4
Plate Thickness (in.)	1/2	1/2	5/8	3/4	1
Pass	1	1 - 2	1 - 2	1 - 3	1 - 4
Electrode Class	E7028	E7028	E7028	E7028	E7028
Size	1/4	7/32	1/4	1/4	1/4
Current (amp) AC	390	335	390	390	390
Arc Speed (in./min)	7.5 - 8.5	11.5 - 12.5	9.0 - 10.0	9.0 - 10.0	8.0 - 9.0
Electrode Req'd (lb/ft)	0.483	0.483	0.819	1.28	1.82
Total Time (hr/ft of weld)	0.0250	0.0333	0.0422	0.0633	0.0940

Preheat may be necessary depending on plate material.

* May not be full 3/8 in. on the vertical leg.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Poor				
Weld Size, L (in.)	5/32	3/16	1/4	5/16
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8
Pass	1	1	1	1
Electrode Class	E7018	E7018	E7018	E7018
Size	3/16	7/32	7/32	1/4
Current (amp) AC	240	275	275	350
Arc Speed (in./min)	12.5 - 13.5	11.0 - 12.0	8.5 - 9.5	6.5 - 7.5
Electrode Req'd (lb/ft)	0.111	0.140	0.203	0.335
Total Time (hr/ft of weld)	0.0154	0.0174	0.0222	0.0286

Preheat may be necessary depending on plate material.

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Poor				
Weld Size, L (in.)	3/8	1/2	5/8	3/4
Plate Thickness (in.)	1/2	5/8	3/4	1
Pass	1 & 2	1 - 3	1 - 4	1 - 5
Electrode Class	E7018	E7018	E7018	E7018
Size	1/4	1/4	1/4	1/4
Current (amp) AC	350	350	350	350
Arc Speed (in./min)	9.5 - 11.5	9.5 - 10.5	8.0 - 9.0	7.0 - 8.0
Electrode Req'd (lb/ft)	0.490	0.795	1.18	1.62
Total Time (hr/ft of weld)	0.0390	0.0600	0.0940	0.133

Preheat may be necessary depending on plate material.

جوشکاری دستی با الکترود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good					
Weld Size, L (in.)	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E7014	E7014	E7014	E7014	E7014
Size	5/32	3/16	7/32	1/4	5/16
Current (amp) AC	200	250	310	370	450
Arc Speed (in./min)	10.5-11.5	11.5-12.5	11.0-12.0	9.0-10.0	7.0-8.0
Electrode Req'd (lb/ft)	0.128	0.127	0.191	0.270	0.388
Total Time (hr/ft of weld)	0.0182	0.0167	0.0174	0.0211	0.0267

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Overhead Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Good								
Weld Size, L (in.)	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	1
Pass	1	1	1	1-2	1-3	1-6	1-10	1-15
Electrode Class	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010
Size	5/32	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16
Current (amp) DC(+)	130	170	170	170	170	170	170	170
Arc Speed (in./min)*	7.0-7.7	8.5-9.4	4.9-5.3	6.6-7.3	6.6-7.3	6.6-7.3	6.6-7.3	6.6-7.3
Electrode Req'd (lb/ft)	0.100	0.145	0.253	0.369	0.532	0.945	1.48	2.13
Total Time (hr/ft of weld)	0.0272	0.0223	0.0396	0.0567	0.0820	0.145	0.228	0.328

On 1/2 in. plate and thicker, place the first pass of each layer on the top plate.

* First pass only. Vary speed on succeeding passes to obtain proper weld size.

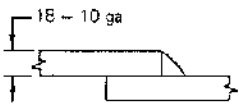
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Overhead Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Fair								
Weld Size, L (in.)	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	1
Pass	1	1	1-2	1-3	1-4	1-6	1-10	1-15
Electrode Class	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018
Size	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32
Current (amp) DC(+)	170	170	170	170	170	170	170	170
Arc Speed (in./min)*	10.5-11.5	7.2-8.0	8.2-9.1	9.2-9.1	8.5-9.4	7.0-7.7	7.2-8.0	8.1-8.9
Electrode Req'd (lb/ft)	0.107	0.156	0.277	0.394	0.570	1.01	1.59	2.29
Total Time (hr/ft of weld)	0.0182	0.0264	0.0463	0.0670	0.0967	0.172	0.269	0.388


On 3/8 in. plate and thicker place the first pass of each layer on the top plate.

* First pass only. Vary succeeding passes to obtain proper weld size.

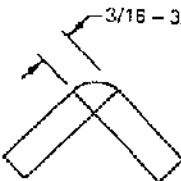
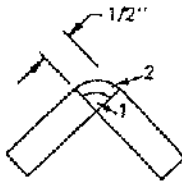
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good					
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6013	E6012	E6012	E6012	E6012
Size	3/32	1/8	5/32	3/16	3/16
Current (amp) DC (-)	70	105	145	200	210
Arc Speed (in./min)	19 - 23	21 - 20	20 - 24	18 - 22	14 - 18
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0339	0.0427	0.0717	0.101	0.134
Total Time (hr/ft of weld)	0.00853	0.00851	0.00910	0.0700	0.0125

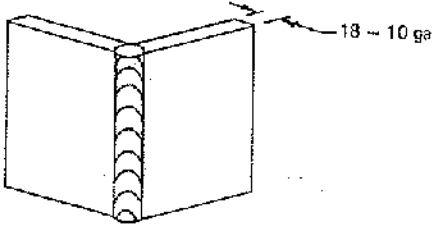
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Horizontal Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good									
Weld Size, L (in.)						3/16	1/4	5/16	
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)	3/16	1/4	5/16	
Pass	1	1	1	1	1	1	1	1	
Electrode Class	E6013	E6013	E6013	E6013	E6013	E7024	E7024	E7024	
Size	3/32	1/8	5/32	5/32	3/16	3/16	7/32	7/32	
Current (amp) AC	75	115	160	165	215	290	360	360	
Arc Speed (in./min)	15 - 19	16 - 20	16 - 20	14 - 16	13 - 17	14 - 17	14 - 16	12 - 14	
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0389	0.0490	0.0667	0.0773	0.103	0.170	0.211	0.253	
Total Time (hr/ft of weld)	0.0118	0.0111	0.0111	0.0125	0.0133	0.0129	0.0133	0.0155	

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

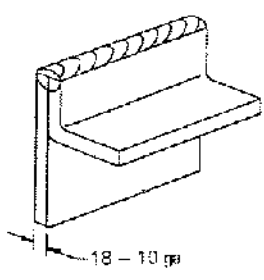
Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good Welded From: One side					
	Weld Size, L (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2
Pass	1	1	1	1	1 & 2
Electrode Class	E7024	E7024	E7024	E7024	E7024
Size	3/16	7/32	7/32	1/4	1/4
Current (amp) AC	250	320	360	400	410
Arc Speed (in./min)	21.0 - 25.0	18.0 - 22.0	14.5 - 17.5	13.0 - 16.0	11.5 - 14.5
Electrode Req'd (lb/ft)	0.101	0.133	0.198	0.240	0.530
Total Time (hr/ft of weld)	0.00870	0.0100	0.0125	0.0139	0.0308

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

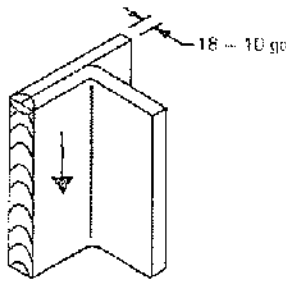
Position: Vertical down Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good Welded From: One side					
	Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010
Size	3/32	1/8	1/8	5/32	3/16
Current (amp) DC(-)	50	90	95	120	170*
Arc Speed (in./min)	35 - 40	40 - 45	40 - 45	37 - 42	33 - 38
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0184	0.0278	0.0293	0.0435	0.0461
Total Time (hr/ft of weld)	0.00533	0.00471	0.00471	0.00507	0.00563

* DC(+)

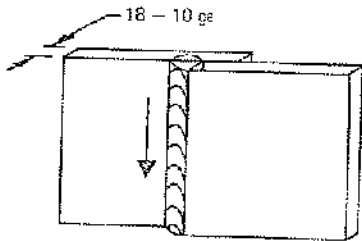
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good					
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010
Size	3/32	1/8	1/8	5/32	3/16
Current (amp) DC(—)	50	80	85	115	140
Arc Speed (in./min)	45 – 50	43 – 48	40 – 45	40 – 45	37 – 42
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0145	0.0232	0.0263	0.0382	0.0476
Total Time (hr/ft of weld)	0.00421	0.00439	0.00471	0.00471	0.00505

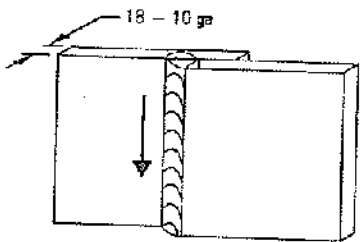
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical down Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good					
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010
Size	3/32	1/8	1/8	5/32	3/16
Current (amp) DC(—)	55	90	95	125	155
Arc Speed (in./min)	53 – 58	50 – 55	47 – 52	47 – 52	43 – 48
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0141	0.0225	0.0251	0.0358	0.0473
Total Time (hr/ft of weld)	0.00361	0.00381	0.00404	0.00404	0.00439

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical down Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good					
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6013	E6012	E6012	E6012	E6012
Size	3/32	1/8	5/32	3/16	3/16
Current (amp) DC(-)	75	115	155	210	220
Arc Speed (in./min)	22 - 27	27 - 32	27 - 32	25 - 30	22 - 27
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0316	0.0375	0.0576	0.0781	0.0930
Total Time (hr/ft of weld)	0.00817	0.00678	0.00678	0.00728	0.00817

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Vertical down Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good					
Plate Thickness (in.)	0.048 (18 ga)	0.060 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6013	E6013	E6013	E6013	E6013
Size	3/32	1/8	5/32	5/32	3/16
Current (amp) AC	85	125	170	175	225
Arc Speed (in./min)	19 - 23	20 - 24	21 - 26	19 - 23	16 - 20
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0358	0.0444	0.0546	0.0631	0.0922
Total Time (hr/ft of weld)	0.00953	0.00910	0.00850	0.00953	0.0111

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good Welded From: One side					
Plate Thickness (in.)	0.040 (16 ga)	0.050 (16 ga)	0.075 (14 ga)	0.105 (12 ga)	0.135 (10 ga)
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E6010	E6010	E6010	E6010	E6010
Size	3/32	1/8	1/8	5/32	3/16
Current (amp) DC(-)	45	80	85	110	155*
Arc Speed (in./min)	30 - 35	35 - 40	35 - 40	33 - 38	27 - 32
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0197	0.0282	0.0300	0.0432	0.0505
Total Time (hr/ft of weld)	0.00616	0.00533	0.00533	0.00563	0.00578

* Use DC(-)

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good Welded From: One side					
Weld Size, L (in.)	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Plate Thickness (in.)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2
Pass	1	1	1	1	1
Electrode Class	E7024	E7024	E7024	E7C24	E7024
Size	5/32	3/16	7/32	7/32	1/4
Current (amp) AC	215	275	350	360	410
Arc Speed (in./min)	22.0-27.0	19.0-23.0	18.5-22.5	16.5-19.5	14 - 17
Electrode Req'd (lb/ft)	0.0750	0.114	0.152	0.175	0.250
Total Time (hr/ft of weld)	0.00820	0.00952	0.00975	0.0111	0.0130

جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Position: Flat Weld Quality Level: Commercial Steel Weldability: Good						
Plate Thickness (in.)	3/16						5/16	3/8	1/2	3/4	1
Electrode Class	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018	E7018
Electrode Size	1/8	3/16	3/16	7/32	1/4	1/4
Current (amp) AC	140	250	250	300	350	350
Arc Speed (in./min)						
Electrode Req'd*	0.0154	0.0440	0.0342	0.113	0.300	0.605
Total Time* (hr)	0.00417	0.00500	0.00731	0.0118	0.0235	0.0475

Weld with spiral motion and continue as long as slag can be kept molten or until the weld is completed.

* Per weld

† Thickness of the weld may be reduced to 5/8 inch per AWS Structural Welding Code 2.8.8.

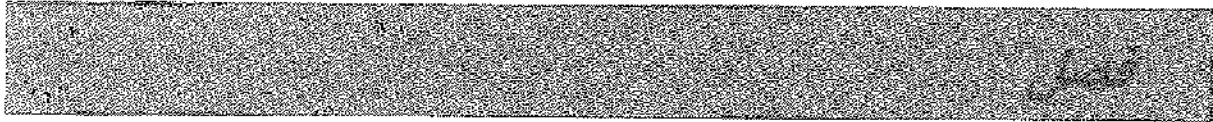
جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

Special Procedures for ASTM A203 and A537 Steels

Position: Flat Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Poor Welded From: Two sides					
	Plate Thickness (in.)	5/16		3/8	
Pass	1 & 2	3 & 4*	1 - 3	4 - 6*	
Electrode Class†					
Size	5/32	5/32	5/32	5/32	
Current (amp) DC(+)†	150	150	150	150	
Arc Speed (in./min)	9 - 11	8 - 10	9 - 11	8 - 10	
Electrode Req'd (lb/ft)	0.48		0.65		
Total Time (hr/ft of weld)	3.0844		0.127		
Interpass Temperature, Max. (°F)	150		150		
Position: Flat Weld Quality Level: Code Steel Weldability: Poor Welded From: Two sides					
	Plate Thickness (in.)	1/2	5/8	3/4	
Pass	1 - 5	6 - 8*	1 - 7	8 - 10*	1 - 10
Electrode Class†					
Size	5/32	5/32	5/32	5/32	5/32
Current (amp) DC(+)†	150	150	150	150	150
Arc Speed (in./min)	7 - 9	8 - 10	7 - 9	8 - 10	7 - 9
Electrode Req'd (lb/ft)	1.40		1.79		2.25
Total Time (hr/ft of weld)	0.198		0.238		0.313
Interpass Temperature, Max. (°F)	175		200		225

* Second side is gouged after first side is completed.

† See Tables B-13 and 6-17.



۱۴ کنترل کیفی در ساختمان‌های کوچک

- ۶۲۱ معرفی ۱-۱۴
- ۶۲۲ قانون ۵P ۲-۱۴
- ۶۲۵ بازرسی عینی (V.I) ۳-۱۴
- ۶۲۷ جوش خوب چیست؟ ۴-۱۴

۱۴-۱ معرفی

در ذهن اکثر مهندسين اين سؤال وجود دارد كه آيا اصول كنترل كيفي ارايه شده در آيين‌نامه‌هاي جوشكاري مي‌تواند در بخش مسكن و بخصوص در مقياس كوچك و در حد منازل شخصي مورد استفاده قرار گيرد يا نه؟ آيا امكان بسج نيروهاي كنترل كيفي، شامل بازرس جوش و اپراتور آزمايش‌هاي غيرمخرب براي منازل مسكوني وجود دارد و يا در صورت امكان، اقتصادي است يا نه؟ اگر بخواهيم به‌موضوع با ديد صلب نگاه كنيم مي‌توانيم در يك كلمه بگويم به‌هرحال اسكلت فولادي در هر مقياس بايد مورد بازرسي و كنترل كيفي قرار گيرد؛ خواه يك ساختمان ۲ طبقه يا يك مجتمع مسكوني انبوه‌سازي باشد و خواه يك ساختمان شخصي‌ساز مثلاً چهار طبقه، البته اين ديدگاه منطبق بر اصول آيين‌نامه‌اي مي‌باشد، ليكن منطبق بر عرف جامعه نيست و اين انتظار وجود دارد كه با سيستم نظارت متوسط به‌كيفيت مطلوب رسيد. با توجه به‌قوانين جاري در امر نظارت ساختمان‌ها اين تمايل وجود دارد كه مهندسين ناظر با اجرائي دستورالعمل‌هاي كارگاهي انتظارات مطلوب را برآورده نمايند.

در فصول گذشته اين راهنما اطلاعات كافي در خصوص شناخت جوش، معايب جوش و سيستم‌هاي كنترل كيفي ارايه شده است. بدون شك آگاهي از تمام مطالب اين فصول براي مهندسين شاغل در امر كنترل كيفي ضروري است، ليكن کاربرد دستورالعمل كنترل كيفي مي‌بايد با حجم كار و سيستم ساختمان متناسب باشد و بايد اين واقعيت را پذيرفت كه سيستم كنترل كيفي ساختمان مسكوني كوچك نمي‌تواند و نمي‌بايد همانند سيستم كنترل كيفي يك ساختمان بلندمرتبه باشد.

در اين فصل سعي مي‌شود با انتخاب بخش‌هاي مختلف اين كتاب، دستورالعملي براي بازرسي اسكلت فولادي ساختمان‌هاي مسكوني كوچك ارايه نمود. اين دستورالعمل‌ها توصيه‌هايي بر مبناي تجارب شخصي نگارنده است و نمي‌تواند به‌عنوان آيين‌نامه مورد استفاده قرار گيرد و بيشتر جنبه راهنمايي دارد. به‌هر حال مهندسي كه اقدام به‌چنين بازرسي‌هايي مي‌نمايد، بايد آشنائي و تسلط كافي با قسمت‌هاي مختلف اين راهنما را داشته باشد.

۱۴-۲ قانون ۵P

بلاجهت از متخصصین به نام صنعت جوشکاری ساختمانی است. ایشان پیشنهاد می‌نمایند که برای حصول جوش با کیفیت مناسب باید ۵ عامل که در زبان انگلیسی با حرف P شروع می‌شوند، رعایت گردند. این عوامل به شرح زیر می‌باشند:

- ۱ - Personnel یعنی وجود جوشکار ماهر
- ۲ - Process یعنی روش جوشکاری یا ماشین‌آلات جوشکاری مناسب
- ۳ - Preparation یعنی آماده‌سازی مناسب درز جوش و لبه‌های ورق در مجاور درز
- ۴ - Procedure یعنی وجود دستورالعمل جوشکاری
- ۵ - Prove یعنی بازرسی و تأیید

پنج عامل فوق به نام قانون ۵P شناخته می‌شوند.

پرسنل جوشکاری

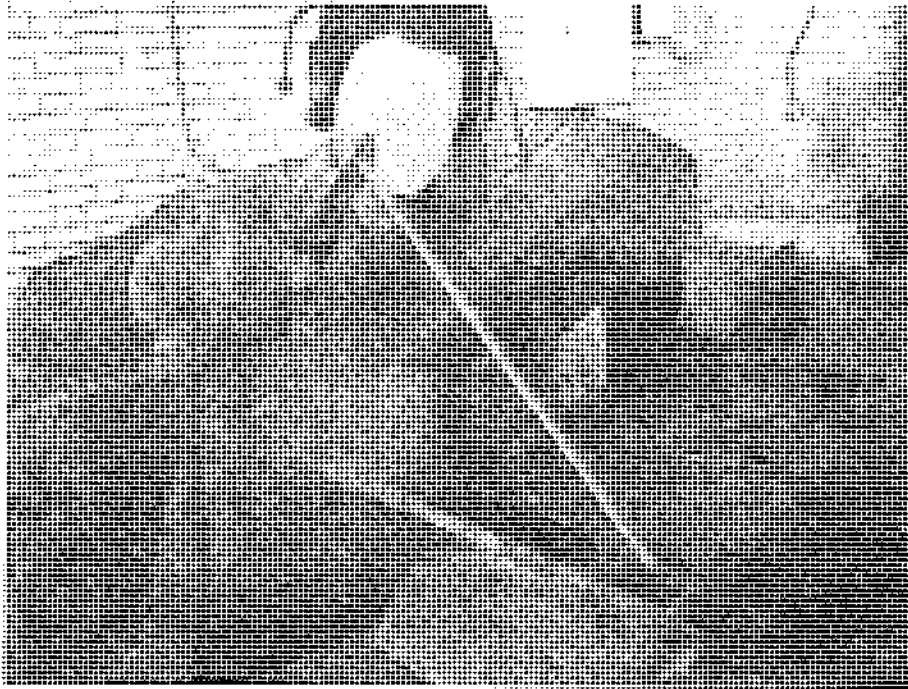
برای جوشکاری باید از جوشکار ماهر استفاده نمود. مهندس ناظر و صاحب کار نباید به این خیال خام باشند که هر شخص انبر به دستی، جوشکار است. ابتدا باید با قیمت کارشناسی مناسب، کار اسکلت ساختمان به پیمانکار کاردانی سپرده شود. بالا بودن ۱۰ درصد در دستمزد آهنگری تأثیر قابل توجهی در قیمت تمام‌شده ساختمان نخواهد داشت. بعد از انتخاب پیمانکار دیصلاح، باید از وی خواسته شود که از جوشکاران ماهر اسفاده نماید. مهندس می‌تواند به راحتی از جوشکار آزمایش بگیرد. معمولاً برای جوشکاری اسکلت ساختمانی وجود دو رده جوشکار لازم است. جوشکاران کفی (تخت) و سربالا. با اجرای جوش به طول حدود ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و بازرسی عینی آن می‌توان به راحتی به تبحر جوشکار پی برد. در شکل ۱۴-۱ تست جوشکار در دو وضعیت کفی و سربالا نشان داده شده است.

ماشین‌آلات و تجهیزات جوشکاری مناسب

ماشین جوشکاری از نوع دیزل، بنزینی، دینام و یا رکتیفایر باید وضعیت مناسبی داشته و جریان یکنواختی برای جوشکاری تولید نماید.

سایر تجهیزات مانند الکتروود، انبر، ماسک، دستکش، چکش گل‌زن، سنگ فرز، وایبرس، جعبه الکتروود و احیاناً فلاسک خشک‌کن الکتروود از ملزومات اساسی هستند که باید در کارگاه فراهم باشند. در شکل ۱۴-۲ مختصری از این تجهیزات نشان داده شده است.

در خرید الکتروود دقت گردد. الکتروود را حتماً از سازنده‌های معتبر خریداری کنید و محل خرید نمایندگی معتبر باشد. کارخانجات، الکتروودهای مردود را برای جوشکاری در و پنجره جدا می‌نمایند. احتیاط نمایید از این الکتروودها برای جوشکاری اسکلت استفاده نگردد.

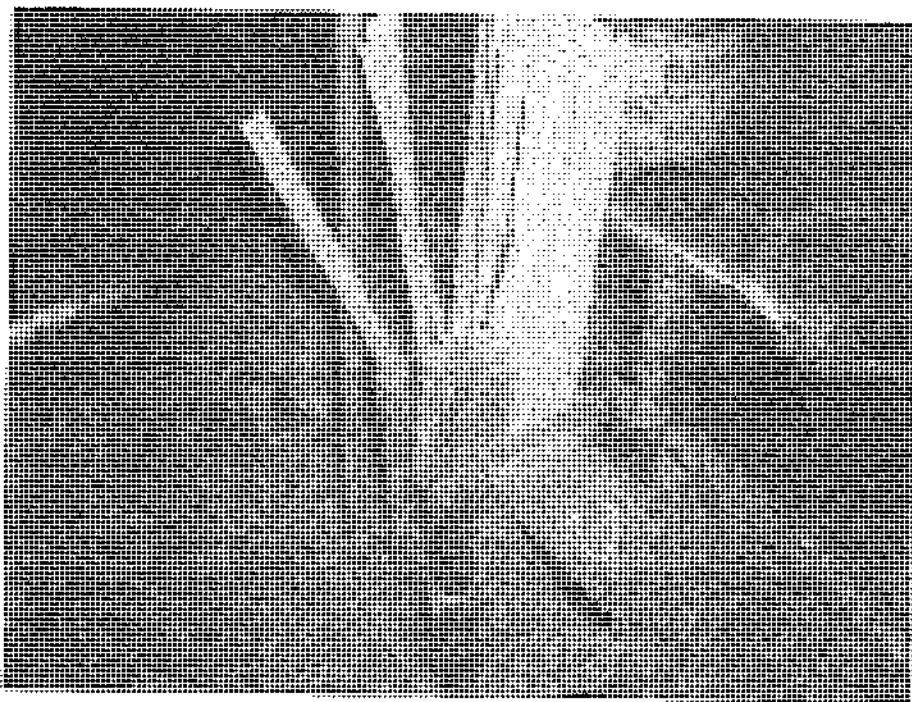


(الف) وضعیت تخت



(ب) وضعیت سر بالا

شکل ۱۴-۱ تست جوشکار.



شکل ۱۴ - ۲ تجهیزات فردی جوشکاری.

آماده‌سازی درزها

لبه‌هایی که باید به هم جوش شوند باید مستقیم و عاری از کجی، لهیدگی و یا تضاریس ناشی از برشکاری باشند و کاملاً به هم جفت گردند. این بازرسی را می‌توان در هنگام مونتاژ و خال‌جوش کردن قطعات با دقت خوب انجام داد. بهتر است جهت جلوگیری از بروز معایب برشکاری دستی در کارگاه، قبل از شروع ساخت، لیست مصالح فولادی، اعم از ورق و پروفیل با اندازه‌های لازم، تهیه و برشکاری آنها از محل خرید توسط دستگاه‌های مناسب نظیر گیوتین و برش ریلی انجام شود.

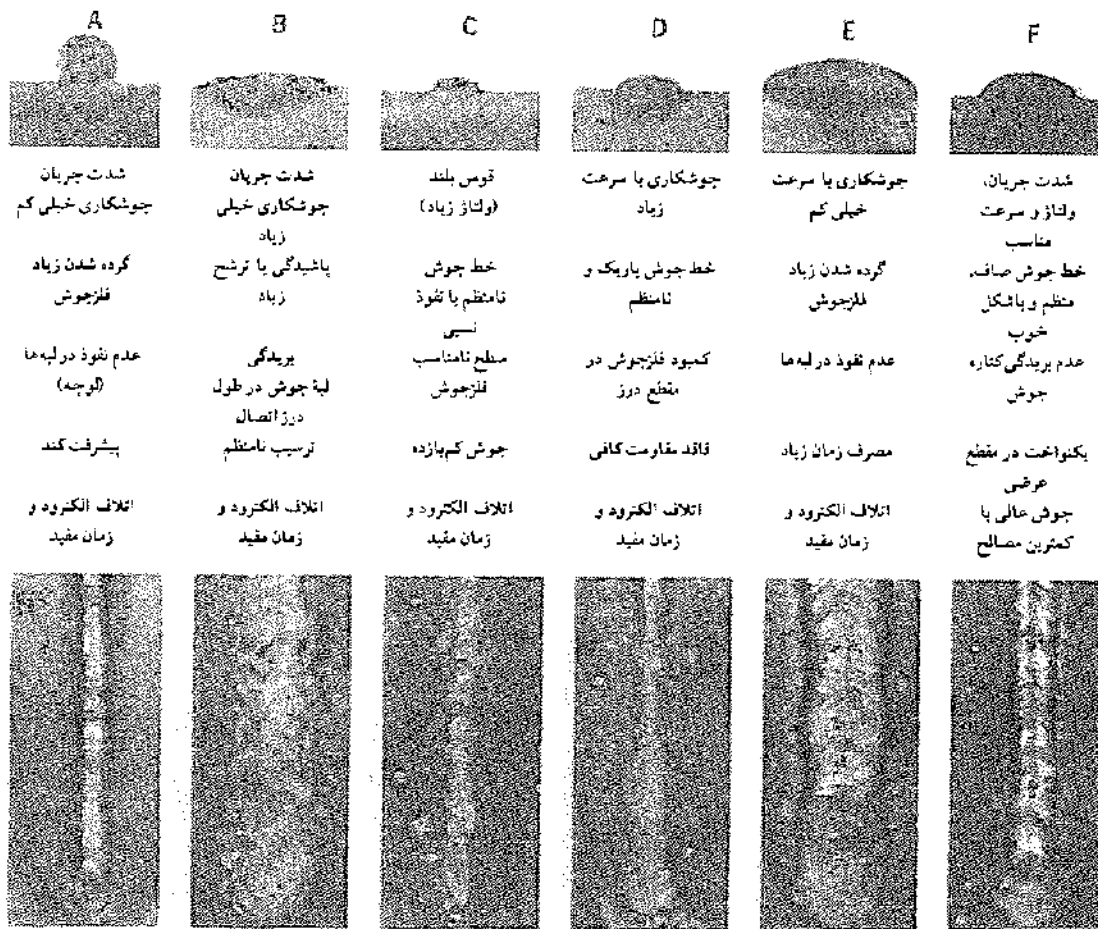
دستورالعمل جوشکاری

تنظیم دستورالعمل جوشکاری در کارگاه‌های کوچک مرسوم نیست، لیکن باید با استادکار جوش توأفقاتی در زمینه قطر الکتروود، آمپر، نوع الکتروود و تعداد پاس‌ها انجام پذیرد. به جوشکار باید تفهیم شود که از آمپر زیاد استفاده ننماید و سرعت حرکت خود را در حد نرمال حفظ کند. شکل ۱۴ - ۳ تلفیق آمپر، ولتاژ و سرعت حرکت را برای حصول جوش مطلوب نشان می‌دهد.

بازرسی و تأیید

با مهیا کردن ۴ عامل قبلی، زمینه حصول جوش خوب در کارگاه وجود دارد و عملیات جوشکاری می‌تواند تحت نظارت مهندس ناظر یا بازرسی جوش انجام شود. انتهای کار بازرسی، تأیید می‌باشد. مهندس ناظر در این مرحله از کار نقش

بازرسی جوش را بازی می‌کند. آن چیزی که در ساختمان‌های کوتاه می‌تواند مورد استفاده عملی باشد، بازرسی عینی است. انجام بازرسی‌های پرتونگاری، فراصوت و میدان مغناطیسی، تقریباً نشدنی است. استفاده از رنگ نافذ می‌تواند کمک سهل و ساده‌ای برای بازرسی جوش باشد. ابزار کار مناسب دیگر شامل ذره‌بین برای تشخیص ترک‌های سطحی، چراغ قوه و دستگاه اندازه‌گیر ابعادی جوش (گیج جوشکاری) می‌تواند کمک مؤثر برای بازرسی باشد. به هر حال ناظر باید آگاه از اصول بازرسی عینی باشد. در مورد جوش‌های نفوذی استفاده از آزمون فراصوت باید در برنامه کار قرار گیرد.



شکل ۱۴-۳ ترکیب آثار شدت جریان (آمپر)، اختلاف پتانسیل (ولتاژ) و سرعت حرکت دست برای حصول جوش مطلوب.

۱۴-۳ بازرسی عینی (V.I)

یکی از مؤثرترین روش‌های بازرسی جوش، بازرسی عینی عملیات جوشکاری توسط بازرسین و ناظرین آموزش‌دیده است. طبق دستورالعمل آیین‌نامه جوشکاری ساختمانی، صد درصد جوش‌های انجام‌شده باید بازرسی عینی گردند. بازرسی عینی اگر به‌درستی انجام شود، از ارکان مهم بازرسی جوش می‌باشد.

1. Visual inspection

بازرسی‌های عینی غالباً در سه مرحله قبل از جوشکاری، در حین جوشکاری و بعد از جوشکاری مورد توجه قرار می‌گیرند. آن دسته از بازرسی‌های عینی که قبل از جوشکاری و در حین جوشکاری انجام می‌شود در برنامه تضمین کیفیت و آن دسته از بازرسی‌ها که بعد از جوشکاری انجام می‌شود در برنامه کنترل کیفی قرار می‌گیرد. 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 یابد.

بازرسی عینی قبل از جوشکاری

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

- | | |
|----------------------------------|---|
| ۱ - تنظیم برنامه ثبت نتایج | ۶ - کنترل مصالح فلز پایه و فلز جوش |
| ۲ - کنترل دستورالعمل‌های جوشکاری | ۷ - کنترل زاویه یخ، هندسه درز، همراستایی و همبند بودن درزها |
| ۳ - ارزیابی جوشکاران | ۸ - کنترل پیش‌گرمایش لازم |
| ۴ - تعیین نقاط کنترل | ۹ - کنترل عملیات برشکاری و تضاريس ناشی از برشکاری |
| ۵ - تنظیم برنامه ثبت نتایج | 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
- ۲ - کنترل هندسه درز جوش قبل از جوشکاری روی دیگر
- ۳ - دمای پیش‌گرمایش و دمای پاس‌های میانی
- ۴ - توانی جوش‌ها
- ۵ - کنترل ظاهر جوش
- ۶ - تمیزکاری جوش و گل جوش بین دو پاس متوالی
- ۷ - کنترل آمپراژ، ولتاژ و سرعت حرکت دست جوشکار
- ۸ - نوسان عرضی دست جوشکار (حداکثر ۲/۵ برابر ضخامت مفتول الکتروود)

بازرسی عینی بعد از جوشکاری

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

- ۱ - ظاهر نهایی جوش

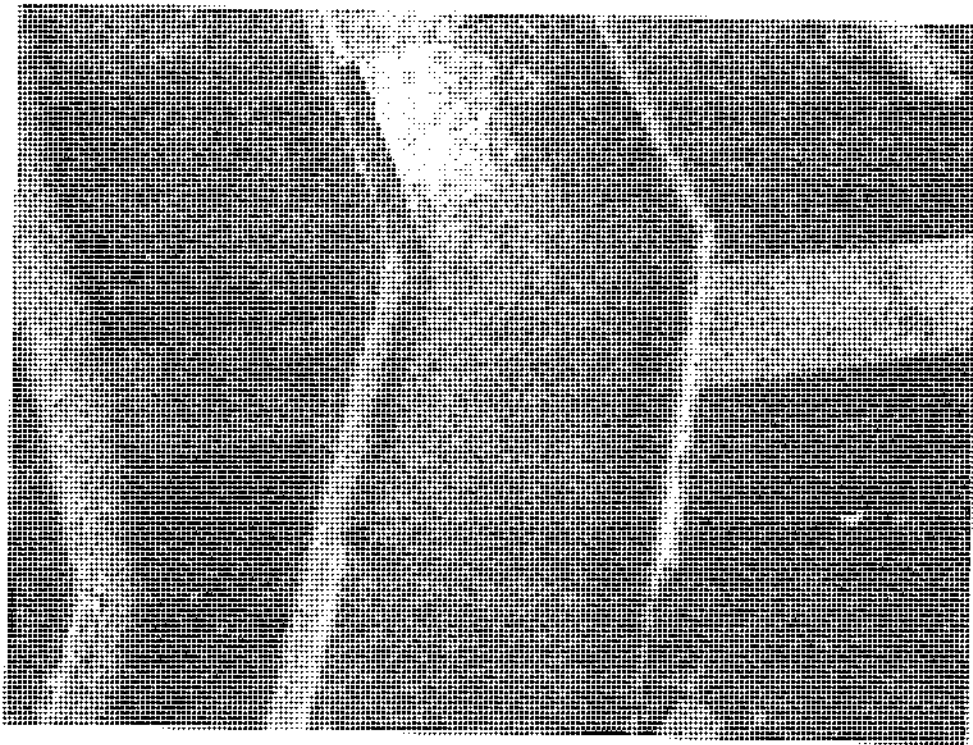
- ۲- اندازه نهایی جوش
- ۳- طول جوش
- ۴- دقت‌های ابعادی
- ۵- میزان اعوجاج
- ۶- اصلاحات حرارتی
- ۷- عیوب ظاهری شامل:
 - ۱- ۷ تخلخل ظاهری (تخلخل سوزنی)
 - ۲- ۷ عدم امتزاج کامل
 - ۳- ۷ عدم نفوذ کامل جوش در فلز پایه
 - ۴- ۷ بریدگی پای جوش
 - ۵- ۷ لوچه
 - ۶- ۷ ترک‌های سطحی
 - ۷- ۷ گرده بیش از حد جوش

بازرس جوش باید مجهز به ابزارهای شامل اندازه‌گیر جوش، متر، کولیس، و چرنغ قوه و ذره‌بین باشد.

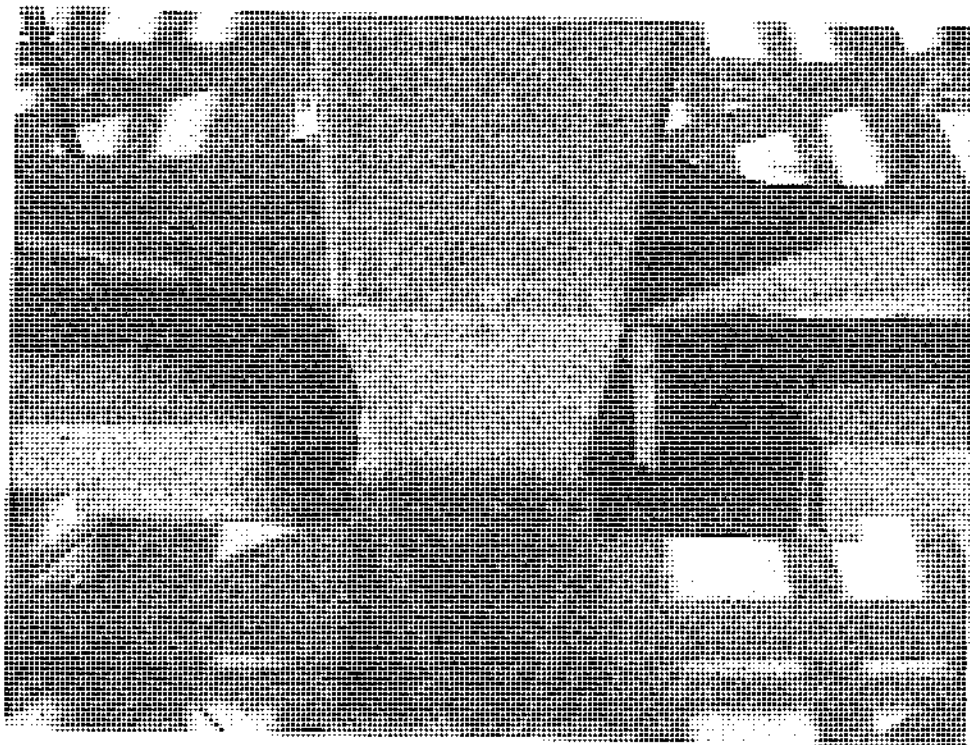
۱۴-۴ جوش خوب چیست؟

برای اینکه جوشی قابل پذیرش بوده و به‌عنوان جوش خوب پذیرفته شود باید دارای صفات زیر باشد. اغلب این صفات را می‌توان در بازرسی عینی تأیید و یا مردود نمود.

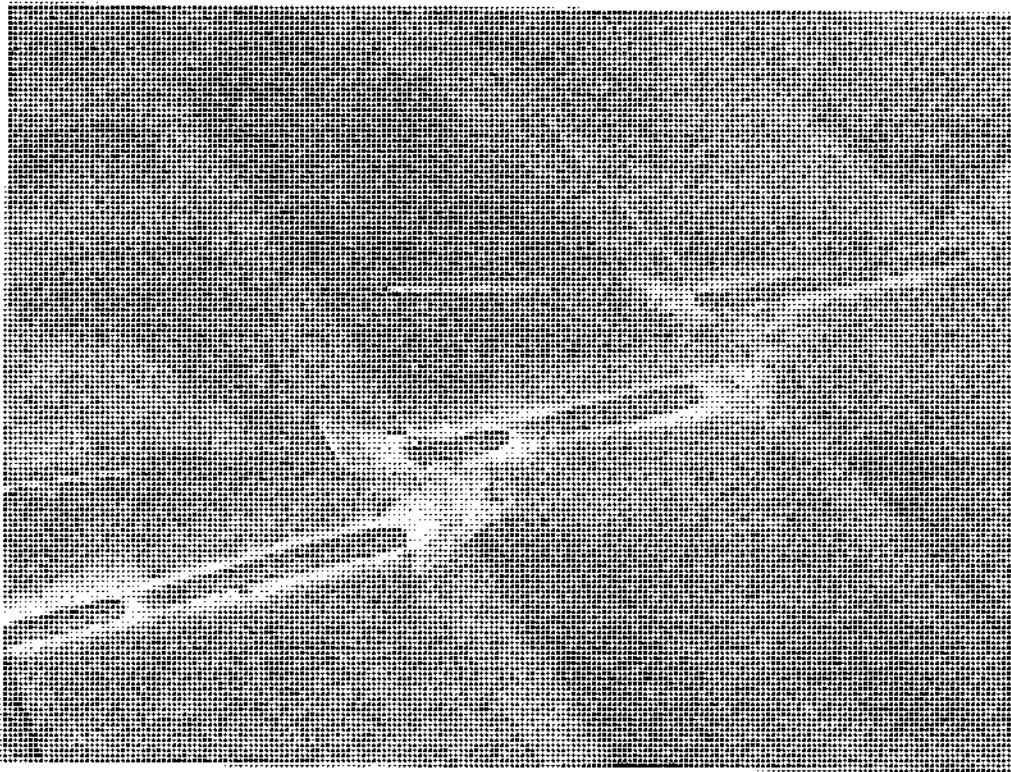
- ۱- زنجیره جوش دارای هندسه منظمی بوده و توازن کامل بین سرعت حرکت، آمپراژ و ولتاژ برقرار باشد. اگر این توازن برقرار نباشد، عیوب بعدی در جوش قابل ملاحظه خواهد بود.
- ۲- جوش در فلز پایه نفوذ کافی و متقارن در دو طرف درز جوش داشته باشد. جوشی که نفوذ کافی ندارد همانند دمل دارای برجستگی زیاد خواهد بود. جوشی که به‌علت آمپر زیاد دارای نفوذ بیش از حد باشد، کاملاً در فلز پایه فرو رفته و ولو می‌شود.
- ۳- هندسه و ابعاد جوش کامل باشد. با گوشه یک مقوا می‌توان وسیله مناسبی برای اندازه‌گیری ابعادی جوش تهیه نمود و نیاز به اندازه‌گیر پیشرفته نمی‌باشد (شکل ۱۴-۴).
- ۴- بریدگی در لبه‌های جوش وجود نداشته باشد. بریدگی ناشی از آمپراژ زیاد دستگاه می‌باشد.
- ۵- پاشیدگی در اطراف نوار وجود نداشته باشد، پاشیدگی به‌علت آمپر بالا و کثیف بودن درز به‌وجود می‌آید.
- ۶- ترک سطحی وجود نداشته باشد.
- ۷- حفرات سطحی (کرمو بودن سطحی) وجود نداشته باشد.



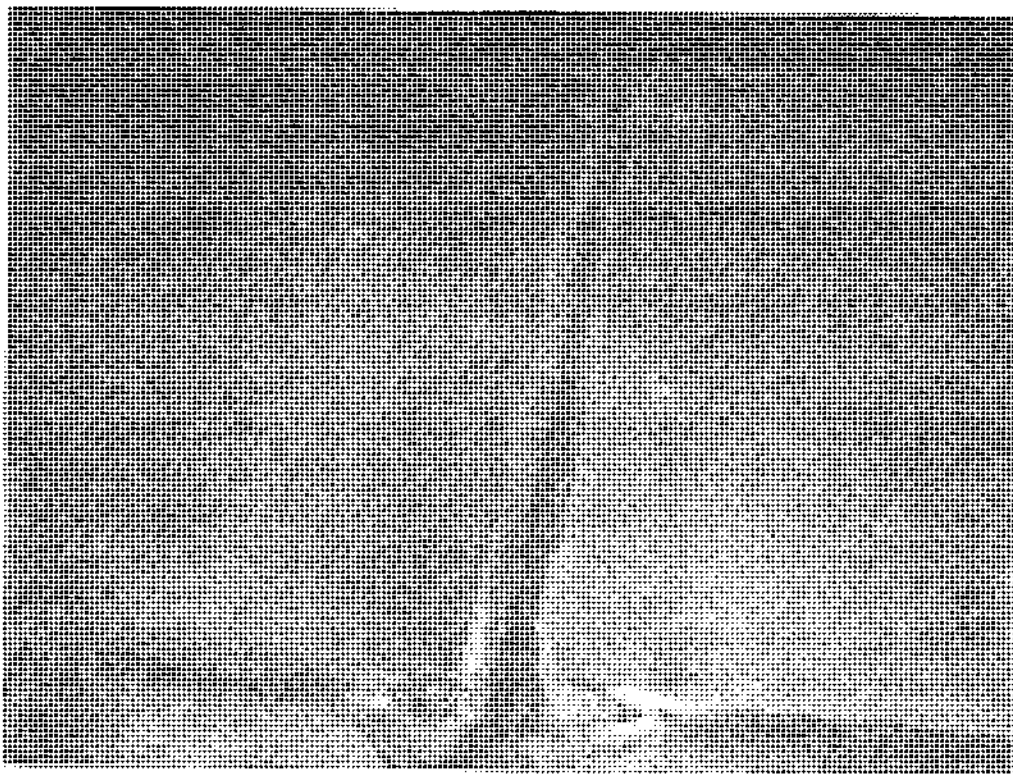
شکل ۱۴-۸ جوش مناسب شمشیری راه پله.



شکل ۱۴-۹ ورق روسری اتصال تیر به ستون با جوش مناسب.



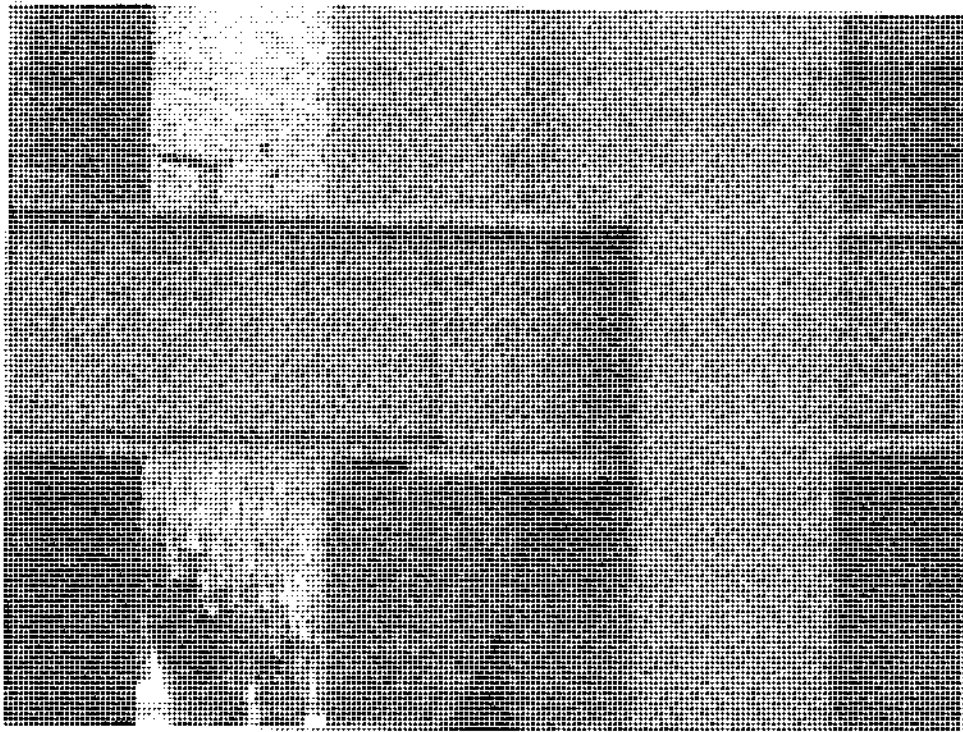
شکل ۱۴-۱۰ جوش شیاری مناسب.



شکل ۱۴-۱۱ جوش مناسب برای عبور اول در اتصال لب به لب دو ورق.

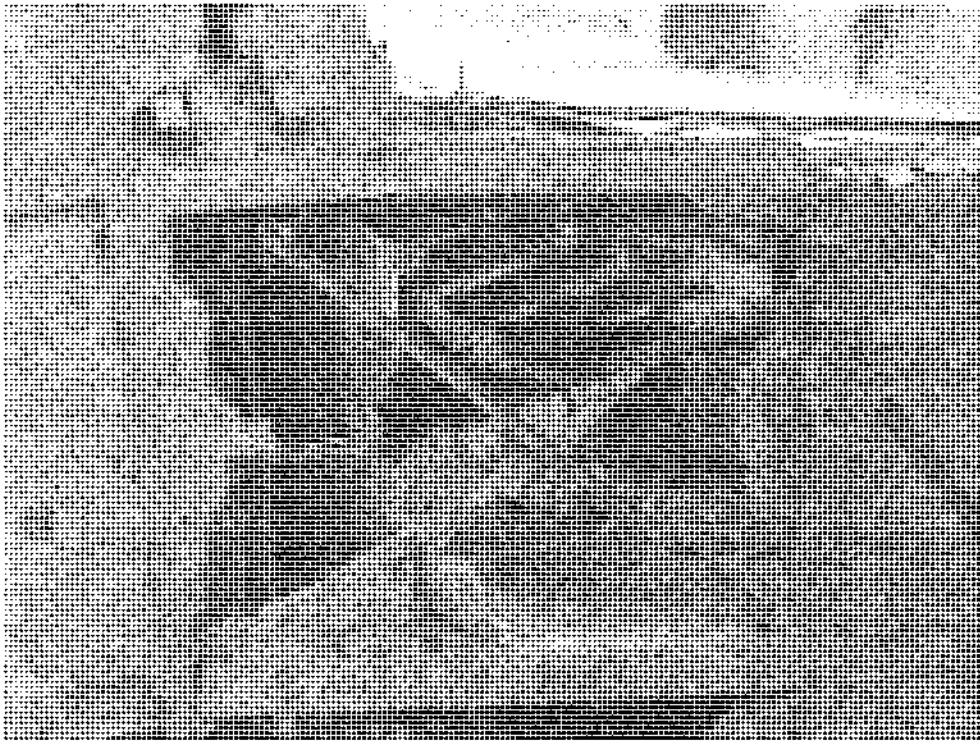


(الف)

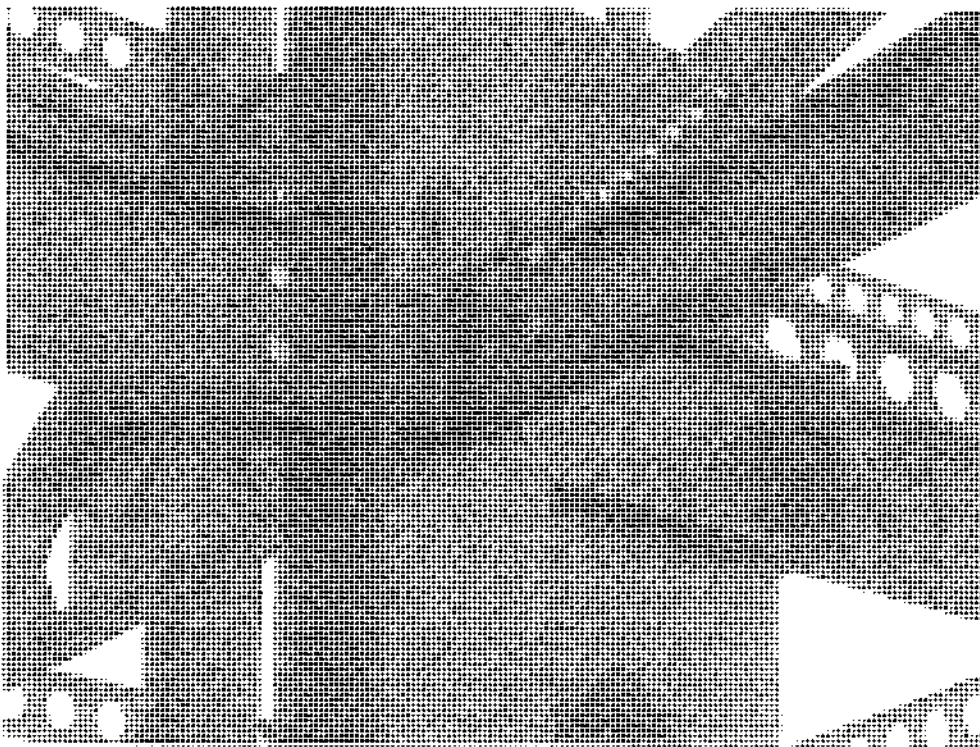


(ب)

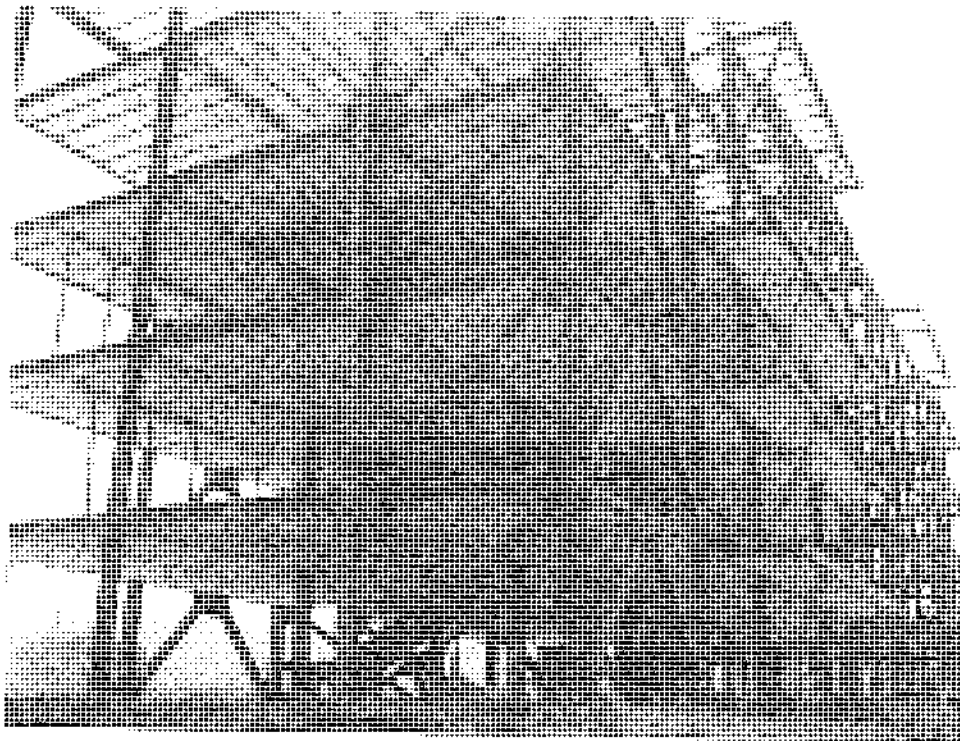
شکل ۱۴ - ۱۲ اجرای نامناسب جوش‌های سریالاً.



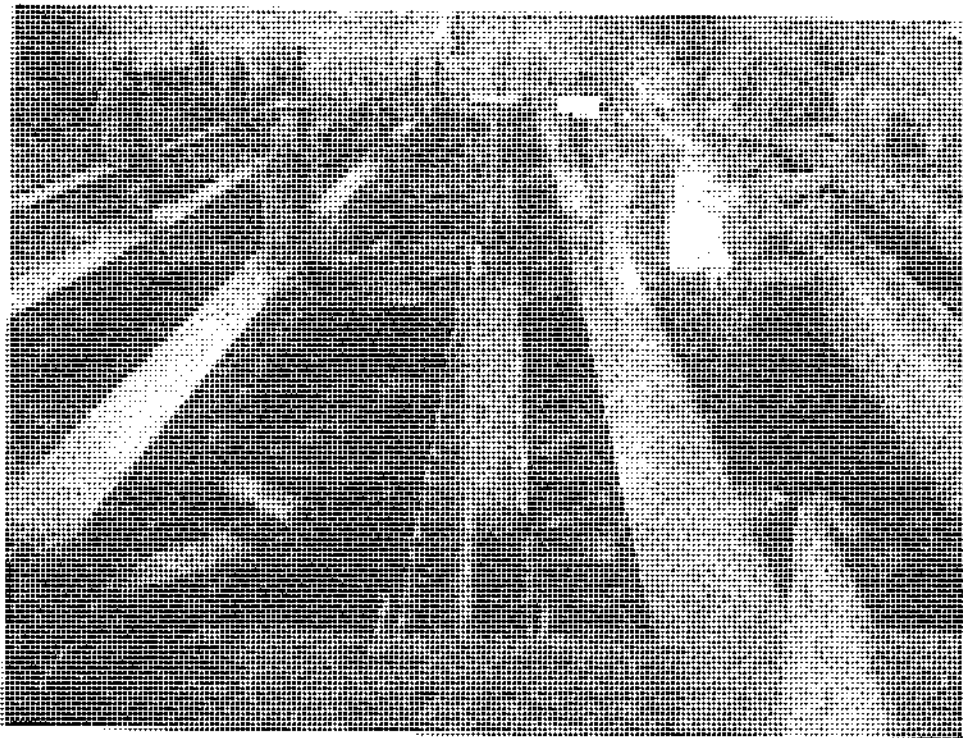
شکل ۱۴ - ۱۳ جوش ناقص ورق اتصال به ستون که سبب کنده شدن ورق تحت نیروی جانبی زلزله شده است (زلزله بم).



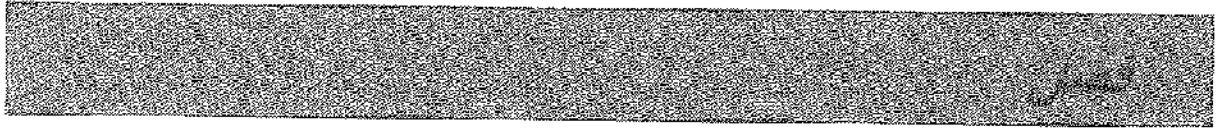
شکل ۱۴ - ۱۴ اجرای مناسب اسکلت فولادی.



شکل ۱۴ - ۱۵ اجرای مناسب اسکلت فولادی.

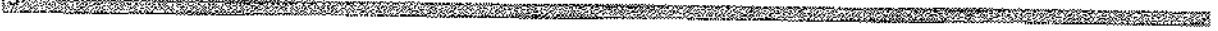


شکل ۱۴ - ۱۶ تمهیدات مناسب برای جوشکاری.



برنامه ریزی آزمایش ها

۱۵



یکی از سؤالات مهمی که در برنامه‌ریزی آزمایش‌های جوش پیش می‌آید، تعیین درصدی از جوش‌ها می‌باشند که باید مورد آزمایش غیرمخرب قرار گیرند. آیین‌نامه جوشکاری ساختمانی در متن اصلی خود اشاره صریحی به این موضوع نکرده است، لیکن به روشنی از آزمایش کامل، آزمایش جزئی و خال آزمایش نام برده است. در تعیین میزان آزمایش‌ها دو واقعیت اثر متقابل برهم دارند، هزینه آزمایش‌ها، و سلامتی و ایمنی جوش‌ها. بدون شک روشی که با حداقل هزینه، حداکثر ایمنی مطلوب را به وجود آورد، مورد توجه خواهد بود. در جدول ۱۵-۱ دستورالعملی که در اکثر قراردادهای ساخت قطعات فولادی مورد استناد قرار می‌گیرد، ارائه شده است.

جدول ۱۵-۱ میزان آزمایش‌های غیرمخرب هنگام تولید*

نوع آزمایش	نوع جوش مورد آزمایش
بازرسی عینی	۱- صد درصد کلیه جوش‌ها
پرتونگاری یا فراصوت	۲- صد درصد جوش‌های لب به لب عرضی بال‌های کششی، اعضای کششی خریاها، $\frac{1}{6}$ ارتفاع جان تیرها در مجاورت بال کششی*
پرتونگاری یا فراصوت	۳- ده درصد جوش‌های لب به لب طولی بال‌های کششی و اعضای کششی خریاها
پرتونگاری یا فراصوت	۴- بیست درصد جوش‌های لب به لب عرضی و طوئی در بال‌های فشاری و اعضای فشاری خریاها
پرتونگاری یا فراصوت	۵- بیست درصد جوش‌های لب به لب عرضی جان تیرها که شامل بد ۲ فوق نمی‌باشد و جوش‌های لب به لب طولی جان تیرها
براده مغناطیسی یا رنگ نافذ	۶- ده درصد جوش گوشه بال به جان

* در صورت حصول نتایج مثبت، مهندس ناظر می‌تواند دستور تقلیل آزمایش‌ها را تا سقف ۳۰ درصد صادر نماید. در صورت بروز نامنظمی در نتایج آزمایش و حضور جوش‌های معیوب، درصد بازرسی مجدداً به وضعیت جدول برمی‌گردد.

مشخصات هندسی نیمرخ‌های ساختمانی



نیمرخ معمولی INP



A = سطح مقطع

G = وزن واحد طول

U = سطح جانبی واحد طول

I = ممان اینرسی

S = اساس مقطع

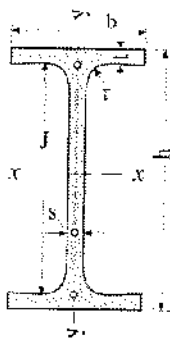
r = شعاع ژیراسیون

Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور X)

J = فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

l	ابعاد به میلی‌متر					A cm ²	G kg/m	U m ² /m	x-x			y-y			Q cm ³	J cm
	h	b	s=r ₁	t	r ₂				I _x cm ⁴	S _x cm ³	I _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm		
۸۰	۸۰	۴۲	۳/۹	۵/۹	۳/۳	۷/۵۷	۵/۹۴	۰/۳۰۴	۷۷/۸	۱۹/۵	۳/۲۰	۶/۲۹	۳/۰۰	۰/۹۱	۱۱/۴	۶/۸۴
۱۰۰	۱۰۰	۵۰	۴/۵	۶/۸	۲/۷	۱۰/۶	۸/۳۴	۰/۳۷۰	۱۷۱	۳۴/۲	۶/۰۱	۱۲/۲	۶/۸۸	۱/۰۷	۱۹/۹	۸/۵۷
۱۲۰	۱۲۰	۵۸	۵/۱	۷/۷	۳/۱	۱۴/۲	۱۱/۱	۰/۴۳۹	۳۲۸	۵۴/۷	۶/۸۱	۲۱/۵	۷/۴۱	۱/۲۲	۳۱/۸	۱۰/۳
۱۴۰	۱۴۰	۶۶	۵/۷	۸/۶	۳/۴	۱۸/۲	۱۴/۲	۰/۵۰۲	۵۷۲	۸۱/۹	۵/۶۱	۳۵/۲	۱۰/۷	۱/۶۰	۴۷/۷	۱۲/۰
۱۶۰	۱۶۰	۷۴	۶/۲	۹/۵	۳/۸	۲۳/۸	۱۷/۹	۰/۵۷۵	۹۳۵	۱۱۷	۶/۴۰	۵۴/۷	۱۴/۸	۱/۵۵	۶۸/۰	۱۳/۷
۱۸۰	۱۸۰	۸۲	۶/۹	۱۰/۴	۴/۱	۲۷/۹	۲۱/۹	۰/۶۴۰	۱۴۵۰	۱۶۱	۷/۲۰	۸۱/۳	۱۹/۸	۱/۷۱	۹۳/۴	۱۵/۵
۲۰۰	۲۰۰	۹۰	۷/۵	۱۱/۳	۴/۵	۳۳/۴	۲۶/۲	۰/۷۰۹	۲۱۴۰	۲۱۴	۸/۰۰	۱۱۷	۲۶/۰	۱/۸۷	۱۲۵	۱۷/۲
۲۲۰	۲۲۰	۹۸	۸/۱	۱۲/۳	۴/۹	۳۹/۵	۳۱/۱	۰/۷۷۵	۳۰۶۰	۲۷۸	۸/۸۰	۱۶۲	۳۳/۱	۲/۰۲	۱۶۲	۱۸/۹
۲۴۰	۲۴۰	۱۰۶	۸/۷	۱۳/۱	۵/۲	۴۶/۱	۳۶/۳	۰/۸۴۴	۴۲۵۰	۳۵۴	۹/۵۹	۲۲۱	۴۱/۷	۲/۲۰	۲۰۶	۲۰/۶
۲۶۰	۲۶۰	۱۱۳	۹/۴	۱۴/۱	۵/۶	۵۳/۳	۴۱/۹	۰/۹۰۶	۵۷۴۰	۴۴۲	۱۰/۴	۲۸۸	۵۱/۰	۳/۲۲	۲۵۷	۲۲/۳
۲۸۰	۲۸۰	۱۱۹	۱۰/۱	۱۵/۲	۶/۱	۶۱/۰	۴۷/۹	۰/۹۶۶	۷۵۹۰	۵۴۲	۱۱/۱	۳۶۴	۶۱/۲	۳/۴۵	۳۱۶	۲۴/۰
۳۰۰	۳۰۰	۱۲۵	۱۰/۸	۱۶/۲	۶/۵	۶۹/۰	۵۴/۲	۱/۰۳	۹۸۰۰	۶۵۳	۱۱/۹	۴۵۱	۷۲/۲	۳/۵۶	۳۸۱	۲۵/۷
۳۲۰	۳۲۰	۱۳۱	۱۱/۵	۱۷/۲	۶/۹	۷۷/۷	۶۱/۰	۱/۰۹	۱۲۵۱۰	۷۸۲	۱۲/۷	۵۵۵	۸۴/۷	۳/۶۷	۴۵۷	۲۷/۴
۳۴۰	۳۴۰	۱۳۷	۱۲/۲	۱۸/۲	۷/۳	۸۶/۷	۶۸/۰	۱/۱۵	۱۵۷۰۰	۹۳۳	۱۳/۲	۶۷۴	۹۸/۴	۴/۸۰	۵۴۰	۲۹/۱
۳۶۰	۳۶۰	۱۴۳	۱۲/۰	۱۹/۵	۷/۸	۹۷/۰	۷۶/۱	۱/۲۱	۱۹۶۱۰	۱۰۹۰	۱۴/۲	۸۱۸	۱۱۴	۵/۹۰	۶۳۸	۳۰/۷
۳۸۰	۳۸۰	۱۴۹	۱۲/۷	۲۰/۵	۸/۲	۱۰۷	۸۴/۰	۱/۲۷	۲۴۰۱۰	۱۲۶۰	۱۵/۰	۹۷۵	۱۲۱	۶/۰۲	۷۴۱	۳۲/۴
۴۰۰	۴۰۰	۱۵۵	۱۳/۴	۲۱/۶	۸/۶	۱۱۸	۹۳/۴	۱/۳۳	۲۹۲۱۰	۱۴۶۰	۱۵/۷	۱۱۶۰	۱۴۹	۶/۱۳	۸۵۷	۳۴/۱
۴۲۵	۴۲۵	۱۶۲	۱۵/۳	۲۳/۰	۹/۲	۱۳۲	۱۰۴	۱/۴۱	۳۶۹۷۰	۱۷۴۰	۱۶/۷	۱۴۴۰	۱۷۶	۷/۳۰	۱۰۴۰	۳۶/۲
۴۵۰	۴۵۰	۱۷۰	۱۶/۲	۲۴/۲	۹/۷	۱۴۷	۱۱۵	۱/۴۸	۴۵۸۵۰	۲۰۴۰	۱۷/۷	۱۷۳۰	۲۰۳	۸/۴۳	۱۲۰۰	۳۸/۳
۴۷۵	۴۷۵	۱۷۸	۱۷/۱	۲۵/۶	۱۰/۳	۱۶۳	۱۲۸	۱/۵۵	۵۶۴۸۰	۲۳۸۰	۱۸/۶	۲۰۶۰	۲۳۵	۹/۶۰	۱۴۰۰	۴۰/۴
۵۰۰	۵۰۰	۱۸۵	۱۸/۰	۲۷/۰	۱۰/۸	۱۷۹	۱۴۱	۱/۶۳	۶۸۷۴۰	۲۷۵۰	۱۹/۶	۲۴۸۰	۲۶۸	۱۰/۷۲	۱۶۲۰	۴۲/۴
۵۵۰	۵۵۰	۲۰۰	۱۹/۰	۳۰/۰	۱۱/۹	۲۱۲	۱۶۶	۱/۸۰	۹۹۱۸۰	۳۶۱۰	۲۱/۶	۳۴۹۰	۳۴۹	۱۱/۰۲	۲۱۳۰	۴۶/۸
۶۰۰	۶۰۰	۲۱۵	۲۱/۶	۳۲/۴	۱۲/۰	۲۵۴	۱۹۹	۱/۹۳	۱۳۹۰۰۰	۴۴۳۰	۲۲/۴	۴۴۷۰	۴۲۴	۱۲/۰۰	۲۷۲۰	۵۰/۹

نیم‌رخ نیم‌پهن IPE



- A = سطح مقطع
- G = وزن واحد طول
- U = سطح جانبی واحد طول
- I = ممان اینرسی
- S = ایس مقطع
- r = شعاع ژیراسیون
- Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور X)
- J = فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

IPE	ابعاد به میلی‌متر					A cm ²	G kg/m	U m ² /m	x-x			y-y			Q cm ³	J cm
	h	b	s	t	r				I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm		
80	80	44	3/8	5/2	5	7/64	6/00	0/228	80/1	20/0	2/24	8/49	2/69	1/05	11/6	6/90
100	100	55	4/1	5/7	7	10/2	8/10	0/400	171	24/2	6/07	15/9	5/79	1/24	19/7	8/68
120	120	64	4/4	6/3	7	12/2	10/2	0/475	218	52/0	6/90	22/7	8/65	1/45	20/4	10/5
140	140	72	4/7	6/9	7	16/4	12/9	0/551	541	77/2	5/72	24/9	12/2	1/65	24/2	12/2
160	160	82	5/0	7/4	9	20/1	15/8	0/622	869	109	6/58	28/2	16/7	1/82	28/9	14/0
180	180	91	5/2	8/0	9	22/9	18/8	0/698	1220	126	7/42	30/1	22/2	2/05	32/2	15/8
200	200	100	5/6	8/5	12	28/5	22/4	0/768	1940	194	8/26	32/1	28/5	2/24	36/0	17/6
220	220	110	5/9	9/2	12	32/4	26/2	0/848	2770	252	9/11	35	27/2	2/48	42	19/4
240	240	120	6/2	9/8	15	39/1	30/7	0/922	3890	324	9/97	38/2	27/2	2/69	48	21/2
270	270	125	6/6	10/2	15	45/9	36/1	1/041	5790	429	11/2	420	32/2	2/92	54	23/9
300	300	150	7/1	10/7	15	52/8	42/2	1/159	8260	557	12/5	50/4	40/5	2/25	66	26/6
320	320	160	7/5	11/5	18	62/6	49/1	1/252	11770	712	12/7	588	48/5	2/55	80	29/2
360	360	170	8/0	12/7	18	72/7	57/1	1/352	16270	902	15/0	700	52	2/79	96	31/9
400	400	180	8/6	13/5	21	84/5	66/2	1/467	22120	1160	16/5	820	56	2/95	114	35/4
450	450	190	9/4	14/6	21	98/8	77/6	1/605	32740	1500	18/5	980	62	2/12	141	39/7
500	500	200	10/2	16/0	21	116	90/7	1/744	48200	1920	20/2	1140	72	2/31	170	42/9
550	550	210	11/1	17/2	24	122	106	1/877	67120	2440	22/2	1270	82	2/45	190	48/2
600	600	220	12/0	19/0	24	156	122	2/025	92080	3070	24/2	1390	90	2/66	216	52/4

نیرخ بال پهن سمبک IPB₁



معادل HE-A

A = سطح مقطع

G = وزن واحد طول

U = سطح جانبی واحد طول

I = ممان اینرسی

S = اساس مقطع

r = شعاع ژیراسیون

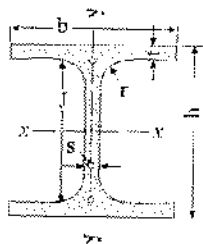
Q = لنگر استاتیکی، نصف مقطع حول محور خنثی (محور X)

J = فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

IPB ₁	ابعاد بدنه میلی‌متر					A cm ²	G kg/m	U m ² /m	X-X			Y-Y			Q cm ³	J cm ⁴
	h	b	s	t	r				I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm		
100	96	100	5	8	12	2172	1617	0.1561	249	72/8	21.6	124	26/8	21.51	21.5	81/41
120	114	120	5	8	12	2512	1919	0.1677	302	106	21/89	121	28/15	21.2	50/7	101/1
140	132	140	5.5	8.5	12	2712	2217	0.1792	302	155	51/72	289	55/6	21.52	85/7	111/9
160	152	160	6	9	15	2818	2012	0.1907	357	220	61.52	616	76/9	21.98	122	121/6
180	171	180	6	9.5	15	2912	2355	0.202	401	292	71.25	925	102	21.52	162	150.5
200	190	200	6.5	10	18	3218	2212	0.212	449	289	81.28	1240	122	21.8	215	171/2
220	210	220	7	11	18	3412	2515	0.222	541	615	91.7	195	178	21.51	282	191.0
240	230	240	7.5	12	21	3618	2612	0.232	578	675	101.1	277	221	21.00	322	201.9
260	250	260	8	12.5	24	3818	2812	0.242	625	825	111.0	327	282	21.50	360	221.7
280	270	280	8	13	24	3912	2912	0.252	672	1010	111.9	376	340	21.00	406	241.6
300	290	300	8.5	14	27	4112	3112	0.262	722	1126	121.7	426	399	21.22	452	261.4
320	310	320	9	15.5	27	4212	3215	0.272	772	1280	131.6	476	456	21.22	502	281.2
340	330	340	9.5	16.5	27	4312	3315	0.282	822	1440	141.4	526	516	21.22	552	301.9
360	350	360	10	17.5	27	4412	3415	0.292	872	1600	151.2	576	576	21.22	602	321.7
400	390	400	11	19	27	4812	3715	0.312	1022	1910	161.8	676	676	21.22	702	351.2
450	440	450	11.5	21	27	5212	4015	0.332	1272	2220	171.9	776	776	21.22	802	391.6
500	490	500	12	22	27	5612	4315	0.352	1522	2530	182.0	876	876	21.22	902	431.1
550	540	550	12.5	24	27	6012	4615	0.372	1772	2840	192.1	976	976	21.22	1002	471.4
600	590	600	13	25	27	6412	4915	0.392	2022	3150	202.2	1076	1076	21.22	1102	511.8
650	640	650	13.5	26	27	6812	5215	0.412	2272	3460	212.3	1176	1176	21.22	1202	551.1
700	690	700	14	27	27	7212	5515	0.432	2522	3770	222.4	1276	1276	21.22	1302	591.2
750	740	750	14.5	28	27	7612	5815	0.452	2772	4080	232.5	1376	1376	21.22	1402	631.8
800	790	800	15	28	27	8012	6115	0.472	3022	4390	242.6	1476	1476	21.22	1502	671.8
850	840	850	15.5	29	27	8412	6415	0.492	3272	4700	252.7	1576	1576	21.22	1602	711.1
900	890	900	16	30	27	8812	6715	0.512	3522	5010	262.8	1676	1676	21.22	1702	751.1
1000	990	1000	16.5	31	27	9612	7215	0.532	4022	5520	272.9	1876	1876	21.22	1902	811.4

نیمرخ بال پهن معمولی IPB

معادل HE-B



A = سطح مقطع

G = وزن واحد طول

I = سطح جانبی واحد طول

I = ممان اینرسی

S = اساس مقطع

r = شعاع ژیراسیون

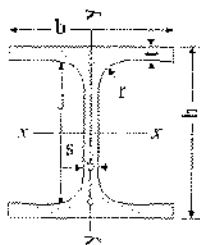
Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور X)

J = فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

IPB	ابعاد به میلی‌متر						A cm ²	G kg/m	U m ³ /m	x-x			y-y			Q cm ³	J cm ⁴
	h	b	s	t	r ₁	r ₂				I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm		
100	100	100	6	10	12	-	26/0	20/4	0/567	450	89/9	4/16	167	32/5	2/52	52/1	8/42
120	120	120	6/5	11	12	-	34/0	26/7	0/686	864	144	5/06	218	52/9	2/06	82/6	10/5
140	140	140	7	12	12	-	42/0	32/7	0/805	1510	216	5/92	550	78/5	3/58	122	12/2
160	160	160	8	12	15	-	54/2	42/6	0/918	2490	211	6/78	889	111	4/05	177	16/1
180	180	180	8/5	14	15	-	65/2	51/2	1/04	3820	426	7/66	1360	151	6/52	241	20/9
200	200	200	9	15	18	-	78/1	61/2	1/15	5700	570	8/54	2000	200	5/07	321	27/7
220	220	220	9/5	16	18	-	91/0	71/5	1/27	8090	726	9/42	2840	258	5/59	414	36/6
240	240	240	10	17	21	-	106	82/2	1/38	11260	928	10/2	3920	327	6/08	527	47/4
260	260	260	10	17/5	24	-	118	92/0	1/50	14920	1150	11/2	5120	395	6/58	641	60/2
280	280	280	10/5	18	22	-	131	102	1/62	19270	1380	12/1	6590	471	7/09	767	75/1
300	300	300	11	19	27	-	149	117	1/72	25170	1680	12/0	8560	571	7/58	924	92/9
320	320	300	11/5	20/5	27	-	161	127	1/87	30820	1920	12/8	9240	616	7/57	1070	108/7
340	340	300	12	21/5	27	-	171	132	1/81	36660	2160	12/6	9690	626	7/52	1200	120/2
360	360	300	12/5	22/5	27	-	181	142	1/85	42190	2400	12/5	10140	676	7/49	1320	132/2
400	400	300	12/5	22	27	-	198	155	1/92	57680	2880	12/1	10820	721	7/40	1620	155/7
450	450	300	14	26	27	-	218	171	2/02	79890	3550	12/1	11720	781	7/22	1970	200/1
500	500	300	14/5	28	27	-	239	187	2/12	107200	4290	12/2	12620	822	7/27	2410	242/5
550	550	300	15	29	27	-	254	199	2/22	136700	4970	12/2	13080	872	7/17	2800	282/9
600	600	300	15/5	30	27	-	270	212	2/22	171000	5700	12/2	13520	902	7/08	3210	322/2
650	650	300	16	31	27	-	286	225	2/22	210600	6480	12/1	13980	922	6/99	3660	367/5
700	700	300	17	32	27	-	306	241	2/52	256900	7260	12/0	14440	962	6/87	4160	417/7
800	800	300	17/5	32	30	-	324	262	2/71	359100	8980	12/8	14900	994	6/68	5110	500/2
900	900	300	18/5	35	30	-	371	291	2/91	494100	10980	12/5	15820	1050	6/52	6290	682/5
1000	1000	300	19	36	30	-	400	314	2/11	664700	12890	20/1	16280	1090	6/28	7420	862/8

نیمرخ بال پهن سنگین IPB_v

معادل HE-M



A = سطح مقطع

G = وزن واحد طول

U = سطح جانبی واحد طول

I = ممان اینرسی

S = اساس مقطع

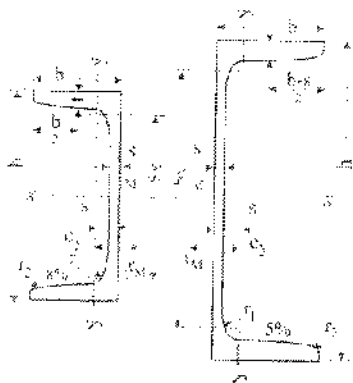
r = شعاع ژیراسیون

Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی (محور X)

J = فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری

IPB _v	ابعاد به میلی‌متر					A cm ²	G kg/m	U m ² /m	x-x			y-y			Q cm ³	J cm ⁴
	h	b	s	t	r				I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm		
100	110	106	12	20	12	5303	41/8	0/619	1140	190	4/62	399	7513	2/72	118	9/69
120	140	126	12/5	21	12	6624	52/1	0/738	2040	288	5/51	702	112	2/25	175	11/5
140	160	146	13	22	12	8066	62/2	0/857	3290	411	6/39	1140	157	2/77	227	13/2
160	180	166	14	23	15	9711	74/2	0/970	5100	566	7/25	1760	212	4/26	327	15/1
180	200	186	14/5	24	15	113	88/9	1/09	7480	748	8/13	2580	277	4/77	442	16/9
200	220	206	15	25	18	131	102	1/20	10660	967	9/00	3650	352	5/27	568	18/2
220	240	226	15/5	26	18	149	117	1/32	14600	1220	9/89	5010	444	5/79	710	20/6
240	270	248	18	27	21	200	157	1/46	22290	1800	11/0	8150	657	6/39	1060	22/9
260	290	268	18	27/5	24	230	172	1/57	29210	2160	11/9	10450	780	6/90	1260	24/8
280	310	288	18/5	27	24	260	189	1/69	39550	2550	12/8	13260	914	7/40	1480	26/2
300	340	310	21	29	27	302	228	1/82	52200	3480	14/0	19400	1250	8/00	2040	29/0
320/305	370	345	16	29	27	325	177	1/78	60950	2560	13/5	13240	901	7/81	1660	28/0
320	359	349	21	30	27	312	245	1/87	68120	2800	14/8	19710	1280	7/95	2220	30/2
340	377	369	21	30	27	316	248	1/90	76220	3050	15/6	19710	1280	7/90	2260	32/4
370	395	388	21	30	27	319	250	1/92	84870	3300	16/2	19520	1270	7/82	2490	34/0
400	422	407	21	30	27	326	256	2/00	104100	4820	17/6	19240	1260	7/70	2790	37/4
450	478	467	21	30	27	325	262	2/10	121500	5500	19/8	19240	1260	7/59	3170	41/5
500	524	506	21	30	27	324	270	2/18	161900	6180	21/2	19150	1250	7/46	3550	45/2
550	572	556	21	30	27	324	278	2/28	198000	6920	23/6	19160	1250	7/35	3970	49/9
600	620	605	21	30	27	324	285	2/37	222400	7660	25/6	18980	1240	7/22	4290	54/1
650	668	655	21	30	27	324	292	2/47	281700	8420	27/5	18980	1240	7/12	4820	58/2
700	716	704	21	30	27	322	301	2/56	329200	9200	29/2	18800	1240	7/1	5270	62/5
800	814	802	21	30	30	304	317	2/75	442600	10870	32/1	18620	1220	6/79	6220	70/9
900	910	902	21	30	30	324	322	2/92	570400	12540	36/2	18450	1220	6/60	7220	79/0
1000	1008	992	21	30	30	344	329	3/12	722200	14220	40/2	18200	1220	6/45	8280	87/2

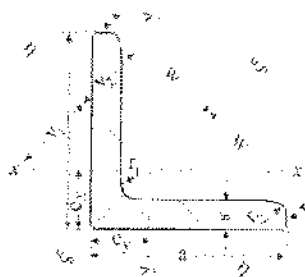
نیمرخ ناودانی UNP



- A = سطح مقطع
- G = وزن واحد طول
- L = سطح جانبی واحد طول
- I = ممان اینرسی
- S = اساس مقطع
- r = شعاع ژیراسیون
- Q = انگر استاتیک نصف مقطع حول محور خنثی
- J = فاصله بین مرکز نیروهای کششی و فشاری
- X_{cm} = محل مرکز برش

U	ابعاد به میلی‌متر					A cm ²	G kg/m	L m	x-x			y-y			Q cm ³	J cm ⁴	e _y cm	X _{cm} cm
	h	b	s	r ₁	r ₂				I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm				
۳۰x۱۵	۳۰	۱۵	۲	۴/۵	۲	۲/۲۱	۱/۷۲	۰/۱۰۳	۲/۵۳	۱/۶۹	۱/۰۷	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۴۳	-	-	۰/۵۳	۰/۷۴
۳۰	۳۰	۲۳	۵	۷	۳/۵	۵/۴۴	۲/۲۷	۰/۱۷۴	۶/۳۹	۶/۳۶	۱/۰۸	۵/۳۳	۲/۶۸	۰/۹۹	-	-	۱/۳۱	۲/۳۴
۴۰x۲۰	۴۰	۲۰	۵	۵/۵	۲/۵	۳/۶۶	۲/۱۸۷	۰/۱۴۲	۷/۵۸	۲/۷۹	۱/۲۲	۱/۱۴	۰/۸۶	۰/۵۶	-	-	۱/۶۷	۱/۰۹
۴۰	۴۰	۲۵	۵	۷	۳/۵	۶/۳۱	۲/۱۸۷	۰/۱۹۹	۹/۱۱	۷/۰۵	۱/۵۰	۶/۶۸	۳/۰۸	۱/۰۴	-	-	۱/۳۳	۲/۳۲
۵۰x۲۵	۵۰	۲۵	۵	۶	۳	۴/۹۲	۳/۱۵۵	۰/۱۸۱	۱۶/۱۸	۶/۷۳	۱/۸۵	۲/۴۶	۱/۴۸	۰/۷۱	-	-	۰/۸۱	۱/۳۴
۵۰	۵۰	۳۸	۶	۷	۲/۵	۷/۱۲	۵/۰۹	۰/۲۲۲	۲۶/۲	۱۰/۶	۱/۹۲	۹/۱۲	۳/۷۵	۱/۱۲	-	-	۱/۳۷	۲/۴۷
۶۰	۶۰	۳۰	۶	۶	۳	۶/۶۶	۵/۰۷	۰/۳۱۵	۳۱/۶	۱۰/۵	۲/۳۱	۶/۵۱	۳/۱۶	۰/۸۴	-	-	۰/۹۱	۱/۵۰
۶۵	۶۵	۴۲	۵/۵	۷/۵	۴	۶/۰۲	۷/۰۹	۰/۳۷۳	۵۷/۵	۱۲/۷	۲/۵۲	۱۴/۱	۵/۰۷	۱/۲۵	-	-	۱/۴۲	۲/۶۰
۸۰	۸۰	۴۵	۶	۸	۴	۱۱/۰	۸/۲۲	۰/۴۱۳	۱۰۶	۲۶/۵	۳/۱۰	۱۹/۴	۶/۳۶	۱/۳۴	۱۵/۹	۶/۶۵	۱/۴۵	۲/۶۷
۱۰۰	۱۰۰	۵۰	۶	۸/۵	۴/۵	۱۳/۵	۱۰/۶	۰/۴۷۲	۲۰۶	۴۱/۲	۳/۹۱	۲۹/۳	۸/۴۹	۱/۴۷	۲۴/۵	۸/۴۲	۱/۵۵	۲/۹۳
۱۲۰	۱۲۰	۵۵	۷	۹	۴/۵	۱۷/۰	۱۲/۴	۰/۴۴۴	۳۶۴	۶۰/۷	۴/۶۲	۴۳/۲	۱۱/۱	۱/۵۹	۳۶/۳	۱۰/۰	۱/۶۰	۲/۰۳
۱۴۰	۱۴۰	۶۰	۷	۱۰	۵	۲۰/۴	۱۶/۰	۰/۴۸۹	۶۰۵	۸۶/۴	۵/۴۵	۶۲/۷	۱۴/۸	۱/۷۵	۵۱/۴	۱۱/۸	۱/۷۵	۲/۲۷
۱۶۰	۱۶۰	۶۵	۷/۵	۱۰/۵	۵/۵	۲۴/۰	۱۸/۸	۰/۵۴۵	۹۲۵	۱۱۶	۶/۳۱	۸۵/۲	۱۸/۳	۱/۸۲	۶۸/۸	۱۳/۳	۱/۸۴	۲/۵۶
۱۸۰	۱۸۰	۷۰	۸	۱۱	۵/۵	۲۸/۰	۲۲/۰	۰/۶۱۱	۱۳۵۰	۱۵۰	۶/۶۶	۱۱۴	۲۲/۴	۲/۰۲	۸۹/۵	۱۵/۱	۱/۹۲	۲/۷۵
۲۰۰	۲۰۰	۷۵	۸/۵	۱۱/۵	۶	۳۲/۲	۲۵/۲	۰/۶۶۱	۱۹۱۰	۱۹۱	۷/۷۰	۱۴۸	۲۷/۰	۲/۱۴	۱۱۴	۱۶/۸	۲/۰۱	۳/۹۴
۲۲۰	۲۲۰	۸۰	۹	۱۲/۵	۶/۵	۳۷/۴	۲۹/۴	۰/۷۱۸	۲۶۹۰	۲۶۵	۸/۴۸	۱۹۷	۳۳/۶	۲/۳۰	۱۶۶	۱۸/۵	۲/۱۴	۴/۱۰
۲۴۰	۲۴۰	۸۵	۹/۵	۱۳	۶/۵	۴۲/۳	۳۴/۲	۰/۷۷۵	۳۶۰۰	۳۰۰	۹/۲۲	۲۴۸	۳۹/۶	۲/۴۲	۱۷۹	۲۰/۱	۲/۲۲	۴/۳۹
۲۶۰	۲۶۰	۹۰	۱۰	۱۴	۷	۴۸/۲	۳۷/۹	۰/۸۲۴	۴۸۲۰	۳۷۱	۹/۹۹	۳۱۷	۴۷/۷	۲/۵۶	۲۲۱	۲۱/۸	۲/۳۶	۴/۶۶
۲۸۰	۲۸۰	۹۵	۱۰	۱۵	۷/۵	۵۳/۳	۴۱/۸	۰/۸۹۰	۶۲۸۰	۴۴۸	۱۰/۹	۳۹۹	۵۷/۲	۲/۷۴	۲۶۶	۲۲/۶	۲/۵۳	۵/۰۲
۳۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۱۰	۱۶	۸	۵۸/۸	۴۶/۲	۰/۹۵۰	۸۰۳۰	۵۳۵	۱۱/۷	۴۹۵	۶۷/۸	۲/۹۰	۳۱۶	۲۵/۴	۲/۷۰	۵/۶۱
۳۲۰	۳۲۰	۱۰۰	۱۴	۱۷/۵	۸/۷۵	۷۵/۸	۵۹/۵	۰/۹۸۲	۱۰۸۷۰	۶۷۹	۱۲/۱	۵۹۷	۸۰/۵	۲/۸۱	۴۱۳	۲۶/۳	۲/۶۰	۶/۸۲
۳۵۰	۳۵۰	۱۰۰	۱۶	۱۶	۸	۷۷/۳	۶۰/۵	۱/۰۴۷	۱۳۸۶۰	۷۴۴	۱۲/۶	۵۷۰	۷۵/۰	۲/۷۲	۴۵۹	۲۸/۶	۲/۶۰	۶/۴۵
۳۸۰	۳۸۰	۱۰۲	۱۳/۵	۱۶	۸	۸۰/۴	۶۳/۱	۱/۱۰۰	۱۵۷۶۰	۸۲۹	۱۴/۰	۶۱۵	۷۸/۷	۲/۷۷	۵۰۷	۳۰/۱	۲/۳۸	۶/۵۸
۴۰۰	۴۰۰	۱۱۰	۱۴	۱۸	۹	۹۱/۵	۷۱/۸	۱/۱۸۲	۲۰۳۵۰	۱۰۳۰	۱۴/۹	۸۴۶	۱۰۳	۲/۰۶	۶۱۸	۳۴/۹	۲/۶۵	۵/۱۱

نیمرخ نشی با بال‌های مساوی



- A = سطح مقطع
- G = وزن واحد طول
- U = سطح جانبی واحد طول
- I = عین اینرسی
- S = اساس مقطع
- r = شعاع ژیراسیون

محور $\eta-\eta$ - محور اصلی حداقل نیمرخ است

I	ابعاد بدنه میلی متر				A cm ²	G kg/m	L m ² /m	e cm	W cm	η_1 cm	η_2 cm	x-x		y-y		$\xi-\xi$		$\eta-\eta$		r_x cm
	h	b	t_1	t_2								$I_x = I_y$ cm ⁴	$S_x = S_y$ cm ³	$r_x = r_y$ cm	I_{ξ} cm ⁴	r_{ξ} cm	I_{η} cm ⁴	r_{η} cm		
۳	۳	۳	۳/۵	۳	۱/۱۲	۰/۸۸	۰/۶۰	۱/۶۱	۰/۸۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۵۹	۰/۵۲	۰/۷۴	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۲۷
۴	۴	۴	۴/۵	۴	۱/۱۶	۰/۷۷	۰/۶۲	۱/۶۱	۰/۸۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۵۸	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۲۶
۵	۵	۵	۵/۵	۵	۱/۲۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۱/۶۲	۰/۸۷	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۷۵	۱/۲۷	۱/۵۵	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۳۰
۶	۶	۶	۶/۵	۶	۱/۲۸	۰/۶۵	۰/۷۶	۱/۶۷	۱/۰۸	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۷۴	۱/۶۱	۱/۹۳	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۳۷
۷	۷	۷	۷/۵	۷	۱/۳۴	۰/۶۸	۰/۸۸	۱/۶۳	۱/۱۳	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۷۲	۱/۸۷	۱/۹۱	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۴۷	۰/۴۷
۸	۸	۸	۸/۵	۸	۱/۴۰	۰/۶۲	۰/۹۹	۱/۶۲	۱/۱۸	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۰	۲/۲۶	۱/۱۴	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۴۸
۹	۹	۹	۹/۵	۹	۱/۴۶	۰/۵۷	۰/۹۲	۱/۶۰	۱/۲۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۶۰	۲/۱۸	۱/۱۲	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۴۹	۰/۴۹
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰/۵	۱۰	۱/۵۲	۰/۵۲	۰/۹۶	۱/۵۷	۱/۳۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۶۰	۲/۱۱	۱/۱۱	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۵۰	۰/۵۰
۱۱	۱۱	۱۱	۱۱/۵	۱۱	۱/۵۸	۰/۴۷	۰/۹۹	۱/۵۲	۱/۳۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۶۰	۲/۰۴	۱/۰۴	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۵۱	۰/۵۱
۱۲	۱۲	۱۲	۱۲/۵	۱۲	۱/۶۴	۰/۴۲	۰/۹۶	۱/۴۷	۱/۴۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۵۲	۰/۵۲
۱۳	۱۳	۱۳	۱۳/۵	۱۳	۱/۷۰	۰/۳۷	۰/۹۶	۱/۴۲	۱/۴۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۵۳	۰/۵۳
۱۴	۱۴	۱۴	۱۴/۵	۱۴	۱/۷۶	۰/۳۲	۰/۹۶	۱/۳۷	۱/۵۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۵۴	۰/۵۴
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵/۵	۱۵	۱/۸۲	۰/۲۷	۰/۹۶	۱/۳۲	۱/۵۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۵۵	۰/۵۵
۱۶	۱۶	۱۶	۱۶/۵	۱۶	۱/۸۸	۰/۲۲	۰/۹۶	۱/۲۷	۱/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۵۶	۰/۵۶
۱۷	۱۷	۱۷	۱۷/۵	۱۷	۱/۹۴	۰/۱۷	۰/۹۶	۱/۲۲	۱/۶۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۵۷	۰/۵۷
۱۸	۱۸	۱۸	۱۸/۵	۱۸	۱/۱۰۰	۰/۱۲	۰/۹۶	۱/۱۷	۱/۷۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۵۸	۰/۵۸
۱۹	۱۹	۱۹	۱۹/۵	۱۹	۱/۱۰۶	۰/۰۷	۰/۹۶	۱/۱۲	۱/۷۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۵۹	۰/۵۹
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰/۵	۲۰	۱/۱۱۲	۰/۰۲	۰/۹۶	۱/۰۷	۱/۸۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۶۰	۰/۶۰
۲۱	۲۱	۲۱	۲۱/۵	۲۱	۱/۱۱۸	۰/۰۳	۰/۹۶	۱/۰۲	۱/۸۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۶۱	۰/۶۱
۲۲	۲۲	۲۲	۲۲/۵	۲۲	۱/۱۲۴	۰/۰۴	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۹۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۶۲	۰/۶۲
۲۳	۲۳	۲۳	۲۳/۵	۲۳	۱/۱۳۰	۰/۰۵	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۹۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۶۳	۰/۶۳
۲۴	۲۴	۲۴	۲۴/۵	۲۴	۱/۱۳۶	۰/۰۶	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۰۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۶۴	۰/۶۴
۲۵	۲۵	۲۵	۲۵/۵	۲۵	۱/۱۴۲	۰/۰۷	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۰۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۶۵	۰/۶۵
۲۶	۲۶	۲۶	۲۶/۵	۲۶	۱/۱۴۸	۰/۰۸	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۱۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۶۶	۰/۶۶
۲۷	۲۷	۲۷	۲۷/۵	۲۷	۱/۱۵۴	۰/۰۹	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۱۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۶۷	۰/۶۷
۲۸	۲۸	۲۸	۲۸/۵	۲۸	۱/۱۶۰	۰/۱۰	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۲۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۶۸	۰/۶۸
۲۹	۲۹	۲۹	۲۹/۵	۲۹	۱/۱۶۶	۰/۱۱	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۲۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۶۹	۰/۶۹
۳۰	۳۰	۳۰	۳۰/۵	۳۰	۱/۱۷۲	۰/۱۲	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۳۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۷۰	۰/۷۰
۳۱	۳۱	۳۱	۳۱/۵	۳۱	۱/۱۷۸	۰/۱۳	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۳۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۷۱	۰/۷۱
۳۲	۳۲	۳۲	۳۲/۵	۳۲	۱/۱۸۴	۰/۱۴	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۴۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۷۲	۰/۷۲
۳۳	۳۳	۳۳	۳۳/۵	۳۳	۱/۱۹۰	۰/۱۵	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۴۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۷۳	۰/۷۳
۳۴	۳۴	۳۴	۳۴/۵	۳۴	۱/۱۹۶	۰/۱۶	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۵۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۷۴	۰/۷۴
۳۵	۳۵	۳۵	۳۵/۵	۳۵	۱/۲۰۲	۰/۱۷	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۵۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۷۵	۰/۷۵
۳۶	۳۶	۳۶	۳۶/۵	۳۶	۱/۲۰۸	۰/۱۸	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۷۶	۰/۷۶
۳۷	۳۷	۳۷	۳۷/۵	۳۷	۱/۲۱۴	۰/۱۹	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۶۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۷۷	۰/۷۷
۳۸	۳۸	۳۸	۳۸/۵	۳۸	۱/۲۲۰	۰/۲۰	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۷۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۷۸	۰/۷۸
۳۹	۳۹	۳۹	۳۹/۵	۳۹	۱/۲۲۶	۰/۲۱	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۷۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۷۹	۰/۷۹
۴۰	۴۰	۴۰	۴۰/۵	۴۰	۱/۲۳۲	۰/۲۲	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۸۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۸۰	۰/۸۰
۴۱	۴۱	۴۱	۴۱/۵	۴۱	۱/۲۳۸	۰/۲۳	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۸۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۸۱	۰/۸۱
۴۲	۴۲	۴۲	۴۲/۵	۴۲	۱/۲۴۴	۰/۲۴	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۹۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۸۲	۰/۸۲
۴۳	۴۳	۴۳	۴۳/۵	۴۳	۱/۲۵۰	۰/۲۵	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۱۹۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۸۳	۰/۸۳
۴۴	۴۴	۴۴	۴۴/۵	۴۴	۱/۲۵۶	۰/۲۶	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۲۰۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۸۴	۰/۸۴
۴۵	۴۵	۴۵	۴۵/۵	۴۵	۱/۲۶۲	۰/۲۷	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۲۰۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۶</							

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان های فولادی

L	ابعاد پهنایی متر				F cm ²	G kg/m	U m ² /m	e cm	w cm	v ₁ cm	v ₂ cm	x x=y-y			ε-ε		η-η					
	a	s	r ₁	r ₂								I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	I _y	S _y	r _y	I _z	I _z	I _z	S _z	r _z
6	6				7/52	5/91		1/80		2/55	2/28	2/92	6/21	1/97	6/22	2/28	12/1	6/27	1/27			
7	7				8/70	6/82		1/85		2/62	2/29	22/2	7/18	1/96	62/20	2/27	12/1	6/27	1/26			
8	8	9	2/5		9/85	7/72	0/252	1/89	2/60	2/67	2/31	22/5	8/12	1/95	69/2	2/26	12/2	6/26	1/25			
9	9				11/0	8/62		1/92		2/72	2/32	21/2	9/0	1/94	65/2	2/25	12/2	6/25	1/25			
11	11				13/2	10/2		1/100		2/82	2/35	28/1	10/1	1/91	76/1	2/22	10/2	6/21	1/25			
6	6				8/12	6/28		1/92		2/72	2/26	26/2	7/27	2/12	68/2	2/28	10/2	6/20	1/27			
7	7	7	2/5		9/20	7/28	0/272	1/97	2/95	2/79	2/27	22/2	8/22	2/12	67/1	2/27	10/2	6/21	1/27			
9	9				11/9	8/22		1/105		2/90	2/30	22/2	10/6	2/10	82/1	2/26	10/2	6/21	1/26			
11	11				13/2	11/2		1/112		2/101	2/32	28/1	11/7	2/8	97/2	2/21	10/2	6/21	1/25			
6	6				8/75	6/87		1/102		2/89	2/27	26/2	8/25	2/12	72/2	2/28	10/2	6/20	1/27			
7	7				10/1	7/96		1/109		2/95	2/28	22/2	9/27	2/12	82/2	2/28	10/2	6/21	1/26			
8	8	10	5		11/5	8/102	0/299	1/112	5/30	2/101	2/29	28/1	11/0	2/12	92/2	2/28	10/2	6/21	1/26			
10	10				13/1	11/1		1/121		2/112	2/30	28/1	12/5	2/12	102/2	2/28	10/2	6/21	1/25			
12	12				15/2	12/1		1/129		2/122	2/31	34/1	13/8	2/12	112/2	2/27	10/2	6/21	1/24			
7	7				10/8	8/99		1/121		2/112	2/28	26/2	11/1	2/12	102/2	2/28	10/2	6/21	1/27			
8	8				12/2	9/96		1/126		2/120	2/28	22/2	12/6	2/12	112/2	2/28	10/2	6/21	1/26			
10	10	10	5		15/1	11/9	0/311	1/132	5/66	2/131	2/29	30/1	15/5	2/12	122/2	2/28	10/2	6/21	1/25			
12	12				17/9	12/1		1/141		2/141	2/30	36/1	16/2	2/12	132/2	2/28	10/2	6/21	1/24			
14	14				20/6	13/1		1/148		2/151	2/31	42/1	17/8	2/12	142/2	2/27	10/2	6/21	1/24			
8	8				12/9	10/9		1/150		2/152	2/31	40/2	18/1	2/12	152/2	2/28	10/2	6/21	1/27			
9	9				15/5	12/2		1/156		2/159	2/31	41/2	19/0	2/12	162/2	2/28	10/2	6/21	1/26			
11	11	9	5/5		18/2	12/2	0/321	1/162	6/26	2/170	2/31	42/2	21/6	2/12	172/2	2/28	10/2	6/21	1/25			
12	12				21/8	12/1		1/170		2/181	2/32	48/1	22/5	2/12	182/2	2/28	10/2	6/21	1/24			
14	14				26/4	13/1		1/181		2/192	2/33	54/1	23/8	2/12	192/2	2/27	10/2	6/21	1/23			
8	8				15/5	12/2		1/172		2/187	2/32	46/2	19/9	2/12	178/2	2/28	10/2	6/21	1/26			
10	10				18/2	15/1		1/182		2/199	2/33	52/2	21/7	2/12	188/2	2/28	10/2	6/21	1/25			
12	12	12	6		22/2	17/8	0/329	1/190	7/10	2/210	2/34	58/2	22/2	2/12	198/2	2/28	10/2	6/21	1/24			
14	14				26/2	20/6		1/198		2/221	2/35	64/2	23/5	2/12	208/2	2/28	10/2	6/21	1/23			
16	16				29/6	22/2		1/206		2/232	2/36	70/2	24/7	2/12	218/2	2/28	10/2	6/21	1/22			
20	20				36/2	28/4		1/220		2/252	2/37	80/2	25/2	2/12	228/2	2/27	10/2	6/21	1/21			
10	11	10			21/2	16/5		1/170		2/172	2/32	44/2	20/1	2/12	178/2	2/28	10/2	6/21	1/26			
12	12	12	6		25/1	18/2	0/330	1/178	7/18	2/185	2/33	50/2	21/2	2/12	188/2	2/28	10/2	6/21	1/25			
14	14				29/0	22/8		1/187		2/196	2/34	56/2	22/2	2/12	198/2	2/28	10/2	6/21	1/24			
11	11				25/4	18/9		1/178		2/175	2/32	44/2	20/5	2/12	178/2	2/28	10/2	6/21	1/25			
12	12	12	6/5		27/5	21/6	0/369	1/189	8/19	2/180	2/33	50/2	21/5	2/12	188/2	2/28	10/2	6/21	1/24			
12	12				29/2	22/2		1/194		2/186	2/33	48/2	21/7	2/12	188/2	2/28	10/2	6/21	1/23			
15	15				33/9	26/6		1/201		2/196	2/34	54/2	22/2	2/12	198/2	2/28	10/2	6/21	1/22			
12	12				30/0	22/6		1/196		2/190	2/33	48/2	21/0	2/12	188/2	2/28	10/2	6/21	1/24			
14	14	14	7		34/2	24/2	0/508	1/202	9/19	2/192	2/34	50/2	21/2	2/12	198/2	2/28	10/2	6/21	1/23			
16	16				39/2	29/9		1/210		2/202	2/35	56/2	22/8	2/12	208/2	2/28	10/2	6/21	1/22			
12	12	14	15	7/5	35/0	27/5	0/547	1/202	9/20	2/196	2/34	50/2	21/2	2/12	198/2	2/28	10/2	6/21	1/24			
15	15				40/0	31/4		1/210		2/206	2/35	52/2	22/2	2/12	208/2	2/28	10/2	6/21	1/23			

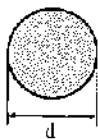
(ادامه جدول قبل)

L	ابعاد به میلی‌متر				F cm ²	G kg/m	U m ² /m	e cm	w cm	v ₁ cm	v ₂ cm	x-x-y-y			ε-ε		η-η					
	a	s	r ₁	r ₂								I _x =I _y cm ⁴	S _x =S _y cm ³	r _x =r _y cm	I _E cm ⁴	r _E cm	I _η cm ⁴	r _η cm	I _η cm ⁴	r _η cm	I _η cm ⁴	r _η cm
۱۲		۱۲			۲۶/۸	۲۷/۲		۲/۱۲		۵/۸۳	۵/۲۹	۷۳۷	۶۷/۷	۲/۶۰	۱۱۷۰	۵/۸۰	۲۰۳	۵۲/۰	۲/۹۵			
۱۴		۱۴			۴۰/۳	۴۱/۶		۲/۲۱		۵/۹۵	۵/۳۱	۸۴۵	۷۸/۲	۲/۵۸	۱۳۴۰	۵/۷۷	۲۴۷	۵۸/۲	۲/۹۴			
۱۵	۱۵۰×	۱۵	۱۶	۸	۴۳/۰	۴۳/۸	۰/۵۸۶	۲/۲۵	۱۰/۶	۶/۰۹	۵/۳۲	۸۹۸	۸۳/۵	۲/۵۷	۱۲۳۰	۵/۷۶	۳۷۰	۶۱/۶	۲/۹۳			
۱۶		۴۵/۷			۴۵/۹	۲/۲۹		۶/۰۷		۵/۳۴	۹۴۹	۸۸/۷	۲/۵۶	۱۵۱۰	۵/۷۴	۳۹۱	۶۴/۴	۲/۹۲				
۱۸		۵۱/۰			۴۰/۱	۲/۳۶		۶/۱۷		۵/۳۸	۱۰۵۰	۹۹/۳	۲/۵۴	۱۶۷۰	۵/۷۰	۴۳۸	۷۱/۰	۲/۹۲				
۲۰		۵۶/۲			۴۴/۲	۲/۴۴		۶/۲۸		۵/۴۱	۱۱۵۰	۱۰۹	۲/۵۱	۱۸۲۰	۵/۶۸	۴۷۷	۷۶/۰	۲/۹۱				
۱۵		۴۶/۱			۳۶/۲	۲/۴۹		۶/۲۵		۵/۶۷	۱۱۰۰	۹۵/۶	۲/۸۸	۱۷۵۰	۶/۱۵	۴۵۳	۷۱/۳	۲/۱۴				
۱۶×۱۷	۱۶۰	۱۷	۱۷	۸/۵	۵۱/۸	۴۰/۷	۰/۶۲۵	۲/۵۷	۱۱/۳	۶/۴۶	۵/۷۰	۱۳۳۰	۱۰۸	۲/۸۶	۱۹۵۰	۶/۱۳	۵۰۶	۷۸/۳	۲/۱۳			
۱۹		۵۷/۵			۴۵/۱	۲/۶۵	۶/۵۸	۵/۷۳	۱۳۵۰	۱۱۸	۲/۸۴	۲۱۴۰	۶/۱۰	۵۵۸	۸۴/۸	۲/۱۲						
۱۶	۱۸۰×	۱۶	۱۸	۹	۵۵/۴	۴۳/۵	۰/۷۰۵	۵/۰۲	۱۲/۷	۷/۱۱	۶/۳۹	۱۶۸۰	۱۳۰	۵/۵۱	۲۶۹۰	۶/۹۶	۶۷۰	۹۵/۵	۲/۵۰			
۱۸		۶۱/۹			۴۸/۶	۵/۱۰		۷/۲۲		۶/۴۱	۱۸۷۰	۱۴۵	۵/۴۹	۲۹۷۰	۶/۹۳	۷۵۷	۱۰۵	۲/۴۰				
۲۰		۶۸/۴			۵۳/۷	۵/۱۸		۷/۳۲		۶/۴۶	۲۰۶۰	۱۶۰	۵/۴۷	۳۴۶۰	۶/۹۰	۸۳۰	۱۱۳	۲/۴۰				
۲۲		۷۴/۷			۵۸/۶	۵/۲۶		۷/۴۴		۶/۴۷	۲۲۱۰	۱۷۴	۵/۴۴	۳۵۱۰	۶/۸۶	۹۱۸	۱۲۳	۲/۵۰				
۱۶	۲۰۰×	۱۶	۲۰	۹	۶۱/۸	۴۸/۵	۰/۷۸۵	۵/۵۲	۱۴/۱	۷/۸۰	۷/۰۹	۲۳۴۰	۱۶۲	۶/۱۵	۳۷۴۰	۷/۷۸	۹۴۳	۱۲۱	۲/۹۱			
۱۸		۶۹/۱			۵۶/۳	۵/۶۰		۷/۹۲		۷/۱۲	۲۶۰۰	۱۸۱	۶/۱۳	۴۱۵۰	۷/۷۵	۱۰۵۰	۱۳۲	۲/۹۰				
۲۰		۷۶/۴			۵۹/۹	۵/۶۸		۸/۰۴		۷/۱۵	۲۸۵۰	۱۹۹	۶/۱۱	۴۵۴۰	۷/۷۲	۱۱۶۰	۱۴۴	۲/۸۹				
۲۴		۹۰/۶			۷۱/۱	۵/۸۶		۸/۲۶		۷/۲۱	۳۳۳۰	۲۳۵	۶/۰۶	۵۳۸۰	۷/۶۴	۱۳۸۰	۱۶۷	۲/۹۰				
۲۸		۱۰۵			۸۳/۰	۵/۹۹		۸/۴۷		۷/۲۸	۳۷۸۰	۲۷۰	۶/۰۲	۵۹۹۰	۷/۵۷	۱۵۸۰	۱۸۶	۲/۸۹				

اساس مقطع خمیری نیمرخ‌ها

نیمرخ INP		نیمرخ IPE		نیمرخ IPEX	
نمره نیمرخ	Z(cm ³)	نمره نیمرخ	Z(cm ³)	نمره نیمرخ	Z(cm ³)
100	40	100	39	100	104.2
120	63	120	60	120	163.2
140	95	140	88	140	246
160	136	160	123	160	354
180	186	180	166	180	482
200	250	200	220	200	642
220	324	220	286	220	828
240	412	240	366	240	1054
260	514	270	484	260	1282
280	632	300	628	280	1534
300	762	330	804	300	1868
320	914	360	1020	320	2140
340	1080	400	1308	340	2400
360	1276	450	1702	360	2680
380	1482	500	2200	400	3240
400	1714	550	2780	450	3980
450	2400	600	3520	500	4820
500	3240			550	5600
550	4240			600	6420
600	5460			650	7320

میلگرد و چهارسو

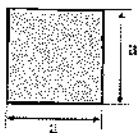


A = سطح مقطع
G = وزن واحد طول
U = سطح جانبی واحد طول

d	A	G	U	d	A	G	U	d	A	G	U	d	A	G	U
mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /m
5 [#]	0/196	0/154	157	20/5	3/30	2/59	644	41	13/2	10/4	1290	75	44/2	34/7	2260
5/5	0/228	0/187	172	21	3/46	2/72	660	42	13/9	10/9	1320	76	45/4	35/6	2390
6 [#]	0/283	0/222	188	21/5	3/62	2/85	675	43	14/5	11/4	1350	78	47/8	37/5	2450
6/5	0/322	0/260	204	22 [#]	3/80	2/98	691	44	15/2	11/9	1380	80	50/3	39/5	2510
7 [#]	0/385	0/302	220	22/5	3/98	2/12	707	45 [#]	15/9	12/5	1410	83	54/1	42/5	2610
7/5	0/422	0/337	236	23	4/15	2/36	723	46	16/6	13/0	1450	85	56/7	44/5	2670
8 [#]	0/503	0/395	251	23/5	4/34	2/40	738	47	17/2	13/6	1480	88	60/8	47/7	2760
8/5	0/564	0/445	267	24 [#]	4/52	2/55	754	48	18/1	14/2	1510	90	63/6	49/9	2820
9	0/626	0/499	282	24/5	4/71	2/70	770	49	18/9	14/8	1540	95	70/9	55/6	2980
9/5	0/709	0/556	298	25	4/91	2/85	785	50 [#]	19/6	15/4	1570				
10 [#]	0/785	0/617	314									100	78/5	61/7	3140
				25/5	5/11	3/01	801	51	20/4	16/0	1600	105	86/6	68/0	3300
10/5	0/866	0/680	330	26 [#]	5/31	3/17	817	52	21/2	16/7	1630	110	95/0	74/6	3460
11	0/950	0/746	346	26/5	5/52	3/22	832	53	22/1	17/3	1670	115	104	81/5	3610
11/5	1/04	0/815	361	27	5/73	3/49	848	54	22/9	18/0	1700	120	113	88/8	3770
12 [#]	1/13	0/888	377	27/5	5/94	3/66	864	55	23/8	18/7	1730	125	122	96/2	3930
12/5	1/23	0/962	392	28 [#]	6/16	3/82	880	56	24/6	19/3	1760	130	132	104	4080
13	1/32	1/04	408	28/5	6/38	4/01	895	57	25/5	20/0	1790	135	142	112	4240
13/5	1/42	1/12	424	29	6/61	4/19	911	58	26/4	20/7	1820	140	152	121	4400
14 [#]	1/52	1/21	440	29/5	6/82	4/37	927	59	27/2	21/5	1850	145	162	130	4560
14/5	1/62	1/30	456	30 [#]	7/07	4/55	942	60	28/2	22/2	1880	150	172	139	4710
15	1/72	1/39	471									155	182	148	4870
				31	7/55	4/92	974	62	30/2	23/7	1950				
15/5	1/82	1/48	487	31/5	7/79	5/12	990	63	31/2	24/5	1980	160	201	158	5030
16 [#]	2/01	1/58	503	32 [#]	8/04	5/31	1010	64	32/2	25/2	2010	165	212	168	5180
16/5	2/11	1/68	518	33	8/55	5/71	1040	65	33/2	26/0	2040	170	222	178	5340
17	2/22	1/78	534	34 [#]	9/08	5/12	1070	66	34/2	26/8	2070	(175)	241	189	5500
17/5	2/32	1/89	550	35	9/62	5/55	1100	67	35/2	27/7	2100	180	252	200	5650
18 [#]	2/52	2/00	565	36 [#]	10/2	5/99	1130	68	36/2	28/5	2140	(185)	269	211	5810
18/5	2/62	2/11	581	37	10/8	6/44	1160	70	38/5	30/2	2200	190	284	222	5970
19	2/82	2/22	597	38 [#]	11/2	6/90	1190					200	312	247	6280
19/5	2/92	2/32	612	39	11/8	7/38	1230	72	40/7	32/0	2260	210	346	272	6600
20 [#]	3/12	2/47	628	40 [#]	12/6	8/86	1260	73	41/9	32/9	2290	220	380	298	6910

راهنمای جوشر و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

میلگرد و چهارسو

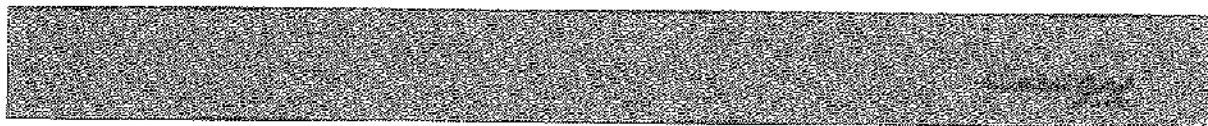


A = سطح مقطع

G = وزن واحد طول

U = سطح جانبی واحد طول

a	A	G	U	a	A	G	U	a	A	G	U	a	A	G	U
mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /m	mm	cm ²	kg/m	cm ² /m
6	0.280	0.283	240	21.5	4.62	4.63	860	28	7.84	7.85	1520	70	49.0	48.8	2800
7	0.385	0.388	280	22	4.84	4.85	880	30	9.00	9.01	1600	(73)	53.3	53.1	2920
8	0.502	0.505	320	23	5.29	5.30	920	32	10.24	10.25	1760	75	56.2	56.0	3000
9	0.630	0.633	360	24	5.76	5.77	960	34	11.56	11.57	1920	80	64.0	63.8	3200
10	1.00	0.995	400	25	6.25	6.26	1000	36	12.96	12.97	2160	85	72.2	72.0	3400
(11)	1.21	0.950	440	26	6.76	6.77	1040	38	14.44	14.45	2320	90	81.0	80.8	3600
12	1.44	1.43	480	26.5	7.02	7.03	1060	40	16.00	16.01	2480	(93)	86.5	86.3	3720
13	1.69	1.68	520	28	7.84	7.85	1120	42	17.64	17.65	2640	100	100	98.8	4000
14	1.96	1.95	560	29	8.41	8.42	1160	44	19.36	19.37	2800	105	110.2	110.0	4200
15	2.25	2.24	600	30	9.00	9.01	1200	46	21.16	21.17	2960	110	121	120.8	4400
16	2.56	2.55	640	32	10.24	10.25	1280	48	23.04	23.05	3120	(103)	106	105.8	4120
17	2.89	2.88	680	33	10.89	10.90	1320	50	25.00	25.01	3280	115	132	131.8	4400
18	3.24	3.23	720	(33)	10.89	10.90	1320	52	27.04	27.05	3440	120	144	143.8	4800
19	3.61	3.60	760	34	11.56	11.57	1360	(57)	32.4	32.4	3280	130	169	168.8	5200
20	4.00	3.99	800	35	12.25	12.26	1400	60	36.00	36.01	3600	140	196	195.8	5600
				(36)	13.00	13.01	1440	62	38.44	38.45	3760	150	225	224.8	6000
21	4.41	4.40	840	37	13.69	13.70	1480	64	40.96	40.97	3920				



فرم‌های استاندارد



گزارش آزمایش ارزیابی جوشکاران، اپراتورهای جوشکاری و خال جوشکاران

نوع جوشکار
 نام: شماره شناسنامه:
 شماره دستورالعمل جوشکاری اصلاح تاریخ

ثابت مقادیر واقعی مورد استفاده در ارزیابی	محدوده ارزیابی	متغیرها
		نوع / روش
		الکتروود (تک یا چندگانه)
		جریان / قطبیت
		موقعیت
		موقعیت جوشکاری
		پشت بند (بله، خیر)
		نوع مصالح
		مصالح پایه
		شماره } ضخامت (ورق)
		گوشه } ضخامت (لوله)
		شماره } قطر (لوله)
		گوشه } شماره
		مصالح پرکننده
		شماره مشخصه
		رده
		نوع تدازآور / گاز
		سابر موارد

بازرسی عینی			
مردود <input type="checkbox"/>		مورد تأیید <input type="checkbox"/>	
نتایج آزمایش خمش هدایت شده			
نتیجه	نوع	نتیجه	نوع

نتایج آزمایش جوش گوشه

اندازه جوش ظاهر جوش

زخم آزمایش شکست نفوذ ریشه

شرح مکان، نوع و اندازه هرگونه ترک ایجاد شده در نمونه آزمایشی

شماره آزمایش بازرسی به وسیله
تاریخ مؤسسه

نتایج آزمایش پرتونگاری					
شماره فیلم	نتیجه	علامت	شماره فیلم	نتیجه	علامت

شماره آزمایش بازرسی به وسیله
تاریخ مؤسسه

ما امضاءکنندگان، صحت نتایج مندرج در این برگه و تطبیق آماده سازی، جوشکاری و آزمایش قطعات نمونه را مطابق دستورالعمل آیین نامه، تأیید می نماییم.

سازنده یا پیمانکار

معرفی به وسیله
تاریخ

گزارش آزمایش ارزیابی دستورالعمل جوشکاری (مخرب)

آزمایش کششی

شماره نمونه	عرض	ضخامت	سطح	بار کششی نهایی (kg)	تنش حد نهایی kg/cm^2	نوع و موقعیت شکست

آزمایش خمش هدایت شده

شماره نمونه	نوع خمش	نتیجه	توضیحات

بازرسی چشمی:

ظاهر جوش
 بریدگی کناری
 تخلخل حفره‌ای
 تقعر
 تاریخ آزمایش
 گواهی کننده
 آزمایش‌های دیگر

آزمایش پرتونگاری - فراصوتی
 شماره گزارش RT: نتیجه
 شماره گزارش UT: نتیجه
 نتایج آزمایش جوش گوشه
 حداقل بعد چند پاسه زخم‌دار حداکثر بعد تک پاسه زخم‌دار
 ۱ ۲ ۳ ۱ ۲ ۳

آزمایش کشش فلز جوش

مقاومت کششی (kg/cm^2)
 مقاومت تسلیم (kg/cm^2)
 افزایش طول در ۵۰ میلی‌متر، %
 شماره آزمایش
 شماره تأیید
 آزمایشگاه
 نام جوشکار
 تأیید آزمایش توسط
 شماره آزمایش
 هر
 ما، امضاء کنندگان، صحت نتایج مندرج در این برگه و تطبیق آماده‌سازی، جوشکاری و آزمایش قطعات نمونه را مطابق دستورالعمل آیین‌نامه، تأیید می‌نماییم.

سازنده یا پیمانکار.....

امضاء

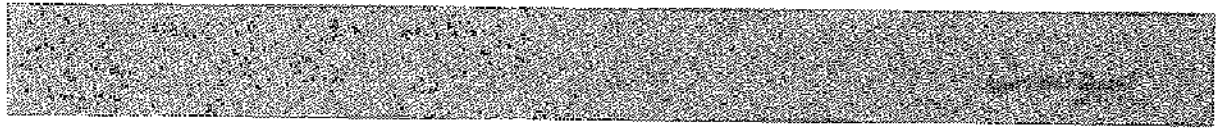
معرفی به وسیله.....

عنوان.....

تاریخ.....

فرم استاندارد دستورالعمل جوشکاری WPS

نام شرکت		شماره تجدیدنظر		تاریخ		توسط	
شماره دستورالعمل		تأییدکننده		تاریخ			
روش جوشکاری		<input type="checkbox"/> دستی		<input type="checkbox"/> نیمه خودکار		<input type="checkbox"/> خودکار	
نوع درز		وضعیت					
نوع: <input type="checkbox"/> یک‌رو <input type="checkbox"/> دورو		جوش شماری					
پشت‌بند: <input type="checkbox"/> بله <input type="checkbox"/> خیر		جوشکاری قائم: <input type="checkbox"/> سر بالا <input type="checkbox"/> سر پایین					
مصلح پشت‌بند		خواص الکتریکی					
بازشدگی ریشه		نوع انتقال (GXAW):					
زاویه شیار		مدار کوتاه <input type="checkbox"/> قطره‌ای <input type="checkbox"/> پاشیدنی <input type="checkbox"/>					
شیارزنی پشت: <input type="checkbox"/> بله <input type="checkbox"/> خیر <input type="checkbox"/> روشن		جریان: <input type="checkbox"/> AC <input type="checkbox"/> DCEP <input type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/> ضربه‌ای <input type="checkbox"/>					
فلز پایه		غیره					
مشخصات فنی		الکتروده تنگستن (GTAW):					
نوع یا رده		اندازه					
ضخامت		نوع					
مصلح الکترود		تکنیک جوشکاری					
مشخصات فنی AWS		<input type="checkbox"/> زنجیری <input type="checkbox"/> زیگ‌زاگ					
رده طبق AWS		<input type="checkbox"/> یک‌پاسه <input type="checkbox"/> چندپاسه					
بویش		تعداد الکترود					
نوع بودر		فواصل الکترود: طولی					
ترکیب		عرضی					
نوع روکش الکترود		زاویه					
		فاصله با قطعه کار					
		تمیزی میان پاس					
پیش‌گرمایش		عملیات پس‌گرمایش					
دمای پیش‌گرمایش، حداقل		درجه حرارت					
دمای میان پاس، حداقل		زمان					
حداکثر							
هندسه درز		الکتروده		جریان			سرعت حرکت mm/min
		رده	قطر	نوع و قطبیت	آمپراژ	ولتاژ	
عبور		روش جوشکاری					
۱							
۲							
۳							



آزمون جوشکاران ساختمانی طبق استاندارد

۳

ملّی ایران



آزمون و امتحان

۱ - نظارت

جوشکاری و آزمون قطعه آزمون باید در حضور یک آزمایشگر یا سازمان آزمون گیرنده مورد قبول طرفین قرارداد انجام شود. ناظر ممکن است اعضای از شرکت سازنده، خریدار و یا طرف سوم (بازرس مستقل) باشد. بر روی قطعه‌های آزمون باید مشخصات جوشکار و آزمایشگر، پیش از شروع جوشکاری حک شود. آزمایشگر می‌تواند در مواردی که شرایط جوشکاری درست نیست یا هنگامی که مشاهده شود جوشکار صلاحیت فنی انجام امور مطابق با شرایط استاندارد را ندارد، آزمون را متوقف کند. به عنوان مثال در شرایطی که جوشکار بر روی قطعه جوشکاری شده، تعمیرات زیادی انجام می‌دهد.

۲ - شکل و ابعاد قطعه آزمون

شکل و ابعاد قطعه‌های آزمون باید مطابق شکل‌های ۱ و ۲ باشد.

۳ - شرایط جوشکاری

آزمون تأیید جوشکار باید با شرایط مورد استفاده در تولید و به دست آمده از WPS یا pWPS^۱ تهیه شده براساس استاندارد ملی ایران باشد.

در تهیه WPS یا pWPS شرایط زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

- الف - آزمون باید براساس فرآیندهای جوشکاری مورد استفاده در تولید انجام شود.
- ب - فلز پُرکننده باید با فرآیند جوشکاری و حالت جوشکاری مطابقت داشته باشد.
- پ - آماده‌سازی لبه ورق برای قطعه آزمون باید مطابق شرایط مورد استفاده در تولید باشد.
- ت - ابعاد قطعه آزمون باید براساس اشکال این استاندارد باشد.
- ث - جوشکاری باید در حالت‌ها و زوایای اتصال‌ها انجام شود که عموماً در تولید استفاده می‌شوند.
- ج - جوش باید مطابق با بند ۵ ارزیابی شود.
- چ - مدت زمان جوشکاری، برای قطعه آزمون باید با مدت زمان مورد استفاده در تولید (جهت انجام جوشکاری) یکسان باشد.

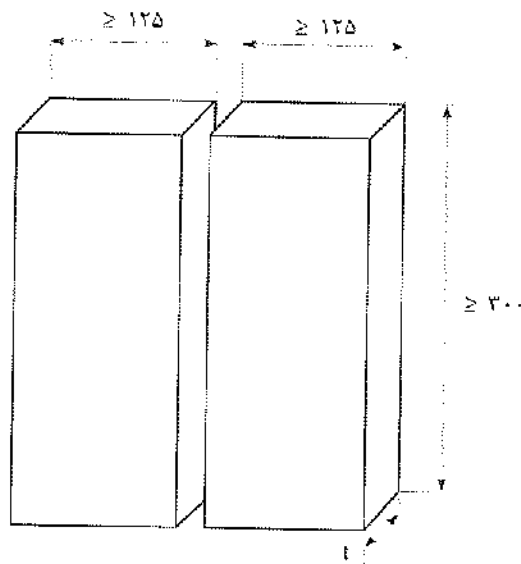
۱. دستورالعمل جوشکاری پیش پذیرفته *1. prequalified Welding Procedure Specification*

ح - قطعه آزمون باید دست‌کم یک توقف و یک شروع دوباره در پاس ریشه و پاس آخر داشته باشد و در طول (محدوده) مورد بازرسی برای بررسی مشخص شده باشد.

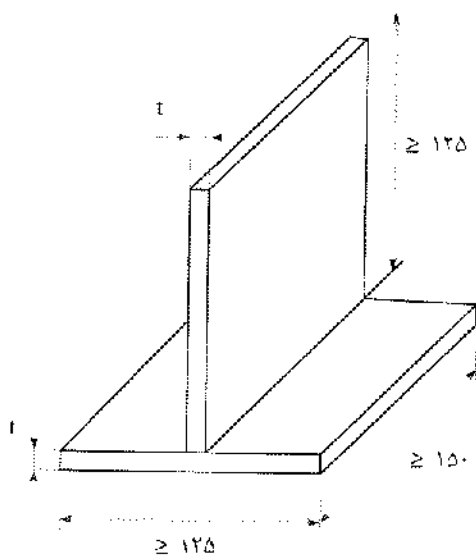
خ - رعایت هرگونه پیش‌گرم یا کنترل گرمای ورودی مورد نیاز در WPS یا pWPS برای قطعه آزمون الزامی است.
د - هرگونه عملیات حرارتی پس از جوشکاری که در WPS یا pWPS آمده باشد در صورتی که آزمایش خمش مورد نیاز نباشد می‌تواند حذف شود.

ذ - شناسایی قطعه آزمون.

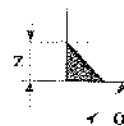
ر - جوشکار اجازه دارد با تأیید آزمایشگر، کاستی‌های جزئی (به‌جز کاستی موجود در لایه سطحی) را توسط سنگ‌زنی، تیازنی (گوجینگ) یا سایر روش‌های مورد استفاده در تولید حذف کند.



شکل ۱ ابعاد قطعه آزمون برای جوش لب پهلپ ورق.



$$z = \alpha \sqrt{2}$$



$$\alpha \leq 0.5t \quad \text{برای } t \leq 6\text{mm}$$

$$0.5t \leq \alpha \leq t \quad \text{برای } t > 6\text{mm}$$

$$(z \approx 0.7t)$$

شکل ۲ ابعاد قطعه آزمون برای جوش (های) گوتته‌ای ورق.

۴ - روش‌های آزمون

هر قطعه آزمون که جوشکاری آن تکمیل می‌شود، باید پیش از هر عملیاتی در شرایط جوشکاری شده بازرسی چشمی شود. در صورتی که لازم باشد (رجوع شود به جدول ۱) بازرسی چشمی می‌تواند توسط آزمایش ذرات مغناطیسی، مایع‌های نافذ یا سایر روش‌ها و آزمایش بررسی سطح مقطع بر روی جوش‌های لب به لب تکمیل شود.

اگر جوش به وسیله بازرسی‌های چشمی تأیید شد، انجام آزمایش‌های پرتونگاری، شکست و آزمایش بررسی سطح مقطع مورد نیاز است (رجوع شود به جدول ۱).

آزمونه بررسی سطح مقطع باید آماده و سپس عمل حک‌کاری روی یک سمت از آن، برای آشکار شدن جوش انجام شود.

هنگامی که از آزمایش پرتونگاری استفاده می‌شود، باید علاوه بر آن آزمایش‌های خمش بر روی جوش‌های لب به لب حاصل از فرآیند MIG و MAG انجام شود.

پیش از آزمایش‌های مکانیکی، پشت‌بندهایی که در هنگام جوشکاری استفاده شده باید از قطعه آزمون جدا شوند. قطعه آزمون را می‌توان به وسیله برش حرارتی یا مکانیکی مقطع زد؛ ۲۵ میلی‌متر ابتدا و انتهای قطعه آزمون جوشکاری شده بریده شده و دور انداخته می‌شود (شکل‌های ۲ و ۴).

۵ - قطعه آزمون و آزمونه‌ها

۵-۱ کلیات

در قسمت‌های ۵-۲ تا ۵-۵ جزئیات قطعه آزمون و آزمونه‌ها مانند نوع، ابعاد و آماده‌سازی آنها داده شده است. علاوه بر آن، وسایل مورد نیاز برای آزمایش‌های مکانیکی ارائه شده است.

۵-۲ جوش‌های لب به لب ورق

هنگامی که آزمایش پرتونگاری انجام می‌شود، طول مورد بازرسی از جوش در قطعه آزمون (شکل ۳ - الف) در شرایط جوشکاری شده باید با استفاده از روش رده B پرتونگاری شود.

زمانی که از آزمایش شکست استفاده می‌شود، کل طول مورد بازرسی در قطعه آزمون باید آزمایش شود. برای این منظور لازم است قطعه آزمون به آزمونه‌های متعدد تقسیم شود (شکل ۳ - الف). عرض هر آزمونه شکست باید حدود ۵۰ میلی‌متر باشد. در صورت لزوم می‌توان گرده جوش را حذف کرد و علاوه بر آن می‌توان بر لبه‌های جوش یک شیار به عمق حدود ۵ میلی‌متر ایجاد کرد تا بدین وسیله شکست در محل فلز جوش آسان شود (شکل ۳ - ب). در حالتی که جوشکاری یکطرفه بدون استفاده از پشت‌بند انجام می‌شود، نصف طول مورد بازرسی باید از طرف رویه و نصف دیگر از طرف ریشه آزمایش شود (شکل‌های ۳ - پ و ۳ - ت).

زمانی که آزمایش خمش عرضی به کار می‌رود، دو آزمونه خمش ریشه و دو آزمونه خمش رویه باید آزمایش شوند. قطر شکل دهنده یا غلتک داخلی باید برابر ۴۱ و زاویه خمش برابر ۱۲۰ درجه باشد.

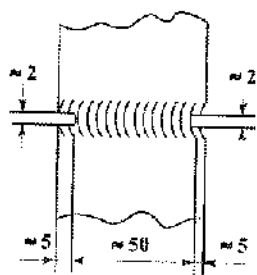
در هنگام آزمایش، نباید عیب منفرد بزرگتر از ۳ میلی‌متر در هیچ‌یک از جهات در آزمونه‌ها نمایان شود. پارگی که در گوشه‌های آزمونه در هنگام آزمایش ایجاد می‌شود نباید در ارزیابی مدنظر قرار گیرد.

جدول ۱ روش‌های آزمایش

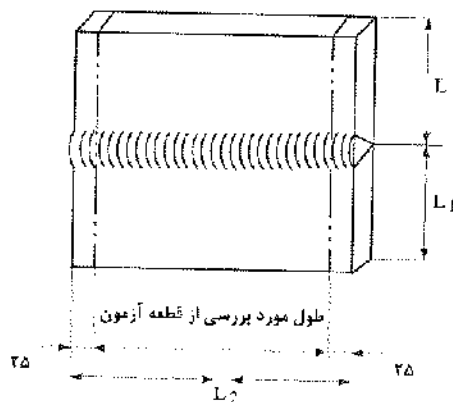
روش آزمایش	جوش لب به لب ورق	جوش گوشه
چشمی	*	*
پرتونگاری	* ^۲	—
خمش	* ^۳	—
شکست	* ^۱	* ^۴
بررسی سطح مقطع (بدون سمباده‌زنی)	—	* ^۵
ذرات مغناطیسی / مایع‌های نافذ	—	—

نشانه‌ها
* نشان‌دهنده روش آزمایشی است که انجام آن اجباری می‌باشد.
— نشان‌دهنده روش آزمایشی است که انجام آن اجباری نمی‌باشد.

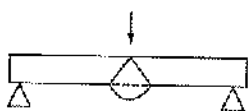
- ۱- آزمایش پرتونگاری یا شکست باید استفاده شوند ولی نه هر دو.
- ۲- آزمایش پرتونگاری می‌تواند توسط آزمایش فراصونی فقط در فولادهای فربتی با ضخامت معادل یا بیشتر از ۸ میلی‌متر جایگزین شود.
- ۳- زمانی که آزمایش پرتونگاری استفاده می‌شود، انجام آزمایش‌های خمش بزرگ فرابندهای ۱۳۱، ۱۳۵، ۳۱۱ اجباری می‌باشد.
- ۴- زمانی که آزمایشگر یا سازمان آزمون‌گیرنده درخواست کرده باشد، آزمایش شکست باید به همراه آزمایش‌های ذرات مغناطیسی / مایع‌های نافذ انجام شود.
- ۵- آزمایش شکست می‌تواند توسط آزمایش بررسی سطح مقطع یا بررسی حداقل چهار مقطع جایگزین شود که یکی از آنها باید از محل شروع یا پایان خط جوش باشد.
ابعاد به میلی‌متر می‌باشد.



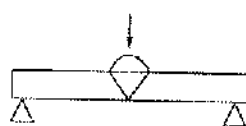
(ب) آماده‌سازی



(الف) چگونگی تقسیم‌بندی برای تهیه حداقل چهار آزمون

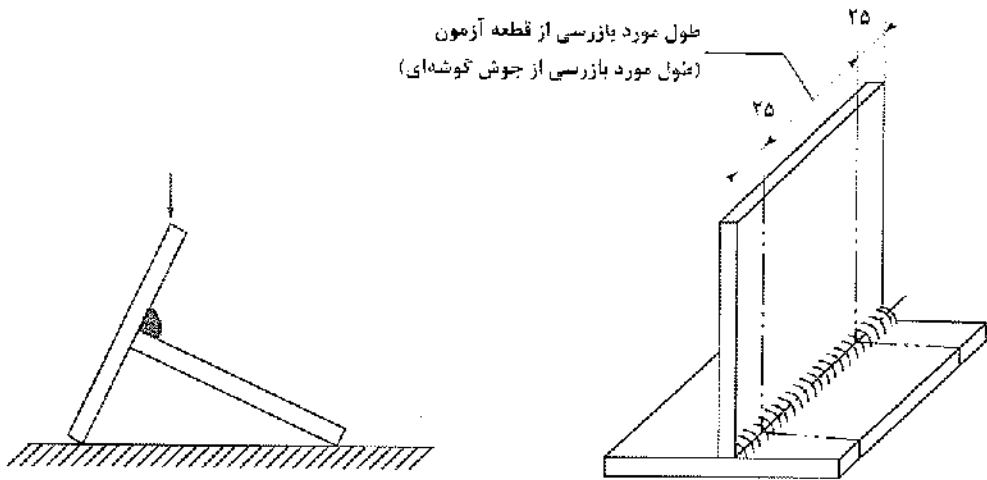


(ت) آزمایش شکست از طریق خمش ریشه



(پ) آزمایش شکست از طریق خمش رویه

شکل ۳ آماده‌سازی و آزمایش شکست آزمون‌ها برای جوش لب به لب ورق.



(الف) چگونگی تقسیم‌بندی برای تهیه نمونه‌ها

(ب) آزمایش شکست

توجه: در صورت نیاز می‌توان در جوش گوشه‌ای شیار ایجاد نمود.

شکل ۴ آماده‌سازی و آزمایش نکست آزمون‌ها برای جوش گوشه‌ای ورق.

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

A		E	
Abrosion	ساییدگی	Electro gas welding	جوشکاری گاز الکتریکی
Age-hardenable	عمر سخت‌پذیری	Electrode cable	کابل الکترود
Air line respirators	لونه‌های هوای تنفس	Electrode holder	انبر الکترود
Air-conditioned helmet	نهبویه مطبوع	Electrode oven	خستک‌کن الکترود
American Iron and Steel Institute (AISI)	مؤسسه آهن و فولاد آمریکا	F	
American Welding Society	انجمن جوش آمریکا	Fast fill	پر جوش
Arr stray	لکه قوس	Fast follow	زودرو
Arc blow	انحراف قوس	Fast freeze	زودجوش
Arc leaght	طول قوس	Fast freeze (fast follow)	زودرو
Arc welding	جوشکاری قوسی	Fit-up	مونتاژ، آرایش لب‌ها
B		Flash goggle	عینک ایمنی
Binder	مالات (ماده چسبن)	Friable	نرد
Blinder	چشم‌بند	Full fill	الکترودهای پر جوش
Bridge gap	شکاف یل	G	
Bubbling	حباب‌زایی	Gap	شکاف
Burn-through	سوختگی	جوشکاری تحت حفاظت گاز با الکترود مصرفی	
C		Gas metal-arc welding	جوشکاری تحت حفاظت گاز با الکترود تنگستن
Cable lug	کفشک کابل	Gas tungsten-arc welding	
Carbon steel	فولاد کربنی	Globular transfer	انتقال قطره‌ای
Chorme leather helmet	پوشش جرم	Glove	دستکش جوشکاری
Cored electrode	الکتروده مغزه‌دار	Gouging	شیارزنی
Cover glass	شیشه روکش	Grinding	سنگ‌زنی
Covered electrode	الکتروده روکش‌دار	Ground cable	کابل اتصال به زمین
Crater	سوراخ شدن، حفره	Ground clamp	گیره اتصال به زمین
D		H	
	ماشین‌های جوشکاری موتور - مولد	Hand shield	ماسک دستی
d.c and a.c. Motor-Generator welding machines		Hard-facing	ردبیه سخت
Deposited	ترسیب‌شده	Head band	نوار روی سر
Drag	تکنیک کشیدن	Head shield	ماسک کلاهی

راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی

Heat affected zone (HAZ)	ناحیه متأثر از حرارت	Poor fitup	جفت‌نشده
Helmet	سربند	Positioners	موقعیت‌دهنده‌ها
Hood	کلاه ایمنی	Process	فرآیندهای جوشکاری
	پارگی مجرم (پارگی یا ترک خوردن فلزاتی نظیر چس که بعد از ذوب فلز و در مرحله انجماد صورت می‌گیرد).	Protective clothing	لباس محافظ
Hot-shortness		Protective lens	ریشه رنگی
Hydrogen pick up	مکث هیدروژن	R	
		Reverse polarity	جوشکاری با قطبیت معکوس (مثبت)
I		(Positive polarity)	
Inclusion	دخول	S	
J		Scaling	پوسته شدن
Job requirement	الزامات کار		جوش قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار
Joint design	هندسه درز	Shielded metal-arc welding	
Joint design and fitup	هندسه و مونتاژ درز	Slag	گل (سرباره) جوشکاری
L		Stainless steel electrode	الکتروود فولادهای ضدزنگ
Lap weld	اتصالات لب روهم	Stick electrode	الکتروود روکش دار با طول محدود
Leather cap	کلاه چرمی	Stick electrode welding	جوشکاری با الکتروود روکش دار
Low hydrogen electrode	الکتروودهای کم‌هیدروژن	Straight polarity	جوشکاری با قطبیت مستقیم (مثبت)
		(Negative polarity)	
M		Stud welding	جوشکاری گل میخ‌ها
Metal arc welding electrode	الکتروودهای جوشکاری قوسی	Sal-Coated or sal finish electrode	سول
Microcrack	ریز ترک	T	
Moisture-prone	نم‌گیر	Thirsty	مواد معدنی خشک
		Transparent coating	پوشش شفاف
N		U	
National Electrical	انجمن ملی سازندگان الکتریکی	Under cut	بریدگی کناره جوش
Manufacture Association		Underbead crack	زیر ترک (ترک زیر مهره جوش)
O		V	
Open circuit voltage	ولتاژ مدار باز	Volt-ampere characteristic	ولتاژ - شدت جریان
Out put slope	شیب خروجی	W	
P		Welding bench	میز جوشکاری
Pit	حفره		
Polarity	قطبیت		
Polarity interchangeability	تأثیر روکش بر قطبیت		

新編 日本書紀 卷之六

