

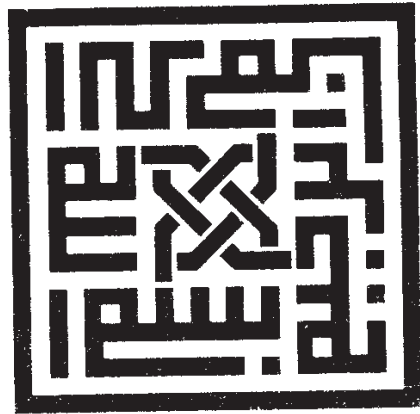
وزارت مسکن و شهرسازی
معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان

راهنمای جوش و اتصالات جوشی

در ساختمانهای فولادی



دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان



وزارت مسکن و شهرسازی
معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان

راهنمای جوش و اتصالات جوشی

تهیه از:

شاپور طاحونی

(عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان

راهنمای جوشی و اتصالات جوش / تهیه از شاپور
طاحونی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی
ساختمان. — تهران: مدیریت، ۱۳۷۹.
دوازده، ۴۵۴ ص. : مصور، جدول، نمودار.
ISBN 964-6561-10-1: ۲۲۰۰۰ ریال

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیپا .
۱. سازه های فولادی جوش شده . ۲. جوشکاری .
۳. اتصالات های جوش شده . الف. ایران . وزارت مسکن و
شهرداری . دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی .
ب. عنوان .

۶۲۴ / ۱۸۲

TA ۶۸۴ / ط ۲۱۶

۲۹۵۴-۷۹م

کتابخانه ملی ایران

راهنمای جوش و اتصالات جوشی

- تهیه کننده : دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان
- ناشر : انتشارات مدیریت
- نوبت چاپ : اول
- تاریخ چاپ : ۱۳۷۹
- شمارگان : ۵۰۰۰ جلد
- چاپ و صحافی : چاپخانه دانشگاه الزهرا

حق چاپ برای تهیه کننده محفوظ است

پیشگفتار

سازه فولادی مجموعه‌ای از اعضای باربر، ساخته شده از ورق و یا نیمرخ‌های فولادی می‌باشد که به کمک اتصالات به یکدیگر متصل شده و اسکلت ساختمان را به وجود می‌آورند.

نیمرخ‌های فولادی تولیدات کارخانه‌ای هستند که با توجه به روش‌های تکامل یافته برای تولید آنها، غالباً رفتاری در حد انتظار از خود نشان می‌دهند.

موضوعی که همیشه بحث‌برانگیز بوده و موجب نگرانی طراحان و سازندگان سازه‌های فولادی است، چگونگی رفتار اتصالاتی است که؛ (الف) برای ساخت اعضای مرکب از نیمرخ و ورق، و (ب) برای یکپارچه نمودن اعضا (شامل تیر، ستون و مهاربندها) در محل گره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

وسایل اتصالی که برای ساخت اعضا و اتصال آنها به یکدیگر به کار می‌رود شامل پرچ، پیچ و جوش است. در این میان استفاده از جوش در ساختمان‌سازی متعارف در ایران بسیار رایج است. در سطح جهانی، قدمت استفاده از جوش در ساخت اسکلت فولادی شاید به ۱۰۰ سال برسد. در کشور ما نیز شاید بتوان قدمتی ۵۰ ساله برای استفاده از جوشکاری در ساختمان تصور نمود. طی این سالیان نسبتاً طولانی، مسلماً پیشرفت‌های قابل توجهی در شناخت جوش و توسعه فن‌آوری مربوطه صورت گرفته است. اما هنوز هم بدگمانی‌هایی در خصوص رفتار اتصالات جوشی در ذهن مهندسين وجود دارد. صدمات به وجود آمده در اتصالات جوشی ساختمان‌های بلندمرتبه تحت اثر زلزله، عاملی برای افزایش این بدگمانی‌هاست.

با وجود تمام این معضلات، هنوز نمی‌توان جانشینی برای اتصالات جوشی متصور بود. عقیده اهل فن بر این است که اگر استانداردهای مربوطه در طراحی و اجرای اتصالات جوشی به کار گرفته شود، با توجه به خواص متالورژیک و مکانیکی ناحیه جوش شده، نباید اشکال خاصی در رفتار اتصال جوشی به وجود بیاید. گواه خوب این ادعا استفاده موفق از جوش در صنایع کشتی‌سازی، اتومبیل‌سازی، ظروف تحت فشار، خطوط انتقال گاز و صنایع نظیر می‌باشد که در آنها اتصالات جوشی به‌طور موفقیت‌آمیزی ایفای نقش نموده‌اند. با توجه به این موضوع می‌توان

نتیجه‌گیری نمود که عامل اساسی بروز مشکلات در جوشکاری‌های ساختمانی، عدم رعایت اصول اساسی در حین اجراست. متأسفانه این معضل در ساختمانسازی کشور ما بسیار حادتر است. با وجود سابقه نسبتاً طولانی در استفاده از جوشکاری در صنعت ساختمان در ایران و وجود کارخانه‌های تولیدکننده تجهیزات و لوازم جوشکاری از قبیل دستگاه‌های جوش، الکتروود و غیره، از لحاظ سطح آموزش پرسنل جوشکاری و به‌کارگرفتن آیین‌نامه‌های تعیین صلاحیت جوشکاران و تأیید کیفیت درزهای جوش، بسیار فقیر هستیم.

اگر از تعدادی پروژه‌های عمرانی خاص صرف‌نظر نماییم، غالباً اکثر پرسنل جوشکاری شاغل در بخش ساختمان، آموزش خاصی ندیده و فاقد تبحر لازم هستند و معضل مهمتر اینکه هیچ‌کس بر روی کیفیت اجرای جوش وجود ندارد.

با توجه به قوانین جاری، در سطح ساختمانسازی مسکونی، تنها فرد مسئول در قبال کیفیت ساختمان و رعایت موارد آیین‌نامه‌ای، مهندس ناظر می‌باشد که با توجه به برنامه آموزشی دوره‌های مهندسی، اغلب مهندسین نیز از قواعد و آیین‌نامه‌های اجرایی مربوط به جوشکاری کم‌اطلاع و شاید بی‌اطلاع هستند.

با توجه حساسیت امر، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان از چند سال قبل اقداماتی به منظور افزایش آگاهی‌های مهندسین ناظر در این زمینه برنامه ریزی نمود. این اقدامات شامل تشکیل کلاس‌های آموزشی، و تدوین مبحث ویژه‌ای در مورد اجرای سازه‌های فولادی می‌شد. مجموعه حاضر نیز بخشی از این اقدامات است که هدف اصلی آن آشنایی مهندسین ناظر با دستگاه‌ها و اصول اجرایی جوشکاری است. این مجموعه شامل ۱۲ فصل است که به استثنای فصول ۱۰ و ۱۱ که در برگیرنده اصول طراحی اتصالات جوشی است، باقی فصول در ارتباط مستقیم با مسائل اجرایی، نظارت و کنترل کیفیت جوش می‌باشند.

این دفتر با اذعان به این که هیچ‌کس بویژه کاری برای نخستین بار به انجام می‌رسد خالی از نقص نیست صرفاً از این نظر که می‌توان این مجموعه را با برخورداری از نظریات استفاده‌کنندگان کامل کرد به انتشار آن مبادرت می‌ورزد و از کلیه صاحب‌نظران، استادان و خوانندگان محترم تقاضا دارد هر گونه پیشنهاد خود را به این دفتر ارسال نمایند.

فهرست مطالب

فصل ۱ معرفی جوشکاری ساختمانی (۱ تا ۱۱)	
۱-۱ جوشکاری با قوس الکتریکی	۱
۲-۱ انواع اتصالات جوشی	۲
۳-۱ انواع جوش	۳
۴-۱ جوش گوشه	۳
۵-۱ انواع جوش شیاری	۵
۶-۱ علائم جوشکاری	۵
فصل ۲ وسایل و تجهیزات جوشکاری قوس الکتریک (۱۳ تا ۴۵)	
۱-۲ معرفی	۱۳
۲-۲ قابلیت‌های جوشکاری قوس الکتریک	۱۴
۳-۲ اصول کلی	۱۴
۴-۲ منابع انرژی جوشکاری	۱۵
۵-۲ انواع شیب خروجی	۱۶
۶-۲ انواع منبع انرژی	۱۸
۷-۲ خصوصیات جریان ثابت	۱۹

۲۱	۸-۲ ماشین‌های مورد استفاده در جوشکاری دستی با الکتروود روکش‌دار
۳۲	۹-۲ کابل و وسایل اتصال
۳۸	۱۰-۲ تجهیزات حفاظتی

فصل ۳ الکتروود (۴۷ تا ۸۵)

۴۷	۱-۳ معرفی
۴۷	۲-۳ تعاریف عمومی
۴۹	۳-۳ مقایسه الکتروودهای بدون روکش و روکش‌دار
۴۹	۴-۳ جایگزینی یا بهبود فلز مبنا (فلز پایه)
۵۰	۵-۳ کنترل خصوصیات قوس الکتریکی
۵۰	۶-۳ ترکیب پوشش الکتروود
۵۰	۷-۳ وظایف پوشش الکتروود
۵۱	۸-۳ مواد متشکله روکش الکتروود
۵۲	۹-۳ تأثیر روکش بر قطبیت
۵۴	۱۰-۳ شناسایی الکتروود
۵۴	۱۱-۳ طبقه‌بندی و شماره‌گذاری الکتروودها طبق AWS
۵۷	۱۲-۳ انتخاب الکتروود
۵۸	۱۳-۳ اندازه الکتروودها
۵۸	۱۴-۳ نوع کار
۵۹	۱۵-۳ مشخصه‌های کاربردی الکتروودها
۶۳	۱۶-۳ فلز پایه
۶۳	۱۷-۳ جریان جوشکاری
۶۳	۱۸-۳ ضخامت و شکل فلزات مورد جوشکاری
۶۴	۱۹-۳ شکل درز و مونتاژ آن
۶۴	۲۰-۳ وضعیت جوشکاری
۶۵	۲۱-۳ شرایط بهره‌برداری
۶۵	۲۲-۳ شرایط اجرایی
۶۵	۲۳-۳ انواع الکتروودها و کاربرد آنها

۸۲

۳-۲۴ نگهداری الکتروود

۸۴

۳-۲۵ بسته بندی الکتروود

فصل ۴ طراحی درز جوش (۱۰۴ تا ۸۷)

۸۷	۴-۱	مقدمه
۸۷	۴-۲	انواع اتصال
۸۸	۴-۳	انواع جوش
۹۰	۴-۴	انواع درز
۹۳	۴-۵	دهانه یا بازشدگی ریشه
۹۵	۴-۶	تسمه های پشت بند
۹۵	۴-۷	گرده جوش
۹۸	۴-۸	آماده کردن لبه
۱۰۱	۴-۹	سنگ زدن ریشه از پشت

فصل ۵ جوشکاری و جوش پذیری (۱۰۵ تا ۱۳۵)

۱۰۵	۵-۱	معرفی
۱۰۵	۵-۲	جوش پذیری
۱۰۷	۵-۳	کیفیت جوش
۱۰۷	۵-۴	جوش قوسی تحت حفاظ

قسمت ۱: ترک خوردگی جوش

۱۱۰	۵-۵	ترک جوش
۱۱۲	۵-۶	خال جوش
۱۱۲	۵-۷	ورق های نازک
۱۱۳	۵-۸	ورق های ضخیم
۱۱۶	۵-۹	جوش های شیاری
۱۱۸	۵-۱۰	ترک های داخلی در نوار جوش و نسبت عرض به عمق نور ذوب

- ۱۱۹ ۵-۱۱ ترک در زیر نوار جوش (ترک‌های عمقی)
- ۱۲۲ ۵-۱۲ جمع‌بندی مطالب ارائه‌شده در مورد ترک
- قسمت ۲: پیش‌گرمایش
- ۱۲۲ ۵-۱۳ چرا و چه وقت نیاز به پیش‌گرمایش است؟
- ۱۲۴ ۵-۱۴ حداقل احتیاجات AWS
- ۱۲۵ ۵-۱۵ حرارت تولیدی در هنگام جوشکاری
- ۱۲۶ ۵-۱۶ سرعت خنک شدن
- ۱۳۰ ۵-۱۷ جریان دمای دوبعدی در مقابل سه‌بعدی
- ۱۳۲ ۵-۱۸ کربن معادل
- ۱۳۲ ۵-۱۹ سرعت خنک شدن و کربن معادل
- ۱۳۴ ۵-۲۰ تعیین درجه حرارت پیش‌گرمایش لازم
- ۱۳۵ ۵-۲۱ ملاحظات جنبی

فصل ۶ تغییر شکل‌های جوشکاری (۱۳۷ تا ۱۵۷)

- ۱۳۷ ۶-۱ عوامل مؤثر در تغییر شکل‌های ناشی از جوشکاری
- ۱۳۸ ۶-۲ عوامل اعوجاج
- ۱۳۹ ۶-۳ تأثیرات نامطلوب جوش بیش از حد
- ۱۴۰ ۶-۴ کنترل انقباض جوش
- ۱۴۴ ۶-۵ انقباض عرضی
- ۱۴۹ ۶-۶ پرانتزی شدن بال
- ۱۴۹ ۶-۷ شمشیری شدن
- ۱۵۳ ۶-۸ هم‌راستایی ورق‌ها
- ۶-۹ استفاده از چکش‌کاری و حرارت برای رفع
- ۱۵۵ انقباض‌های جوشکاری
- ۱۵۶ ۶-۱۰ جمع‌بندی مطالب ارائه‌شده

فصل ۷ کیفیت و بازرسی جوش (۱۵۹ تا ۱۸۱)

- ۱۵۹ ۷-۱ مروری بر موارد در مقابل سنجش

- ۱۶۰ ۲-۷ یک جوش خوب چیست؟
- ۱۶۰ ۳-۷ راه حل چیست؟
- ۱۶۰ ۴-۷ نظارت و بازرسی از چه زمانی شروع می شود؟
- ۱۶۱ ۵-۷ شناسایی عیوب کوچک و اصلاح آنها
- ۱۶۲ ۶-۷ درزهای پیش ارزیابی شده
- ۱۶۳ ۷-۷ ارتباط و هماهنگی
- ۱۶۳ ۸-۷ پنج دستورالعمل برای جوش ساختمانی خوب

فصل ۸ آزمایش های ارزیابی (۲۶۲ تا ۱۸۳)

قسمت الف: کلیات

- ۱۸۳ ۱-۸ معرفی
- ۱۸۳ ۲-۸ معایب جوش و آزمایش های ارزیابی و تأیید
- ۱۸۵ ۳-۸ ارزیابی دستورالعمل جوشکاری
- ۱۸۸ ۴-۸ ارزیابی جوشکاری

قسمت ب: آزمایش های غیرمخرب

- ۱۸۹ ۵-۸ آزمایش غیرمخرب

قسمت پ: آزمایش های مخرب

- ۲۰۱ ۶-۸ آزمایش مخرب
- ۲۳۹ ۷-۸ آزمایش های دیگر
- ۲۴۳ ۸-۸ بازرسی عینی

قسمت ت: عیوب جوشکاری

- ۲۴۴ ۹-۸ معایب اصلی جوش
- ۲۵۰ ۱۰-۸ اندازه گیری جوش

قسمت ث: ضوابط پذیرش

- ۲۵۳ ۱۱-۱ ضوابط پذیرش

۳۳۸	۱۱- ۲ اتصال ساده تیر با نبشی جان
۳۴۲	۱۱- ۳ اتصال ساده تیر با نبشی نشیمن انعطاف پذیر
۳۴۷	۱۱- ۴ اتصال ساده تیر با نشیمن تقویت شده
۳۵۷	۱۱- ۵ اتصالات صلب تیر به ستون
۳۸۵	۱۱- ۶ وصله تیرها
۳۹۱	۱۱- ۷ وصله ستون‌ها
۳۹۸	۱۱- ۸ اتصال بادبندی
۴۰۴	۱۱- ۹ اتصال پای ستون

فصل ۱۲ جوش درزهای استاندارد (۴۲۵ تا ۴۴۴)

پیوست ۱ مشخصات هندسی نیمرخ‌های ساختمانی ۴۴۵

پیوست ۲ فرم‌های استاندارد ۴۵۷

معرفی جوشکاری ساختمانی

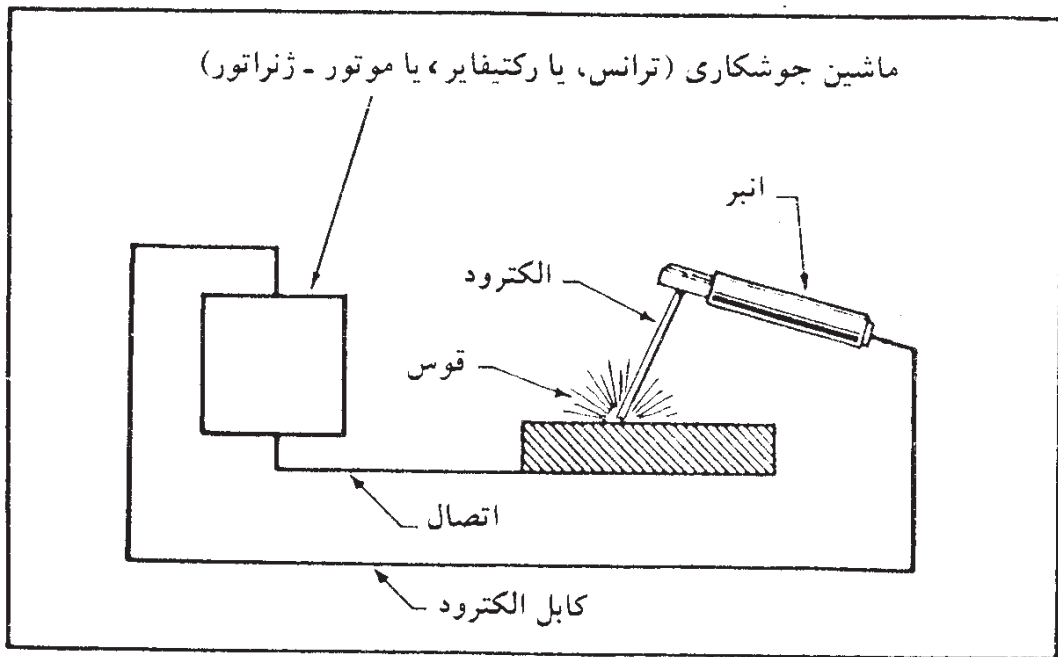
۱-۱ جوشکاری با قوس الکتریکی

در جوشکاری با قوس الکتریکی که متداولترین نوع جوشکاری در ساختمان سازی است، اتصال بین مصالح با ذوب کردن لبه های درز و سخت شدن بعدی آنها صورت می گیرد. در حین ذوب، فلز پایه و فلز جوش با یکدیگر ممزوج شده و پس از سخت شدن، اتصال قطعات تأمین می گردد.

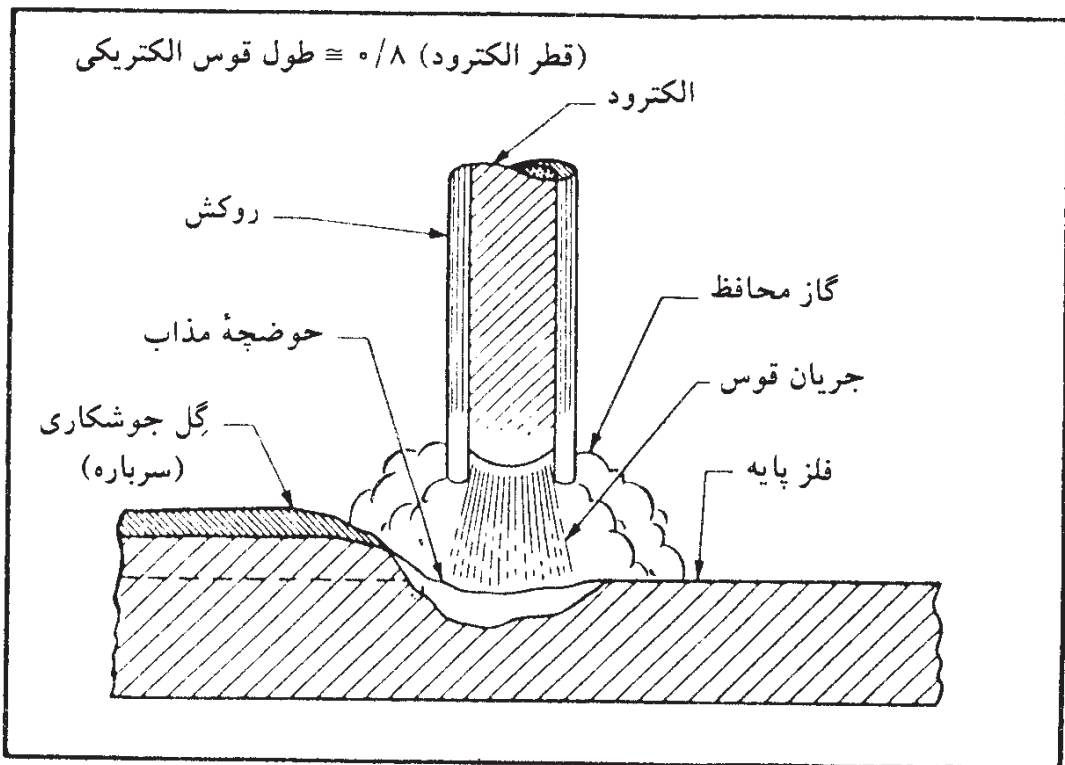
حرارت لازم برای ذوب مصالح، به وسیله قوس الکتریکی تأمین می شود. قوس بین یک مفتول فولادی که الکترود خوانده می شود و فلز پایه تشکیل می یابد. با نزدیک کردن الکترود به درز جوش، قوس ایجاد شده و حرارتی معادل ۳۶۰۰ درجه در نوک الکترود تولید می شود. این حرارت زیاد، باعث ذوب فلز پایه و نوک الکترود می شود و یک حوضچه مذاب از هر دو فلز در نوک الکترود به وجود می آورد. با حرکت الکترود، حوضچه مذاب به سمت جلو حرکت کرده و حوضچه های مذاب پشتی سرد و منجمد شده و باعث امتزاج و یکپارچگی دو فلز در محل درز می شوند.

در تمام جوشکاری های دستی مدرن امروزی، برای افزایش کیفیت جوش و جلوگیری از انجماد و زود سرد شدن حوضچه مذاب، روی الکترود روکش می شود.

روکش همراه با فلز پایه و الکترود ذوب شده و در حین انجماد به علت سبکتر بودن رو می آید و به صورت غشایی روی فلز مذاب در حال سرد شدن را می پوشاند. این غشاء که به گل جوشکاری موسوم است، از اکسیداسیون جوش نیز جلوگیری می کند. در شکل ۱-۱ مدار جوشکاری و در شکل ۱-۲ تشکیل حوضچه مذاب در نوک الکترود نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ - مدار جوشکاری.



شکل ۱-۲ - تشکیل حوضچه مذاب در نوک الکتروود.

۲-۱ انواع اتصال جوشی

در شکل ۱-۳ انواع اتصالات جوشی نشان داده شده است. این اتصالات عبارتند از:

الف - اتصال لب به لب؛

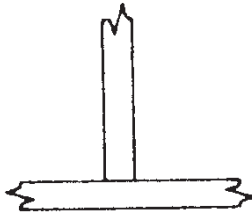
ب - اتصال پوششی (رویهم)؛



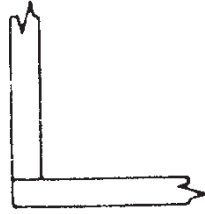
(الف) اتصال لب به لب



(ب) اتصال پوششی



(پ) اتصال سپری



(ت) اتصال گونیا



(ث) اتصال پیشانی

شکل ۱-۳ - انواع اتصال جوشی.

پ - اتصال سپری؛

ت - اتصال گونیا؛

ث - اتصال پیشانی.

۳-۱ انواع جوش

در شکل ۱-۴ انواع جوش نشان داده شده است که عبارتند از:

الف - جوش شیاری؛

ب - جوش گوشه؛

پ - جوش کام؛

ت - جوش انگشتانه.

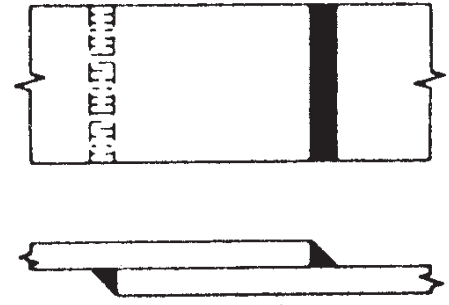
جوش گوشه متداولترین نوع جوش در سازه‌های فولادی است. بعد از آن جوش شیاری قرار دارد. کاربرد جوش انگشتانه و کام به موارد مخصوصی که در آن مقاومت جوش انجام شده در لبه‌ها به حد کافی نباشد، محدود می‌شود.

۴-۱ جوش گوشه

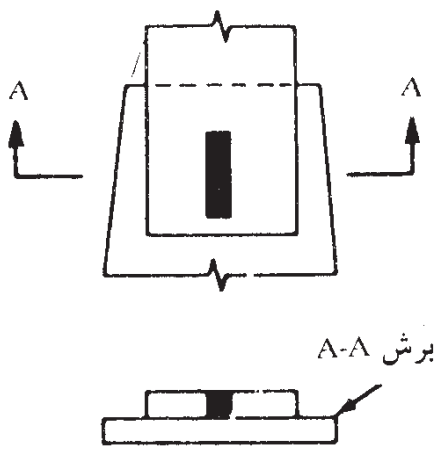
جوش گوشه متداولترین جوش در ساختمانهای فولادی است. از این جوش می‌توان در اتصال رویهم، اتصال سپری، و اتصال گونیا از شکل ۱-۳ استفاده کرد که نتیجه آن در شکل ۱-۵ نشان داده



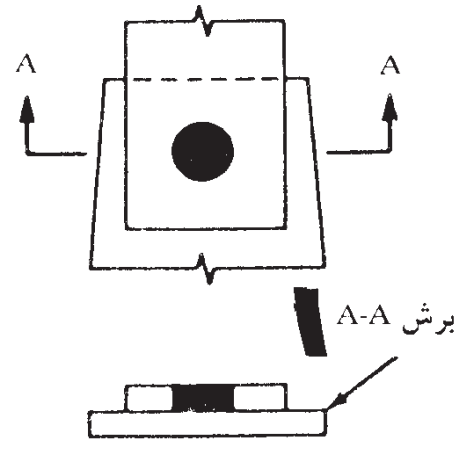
(الف) جوش شیاری



(ب) جوش گوشه

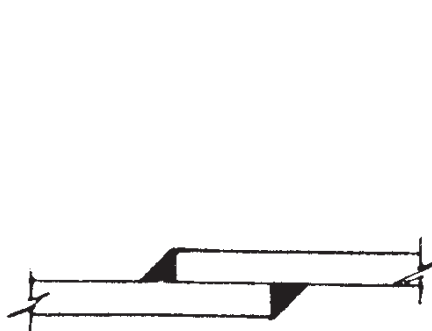


(پ) جوش کام

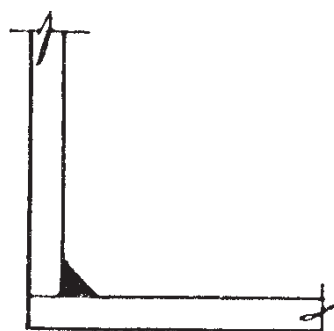


(ت) جوش انگشترانه

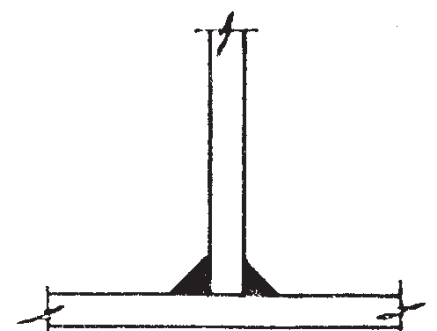
شکل ۱-۴ - انواع جوش



جوش گوشه در اتصال رویهم



جوش گوشه در اتصال گونیا

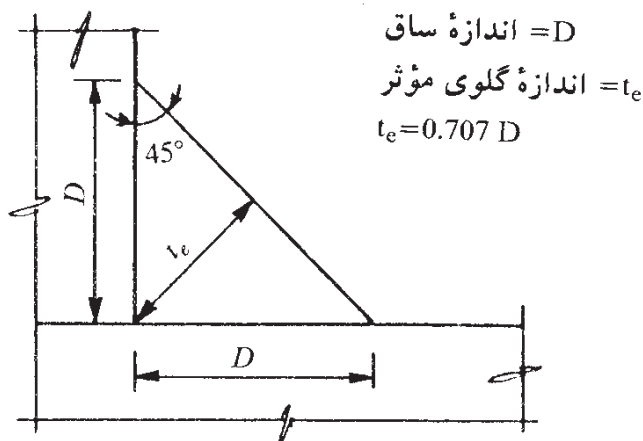


جوش گوشه در اتصال سیری

شکل ۱-۵

شده است. در شکل ۱-۶ 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:

$$t_e = 0.707 D$$



شکل ۱-۶ - هندسه جوش گوشه با ساق‌های مساوی.

۱-۵ انواع جوش شیاری

برای انجام جوش شیاری در دو لبه مجاور هم، لازم است لبه‌های کار به منظور نفوذ کامل جوش آماده گردند. در شکل ۱-۷ انواع آماده‌سازی لبه‌ها ارائه شده است.



(الف) ساده



(ب) جناغی یک طرفه (V)



(پ) جناغی دو طرفه (X)



(ت) نیم جناغی



(ث) نیمه جناغی دو طرفه (K)



(ج) لاله‌ای (U)



(چ) لاله‌ای دو طرفه



(ح) نیم لاله‌ای



(خ) نیم لاله‌ای دو طرفه

شکل ۱-۷ - انواع جوش شیاری.

۱-۶ علائم جوشکاری

قبل از اینکه یک درز یا اتصال جوش شود، طراح باید قادر باشد به طریقی دستورات خود در مورد اندازه و نوع جوش لازم را به نقشه کش و یا سازنده اتصال ارائه نماید. انواع اصلی جوش و بعضی انواع فرعی در بخش‌های قبل مورد بحث قرار گرفت. اگر برای ساخت هر اتصال جدیدی، به دستورات عمل‌های اختصاصی و مشروحاتی احتیاج باشد، کار طراح در تهیه دستورات ساخت یک اتصال، بسیار مشکل می‌شود.

نیاز به یک وسیله ساده و در عین حال دقیق برای برقراری تفاهم میان طراح و سازنده، به استفاده از علائم اختصاری که نمایشگر انواع جوش ها و اندازه آنهاست، رواج بخشیده است. علائم استاندارد که در شکل ۱ - ۸ به نمایش درآمده است، به خوبی هر دستورالعمل اختصاصی، مشخص کننده نوع، اندازه، طول و محل هر جوش می باشد.

اغلب اتصالاتی که امروزه مورد استفاده قرار می گیرند، احتیاج به دستورالعمل خاصی ندارند و به ترتیبی که به طور نمونه در شکل ۱ - ۹ نمایش داده شده مشخص می گردند.

ممکن است خواننده احساس کند که تعداد علائم بی جهت زیاد است، در صورتی که سیستم نمایش جوش ها به تعداد کمی انواع اصلی تقسیم شده، که با سرهم کردن آنها دستورالعمل های کامل تهیه می شوند. هرگاه از یک نوع اتصال خاص در قسمت های مختلف یک سازه استفاده به عمل آید، ممکن است تنها به نمایش یک جزئیات تیپ مانند شکل ۱ - ۱۰ - الف، بسنده کرد. هرگاه اتصالات خاص مورد استفاده قرار گیرند، باید به قدر کافی جزئیات هریک را مشخص ساخت تا هیچ تردیدی درباره نقطه نظرهای طراح باقی نماند (شکل ۱ - ۱۰ - ب).

در شکل ۱ - ۱۰ - 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 یا روی زمین انجام شود. چرا که در غیر این صورت ممکن است جوش انگشتانه در حین عملیات نصب تحت تنش های اضافی قرار گیرد. عموماً به دلیل ملاحظات اقتصادی سازنده سعی می کند تا آنجا که امکان دارد جوش ها را در روی زمین انجام دهد. بنابراین مشخص ساختن جوش هایی که طراح می خواهد حتماً در محل نصب و پای کار انجام شود، از اهمیت بسیار برخوردار است.

۱-۷ روش های جوشکاری الکتریکی

روش های متنوعی برای جوشکاری الکتریکی وجود دارد که در حالت کلی به روش های دستی و روش های اتوماتیک تقسیم می شوند.

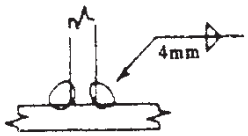
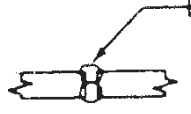
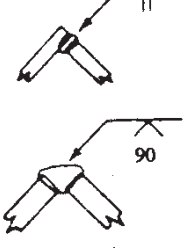
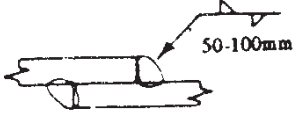
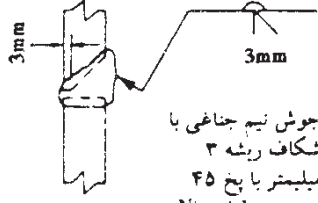
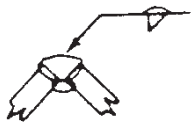
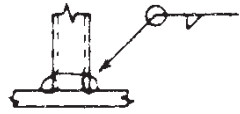

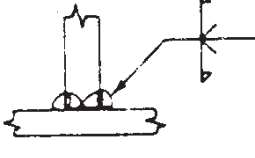

روش دستی که در کارگاه های ساختمانی بسیار متداول است، جوشکاری با الکتروود

علائم اصلی جوش									
جوش پشت یا پشت‌بند	گوشه	کام با انگشتانه	شباری						
			ساده	جناغی	نیم‌جناغی	لاله‌ای	نیم‌لاله‌ای	جناغی‌گرد	نیم‌جناغی‌گرد
علائم تکمیلی جوش									
برای دیگر علائم اساسی به کتاب علائم قراردادی اتصالات در ساختمانی فلزی پساً نشریات AWS مراجعه کنید.	جوش دورنادر	جوش در محل (موقع نصب)	شکل سطح جوش						
			تخت	محدب					
محل قراردادی جاگیری علامت‌های جوشکاری									

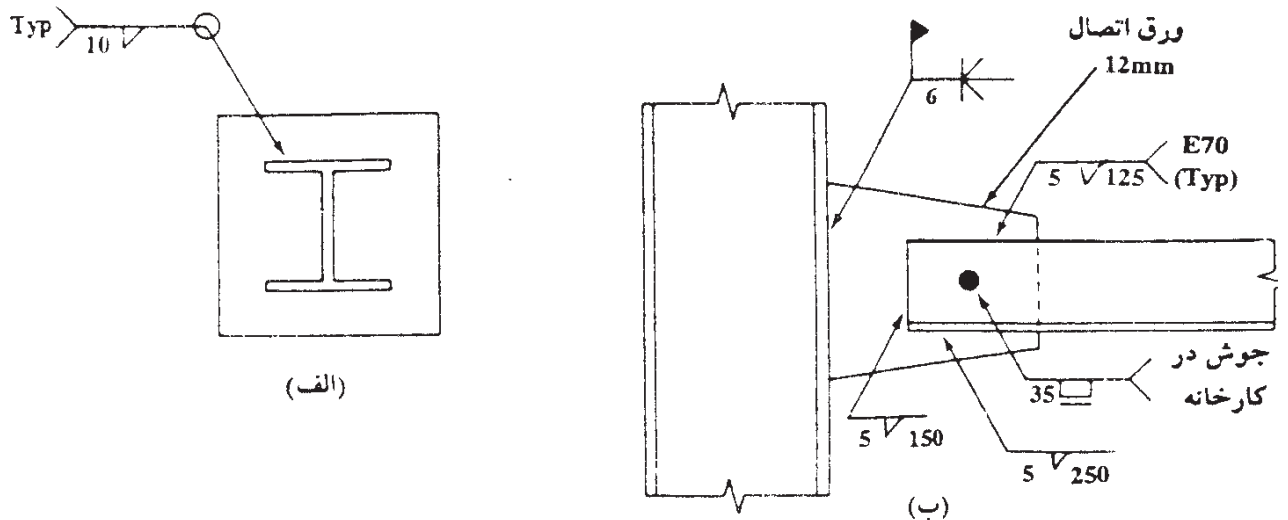
تذکر:

- اندازه علامت، طول جوش و فاصله تکه‌های آن باید به همین ترتیب از چپ به راست روی خط مشخصات نوشته شود.
- جهت خط مشخصات یا محل پیکان تغییری در این قاعده ایجاد نمی‌کند.
- ساق قائم جوش‌های ∇ ، \vee ، \vee باید در طرف چپ قرار گیرد.
- جوش‌های طرف نشانه پیکان و طرف دیگر دارای یک‌اندازه می‌باشند. مگر اینکه خلاف آن ذکر شده باشد.

شکل ۱ - ۸ - پیکان جوش.

جوشهای گوشه	جوشهای شیباری	جوشهای شیباری مخصوص
 <p>عدد نماینده اندازه ساق جوش وقتی جوشهای دوطرف یکی باشد تنها در یک طرف گذارده می شود</p>	 <p>جوش شیباری ساده با جوشکاری از دوطرف</p>	 <p>جوش گونیا برای بارهای سبک</p>
 <p>نشان دهنده این است که جوشها یکی در میان بوده تکه های جوش ۵ سانتی متری هستند و به فاصله مرکز به مرکز ۱۰ سانتی متری قرار دارند</p>	 <p>جوش نیم جناغی با شکاف ریشه ۳ میلیمتر با پخ ۴۵ درجه در قطعه بالایی و استفاده از جوش پشت بند</p>	 <p>جوش گونیا با خط جوش داخلی برای مقاومت بیشتر</p>
 <p>جوش دورتادور</p>	 <p>نیم جناغی دوطرفه</p>	 <p>اتصال گونیا، نفودی کامل ترکیب جوش گوشه و جوش شیباری مورد استفاده در اتصالات تحت بارهای ضربه ای با در معرض خستگی</p>
	 <p>جناغی با زاویه پخی ۶۰ درجه و شکاف ریشه ۲/۵ میلیمتر</p>	

شکل ۱ - ۹ - کاربرد علایم جوشکاری.



شکل ۱ - ۱۰

روکش دار^۱ نامیده می شود. در این روش هدایت انبر توسط کارگر انجام شده و طول الکتروود که روی آن را روکش پوشانده است، محدود بوده و با ذوب هر الکتروود، الکتروود باید تعویض گردد. در روش های اتوماتیک، الکتروود به صورت ممتد و مداوم بوده و بدون روکش (لخت) است. هدایت الکتروود توسط ماشین انجام شده و جای جوشکار را اپراتور جوشکاری می گیرد. انواع روش های جوشکاری اتوماتیک و نیمه اتوماتیک عبارتند از:

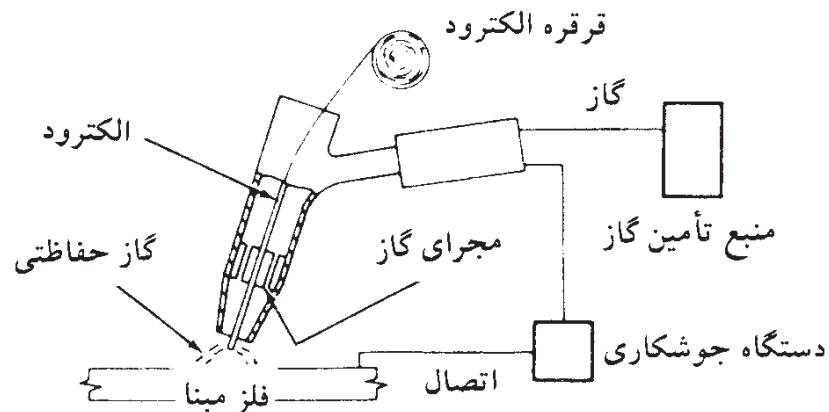
۱- جوشکاری زیرپودی^۲

۲- جوشکاری تحت حفاظت گاز^۳ (با الکتروود فلزی و یا الکتروود تنگستن)

۳- جوشکاری با الکتروود مغزه دار^۴

جوشکاری قوس الکتریکی تحت حفاظت گاز

در این روش الکتروود مفتول لخت ممتد است که از میان گیره الکتروود گذشته، و با یک قرقره تغذیه می شود (شکل ۱-۱۱).



شکل ۱-۱۱ - جوش الکتریکی گازی فلزی.

حفاظت در این روش اصولاً با سپری از گاز غیرفعال صورت می گیرد. گازهای مرکب معمولاً به تنهایی برای این منظور به کار نمی روند. فقط CO_2 (دی اکسید کربن) در این مورد استثناست. استفاده از CO_2 به تنهایی و یا مخلوط با دیگر گازهای غیرفعال به طور وسیعی در جوشکاری فولاد رواج پیدا کرده است.

جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود مغزه دار

این روش جوشکاری شبیه جوشکاری به روش قوس گازی است، با این تفاوت که الکتروود ممتد

1- shielded metal arc welding (SMAW)

2- submerged arc welding (SAW)

3- gas metal arc welding (GMAW)

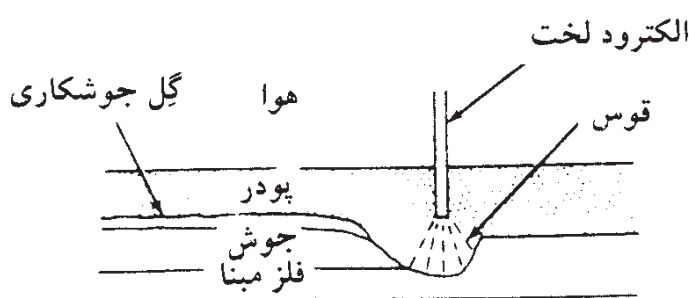
4- flux cored electrode arc welding (FCAW)

فلزی آن لوله‌ای شکل بوده، مواد حفاظتی را در داخل خود دارا می‌باشد. این ماده همان نقشی را به عهده دارد که روکش در روش جوش قوس الکتریکی با الکتروود روکشدار، و یا پودر در روش جوش زیرپودری به عهده داشتند. در مورد مفتول‌های قرقره‌پیچ، حفظ روکش بر روی سیم امکان ندارد. به این جهت سپرگازی به وسیله پودر مغزی تأمین می‌گردد اما حفاظت بیشتر اغلب به وسیله گاز CO_2 انجام می‌گیرد.

جوشکاری قوس الکتریکی زیرپودری

در جوشکاری به روش زیرپودری، ماده حفاظت‌کننده، به صورت یک نوار پودری در روی درز ریخته می‌شود. سپس قوس الکتریکی توسط الکتروود لخت در زیر این پودر برقرار می‌گردد. در حین جوشکاری، قوس زیر پودر برقرار شده و دیده نمی‌شود (شکل ۱ - ۱۲).

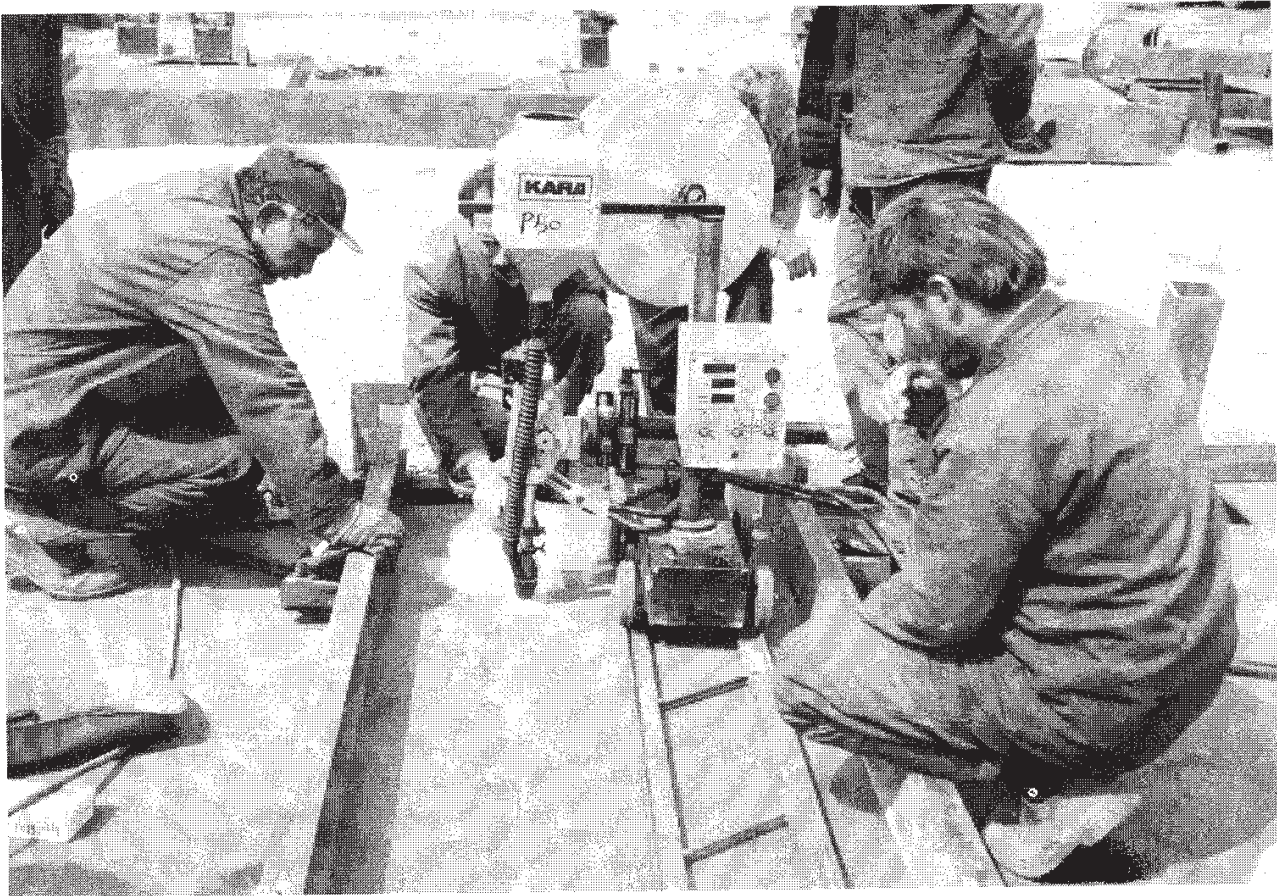
الکتروود فلزی لخت، که در این نوع جوشکاری از آن استفاده می‌گردد، به مصرف پُر کردن درز می‌رسد. انتهای الکتروود دائماً به وسیله پودر ذوب شده‌ای که روی آن لایه دیگری از پودر ذوب نشده به صورت دانه‌ای قرار دارد حفاظت می‌گردد.



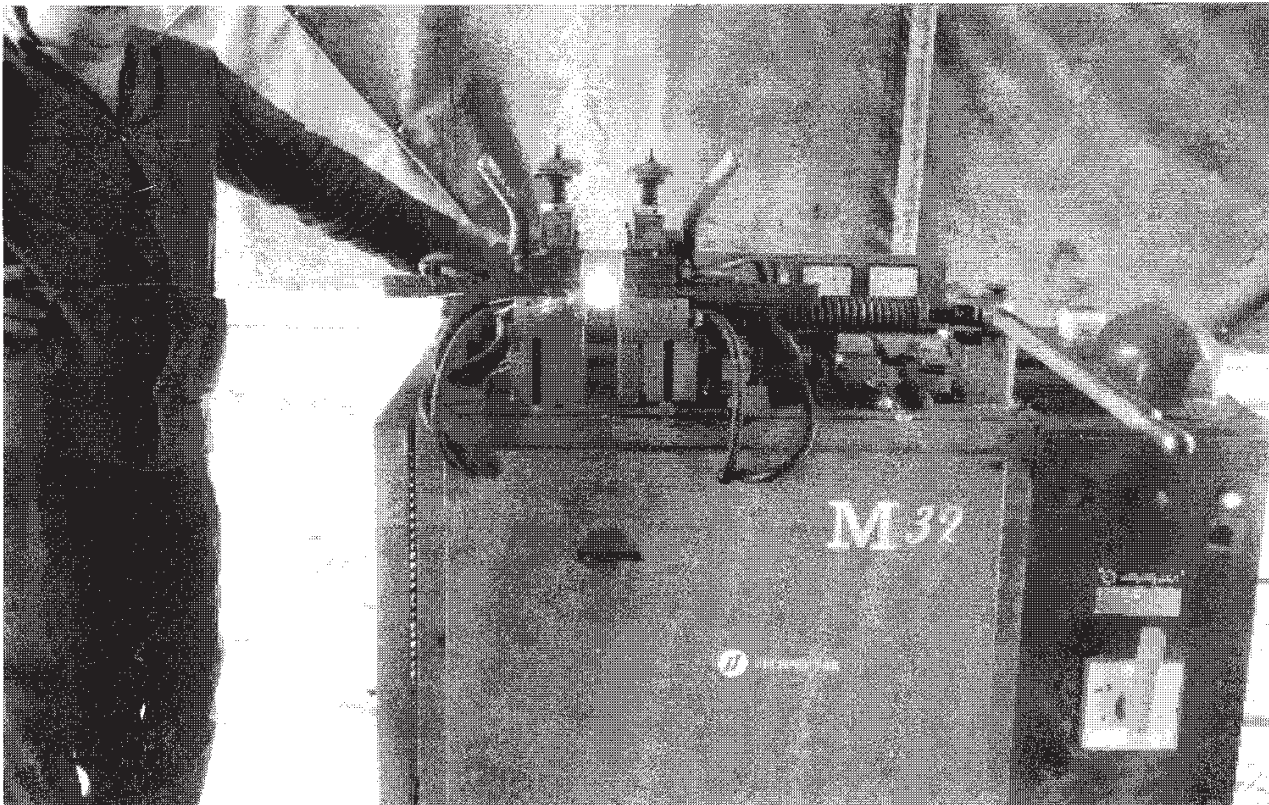
شکل ۱ - ۱۲ - جوش قوس الکتریکی زیرپودری

پودر که عامل مشخصه این روش جوشکاری است، روکشی ایجاد می‌کند که اجازه می‌دهد عمل جوشکاری بدون پراکندگی، جرقه زدن یا ایجاد دود انجام پذیرد. پودر دانه‌ای معمولاً به طور خودکار روی خط جوش و در پیشاپیش الکتروود، که در حال حرکت به جلو می‌باشد، قرار می‌گیرد. این ماده حوضچه مذاب را در مقابل گازهای هوا محافظت نموده به تمیزی فلز جوش کمک می‌کند، در ضمن ترکیب شیمیایی فلز جوش را نیز بهبود می‌بخشد.

جوشکاری به روش قوس زیرپودری اغلب برای جوش فولاد در کارخانه و برای کار با وسایل خودکار یا نیمه خودکار مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱- ۱۳ - دستگاه جوش زیرپودری با دو انبر.

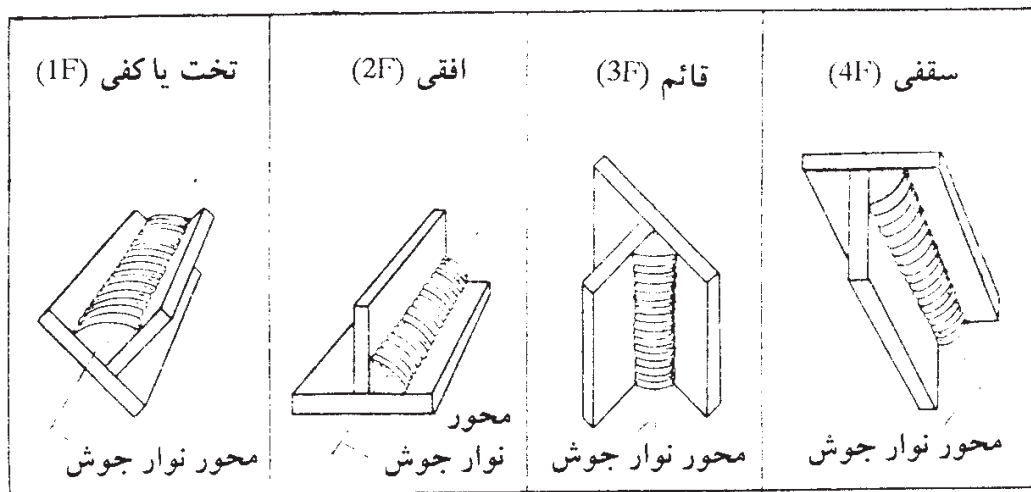


شکل ۱- ۱۴ - دستگاه جوش خمیری آرمانتور.

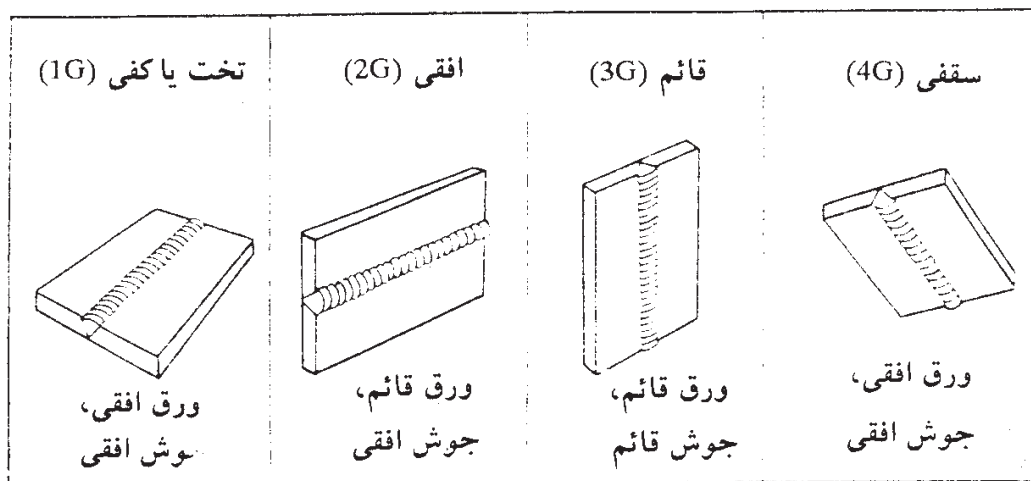
۸-۱ وضعیت‌های جوشکاری

بر حسب وضعیت قطعه مورد جوش و الکتروود نسبت به هم چهار وضعیت جوشکاری وجود دارد.

- ۱- وضعیت تحت یا کفی (با علامت 1F در جوش گوشه و 1G در جوش شیاری)؛
 - ۲- وضعیت افقی (با علامت 2F در جوش گوشه و 2G در جوش شیاری)؛
 - ۳- وضعیت سربالا یا قائم (با علامت 3F در جوش گوشه و 3G در جوش شیاری)؛
 - ۴- وضعیت سقفی (با علامت 4F در جوش گوشه و 4G در جوش شیاری).
- جوشکاری در وضعیت تخت ساده‌ترین و در وضعیت سقفی، مشکل‌ترین می‌باشد.



جوش‌های گوشه



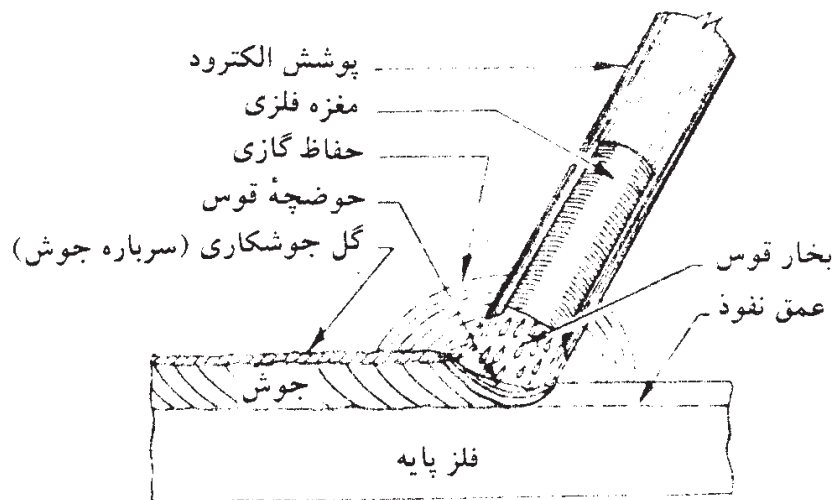
جوش‌های شیاری

شکل ۱-۱۵ - وضعیت‌های جوشکاری.

وسایل و تجهیزات جوشکاری قوس الکتریکی

۱-۲ معرفی

جوش قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار^۱ (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 دستی با الکتروود^۲ نیز خوانده می شود. سوختن و تجزیه روکش الکتروود یک حفاظ 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 حفاظ گازی باعث تثبیت قوس الکتریکی و همچنین کاهش



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

ترشح جوش و سهولت کار خواهد شد. حفاظت بیشتر برای فلز مذاب در حوضچه مذاب، توسط پوششی از گِل جوشکاری^۳ در حین عمل جوشکاری به وجود می‌آید.

فلز جوش، توسط مغزه فلزی الکتروود تأمین می‌شود و این مغزه فلزی براساس طبقه‌بندی الکتروود دارای خواص مختلفی است. روکش و فلز پرکننده 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

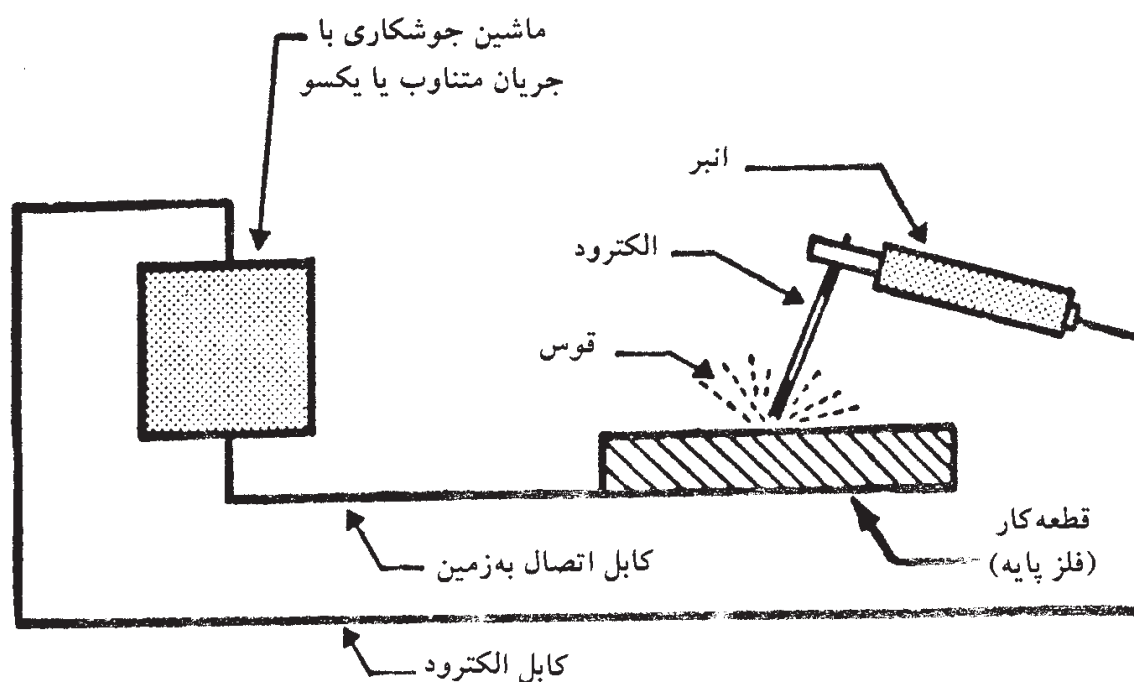
تجهیزات مورد نیاز برای جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود روکش‌دار، ساده و قابل حمل و نسبت به تجهیزات لازم برای انواع دیگر جوشکاری ارزان‌قیمت هستند. با اجرای تمهیدات لازم جهت تهویه کافی، جلوگیری از آتش‌سوزی و دیگر خطرات موجود، این نوع جوشکاری می‌تواند در محیط بسته و هوای آزاد و در هر مکان و موقعیتی انجام 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 زنگ‌نزن و فولاد اصلاح شده 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 شیوه امکانپذیر بوده ولی جوشکاری تحت حفاظت گاز^۴ با الکتروود فلزی و یا تنگستن، در این موارد ارجح است.

روش الکتروود روکش‌دار برای فلزات نرم نظیر روی، برنج و قلع که نقطه جوش و نقطه ذوب پایینی دارند، مورد استفاده نیست.

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 ایجاد شده توسط قوس الکتریکی، فلز پایه و الکتروود مصرفی را به حالت مذاب درمی‌آورد. گرمای قوس بسیار زیاد است، به گونه‌ای که درجه حرارتی معادل ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ درجه سانتی‌گراد در مرکز



شکل ۲-۲ - عناصر تشکیل دهنده یک نمونه مدار الکتریکی جوش قوس الکتریکی با الکترود روکش دار.

قوس اندازه گیری شده است. جوشکاری با تشکیل قوس الکتریکی در هنگام نزدیک کردن مغزۀ فلزی الکترود به قطعه فلز پایه، آغاز می شود. حرارت حاصل از قوس الکتریکی، الکترود و سطح فلز را در مجاورت قوس ذوب می کند. سپس قطرات کوچک فلز مذاب از انتهای الکترود به داخل حوضچه مذاب بر روی سطح قطعه فلزی منتقل می شود. در جوشکاری تخت این انتقال و جابه جایی توسط نیروهای ثقلی، جاذبه مولکولی و کشش سطحی انجام می شود. وقتی جوشکاری در وضعیت قائم و یا وضعیت سقفی است، نیروهای جاذبه مولکولی و کشش سطحی موجب انتقال قطرات فلز مذاب می شوند. به خاطر درجه حرارت زیاد قوس الکتریکی، فلز مذاب که به حالت روان درآمده است، فوراً از محل تشکیل قوس الکتریکی جابه جا می شود. پس از آغاز جوشکاری، قوس در طول قطعه حرکت داده شده و عملیات ذوب و ترکیب فلزات پیشرفت می کند.

۲-۴ منابع انرژی جوشکاری

هر نوع فرآیند جوشکاری هنگامی به حداکثر مقدار بازده خود می رسد 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 می سازد.

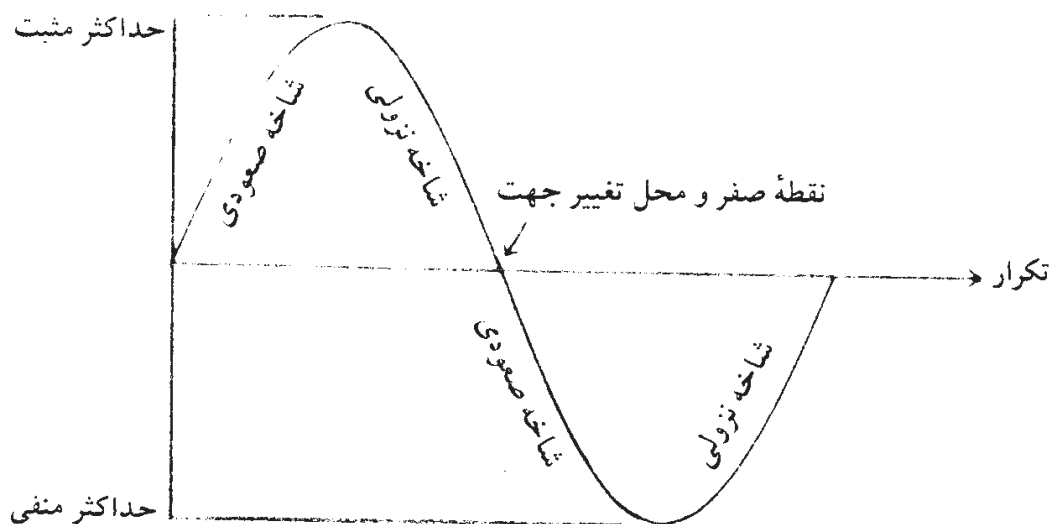
جوشکاری قوس الکتریکی به جریان الکتریکی کافی (برحسب آمپر) برای ذوب فلز پایه و الکترود، و ولتاژ مناسب (برحسب ولت) برای تولید قوس نیاز دارد. الکترودها بسته به نوع و

ندازه‌شان به ولتاژی حدود ۱۸ تا ۴۵ ولت و جریان تقریبی بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ آمپر نیاز دارند. جریان تحریکی می‌تواند متناوب و یا یکسو باشد، ولی باید از مبعی تأمین شود که جهت برآوردن شرایط مختلف کاری قابل کنترل باشد. شکل ۲-۳ یک چرخه از جریان متناوب را نشان می‌دهد. ماشین‌های جوشکاری متناسب با نیازهای مختلف جوشکاری از لحاظ نوع فرآیند، عملکرد و نوع قطعه فلز پایه در انواع و ابعاد گوناگون در دسترس می‌باشند. شمار زیادی از ماشین‌های ساخته شده وجود دارند که هر کدام دارای طرح خاص خود بوده و صفحه کنترل هر مدل از جهات مختلف با انواع دیگر متفاوت است. انتخاب یک ماشین خاص به هزینه ماشین، قابلیت حمل و سلیقه شخصی وابسته است.

منابع انرژی جوشکاری به نام‌های مختلف از قبیل مولد^۵، جوشگر^۶ و یا ماشین جوشکاری^۷ خوانده می‌شوند. همه ماشین‌ها بر اساس (۱) شیب خروجی^۸ خواه با جریان ثابت و یا با ولتاژ ثابت و (۲) نوع منبع تأمین انرژی نظیر مبدل^۹، مبدل / یکسوکننده^{۱۰} و یا موتور-مولد^{۱۱} طبقه‌بندی می‌شوند.

۲-۵ انواع شیب خروجی

ماشین‌های جوشکاری دارای دو نوع شیب خروجی اصلی هستند: شیب خروجی با شدت جریان



شکل ۲-۳ - یک چرخه از جریان متناوب.

5- power supplies

6- welders

7- welding machines

8- out put slope

9- transformer

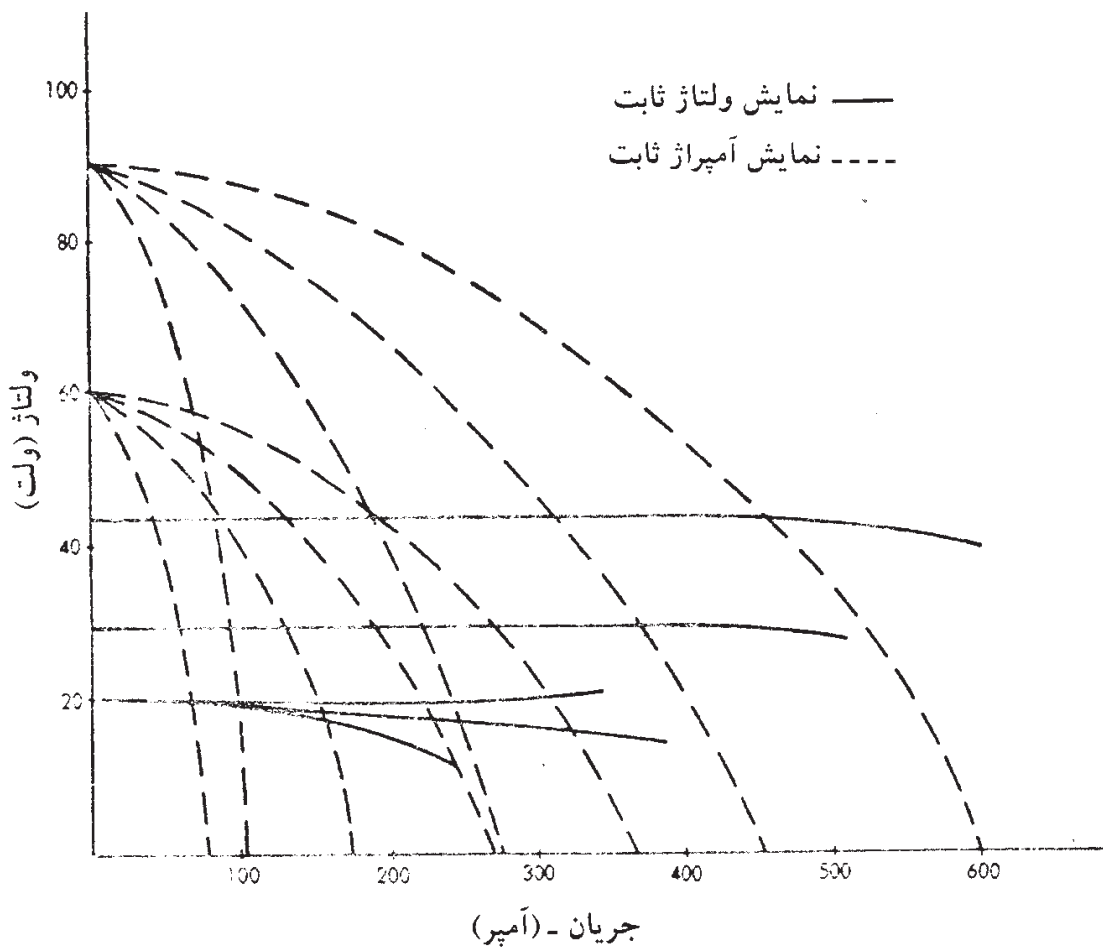
10- transformer/rectifier

11- generator

ثابت و شیب خروجی با ولتاژ ثابت که گاهی به آن پتانسیل ثابت نیز می‌گویند. شیب خروجی که گاهی به نام مشخصه ولت - آمپر^{۱۲} و یا انحنا^{۱۳} خوانده می‌شود، رابطه بین ولتاژ و آمپراژ خروجی ماشین در حین افزایش یا کاهش بار جوشکاری^{۱۴} است (شکل ۲ - ۴). شیب خروجی میزان تغییرات جریان جوشکاری را براساس یک تغییر مفروض برای بار ولتاژ، تعیین می‌کند. بنابراین شیب خروجی به ماشین اجازه می‌دهد تا حرارت ایجاد شده در عملیات جوشکاری را کنترل کرده و یک قوس پایدار ایجاد کند. شیب خروجی همچنین نوع و مقدار جریان الکتریکی که ماشین برای تولید آن طراحی شده است را معین می‌کند.

هر نوع روش جوشکاری قوس الکتریکی، خواص شیب خروجی مشخصی دارد:

● جوشکاری تحت حفاظت گاز با الکتروود تنگستن^{۱۵}، و جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار نیاز به شیب خروجی تند از یک منبع انرژی با جریان ثابت دارند. شدت جریان الکتریکی



شکل ۲ - ۴ - نمونه‌ای از شیب‌های خروجی برای منابع انرژی با شدت جریان ثابت و اختلاف پتانسیل ثابت.

12- volt-ampere characteristic

13- curve

14- welding work load

15- Gas Tungsten-Arc Welding

ثابت جهت کنترل پایداری و تثبیت قوس الکتریکی ضروری است.

- جوشکاری تحت حفاظت گاز با الکتروود فلزی^{۱۶}، نیاز به یک 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^{۱۷} 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 انواع منبع انرژی

ماشین‌های جوشکاری با جریان ثابت براساس شیوه تولید جریان جوشکاری طبقه‌بندی می‌شوند و دارای سه نوع عمومی می‌باشند:

دستگاه موتور - مولد^{۱۸} (موتور ژنراتور و دینام)، که با یک موتور الکتریکی جریان یکسو (d.c.) یا جریان متناوب (a.c.) و یا یک موتور احتراقی درونسوز راه‌اندازی می‌شود و قادر به تولید جریان یکسو، متناوب، و یا یکسو/متناوب می‌باشند.

مبدل - یکسوکننده^{۱۹} (رکتیفایر). در این دستگاه از یک مبدل جهت کاهش ولتاژ الکتریکی جریان متناوب ورودی (مثلاً ولتاژ برق شهر) به ولتاژ لازم برای جوشکاری (با جریان متناوب) استفاده می‌شود. سپس جریان الکتریکی برای تبدیل از جریان متناوب به جریان یکسو، داخل یکسوکننده یا رکتیفایر می‌گردد.

مبدل جریان متناوب (ترانس)^{۲۰}. در این حالت از یک مبدل الکتریکی برای کاهش ولتاژ ورودی جریان متناوب به ولتاژ لازم برای جوشکاری با جریان متناوب استفاده می‌شود.

16- Gas-shielded Metal-Arc Welding

17- Submerged Arc Welding

18- Motor-generators

19- Transformers-rectifiers

20- a.c. Transformer

۲-۷ خصوصیات جریان ثابت

ماشین‌های جوشکاری جریان ثابت اصولاً برای جوشکاری دستی با الکتروود روکش‌دار و جوشکاری گازی با قوس تنگستن به کار می‌روند. زیرا جریان تولید شده توسط این نوع منابع علی‌رغم تغییرات طول قوس، ثابت می‌ماند. این ماشین‌ها را گاهی ولتاژ افتان^{۲۱} یا افت‌دهنده^{۲۲} گویند زیرا با افزایش جریان، ولتاژ کاهش یافته و یا اصطلاحاً افت می‌کند.

شیب خروجی

ماشین‌های جوشکاری جریان ثابت دارای شیب خروجی تندی بوده و در هر دو نوع جریان یکسو و متناوب قابل دسترسی و استفاده هستند. طبق شکل ۲-۵ هر چقدر شیب منحنی ولت - آمپر در محدوده شدت جریان جوشکاری تندتر باشد، تغییرات جریان برای یک تغییر ولتاژ مفروض در قوس الکتریکی، کوچکتر است. در بعضی موارد احتیاج به منحنی ولت - آمپر با شیب تند (منحنی A) و در بعضی موارد احتیاج به یک منحنی با شیب ملایم (منحنی B) می‌باشد. منبع انرژی جریان ثابت، جوشکار را قادر می‌سازد تا میزان جریان را در یک محدوده مشخص، با تغییر طول قوس الکتریکی در حین پیشرفت عملیات جوشکاری کنترل نماید.

ولتاژ مدار باز و ولتاژ قوس

ولتاژ مدار باز^{۲۳} ولتاژی است که توسط ماشین جوشکاری قبل از آغاز عملیات تولید می‌گردد. در این حالت ماشین بیهوده روشن است. ولتاژ قوس^{۲۴}، ولتاژ تولید شده میان الکتروود و قطعه‌فلز در حین عمل جوشکاری است. ولتاژ مدار باز؛ عموماً بین ۵۰ تا ۱۰۰ ولت و ولتاژ قوس بین ۱۸ تا ۳۶ ولت می‌باشد (شکل ۲-۵).

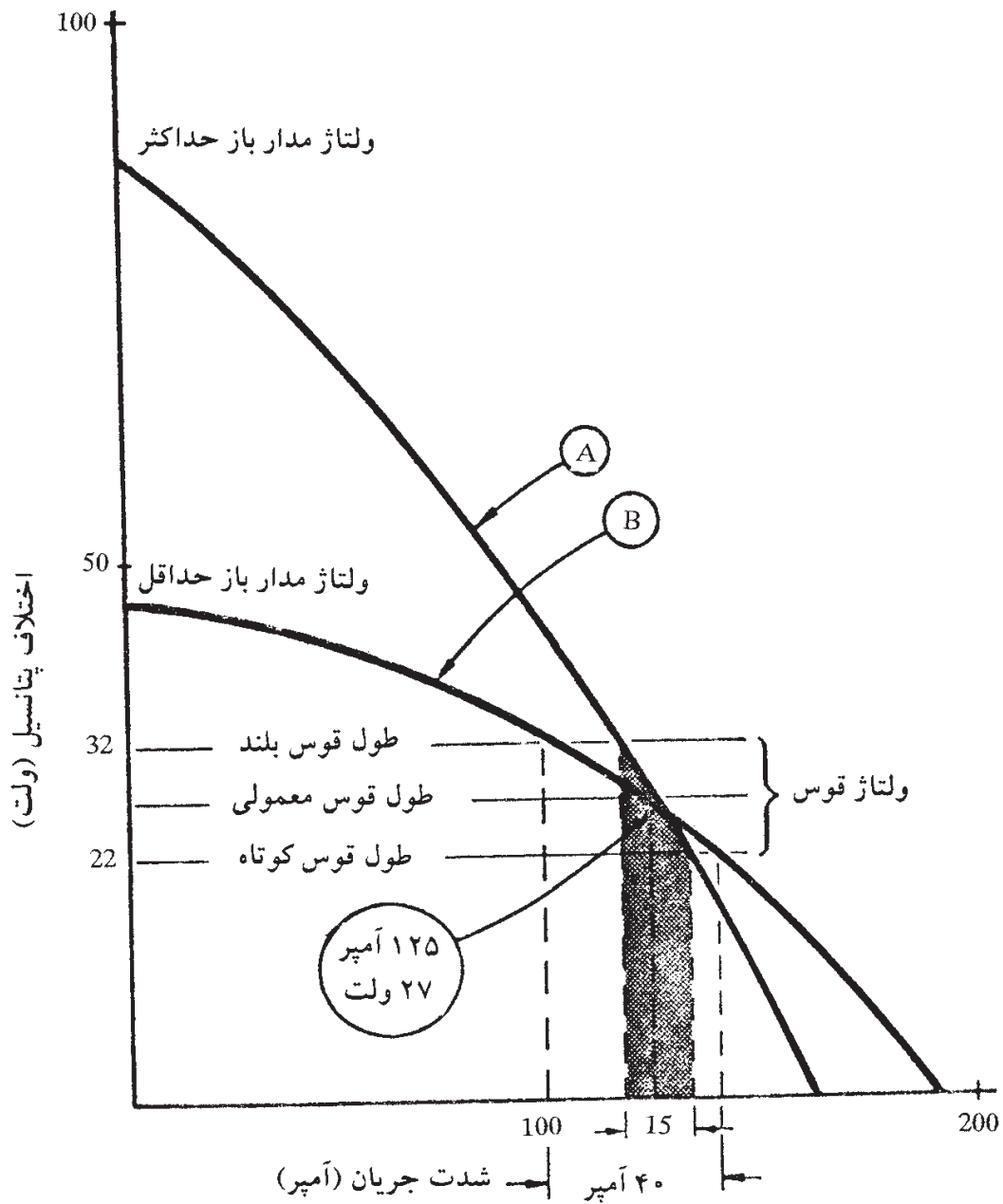
در هنگام تشکیل قوس و استفاده از ماشین برای جوشکاری، ولتاژ مدار باز به میزان ولتاژ قوس افت می‌کند. ولتاژ قوس براساس طول قوس ایجاد شده توسط جوشکار و نوع الکتروود مصرفی تعیین می‌شود. هنگامی که قوس بلند باشد ولتاژ قوس افزایش یافته و جریان کاهش می‌یابد و برعکس هنگامی که طول قوس کوتاه باشد، ولتاژ قوس کاهش یافته و شدت جریان افزایش می‌یابد. بر این اساس طبق شکل ۲-۵ در منحنی B اختلافی معادل ۴۰ آمپر میان شدت جریان لازم برای تولید قوس بلند و کوتاه وجود دارد. میزان این تغییرات بستگی به وضعیت ولتاژ مدار باز دارد.

21- Drooping voltage

22- Drooper

23- open circuit voltage

24- Arc voltage



شکل ۲ - ۵ - دو شیب خروجی ممکن برای یک منبع انرژی جوشکاری با جریان ثابت. شیب تند (A) حداقل تغییرات جریان را می‌دهد. شیب ملایم‌تر (B) به واسطه تغییر طول قوس موجب تغییرات مقدار جریان می‌شود. به‌طور خلاصه تغییر ولتاژ مدار باز موجب تغییر در شیب منحنی ولت - آمپر خواهد شد.

هرچند که دامنه جریان میان قوس بلند و کوتاه در شکل ۲ - ۵ (منحنی B)، مساوی ۴۰ آمپر است، دامنه جریان مربوط به دو ولتاژ مدار باز در حالت متعارف فقط ۱۵ آمپر است. با توجه به شکل، برای یک محدوده ولتاژ مشخص، منحنی ولتاژ مدار باز حداقل (B)، دامنه بزرگتری نسبت به منحنی ولتاژ مدار باز حداکثر (A) ایجاد می‌کند.

ولتاژ مدار باز در ماشین‌های جریان ثابت نسبت به ماشین‌های ولتاژ ثابت، بیشتر است (برای نوع اول حدوداً ۸۰ ولت و در نوع دوم ۵۰ ولت است). بر روی ماشین‌های جوشکاری جریان ثابت صفحه تنظیم ولتاژ وجود ندارد، هرچند ولتاژ مدار باز می‌تواند با صفحه تنظیم جریان در ماشین‌هایی که دارای کنترل دوگانه^{۲۵} هستند، تنظیم شود.

در ماشین‌های ولتاژ ثابت، تغییرات طول قوس، تغییر نسبتاً کوچکی را در شدت جریان به وجود می‌آورد. بنابراین حرارت جوشکاری و سرعت سوختن الکترود خیلی کم تحت تأثیر قرار گرفته و جوشکار قادر به کنترل مناسب حوضچه مذاب و پیشرفت عملیات جوشکاری خواهد بود.

۲-۸ ماشین‌های مورد استفاده در جوشکاری دستی با الکترود 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).

۲-۸-۱ ماشین‌های جوشکاری موتور - مولد^{۲۶}

موتور - مولدها (موتور - ژنراتورها) معمولاً تنها جریان یکسو تولید می‌کنند، هرچند می‌توانند برای تولید جریان متناوب نیز طراحی و ساخته شوند. اکثر موتور - مولدها از نوع جریان ثابت بوده و آنها بویژه برای الکترودهای روکش دار و جوشکاری تحت حفاظت گاز با قوس تنگستن مورد استفاده می‌باشند. یک مدل از این ماشین‌ها در شکل ۲-۶ نشان داده شده است.

ماشین‌های موتور - مولد برقی (دینام‌ها)، شامل یک موتور با جریان متناوب، یک مولد جریان یکسو یا متناوب و یک مولد میدان مغناطیسی^{۲۷} مستقر بر روی یک شفت می‌باشد. جریان متناوب حاصل از منبع نیرو (مثلاً برق شهر) 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 ۲-۶ نشان داده شده است.

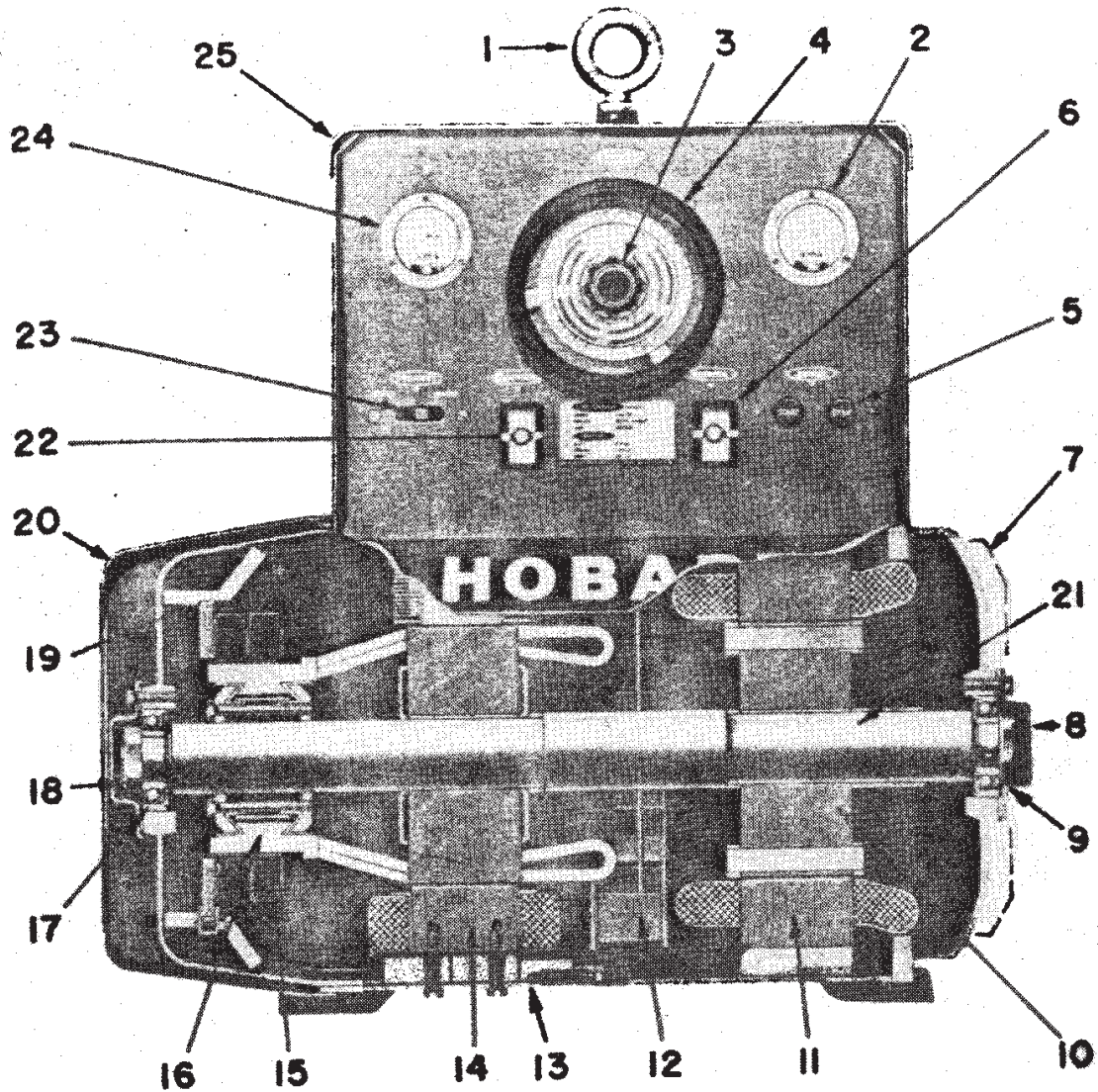
انواع دیگری از مولدها در مواقعی که تأمین انرژی الکتریکی در محل مقدور نباشد، توسط یک

25- dual control

26- d.c. and a.c. Motor-Generator Welding Machines

27- exciter

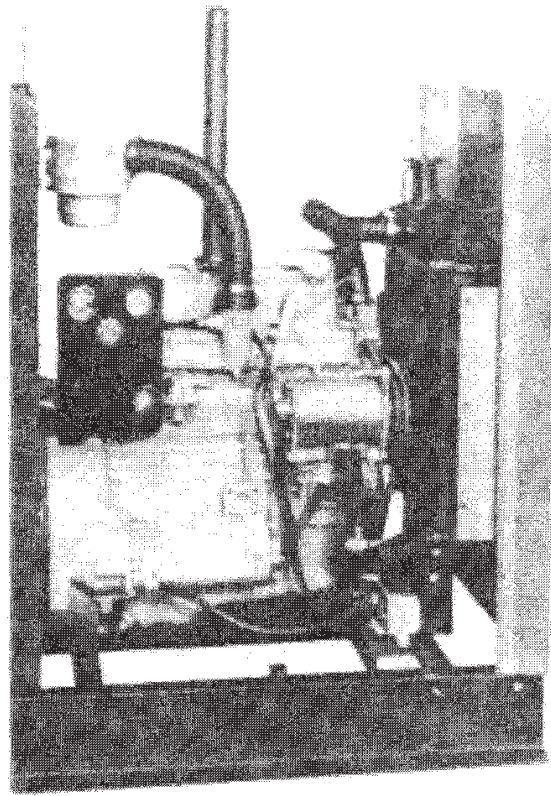
موتور درونسوز بنزینی و یا دیزلی مشابه آنچه در اشکال ۲-۷ و ۲-۸ نشان داده شده، راه‌اندازی می‌شوند.



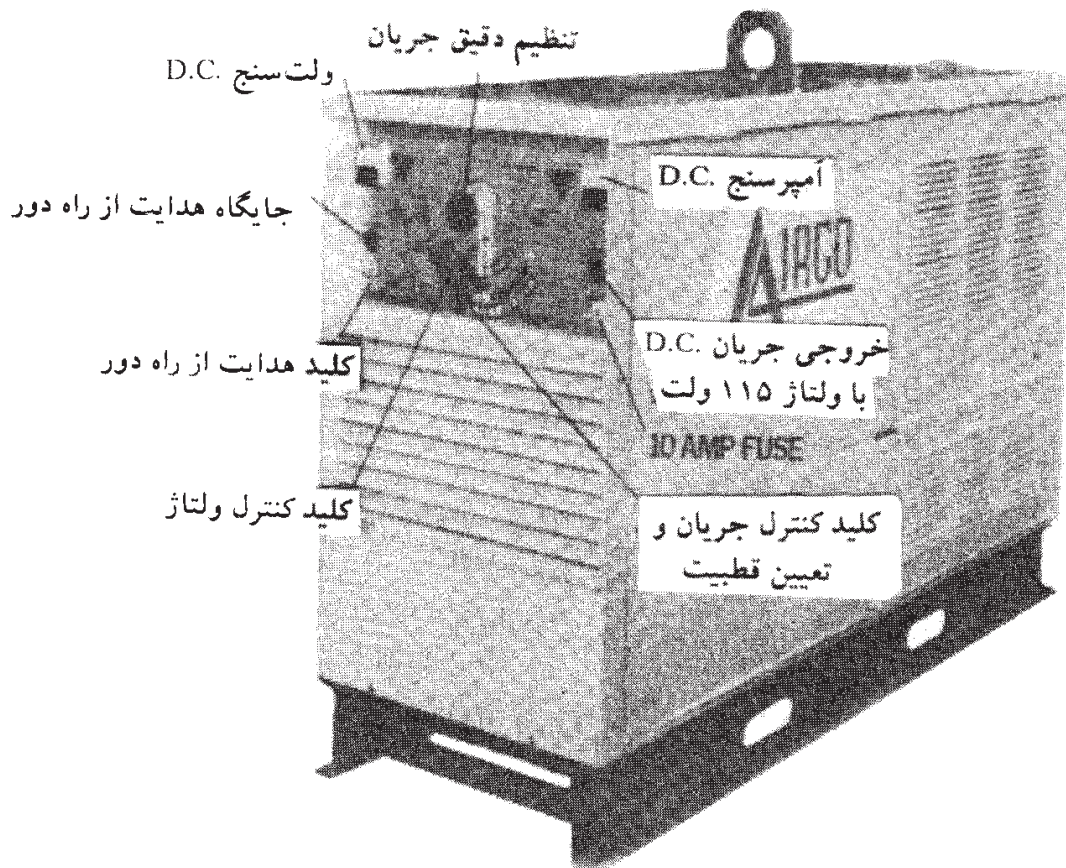
شکل ۲-۶ - موتور - مولد برقی (دینام).

قسمت‌های داخلی طبق شکل به شرح زیر است:

۱ - قلاب فلزی بزرگ و محکم؛ ۲ - ولت سنج بزرگ؛ 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 - جاروک 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.



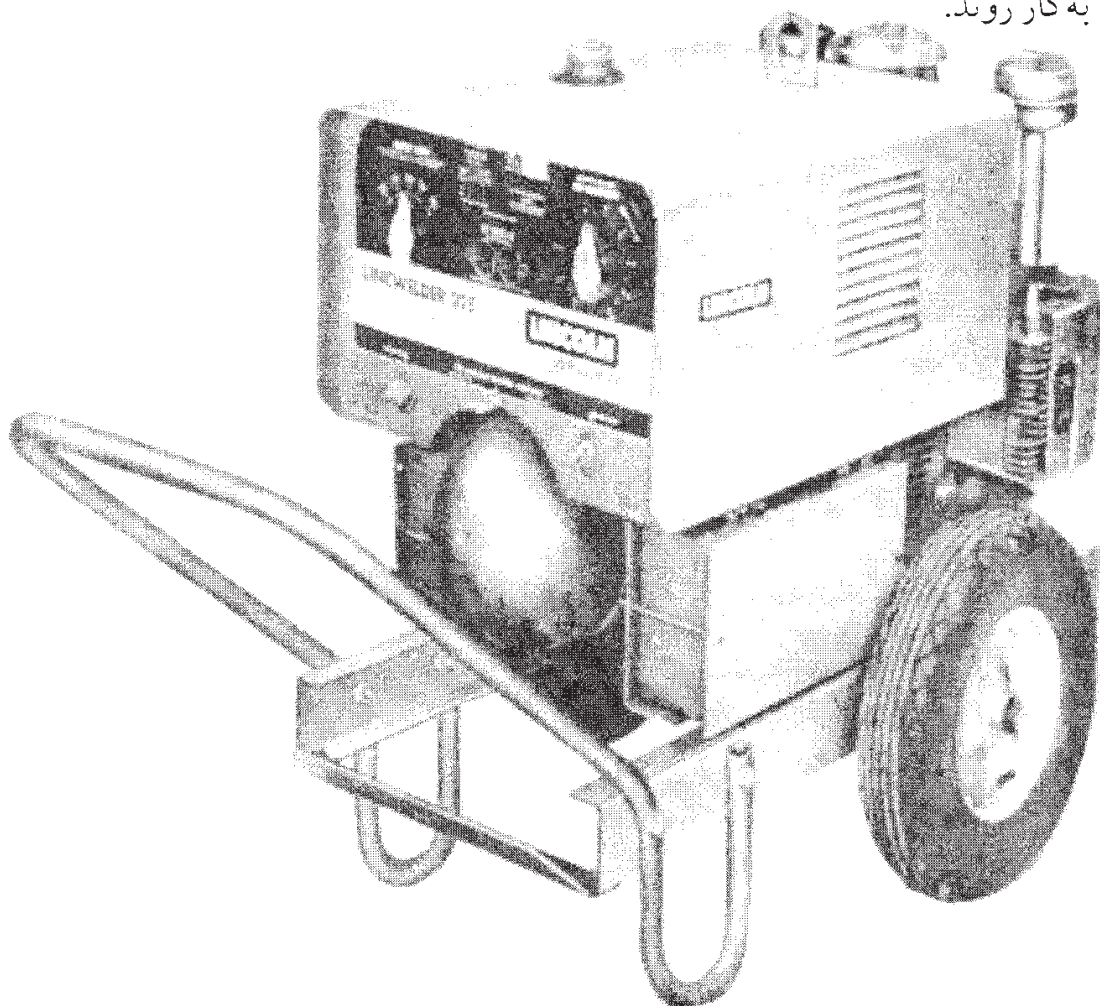
شکل ۲-۷ - یک موتور درونسوز (با سیستم سردکننده آبی) که انرژی لازم برای راه اندازی ماشین جوشکاری نشان داده شده در شکل ۲-۹ را تأمین می کند.



شکل ۲-۸ - دیزل - ژنراتور جوشکاری با جریان یکسو با ظرفیت ۴۰۰ آمپر. دارای تنظیم پیوسته دقیق. میان شدت جریان های اصلی بوده و می تواند برای جوشکاری با الکتروود معمولی و جوشکاری گازی استفاده شود. این دستگاه را می توان بر روی شاسی متحرک سوار نمود. شکاف های موجود بر روی پایه برای استفاده جرثقیل های بالابر می باشد.

در بعضی از کارهای ساختمانی و کارهای تعمیری استفاده از منبع انرژی الکتریکی مقرون به صرفه نبوده، همچنین در بعضی موارد انرژی الکتریکی قابل دسترس نیست. بنابراین استفاده از موتورهای بنزینی و دیزلی به عنوان منبع انرژی جهت راه اندازی مولد جوشکاری ضروری است. کنترل جوشکاری توسط این ماشینها مشابه موتور - مولدهای برقی (دینام) است. واحدهای مختلف دستگاه بر روی یک شاسی ساخته می شود که در زیر آن چرخهای لاستیکی مشابه لاستیک اتومبیل وجود دارد که باعث سهولت حرکت آن در قسمت های مختلف کارگاه می گردد (شکل ۲-۹). سوخت موتورها معمولاً بنزین، گازوئیل و گاز پروپان می باشد. موتور - مولدهای جریان یکسو و متناوب و موتورهای درونسوز دارای خصوصیات مطلوب برای جوشکاران جوش قوس الکتریک به شرح زیر می باشند:

- دارای یک قوس نفوذی و قوی می باشند.
- تنوع کاربرد زیادی داشته و می توانند برای کلیه فلزات قابل جوشکاری با جوش قوس الکتریک به کار روند.



شکل ۲-۹ - این موتور درونسوز بنزینی، ماشین جوشکاری را راه اندازی کرده و برای روشنایی اضطراری و برای وسایل برقی برق متناوب تأمین می کند.

● دارای دوام و عمر طولانی می‌باشند.

ابعاد

ابعاد ماشین براساس آمپراژ جریان خروجی تعیین می‌شود. این محدوده ماشین‌های ۱۰۰ آمپری برای کارهای کوچک خانگی تا ماشین‌های با ظرفیت بیش از ۱۵۰۰ آمپر را که با تجهیزات جوشکاری زیرپودری اتوماتیک استفاده می‌شوند، شامل می‌شود.

در کارهای جوشکاری دستی لازم نیست که ماشین به‌طور دائمی و پیوسته جریان الکتریکی تولید کند. در حین تعویض الکتروود، انجام عملیات حرارتی (پیش‌گرمایش)، تنظیم وضعیت قطعه کار، تمیز کردن جوش در حد فاصل پاس‌ها و تغییر موقعیت جوشکاری، نیازی به روشن بودن دستگاه تولید جریان نیست. برای ماشین با ظرفیت ۲۰۰ آمپر و بیشتر، نرخ جریان خروجی بر پایه ۶۰ درصد زمان کارکرد* می‌باشد. بدین معنی که ماشین جوشکاری مثلاً در هر ۱۰ دقیقه، تنها ۶ دقیقه می‌تواند بار خروجی مورد نظر را تأمین کند. برای ماشین‌های با ظرفیت ۱۰۰ آمپر و کمتر نرخ جریان خروجی عموماً براساس ۵۰ درصد زمان کارکرد می‌باشد. در بسیاری موارد ماشین‌ها به‌طور دستی قابل حمل و جابه‌جایی هستند که معمولاً برای جوشکاری مداوم و پیوسته استفاده نمی‌شوند. واحدهای تأمین انرژی کاملاً اتوماتیک عموماً براساس نرخ زمان کارکرد معادل ۱۰۰ درصد، جریان تولید می‌کنند.

یک ماشین جوشکاری مقدار جریان بیشتری را نسبت به آنچه که درجه نشان می‌دهد، تحویل می‌دهد بنابراین یک جوشکار مثلاً براساس درجه ۲۰۰ آمپر جریانی معادل ۲۰۰ الی ۲۵۰ آمپر را جهت جوشکاری تحویل خواهد گرفت. مقدار خروجی واقعی از خروجی نشان داده شده طبق درجه‌بندی همواره بیشتر است، بنابراین یک ماشین نباید در حداکثر ظرفیت خود در یک دوره ممتد و یا حتی نزدیک به این ظرفیت مورد استفاده قرار گیرد.

نگهداری و تعمیر

مولدهای جریان یکسو در صورتی که به‌طور صحیح نگهداری شوند بسیار بادوام بوده و مدت خدمت‌دهی آنها طولانی است. مناطقی که در این ماشین‌ها دچار فرسودگی می‌شوند عبارتند از: جاروبک ذغالی (بخشی که روی کولکتور قرار دارد و پس از مدتی ساییده شده و باید تعویض

* نسبت زمان روشن بودن قوس به روشن بودن دستگاه جوش در زمان معین را سیکل تناوب (duty cycle) یا زمان مؤثر کارکرد گویند.

گردد). عایق سطح یکسوکننده^{۲۸}، نقطه تماس کلید استارت^{۲۹}، و رئوستای کنترلی. یاتاقان‌های اصلی روی شفت باید به‌طور مرتب هر ۶ ماه یکبار بازرسی و گریس‌کاری شوند. برای تمیز کردن گریس‌کاری قبلی باید یاتاقان از محل خود بیرون آورده شود.

کنترل‌های موتور - مولد جریان یکسو

(الف) دکمه‌های شروع و توقف

این قبیل کنترل‌ها در هنگام شروع و پایان کار موتوری که مولد ماشین جوشکاری را به‌راه می‌اندازد لازم است. دکمه شروع (استارت) به‌رنگ سیاه و دکمه توقف به‌رنگ قرمز است. پس از آغاز کار دستگاه، قراز گرفتن این دکمه‌ها به‌طور محکم در محل خود بسیار مهم است. از عملکرد تند و خشن با دکمه‌ها باید پرهیز شود چراکه امکان صدمه دیدن نقاط تماس و قطع جریان برق دستگاه و فیوز، وجود دارد. شرح این موارد در شکل ۲ - ۶ آورده شده است.

(ب) کلید قطبیت^{۳۰}

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 (DCSP)^{۳۱} انجام می‌شود انبر الکتروود به‌خروجی منفی و فلز پایه به‌خروجی مثبت متصل می‌گردد. در قطبیت مستقیم یا قطبیت منفی، مسیر جریان از قطب منفی منبع انرژی به‌سمت الکتروود، سپس در عرض قوس الکتریکی بر روی قطعه فلز پایه بوده و نهایتاً به‌قطب مثبت منبع انرژی باز می‌گردد.

در جوشکاری با قطبیت معکوس (DCRP)^{۳۲}، انبر الکتروود به‌قطب مثبت و فلز پایه به‌قطب منفی منبع انرژی متصل می‌گردد. در قطبیت معکوس، مسیر جریان الکتریکی از انتهای منفی منبع به‌سمت فلز پایه، قوس، الکتروود و سپس به‌سمت قطب مثبت منبع انرژی می‌باشد. دکمه‌های قطبیت، نوع قطبیت را از مستقیم به‌معکوس و یا برعکس تبدیل می‌کنند. نام دیگر برای قطبیت معکوس، قطبیت مثبت^{۳۳} بوده و اسامی دیگر قطبیت مستقیم عبارت از قطبیت منفی^{۳۴}، قطبیت

28- commutator

29- start

30- polarity switch

31- Straight Polarity

32- Reverse Polarity

33- positive polarity

34- negative polarity

استاندارد^{۳۵} و قطبیت نرمال^{۳۶} می باشد. هرکدام از این اسامی ممکن است بر روی دکمه های مربوطه به کار رفته باشد.

(پ) ولت - آمپرسنج

دستگاه های اندازه گیری گاهی دو هدف را برآورده می سازند. در بعضی ماشین ها، همراه با نمایش جریان و ولتاژ برحسب اهم و آمپر، نوع قطبیت را نیز مشخص می کنند. بعضی ماشین ها، مانند شکل (۲ - ۶)، دارای ولت سنج و آمپرسنج جداگانه، و بعضی دارای یک صفحه مدرج نمایش می باشند که برای قرائت توأم ولتاژ و آمپراژ مورد استفاده قرار می گیرد. در دستگاه های اندازه گیری ترکیبی، به کمک یک کلید اضافی نوع قرائت (برای ولت یا آمپر) مشخص می شود. در حقیقت برای تعیین صحیح میزان ولتاژ یا آمپراژ مورد استفاده، شخص دیگری باید در کنار فرد جوشکار باشد تا دستگاه اندازه گیری را حین عمل جوشکاری برحسب مورد کنترل کند. همه ماشین های جوشکاری مجهز به دستگاه سنجش ولتاژ و آمپراژ نیستند.

(ت) تنظیم جریان

اگر در ذهن خود شدت جریان عبوری از سیم مدار را با جریان آب در یک لوله مقایسه نمایید، مفهوم کنترل و تنظیم جریان بهتر درک می شود. آمپراژ، مقدار یا دبی جریان است و مقدار حرارت تولید شده در جوشکاری را معین می کند. ولتاژ در حکم اختلاف ارتفاع موجود برای رانش جریان در لوله است. ولتاژ قابلیت روشن شدن و (تشکیل) قوس الکتریکی را معین کرده و میزان پایداری، یا دوام آن را مشخص می کند. اگر ولتاژ زیاد باشد، قوس خیلی تند^{۳۷} بوده و ممکن است موجب انحراف قوس^{۳۸*} گردد. اگر میزان ولتاژ خیلی کم باشد، برقراری قوس بسیار مشکل است. مولدهای جوشکاری به کمک عقربه تنظیم، دامنه عریضی را برای انتخاب جریان جوشکاری فراهم کرده و امکان تأمین حرارت مناسب و دقیق را ممکن می سازند. کنترل مطلوب قوس امکان پذیر است زیرا شیب خروجی ماشین جوشکاری می تواند به میزان دلخواه تنظیم شود. یک پیچ یا اهرم دستی به جوشکار اجازه می دهد تا جریان را در یک نرخ معین قرار دهد. دو نوع تنظیم مولد وجود دارد:

35 – standard polarity

36 – normal polarity

37 – harsh

38 – arc blow

* پدیده ای که موجب انحراف قوس از کوتاهترین مسیر به علت ایجاد حوزه های مغناطیسی خودالقای ناهمگن در اطراف قوس می شود.

تنظیم جریان غیر پیوسته (پله‌ای^{۳۹}) و تنظیم جریان پیوسته^{۴۰}.

(ث) تنظیم جریان مضاعف غیر پیوسته (پله‌ای)

در مولدها با شدت جریان پله‌ای ثابت، یک صفحه تنظیم درشت^{۴۱}، دامنه شدت جریان را انتخاب می‌کند. این دامنه را گام^{۴۲} و^{۴۳} گویند. عقربه تنظیم درشت باید در دامنه مناسب قرار گیرد تا از سوختن فیوز دستگاه و آسیب رسیدن به آن جلوگیری شود.

تنظیم ریز^{۴۴}، جریان را بین دو گام متوالی اصلاح می‌کند. بسته به قطر الکتروود، وضعیت جوشکاری، و ضخامت فلز پایه، تنظیم ریز به سمت بالا یا پایین پیچانده می‌شود. ماشین جوشکاری شکل ۲ - ۶ دارای کنترل دوگانه پله‌ای است.

(ج) تنظیم جریان مضاعف پیوسته

در مولدها با شدت جریان ثابت و کنترل مضاعف پیوسته، صفحه تنظیم درشت، جریان را به طور پیوسته تنظیم می‌کند. (بعضی از اپراتورها، صفحه تنظیم درشت را سلکتور قطعه^{۴۵} یا الکتروود^{۴۶} می‌نامند). صفحه تنظیم ریز، هم شدت جریان و هم ولتاژ مدار باز را تنظیم می‌کند. اپراتور شیب خروجی را برای یک وضعیت جریان مفروض با تنظیم دستی هر دو صفحه تنظیم درشت و ریز، تنظیم می‌کند.

یک چرخ یا طوقه گرد که دور هر دو صفحه تنظیم آمپراژ و ولتاژ قرار دارد، تنظیم پیوسته جریان و ولتاژ را برای جوشکار مقدور می‌سازد. جدایی در کنترل ولتاژ و آمپراژ این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان ترکیبات مختلفی از ولتاژ - آمپراژ در دامنه خروجی دستگاه از حداقل ولتاژ همراه با حداقل جریان تا حداکثر ولتاژ همراه با حداکثر جریان را به وجود آورد. بنابراین امکان انجام جوشکاری قوسی با خصوصیات مختلف متغیر فراهم می‌شود.

(چ) تنظیم از راه دور

بعضی ماشین‌های جوشکاری برای کنترل واحدهای جریان مجهز به سیستم کنترل از راه دور^{۴۷}

39- tapped-step current control

40- continuously variable current

41- coarse adjustment dial

42- steps

43- taps

44- fine adjustment

45- job selector

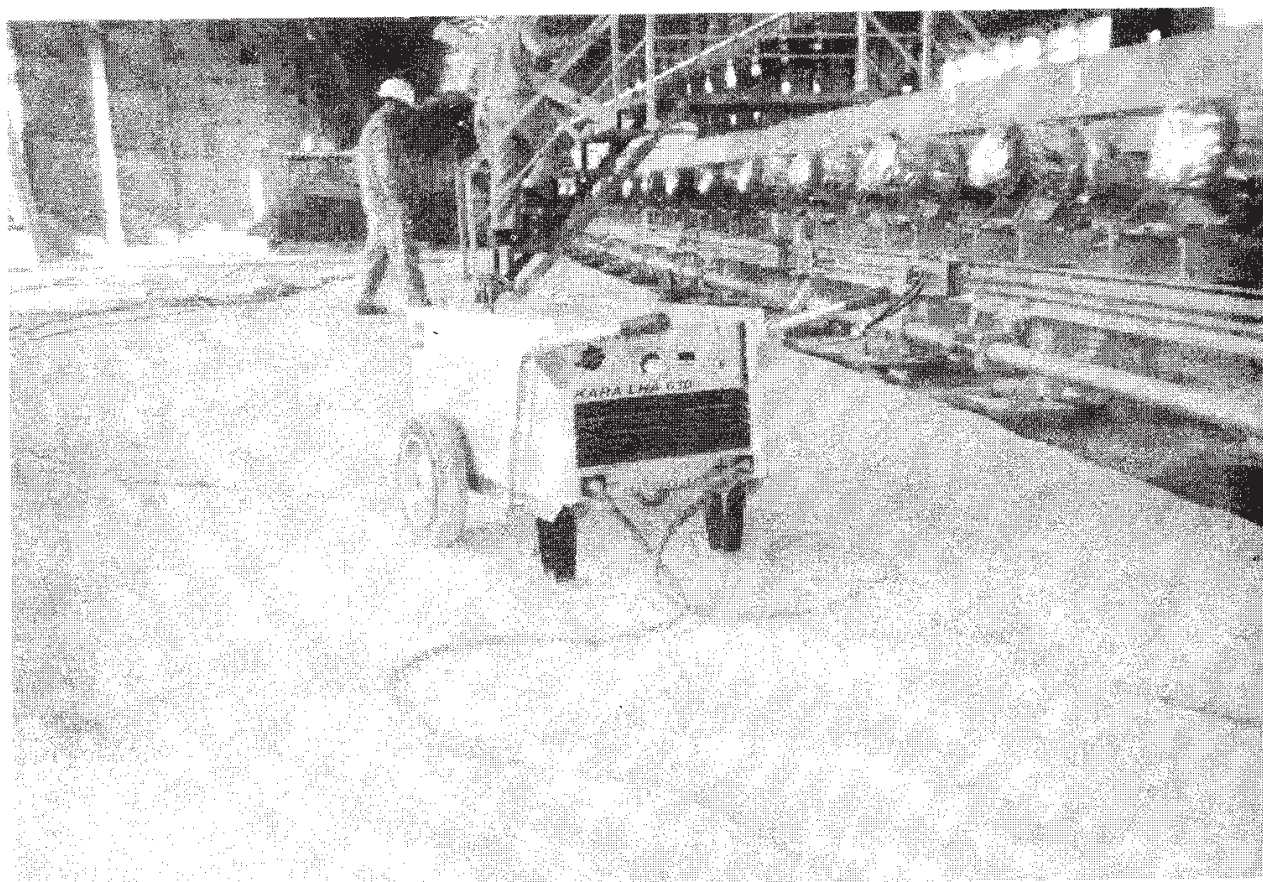
46- electrode selector

47- remote control

می‌باشند. ممکن است ماشین جوشکاری در مکانی دور از محل کار نصب و راه‌اندازی گردد و در ضمن امکان ترک کارگاه جهت تنظیم دستگاه برای جوشکار فراهم نباشد. در این حالت استفاده از سیستم کنترل از راه دور برای جوشکاری که مجبور به ترک محوطه جهت تنظیم دستگاه می‌باشد، موجب صرفه‌جویی در وقت خواهد شد.

۲-۸-۲ ماشین جوشکاری مبدل - یکسوکننده D.C. (رکتیفایرها)

ماشین‌های مبدل - یکسوکننده 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 مستقیم یا معکوس می‌باشند، همچنین ممکن است برای جوشکاری دستی با الکتروود، جوشکاری تحت حفاظت گاز، جوشکاری زیرپودری و جوشکاری گل‌میخ‌ها^{۲۸} مورد استفاده قرار گیرند و امکان سرویس‌دهی



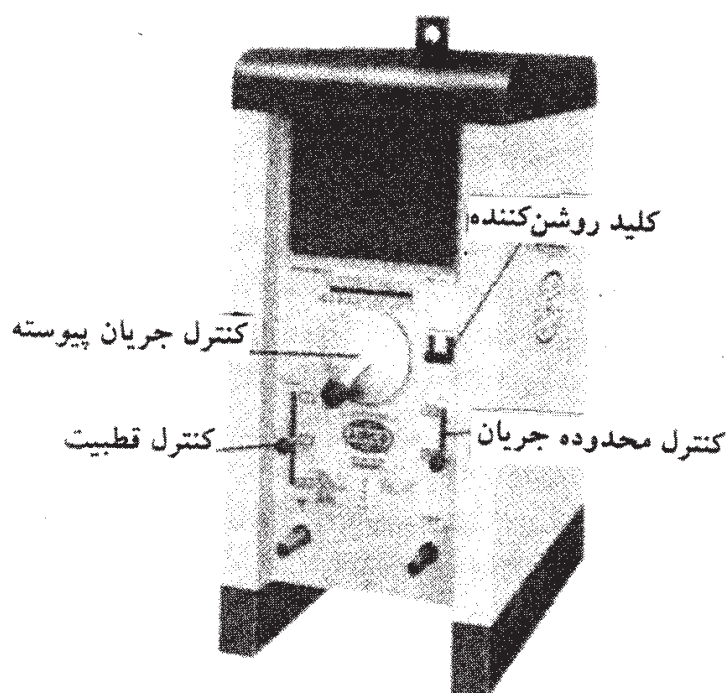
شکل ۲-۱۰ - ماشین جوشکاری یکسوکننده (رکتیفایر).

همزمان چندین کاربر را دارا می‌باشند.

همه ماشین‌های مبدل - یکسوکننده دارای دو قسمت اصلی هستند: (۱) یک مبدل (ترانسفورماتور) جهت تنظیم جریان متناوب ورودی به ماشین، (۲) یکسوکننده که جریان متناوب را به جریان 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 قسمت اصلی گردنده نیستند بنابراین در هنگام عدم استفاده و یا کارکرد آهسته انرژی کمتری مصرف می‌کنند. این ماشین‌ها به نگهداری و مراقبت کمتری نیاز دارند.

ماشین‌های جوشکاری مبدل - یکسوکننده AC-DC

ماشین‌های a.c-d.c به کاربر اجازه می‌دهند که نوع جریان را به صورت مستقیم یا متناوب و نوع قطبیت را به صورت مستقیم یا معکوس انتخاب کند. این ماشین‌ها در اصل یک مبدل - یکسوگر جریان a.c. هستند. یک کلید به کاربر اجازه می‌دهد تا فقط از قسمت مبدل برای جریان متناوب استفاده کند. با زدن یک کلید یا چرخاندن یک صفحه، جریان خروجی به داخل یکسوکننده فرستاده می‌شود و این دستگاه جریان را به جریان مستقیم جوشکاری تبدیل می‌کند. مدار یکسوکننده این ماشین مشابه سایر ماشین‌های مبدل - یکسوکننده می‌باشد (شکل ۲ - ۱۱).



شکل ۲ - ۱۱ - ماشین مبدل - یکسوکننده a.c.-d.c.

دستگاه‌های تشکیل قوس با فرکانس زیاد، هدایت جریان آب و گاز در حین جوشکاری، فیلترهای عملکرد جریان متناوب، و سایر تنظیم‌ها نظیر کنترل از راه دور همواره برای این ماشین‌ها پیش‌بینی می‌شود.

۲-۸-۳ ماشین‌های جوشکاری جریان متناوب (A.C.)

خاصیت جریان متناوب این است که در هر $\frac{1}{120}$ 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 ترشح شده و در ترکیب جوش ایجاد تداخل می‌کند.

هرچند 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 تولید جریان زیاد، عملکرد بیصدا و کاهش نیاز به مراقبت و نگهداری نسبت به انواع دیگر است.

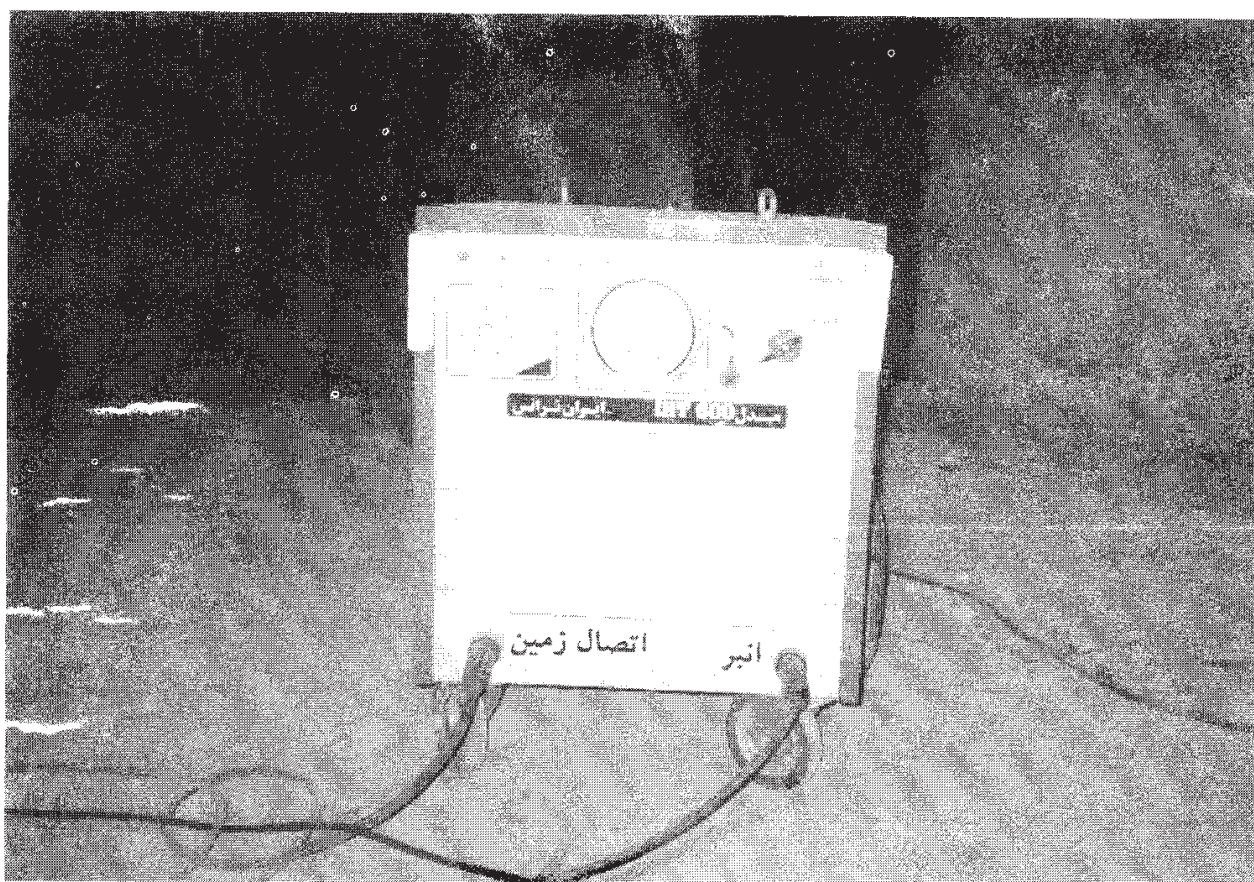
ماشین جوشکاری جریان متناوب مخصوصاً مناسب برای جوشکاری شیارها و پر کردن درزهای صفحات ضخیم در موقعیت جوشکاری تخت و پایین دست می‌باشد. دو نوع اصلی ماشین‌های جریان متناوب، شامل مبدل، و موتور - مولد (ژنراتور) می‌باشند.

مبدل‌های جریان متناوب (ترانس‌ها)

مبدل‌های a.c. یا ترانس‌ها، رایج‌ترین ماشین‌های جوشکاری جریان متناوب می‌باشند (شکل ۲-۱۲). عملکرد مبدل کاهش ولتاژ ورودی (که مثلاً ۱۱۰، ۲۲۰ یا ۴۴۰ ولت است) و افزایش آمپراژ می‌باشد. زیرا همان‌طور که ذکر شد، در جوشکاری معمولاً به ولتاژی پایین تر از ولتاژ برق شهر نیاز است.

تنظیم جریان در ترانس‌ها

روش‌های مختلفی برای کنترل شدت جریان وجود دارد. بعضی ماشین‌ها دارای کلید و یا انگشتی برای این کار می‌باشند. بعضی دیگر دارای تنظیم پیوسته دامنه جریان ورودی هستند. کنترل جریان پله‌ای اغلب بر روی ماشین‌های کوچک انجام می‌شود. کنترل جریان پیوسته که ممکن است به صورت مکانیکی و یا الکتریکی باشد، در اکثر صنایع جوشکاری وجود دارد.



شکل ۲-۱۲ - مبدل A.C. (ترانس).

۲-۹ کابل و وسایل اتصال

۲-۹-۱ کابل برق

کابل‌های برق که ماشین جوشکاری را به منبع انرژی متصل می‌کنند باید کاملاً عایق بوده و توانایی انتقال جریان الکتریسیته 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 لایه عایق بدنه ماشین جوشکاری امکان برق‌زاری شوک (ضربه) الکتریکی به منظور تشکیل قوس از بین خواهد رفت.

کابل الکتروود^{۴۹} و کابل اتصال به زمین^{۵۰}

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

49 – electrode cable

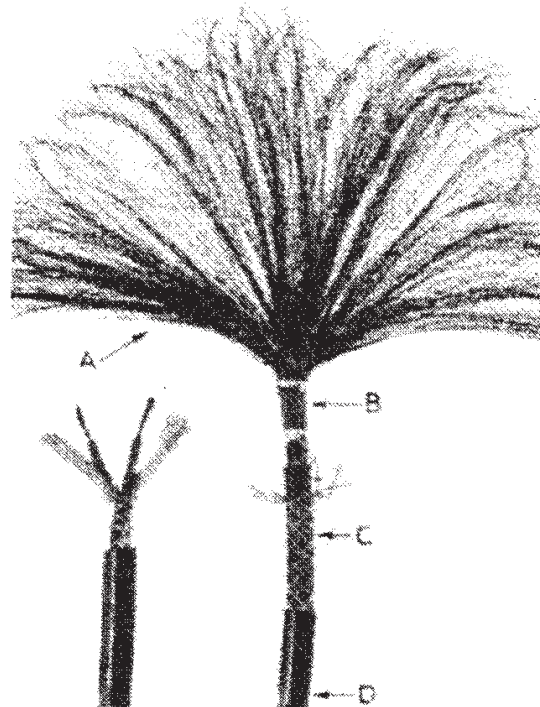
50 – ground cable

می شود و به انبر الکتروود متصل می شود و کابل اتصال به زمین یا کابل زمین که به قطعه کار وصل می شود.

کابل های مورد استفاده، عموماً کابل های رشته ای از جنس مس و با پوشش لاستیکی مطابق شکل ۲-۱۳ هستند که مشخصاً برای جوشکاری طراحی و ساخته می شوند. استفاده از کابل های از جنس رشته های آلومینیوم نیز در حال گسترش است. کابل، به ویژه کابل الکتروود باید کاملاً انعطاف پذیر باشد تا موجب خستگی و یا مزاحمت جوشکار در حین کار نگردد.

جوشکاری قائم و سقفی که در آنها در بسیاری از موقعیت ها جوشکار باید وسیله جوشکاری (الکتروود) را بالای سر نگه دارد، وضعیت دشواری را برای وی ایجاد می کند. یک کابل الکتروود با انعطاف پذیری کم، دشواری کار را بیشتر کرده و باعث خستگی بیشتر جوشکار خواهد شد. بنابراین، در چنین حالتی حفظ سرعت و کیفیت بالای جوش توسط جوشکار بسیار مشکل و یا غیرممکن است. انعطاف پذیری زیاد در سیم الکتروود ناشی از ساختمان مغزه آن می باشد. مغزه کابل الکتروود از هزاران رشته مویی و ریزمی تشکیل شده است و هر چقدر تعداد این رشته های باریک در یک کابل برای یک شماره مشخص بیشتر باشد، انعطاف پذیری کابل بالاتر است. شکل ۲-۱۳ ساختمان داخلی یک کابل مسی با روکش لاستیکی را نشان می دهد.

کابل های الکتروود آلومینیومی نیز به صورت رشته ای هستند. هرچند، این رشته ها در یک سیم آلومینیومی نسبت به سیم مسی هم شماره، بزرگتر می باشند. بنابراین برای یک شرایط مفروض



شکل ۲-۱۳ - ساختمان داخلی کابل جوشکاری.

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 می باشد.

انتخاب شماره (اندازه) کابل

میزان آمپراژ ماشین جوشکاری (و یا عمل جوشکاری خاص)، همچنین فاصله ماشین از محل کار دو عامل مهم در انتخاب کابل جوشکاری مناسب می باشند. جدول ۱-۲ این موضوع را نشان می دهد. هر چقدر 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 می یابد، 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

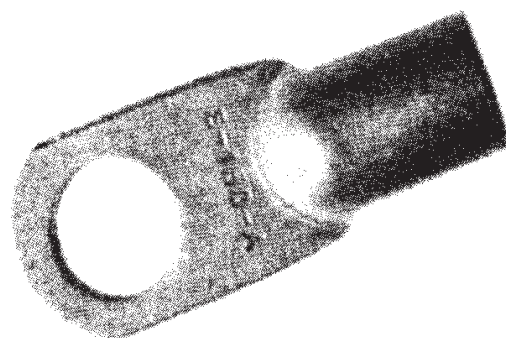
جدول ۱-۲ انتخاب اندازه مناسب کابل جوشکاری.

انتخاب شماره مناسب کابل جوشکاری برای یک ماشین عاملی مهم در به دست آوردن یک جوش سالم می باشد. برای مثال یک کابل نمره ۴۱۰ به طول ۳۰ متر در جریانی معادل ۵۰۰ آمپر اکتی 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)							
ظرفیت ماشین بر حسب آمپر	15	22.5	30	37.5	45	52.5	60
100	2	2	2	2	1	1/0	1/0
150	2	2	1	1/0	2/0	2/0	3/0
200	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0	4/0
250	2	1/0	2/0	3/0	4/0		
300	1	2/0	3/0	4/0			
350	1/0	3/0	4/0				
400	1/0	3/0	4/0				
450	2/0	3/0					
500	3/0	4/0					

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^{۵۱} و گیره اتصال به زمین^{۵۲}

کفشک‌های مناسب طبق شکل ۲-۱۴ هم برای کابل الکتروود و هم برای کابل زمین (کابل اتصال) جهت اتصال آنها به ماشین جوشکاری مورد نیاز می‌باشند. این کفشک‌ها باید با لحیم یا اتصال مکانیکی مناسب به کابل‌های موردنظر وصل شوند. اتصال این کفشک‌ها به محل خروجی ماشین جوشکاری باید کاملاً سفت و محکم باشد. لق شدن این اتصال باعث گرم شدن کفشک و ذوب شدن لحیم اتصال کابل به کفشک می‌گردد، سپس محل اتصال و کفشک‌ها سوخته و موجب اختلال در جریان جوشکاری خواهد شد.



شکل ۲-۱۴ - کفشک کابل الکتروود و کابل اتصال.

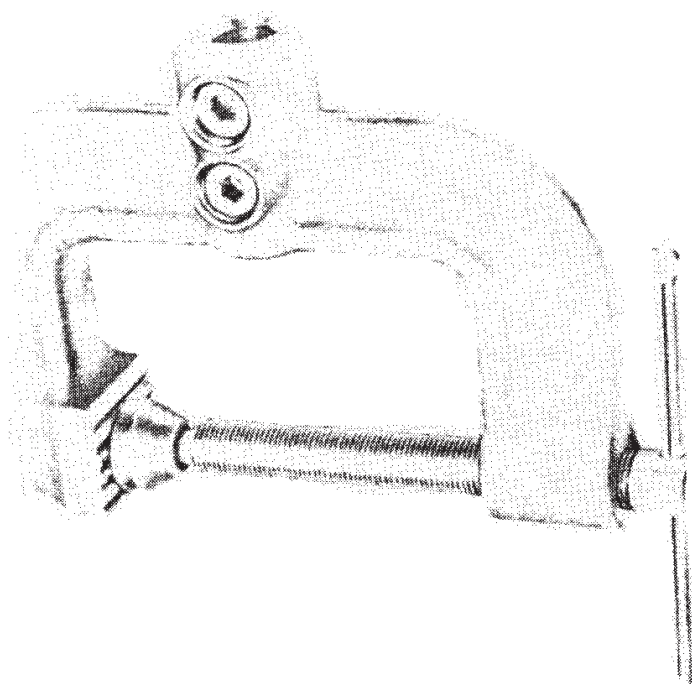
انتهای دیگر کابل الکتروود به انبر الکتروود متصل شده و انتهای دیگر کابل اتصال باید به گونه‌ای مناسب به قطعه کار وصل باشد. اگر این اتصال مطمئن نباشد، تشکیل قوس در محل اتصال آن را سوزانده و احتمال دارد شرایط مطلوب جهت جوشکاری فراهم نگردد.

اگر جوشکاری به گونه‌ای است که قطعه کار می‌تواند روی میز جوشکاری^{۵۳} 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 مسی، یک وزنه فلزی سنگین، گیره C شکل و یا گیره‌های اتصال ویژه مطابق شکل ۲-۱۵ مورد استفاده

51- calbe lug

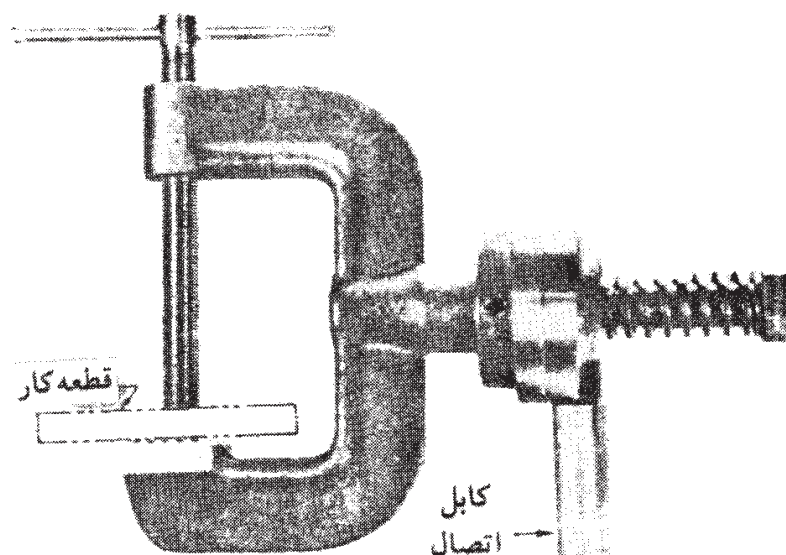
52- ground clamp

53- welding bench



شکل ۲-۱۵ - گیره C شکل از انواع گیره‌های اتصال و با ظرفیت ۶۰۰ آمپر، گلوبی عمیق آن را برای قطعات معین مناسب می‌سازد.

قرار می‌گیرند. شکل ۲-۱۶ یک نوع خاص از گیره اتصال چرخشی را نشان می‌دهد. این نوع گیره از تابیدن کابل جوشکاری متصل به گیره و موقعیت‌دهنده‌ها^{۵۴}، در مواردی که قطعه می‌چرخد



شکل ۲-۱۶ - این گیره چرخشی هنگامی استفاده می‌شود که قطعه باید بگردد. گیره با قطعه می‌چرخد ولی کابل اتصالی نه می‌گردد و نه می‌پیچد.

دستگاهی که قطعات مورد جوش را در جهات مختلف به گونه‌ای حرکت می‌دهد تا جوشکاری حتی المقدور به صورت تخت انجام گیرد.

54 - positioners:

جلوگیری می‌کند. گیره C شکل تقریباً برای همه اشکال قطعات اجازه می‌دهد تا اتصال به زمین از دو نقطه برقرار شود. این گیره عموماً در ساخت مخازن و ظروف تحت فشار و در مورد موقعیت‌دهنده‌ها مورد استفاده است.

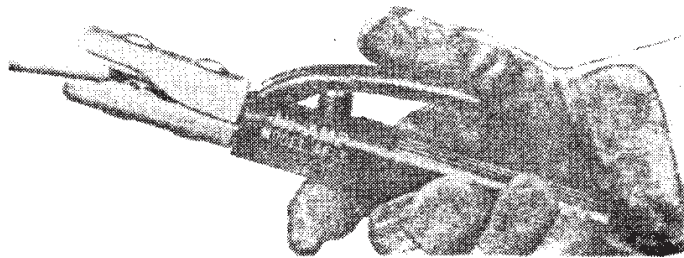
اگر کار به گونه‌ای است که در مراحل مختلف، طول‌های متفاوتی از کابل الکتروود مورد نیاز است، می‌توان کابل‌ها را در طول‌های مشخص و مجهز به وسایل اتصالی ساخت، به گونه‌ای که بتوان آنها را با سهولت و کیفیت بالا به یکدیگر متصل کرده و طول مورد نظر در هر مرحله را به وجود آورد.

۲-۹-۲ انبر الکتروود^{۵۵}

انبرهای فلزی

انبر فلزی الکتروود وسیله‌ای برای نگهداشتن الکتروود به صورت مکانیکی است. این وسیله جریان الکتریکی را از کابل جوشکاری به الکتروود می‌رساند. دارای یک دسته عایق می‌باشد که دست جوشکار را از حرارت 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 بالا مقاوم باشند (شکل ۲-۱۷). 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



شکل ۲-۱۷ - انبر الکتروود با عایق کامل. این انبر بدون خطر تشکیل مدار کوتاه به قطعه کار وصل می‌شود.

وجود نداشته باشد. این مورد مخصوصاً مناسب کار در فواصل خیلی نزدیک به هم می باشد. انبر معمولاً با اتصال بدون لحیم به کابل جوشکاری متصل می شود، در این حالت وجود یک اتصال خوب جهت جلوگیری از گرم شدن بیش از حد گیره و کابل ضروری است.

۲-۱۰ تجهیزات حفاظتی

۲-۱۰-۱ ماسک دستی^{۵۶} و ماسک کلاهی^{۵۷}

نور درخشان حاصل از قوس الکتریکی دارای دو نوع پرتو نامرئی می باشد که برای چشم ها 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 می شود که البته درد آن دائمی نیست. جوشکاران این نوع درد را «ریگ داغ در چشم» می گویند. این پرتوها گاه سوزشی مشابه آفتاب سوختگی و گاهی تولید عفونت می کنند. آنها در فواصل کمتر از ۱۵ متر بر روی چشم و در فاصله ای کمتر از ۶ متر بر روی پوست اثر می گذارند.

پوشش های حفاظتی تنها برای مقابله با پرتوهای زیان آور نبوده بلکه جهت حفاظت جوشکار در مقابل قطره های فلز مذاب نیز هستند که بخصوص در جوشکاری های قائم و سقفی به جوشکار صدمه می زند.

ماسک دستی، طبق شکل ۲-۱۸ دارای دسته ای است که شخص با استفاده از آن ماسک را جلو صورت خود نگه می دارد. بازرسین و ناظرین جوشکاری از این نوع ماسک استفاده می کنند. این نوع ماسک برای جوشکاری مناسب نیست چرا که در هنگام استفاده از آن جوشکار تنها با یک دست قادر به کار کردن می باشد و کنترل الکتروود و انجام همزمان یک عمل ضروری دیگر با یک دست امکانپذیر نیست.

ماسک کلاهی، طبق شکل ۲-۱۹ که گاهی کلاه ایمنی^{۵۸}، یا سربند^{۵۹} نیز خوانده می شود، مانند یک کلاه استفاده می شود. این ماسک به یک نوار روی سر^{۶۰} قابل تنظیم متصل می شود که به آن اجازه حرکت به سمت بالا یا پایین را به دلخواه می دهد. در هنگام استفاده از این ماسک، هر دو دست جهت گرفتن انبر الکتروود و شرکت در اعمال دیگر آزاد هستند.

وسایل ایمنی مذکور برای قسمت فوقانی سر تهیه شده اند، ولی جوشکاران باید یک نوع کلاه چرمی^{۶۱} جهت حفاظت کاملتر بپوشند. این پوشش باید صاف بوده و فاقد جیب یا لبه های گرد شده

56- hand shield

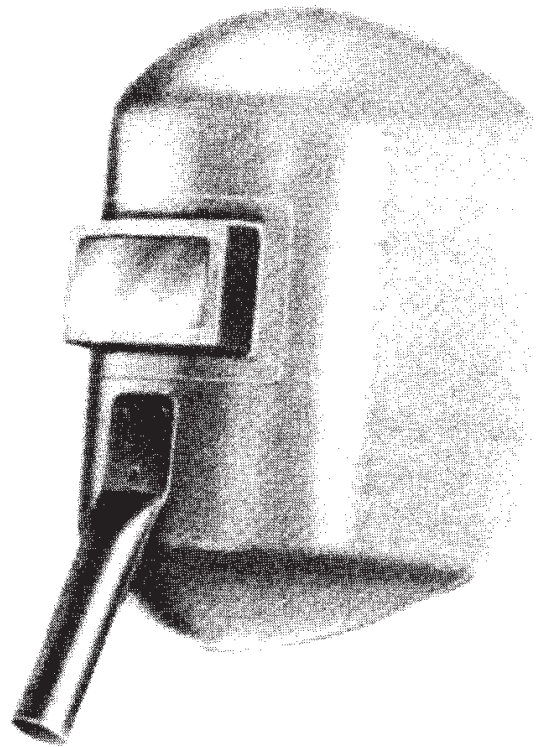
57- head shield

58- hood

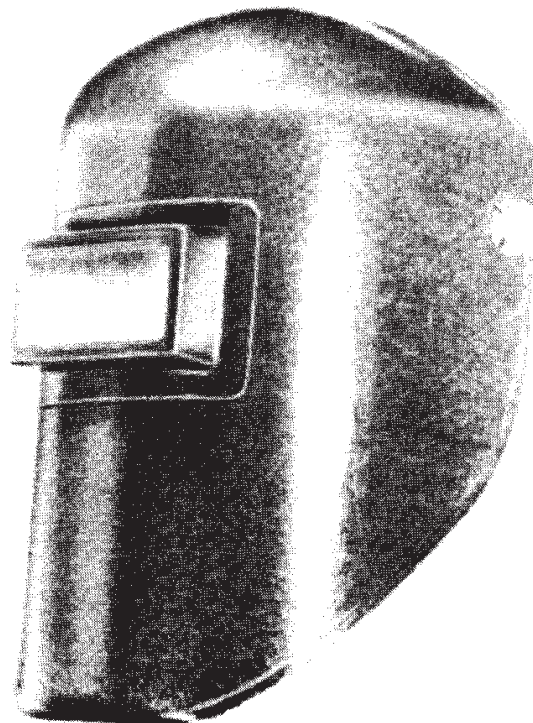
59- helmet

60- head band

61- leather cap



شکل ۲-۱۸ - ماسک دستی معمولاً توسط بازرسین و ناظرین جوشکاری استفاده می‌شود.



شکل ۲-۱۹ - ماسک کلاهی استاندارد.

باشد تا قطرات فلز مذاب را در خود نگه ندارد.

هر دو نوع ماسک دستی و کلاهی از مواد لاستیکی فشرده عایق و مقاوم حرارتی ساخته

شده‌اند. این ماسک‌ها به‌طور کامل ناحیه سر و گردن را از ذرات فلز، دود، جرقه و پرتوهای خطرناک محافظت می‌کنند و جهت کاهش انعکاس نور معمولاً به‌رنگ سیاه می‌باشند. این ماسک‌ها دارای یک قاب پنجره‌ای برای نگهداشتن شیشه رنگی^{۶۲} محافظ هستند که اجازه می‌دهد جوشکار با ایمنی کامل عملیات را زیر نظر داشته باشد. اندازه این شیشه ۵×۱۱/۲۵ سانتی متر می‌باشد و رنگی است، به‌گونه‌ای که مانعی در مقابل اشعه فرابنفش و مادون قرمز و بسیاری از اشعه‌های مرئی ناشی از قوس الکتریکی می‌باشد. رنگ‌های مختلفی جهت تیره کردن شیشه محافظ ممکن است به کار رود. چگالی رنگ انتخاب شده بستگی به میزان 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.

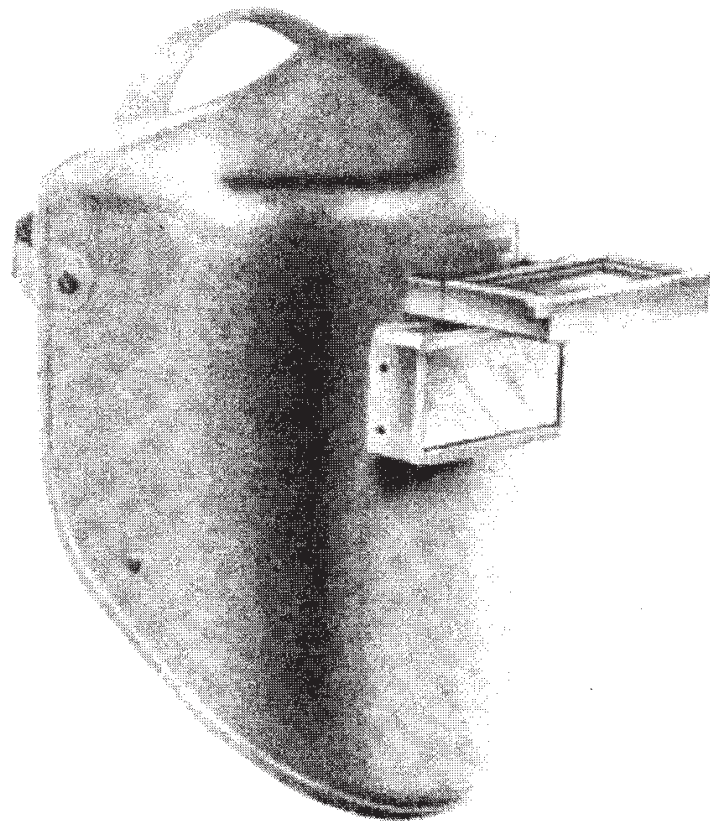
وجهی از شیشه محافظ که رو به جوش قرار دارد (وجه بیرونی) توسط یک شیشه شفاف یا روکش پلاستیکی محافظت می‌شود. این روکش به‌خاطر حفاظت شیشه تیره اصلی (که معمولاً گرانبه است) از ترشح فلز مذاب و لبه‌های شکسته و تیز است. شیشه روکش^{۶۳} نسبتاً ارزان قیمت بوده و ممکن است با یا بدون پوشش شفاف^{۶۴} تولید شود. روکش‌هایی که تحت عملیات شیمیایی خاص قرار می‌گیرند دوام بیشتری نسبت به انواع دیگر دارند. هنگامی که شیشه روکش بر اثر دود و بخار و ترشحات جرقه جوشکاری کثیف می‌شود، باید تعویض گردد. جوشکاری با شیشه لکه‌دار برای دید مضر بوده و موجب التهاب چشم می‌گردد. بعضی از جوشکاران محافظت هر دو طرف شیشه رنگی را با استفاده از روکش شفاف ترجیح می‌دهند.

نوع دیگری از ماسک کلاهی در شکل ۲ - ۲۰ نشان داده شده است. این نوع به‌خاطر مجهز بودن به یک عینک (یا نقاب) بازشو متمایز از انواع دیگر است. گیره‌ای که شیشه محافظ اصلی و روکش شفاف را نگه می‌دارد، با اشاره انگشت بالا زده می‌شود. یک روکش شیشه‌ای شفاف که در جای خود ثابت است چشم‌ها را از پوسته داغ در هنگام بازرسی جوش گرم و همچنین از ذرات گل و فلز پخش شده در هوا هنگام تمیز کردن و برس زدن جوش محافظت می‌کند. این نوع مخصوصاً در هنگام کار در فواصل نزدیک به هم و محیط بسته که درآوردن کل ماسک مشکل می‌باشد، مورد

62- protective lens

63- cover glass

64- transparent coating



شکل ۲ - ۲۰ - ماسک جوشکاری با نقاب بازشو که اجازه می‌دهد جوشکار بدون درآوردن ماسک، جوش را بازرسی کرده و با برس سیمی آن را تمیز کند.

استفاده است.

ماسک‌های ویژه

ماسک‌های کلاهی زیر برای شرایط ویژه طراحی شده‌اند:

- شیشه‌های با حوزه دیده وسیع برای دید بهتر ممکن است در ماسک‌های استاندارد معمولی قرار داده شوند. اندازه این شیشه‌ها $۱۳/۱۲۵ \times ۱۱/۲۵$ سانتی‌متر است.
- ماسک‌های کلاهی از جنس کروم با پوشش چرم^{۶۵}، 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 (تار) فلزی با کلاهک ایمنی که استفاده از آن جهت حفاظت در مقابل خطر سقوط اجسام و یا برخورد با اشیا آویزان در کارگاه پیشنهاد می‌شود.
- ماسک کلاهی با تهویه مطبوع^{۶۶} دارای یک مخزن هوای تازه به همراه شیلنگ تغذیه است

که مستقیماً به سمت ناحیه تنفس هدایت می‌شود. این نوع ماسک، سر و صدا را کاهش داده و جهت عبور هوا هیچ مزاحمتی برای چشم ندارد. این نوع در کار تعمیر و نگهداری و مواقعی که وجود گرما و دود و بخار ایجاد مشکل می‌کند، مورد استفاده است.

● لوله‌های هوای تنفس^{۶۷} که از دو جهت برای جوشکار اطمینان و ایمنی ایجاد می‌کند. اول آنکه هوای تمیز و خنک که در مقابل بخارات سمی محافظت شده را فراهم می‌کنند. دوم، آنها دارای یک شیر تنفس مخصوص هستند که بخارات را از داخل ماسک خارج کرده و یک دید واضح برای جوشکار فراهم می‌کنند.

۲-۱۰-۲ عینک ایمنی^{۶۸}

استفاده از عینک در پشت ماسک ایمنی یک نیاز ضروری است (شکل ۲ - ۲۱). این مورد در کارگاه‌هایی که کارگران جوشکار نزدیک یکدیگر کار می‌کنند کاملاً ضروری است. 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، خرد کردن و تراشیدن جوش معیوب محافظت می‌کنند. این عینک‌ها توسط دستیاران جوشکاری، ناظرین، بازرسین و دیگر افرادی که با جوش سر و کار دارند، استفاده می‌شود. عینک باید سبک‌وزن، 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^{۶۹} یا سایه‌بان بوده و شیشه‌های آنها رنگی (با درجه تیرگی کم) باشد.

۲-۱۰-۳ لباس محافظ^{۷۰}

در هنگام جوشکاری جرقه‌های آتش و قطرات فلز مذاب که توسط قوس الکتریکی ایجاد می‌شود به‌طور مداوم بیرون ریخته می‌شود. اگر این قطرات و جرقه‌ها با پوست بدون محافظ تماس پیدا کند موجب سوختگی شدید خواهد شد. 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 ساطع شده از قوس الکتریکی و همچنین جرقه آتش و فلز مذاب بافته شده است. شکل (۲ - ۲۲) جوشکاری را نشان می‌دهد که به‌طور

67- air line respirators

68- flash goggle

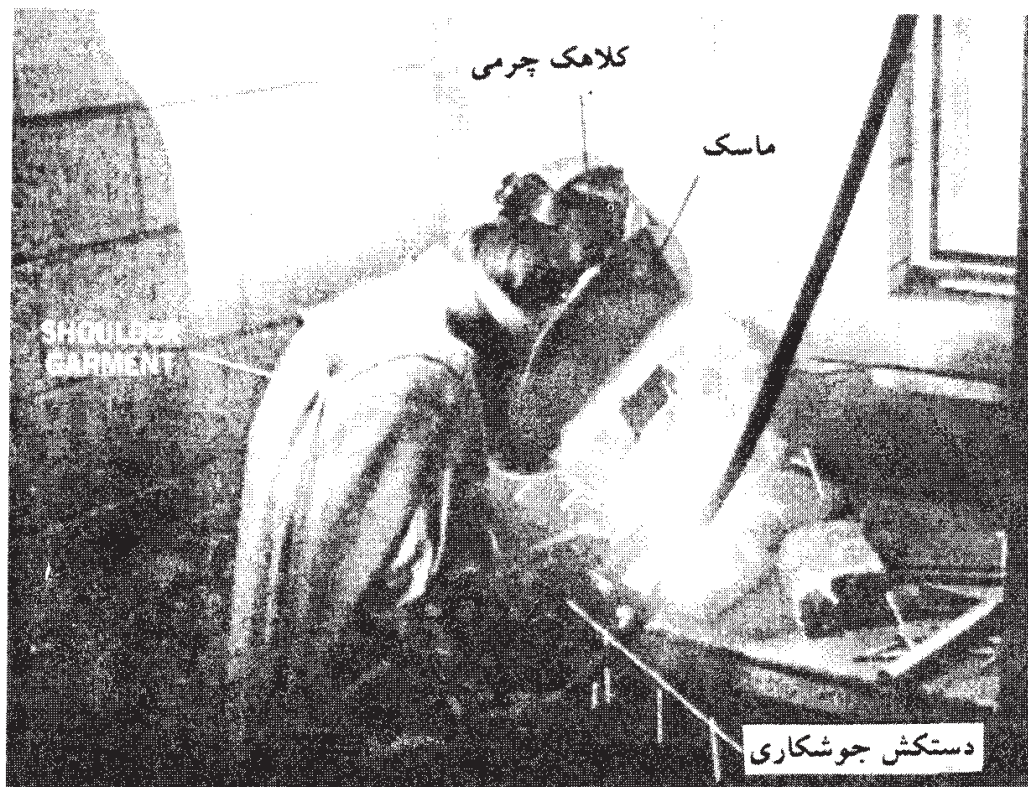
69- blinder

70- protective clothing



شکل ۲ - ۲۱ - 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.

شکل ۲ - ۲۲ - یک کارآموز جوشکاری با لباس محافظ مناسب.





شکل ۲- ۲۳ - دستکش چرمی جوشکاری.

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^{۷۱} 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 - ۲۴). این لباس‌ها هنگامی که جوشکاری در موقعیت قائم و یا بالای سر



شکل ۲- ۲۴ - لباس محافظ به‌حفاظت جوشکار در مقابل جرقه و حرارت کمک می‌کند.



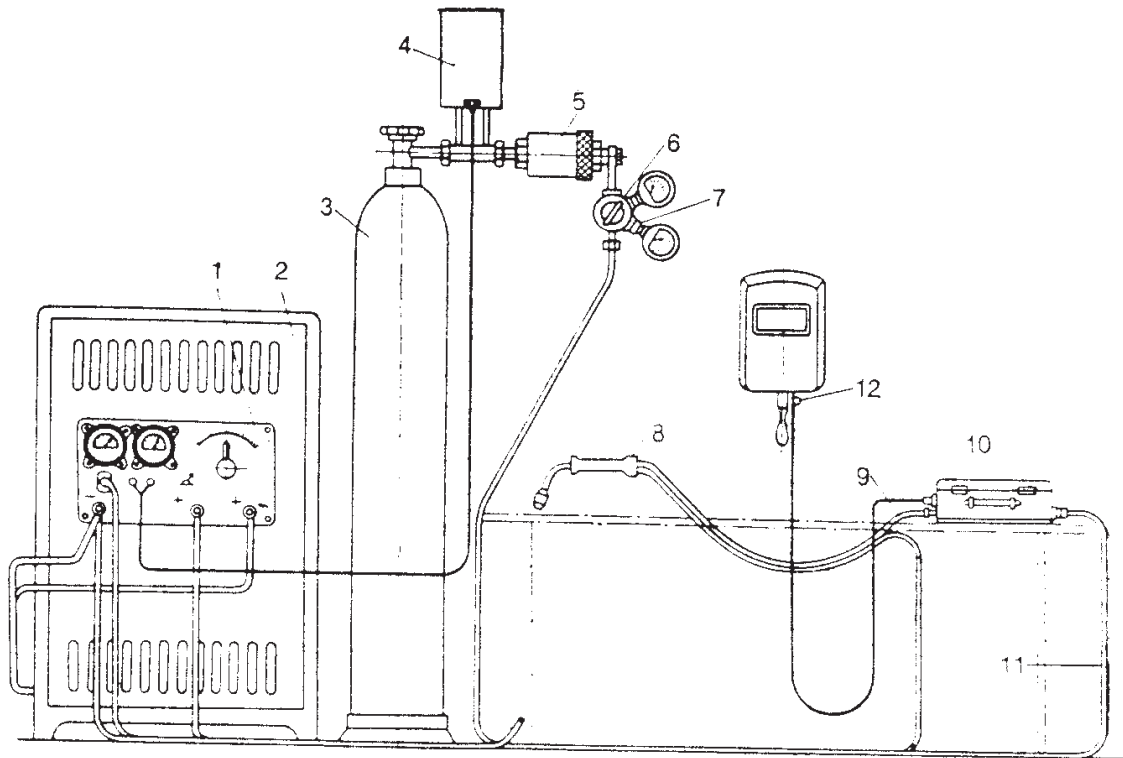
شکل ۲ - ۲۵ - پوشش کامل چرمی و لباس‌های گشاد چرمی موجب حفاظت کل بدن می‌گردد.

است، کاملاً مورد نیاز می‌باشد. هنگامی که قسمت اعظم کار در موقعیت نشسته انجام می‌شود، جوشکار باید از یک لباس گشاد یا پیش‌بند چاک‌دار استفاده کند، زیرا پیش‌بند کامل (بدون درز) در مقابل ذرات داغ به دور خود می‌پیچد و برای جوشکار ایجاد مزاحمت می‌کند. ممکن است این نوع لباس گشاد از جنس چرم به همراه یک ژاکت چرمی پوشیده شود.

در جوشکاری باید از کفش‌های تخت 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 به کندی التیام می‌یابد. به همین جهت حفاظت پا و استفاده از کفش‌های ایمنی در کارگاه جوشکاری بسیار مهم است. لبه‌های گرد شده آستین پیراهن و یا پاچه‌های برگشته شلوار مکان مناسبی برای قرار گرفتن قطرات و جرقه‌های فلز مذاب و داغ می‌باشند و به همین جهت از قرار دادن آنها در لباس باید خودداری کرد.

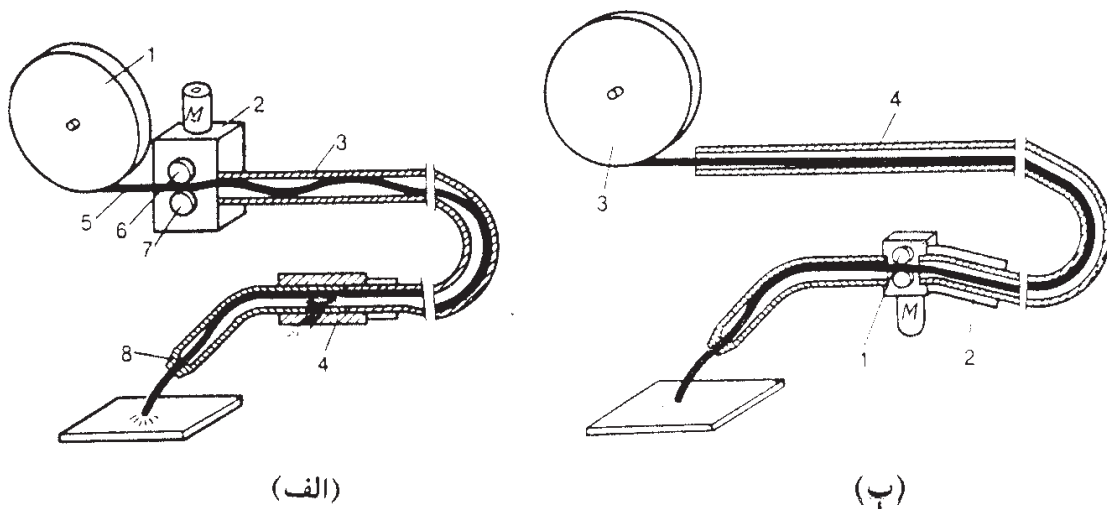
۲- ۱۱ تجهیزات جوش‌های اتوماتیک

در اشکال ۲- ۲۶ و ۲- ۲۷ بعضی از تجهیزات دستگاه‌های جوش اتوماتیک نشان داده شده است.



۱ - تابلوی کنترل؛ ۲ - مولد جوش؛ ۳ - سیلندر گاز؛ ۴ - پیش‌گرمایش گاز؛ ۵ - رگلاتور؛ ۶ - جعبه‌دنده؛ ۷ - کنتور گاز؛ ۸ - انبر جوش؛ ۹ - مجرای الکترود؛ ۱۰ - دستگاه تغذیه الکترود؛ ۱۱ - الکترود (مفتول جوش)؛ ۱۲ - ماسک و دگمه شروع‌کننده.

شکل ۲ - ۲۶ - تجهیزات جوشکاری تحت حفاظت گاز.



(الف)

(ب)

شکل ۲ - ۲۷ - تغذیه اتوماتیک الکترود ممتد. (الف) فشاری؛ (ب) کششی.

الکتروود

۳-۱ معرفی

جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار (SMAW)^۱ که در این متن اغلب تحت عنوان جوشکاری قوسی^۲ و در کارگاه توسط جوشکاران تحت عنوان جوشکاری دستی با الکتروود^۳ نامیده می شود، دارای یکی از وسیعترین کاربردها در ساخت، مونتاژ، و تعمیر و تقویت سازه های فولادی است. این مقبولیت به لحاظ گسترش الکتروودهای روکش دار است که توانایی ایجاد جوش با خواص مکانیکی معادل و یا حتی بهتر از خواص فلز مورد جوشکاری را دارا می باشند.

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 می گیرد.

هدف این است که قادر باشیم تا آنجا که خواص الکتروود اجازه می دهد، جوشی ایجاد نماییم که دارای مطلوبترین خواص فیزیکی و شیمیایی، سلامت، و ظاهر باشد. مطالعه شکل ۳-۱، شناخت خوبی از تمایز بین جوش خوب و بد بدست داده و عوامل دخیل در یک جوش خوب و بد را می شناساند. بعد از آشنایی با خواص الکتروودهای شرح داده شده در این قسمت، برای کسب اطلاعات مربوط به الکتروودهای خاص، باید به کاتالوگ های تهیه شده توسط کارخانه سازنده مراجعه نمایید.

۳-۲ تعاریف عمومی







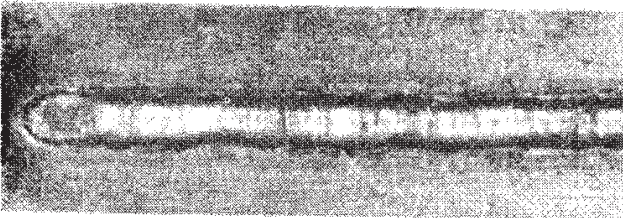



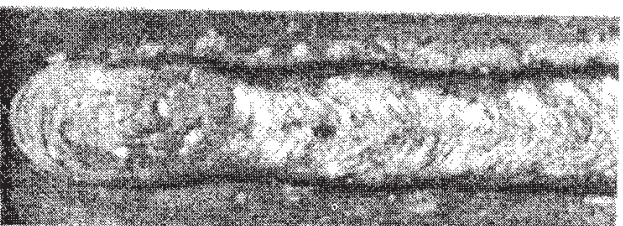
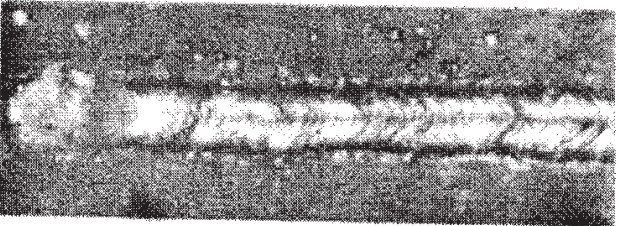
● الکتروود جوشکاری قوسی^۴: فلز پرکننده به شکل مفتول با روکش یا بدون روکش که جریان الکتریکی توسط آن بین انبر الکتروود و قوس الکتریکی منتقل می شود.

1- Shielded Metal-Arc Welding

2- arc welding

3- stick electrode welding

4- metal arc welding electrode

A	B	C	D	E	F
					
شدت جریان کم جوشکاری خیلی کم گرده شدن زیاد فلز جوش	شدت جریان خیلی زیاد جوشکاری خیلی زیاد پاشش یا ترشح زیاد	نوس بلند (ولتاژ زیاد) خط جوش نامنظم با نفوذ نسبی پوشش نامناسب فلز جوش	جوشکاری با سرعت زیاد خط جوش باریک و نامنظم کمبود فلز جوش در مقطع درز	جوشکاری با سرعت خیلی کم گرده شدن زیاد فلز جوش عدم نفوذ در لبه‌ها	شدت جریان، ولتاژ و سرعت مناسب خط جوش صاف، مستقیم و با شکل خوب عدم بریدگی کناره جوش یکنواختی در مقطع عرضی
پیشرفت کند اتلاف الکترولیت و زمان مفید	نشست نامنظم اتلاف الکترولیت و زمان مفید	جوش کم یا زوده اتلاف الکترولیت و زمان مفید	فاقد مقاومت کافی اتلاف الکترولیت و زمان مفید	مصرف زمان زیاد اتلاف الکترولیت و زمان مفید	جوش عالی با کمترین مصالح و هزینه
					

شکل ۱-۳ - پلان و مقطع جوش انجام شده با الکترولیت قوسی روکش دار در شرایط مختلف.

● **الکتروود مداوم**: الکتروود لخت پیوسته که به دور قرقره پیچیده و در جوشکاری اتوماتیک یا نیمه اتوماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

● **الکتروود مغزه دار**^۵: یک نوع الکتروود مداوم (پیوسته) که پودر جوشکاری در مغزه آن قرار دارد و در جوشکاری اتوماتیک و نیمه اتوماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

● **الکتروود روکش دار**^۶: یک الکتروود فلزی با طول محدود (استیک) و روکش نسبتاً ضخیمی از موادی که دو هدف را برآورده می‌کنند؛ (۱) تثبیت قوس الکتریکی و (۲) بهبود خواص فلز جوش.

الکتروودها در ۵ گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند: الکتروود فولاد نرمه، فولاد پرکربن، فولادهای آلیاژدار خاص، چدن، و انواع الکتروودهای غیرآهنی.

۳-۳ مقایسه الکتروودهای بدون روکش (لخت) و روکش دار

در سال‌های نه چندان دور، الکتروودهای بدون روکش به‌طور وسیعی در جوشکاری قوسی به‌کار می‌رفتند. حاصل کار، ظاهر ناخوشایندی بود. با وجود داشتن مقاومت کششی رضایتبخش، شکل‌پذیری آنها پایین و مقاومشان در برابر بارهای خستگی و بارهای ضربه‌ای کم بود.

استفاده از الکتروودهای روکش دار، باعث غلبه بر عیوب الکتروودهای بدون روکش گردید. وجود روکش در روی مفتول فولادی الکتروود، قوس الکتریکی و فلز جوش را در حین عملیات جوشکاری از مرحله ذوب تا انجماد از هوای اطراف محافظت می‌کند. حاصل این محافظت، ترکیب فلز جوشی است که دارای خواص قابل مقایسه با فلز پایه می‌باشد.

امروزه الکتروودلخت فقط در جوش زیرپودری و یا تحت حفاظت گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۴ جایگزینی یا بهبود فلز پایه

روکش الکتروود در حد وسیعی ترکیب فلز جوش را تنظیم می‌کند، خواه از طریق حفظ ترکیب اصلی مفتول مغزی الکتروود یا با اضافه کردن عناصر دیگر. در این روش عناصر آلیاژی به فلز جوش اضافه شده و یا عناصر قبلی اصلاح می‌شوند.

یکی از شیوه‌های نسبتاً جدید اضافه کردن پودر آهن به روکش الکتروود می‌باشد. در حرارت شدید قوس الکتریکی، پودر آهن به فولاد تبدیل شده و به ترسیب جوش روی فلز مبنای کمک می‌کند.

با افزایش مقدار پودر آهن به مواد روکش، سرعت جوشکاری افزایش یافته و ظاهر جوش بهبود می‌یابد. به الکترودهایی که دارای پودر آهن هستند، الکترودهای پر جوش^۷ می‌گویند. بازده جوش چنین الکترودهایی زیاد بوده و معمولاً از آنها در حالت تخت استفاده می‌شود.

ورود الکترودهای کم‌هیدروژن به صنعت جوشکاری، اصلاح و بهبود خواص جوشکاری فولادهای پرکربن، فولاد آلیاژی، فولاد پرگوگرد 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.

۳-۵ کنترل خصوصیات قوس الکتریکی

روکش الکتروود باعث سهولت تشکیل قوس در آغاز عملیات جوشکاری و حفظ پایداری و تثبیت قوس در حین پیشرفت عملیات جوشکاری می‌گردد. همچنین این روکش به مثابه یک عایق بر روی مفتول مغزه الکتروود عمل می‌کند. تمایل به امتزاج با فلز پایه در الکترودهای روکش‌دار نسبت به الکترودهای بدون روکش کمتر است و این الکترودها اجازه تلرانس بیشتری را در طول قوس می‌دهند. کنترل دقیقتر و بهتر قوس الکتریکی، اجازه استفاده از شدت جریان بیشتر و الکترودهای ضخیمتری را می‌دهد.

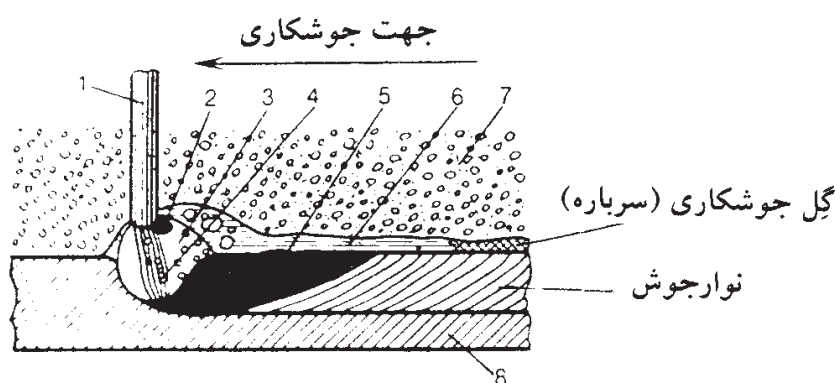
۳-۶ ترکیب پوشش الکتروود

نوع روکش الکتروود بر 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 الکترودها است. مفتول داخلی الکترودهای فولاد نرمه، معمولاً از جنس همان فولاد جوشکاری (فولاد نرمه) ساخته می‌شوند.

۳-۷ 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 یک پوشش از سرباره مذاب بر روی فلز مذاب جوشکاری (شکل ۳-۲).



- ۱ - الکتروود لخت
- ۲ - قطرات ذوب شده الکتروود
- ۳ - حباب‌های گازی
- ۴ - قوس الکتریکی
- ۵ - حوضچه مذاب (یک کوره ذوب بسیار کوچک می‌باشد)
- ۶ - گِل جوش مذاب
- ۷ - پودر جوشکاری ذوب نشده (مواد گدازآور)
- ۸ - قطعه مورد جوش

شکل ۳-۲ - مقطع عرضی از عمل قوس، حفاظ گاز و جریان فلز مذاب در خلال جوشکاری زیرپودری.

- مشابه یک نظافتچی در زدودن اکسیدها و آلودگی‌ها عمل می‌کند.
- نرخ سرد شدن فلز جوش را کاهش می‌دهد و بالطبع یک جوش با شکل پذیری زیاد ایجاد می‌کند.
- باعث سهولت شروع عملیات جوشکاری، تثبیت قوس و کاهش میزان ترشح (پاشش) جوش می‌گردد.
- باعث نفوذ بهتر و ذوب کاملتر فلز مبنا می‌گردد.
- شکل ظاهری نوار جوش را کنترل می‌کند.
- سرعت جوشکاری را افزایش می‌دهد.

۳-۸ مواد متشکله روکش الکتروود

سیلیکات سدیم و پتاسیم عموماً به‌عنوان حامل (ملات)* به کار می‌روند. بعضی از چسب‌های گیاهی نیز دارای کاربردهای محدودی در این زمینه هستند. آلیاژهای آهن‌دار و فلزات خالص به‌عنوان عناصر

* ماده چسبان (binder)

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 حفاظی در مقابل گازهای اتمسفر و آلودگی هوا ایجاد می‌کنند. عناصر گدازآور و سرباره‌ساز شامل سیلیکا، آلومینا، رس، سنگ معدن آهن، روتیل، سنگ آهک، مگنیزیت، پنبه نسوز و میکا و بسیاری مواد معدنی دیگر می‌باشند. در ضمن بعضی از مواد مصنوعی مانند تیتانات پتاسیم و دی اکسید تیتانیوم نیز عملکردی مشابه مواد معدنی فوق‌الذکر را دارند.

۳-۹ تأثیر روکش بر قطبیت^۸

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 فوق‌مزایایی 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 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

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
F_u (kg/cm ²)	4200-5250	3500 ~ 4200
F_y (kg/cm ²)	3150-4200	2660-3150
افزایش طول در ۵ سانتی‌متر (درصد)	20.0-40.0	5.0-10.0
افزایش طول در خم آزاد (درصد)	35.0-60.0	10.0-20.0
کاهش سطح مقطع (درصد)	35.0-65.0	8.0-20.0
دانسیته	7.80-7.85	7.5-7.7
مقاومت خستگی (حد دوام) (kg/cm ²)	1820-2100	840-1260
آزمایش ضربه ایزود (m/kg)	28-49	3.5-10.5

جدول ۲-۳ خصوصیات جوشکاری با الکترودهای فولاد نرمه.

ازد یاد طول نسبی در ۵۰ میلی متر	نقطه تسلیم kg/cm ²	حداقل مقاومت کششی kg/cm ²	جدا شدن سرباره (گل)	پاشش	ظاهر نوار جوش	سرعت حرکت	نفوذ	نوع جریان	وضعیت جوشکاری	نوع روش
22%	3500	4340	تقریباً آسان	متوسط	موجودار و تخت	متوسط	عمیق	DCRP	تمام وضعیت‌ها	پر سلولز - سدیمی
22%	3500	4340	تقریباً آسان	متوسط	موجودار و تخت	متوسط	عمیق	DCRP, a.c.	تمام وضعیت‌ها	پر سلولز - پتاسیمی
17%	3850	4690	آسان	کم	صاف و محدب	خوب	متوسط	DCSP, a.c.	تمام وضعیت‌ها	روتیلی - سدیمی
17%	3850	4690	آسان	کم	صاف و تخت نا محدب	خوب	کم	DCRP, DCSP, a.c.	تمام وضعیت‌ها	روتیلی - پتاسیمی
17%	4200	4900	آسان	کم	صاف و تخت نا محدب	بالا	متوسط	DCRP, DCSP, a.c.	تمام وضعیت‌ها	روتیلی - پودر آهن
22%	4200	4900	تقریباً آسان	کم	صاف و محدب	خوب	کم تا متوسط	DCRP	تمام وضعیت‌ها	کم هیدروژن سدیمی
22%	4200	4900	خیلی آسان	کم	صاف و محدب	خوب	کم تا متوسط	DCRP, a.c.	تمام وضعیت‌ها	کم هیدروژن پتاسیمی
25%	3500	4340	خیلی آسان	کم	صاف و تخت نا مقعر	بالا	عمیق	d.c., a.c. افقی DCSP, a.c.	تخت - افقی	اکسید آهن
17%	4200	5040	آسان	کم	صاف و کمی محدب	خیلی بالا	کم	DCSP, DCRP, a.c.	تخت - افقی	روتیل - پودر آهن
25%	3500	4340	آسان	کم	تخت تا مقعر	خیلی بالا	متوسط	d.c., a.c. افقی DCSP, a.c.	تخت - افقی	پودر آهن - اکسید آهن
22%	4200	5040	خیلی آسان	کم	صاف و تخت نا محدب	بالا	کم	DCRP, a.c.	تمام وضعیت‌ها	پودر آهن - کم هیدروژن
22%	4200	5040	خیلی آسان	کم	صاف و کمی محدب	خیلی بالا	کم	DCRP, a.c.	تخت - افقی	پودر آهن - کم هیدروژن

جریان مستقیم = d.c.؛ جریان متناوب = a.c.؛
جریان یکسو با قطبیت مکوس (الکترودمیت)؛
جریان یکسو با قطبیت مستقیم (الکترودمیتی).

* روتیل اکسید تیتان می باشد.

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

قطر الکتروود اینچ (میلی متر)	دامنه شدت جریان (آمپر)								
	نوع الکتروود								
	E6010,E6011 DC+	E6012	E6013	E6020	E6027	E7014	E7015,E7016	E7018	E7024,E7028
1/16(1.6)	—	20-40	20-40	—	—	—	—	—	—
5/64(2)	—	25-60	25-60	—	—	—	—	—	—
3/32(2.4)	40-80	35-85	45-90	—	—	80-125	65-110	70-100	100-145*
1/8(3.2)	75-125	80-140	80-130	100-150	125-185	110-160	100-150	115-165	140-190
5/32(4)	110-170	110-190	105-180	130-190	160-240	150-210	140-200	150-220	180-250
3/16(4.8)	140-215	140-240	150-230	175-250	210-300	200-275	180-255	200-275	230-305
7/32(5.6)	170-250	200-320	210-300	225-310	250-350	260-340	240-320	260-340	275-365
1/4(6.4)	210-320	250-400	250-350	275-375	300-420	330-415	300-390	315-400	335-430
5/16(8)	275-425	300-500	320-430	340-450	375-475	390-500	375-475	375-470	400-525*

شدت جریان متناسب با هر الکتروود استخراج می شود.

۳-۱۰ شناسایی الکترودها

دو سیستم اصلی برای شناسایی الکترودهای فولادی در صنعت جوشکاری به کار می رود. اولی سیستم شناسایی رنگ برای هر دو نوع الکتروود روکش دار و بدون روکش است. این طریقه شناسایی توسط انجمن ملی سازندگان الکتریکی (NEMA)^۹ و مؤسسه جوشکاری آمریکا (AWS)^{۱۰} گسترش یافته است. اشکال ۳-۳ و ۳-۴ محل علامت رنگی را بر روی الکترودهای روکش دار نشان می دهد. شکل ۳-۵ محل این علامت را بر روی الکترودهای بدون روکش نشان می دهد.

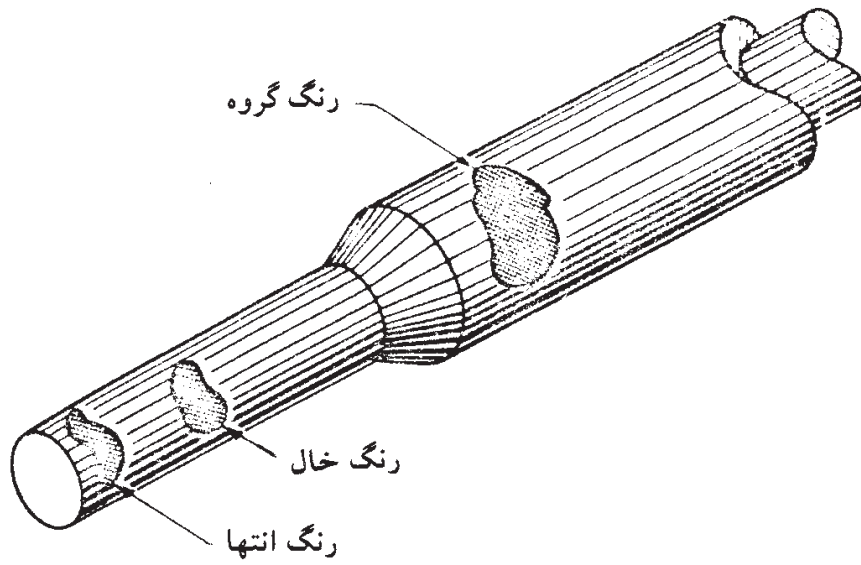
سیستم دوم شناسایی الکتروود فقط برای الکترودهای روکش دار جوشکاری قوسی به کار می رود. این روش مستلزم مهر زدن یا حک کردن شماره طبقه بندی الکتروود بر روی پوشش آن می باشد (شکل ۳-۶).

۳-۱۱ طبقه بندی و شماره گذاری الکترودها طبق AWS

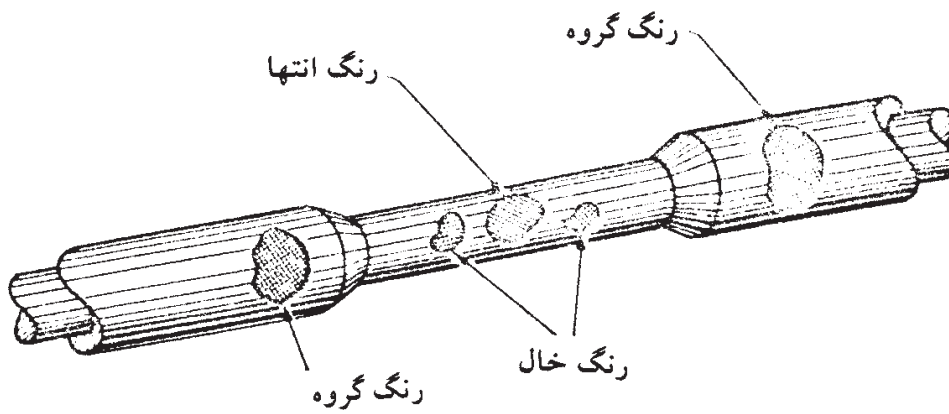
الکترودها برحسب خواص مکانیکی مفتول فولادی، نوع پوشش، و وضعیت جوشکاری طبقه بندی

9- National Electrical Manufacture Association

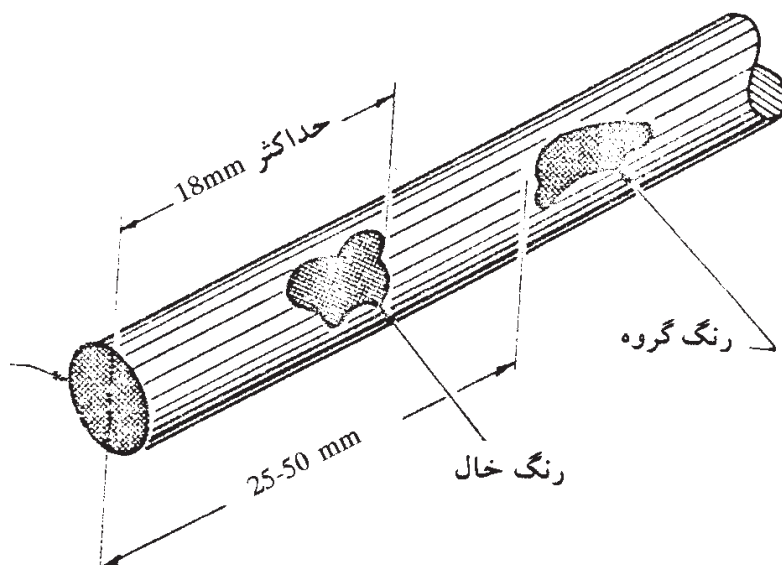
10- American Welding Society (انجمن جوش آمریکا)



شکل ۳-۳ - محل علامت رنگی برای الکتروود روکش دار با محل گیره در انتها (ته گیر).



شکل ۳-۴ - محل علامت رنگی برای الکتروود روکش دار با محل گیره در قسمت میانی (میان گیر).



شکل ۳-۵ - محل علامت رنگی برای الکتروود بدون روکش.



شکل ۳-۶ - محل شماره طبقه‌بندی الکتروود برای الکتروود روکش‌دار با محل گیره انتهایی (ته‌گیر).

و برای شناسایی شماره‌گذاری می‌شوند.

سیستم شماره‌گذاری براساس AWS، یک عدد ۴ یا ۵ رقمی می‌باشد که به دنبال یک حرف E قرار می‌گیرند. حرف E مخفف کلمه الکتروود جوشکاری قوس الکتریکی است. اولین دو رقم سمت چپ (یا سه رقم اول در سیستم ۵ رقمی) حداقل مقاومت کششی قطر الکتروود را برحسب کیلوپوند (هزار پوند) بر اینچ مربع نشان می‌دهد (اگر این عدد در ۷۰ ضرب شود، مقاومت برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به دست می‌آید). برای مثال مقاومت کششی الکتروود E6010، مساوی $60000 \text{ psi} (4200 \text{ kg/cm}^2)$ ، و الکتروود E7010 مساوی $70000 \text{ psi} (4900 \text{ kg/cm}^2)$ و الکتروود E10010 مساوی $100000 \text{ psi} (7000 \text{ kg/cm}^2)$ 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 جداول ۳-۴ و ۳-۵ آمده است.

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 ۳-۵ مراجعه شود.	نوع جریان، نوع گِل، نوع قوس، عمق نفوذ، وجود پودر آهن در روکش	رقم آخر
پیشوند E نشان‌دهنده علامت الکتروود برای جوش قوسی است.		

جدول ۳-۵ مفهوم رقم آخر در علامت شناسایی الکتروود.

علامت شناسایی	جریان	نوع پوشش
E6010	فقط DCRP	آلی
E6011	DCRP یا a.c.	آلی
E6012	DCSP یا a.c.	روتیلی (اکسید تیتان)
E6013	DCSP ، DCRP یا a.c.	روتیل
E7014	DCSP ، DCRP یا a.c.	روتیل با پودر آهن (حدود ۳۰٪)
E7015	فقط DCRP	کم هیدروژن
E7016	DCRP یا a.c.	کم هیدروژن
E7018	DCRP یا a.c.	کم هیدروژن - پودر آهن (حدود ۲۵٪)
E6020	DCSP ، DCRP یا a.c.	اکسید آهن زیاد
E7024	DCSP ، DCRP یا a.c.	روتیل با پودر آهن (حدود ۵۰٪)
E6027	DCSP ، DCRP یا a.c.	معدنی - پودر آهن (حدود ۵۰٪)
E6028	DCRP یا a.c.	کم هیدروژن - پودر آهن (حدود ۵۰٪)

DCSP = جریان یکسو - قطبیت مستقیم

DCRP = جریان یکسو - قطبیت معکوس

a.c. = جریان متناوب

۳-۱۲ انتخاب الکتروود

خواص فلز جوش رسوبی^{۱۱} 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 الکترودهایی که در رده‌های مختلف قرار دارند، از نظر مفتول فولادی یکسان هستند. تفاوت در مشخصه‌های کاربردی و خصوصیات شیمیایی و مکانیکی فلز جوش رسوبی، غالباً توسط مواد تشکیل دهنده روکش الکتروود تعیین می‌شود.

با توجه به مطالب ارائه شده، اهمیت شناخت کامل مشخصه‌های الکترودهای پایه، روشن

است. شناخت کامل از رده‌های الکترودها، نه تنها در انتخاب صحیح الکتروود برای یک کار خاص به شما کمک می‌کند بلکه در به دست آورد مهارت فنی لازم جهت عملیات جوشکاری نیز مؤثر است.

۳-۱۳ اندازه الکترودها

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

- **هندسۀ درز^{۱۲}**: یک 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 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 بزرگتری نسبت به موقعیت سربالا یا سقفی استفاده کرد.

- **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.

۳-۱۴ نوع کار^{۱۳}

نوع کار، زمینه اصلی انتخاب صحیح الکتروود است. بررسی دقیق نوع کار جهت تعیین الکتروود مناسب ضروری است. نکاتی که باید کنترل گردند، به شرح زیرند:

- ضوابط آیین‌نامه‌ای (اگر وجود داشته باشد).

- خواص فلز پایه
- وضعیت درز (تخت، افقی، سربالا، سقفی)
- نوع درز اتصال
- مقدار جوش مورد نیاز
- دقت مونتاژ^{۱۴}
- نوع جریان جوشکاری قابل دسترس.

۳-۱۵ مشخصه‌های کاربردی الکتروودها

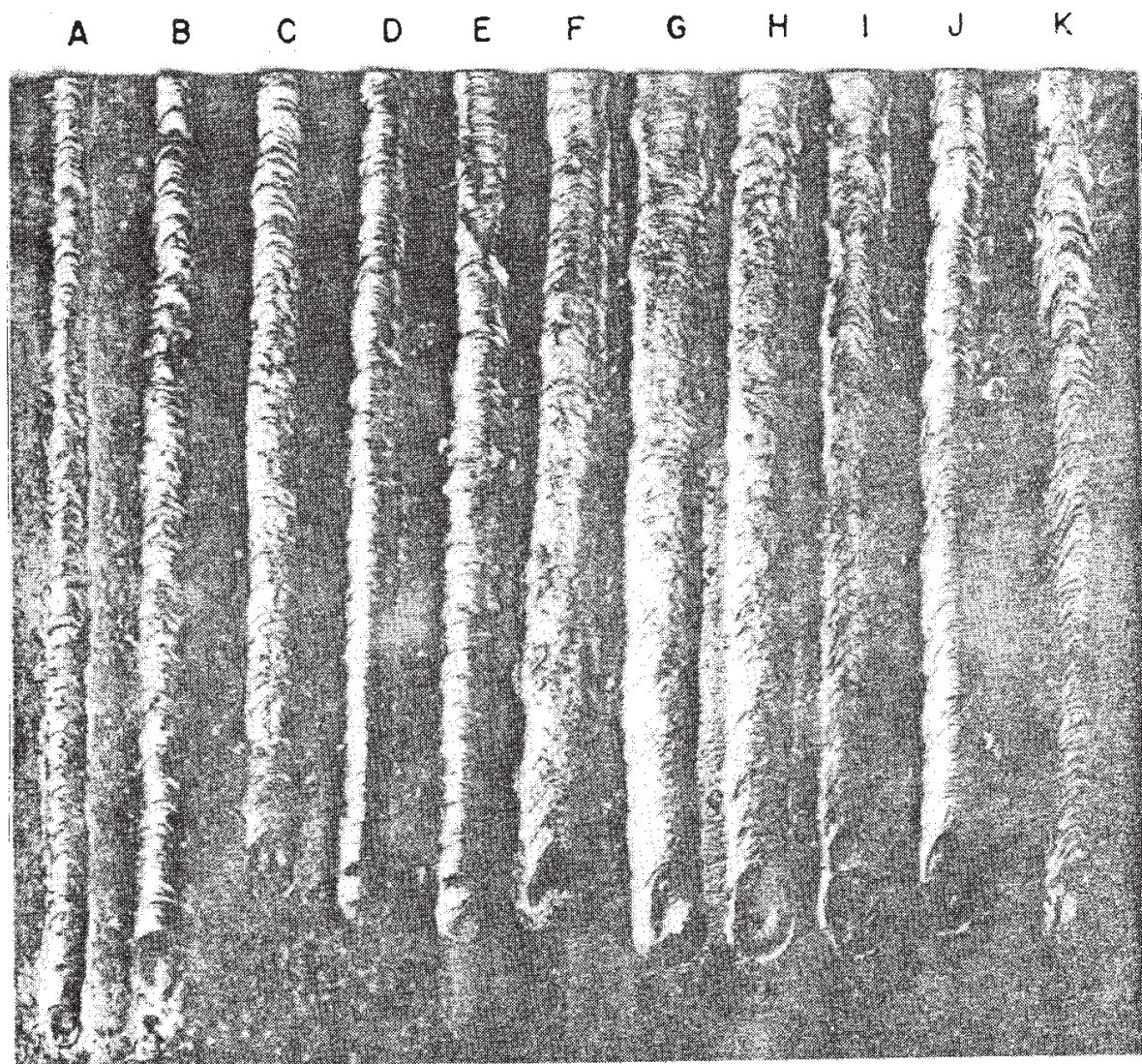
جنس مواد مصرفی در روکش یک الکتروود نه تنها مشخصات مکانیکی و شیمیایی فلز جوش را تعیین می‌کند، بلکه ویژگی‌های کاربردی الکتروود را نیز مشخص می‌کند. استفاده از الکتروودهای مختلف مستلزم استفاده از تکنیک‌های مختلف جوشکاری هستند. بنابراین الکتروودها با توجه به ویژگی‌های کاربردی و نوع درز اتصال به ۳ گروه تقسیم می‌شوند: الکتروودهای پر جوش^{۱۵}، الکتروودهای زود جوش^{۱۶}، و الکتروودهای پر و زود جوش (زودرو)^{۱۷}.

۳-۱۵-۱ الکتروودهای پر جوش

الکتروود پر جوش، درز را زود پر می‌کند. این خاصیت نقطه‌ی مقابل الکتروودهای زود جوش است. الکتروودهای پر جوش، دارای روکش ضخیم محتوی پودر آهن می‌باشند که کاربرد وسیعی در جوشکاری گوشه و جوش شیاری عمیق دارد. الکتروودهای پر جوش خصوصاً برای جوشکاری سریع رو به پایین طراحی شده‌اند. در این نوع الکتروود، میزان رسوب زیاد بوده و پاک کردن سرباره آن به راحتی انجام می‌شود. گودافتادگی (بریدگی) لبه درز جوش نیز کم می‌باشد. این نوع الکتروود با قوس سبک و ملایم می‌سوزد و عمق نفوذ آن زیاد نیست و در نتیجه امتزاج فلز جوش و فلز پایه کم است. ظاهر جوش بسیار صاف و سطح جوش تخت تا کمی محدب می‌باشد و در اطراف آن مقداری ترشح جوش وجود دارد (جوش‌های H و I در شکل ۳-۷).

در رده الکتروودهای پر جوش، الکتروودهای EXX14، EXX24، EXX27، و EXX28 در جوش‌های شیاری در وضعیت تخت و افقی به کار می‌روند (شکل ۳-۷-F).

در این حالت اگر در دستورالعمل جوشکاری، جریان یکسو ذکر شده باشد، استفاده از جریان



شکل ۳-۷ - مقایسه ظاهر نوار جوش های انجام شده با انواع مختلف الکترودها.

متناوب نیز امکانپذیر است، لیکن بروز پدیدهٔ وزش قوس^{۱۸} ممکن است.

۳-۱۵-۲ الکترودهای پر جوش و زود جوش (زودرو)

الکترودهای پر و زود جوش دارای خصوصیتی هستند که به نحوی احتیاجات هر دو گروه پر جوش و زود جوش را برآورده می کنند. در اتصالات لب روهم^{۱۹} و جوشکاری ورق های نازک، قدری فلز جوش اضافی برای شکل گیری جوش لازم است. در کنار قدرت ترسیب، راه اقتصادی جوشکاری چنین درزهایی، حرکت سریع الکتروده می باشد. از آنجا که در این حالت، حوضچهٔ مذاب باید

18- arc blow

19- lap weld

به‌طور سریع، قوس را تعقیب نماید، این نوع الکتروود را زودرو^{۲۰} نیز می‌گویند. این نوع الکتروود با قوس ملایمی می‌سوزد و قدرت نفوذی متوسطی دارد. این خاصیت همراه با شدت جریان و حرارت ورودی کم، مسائل ناشی از سوختگی^{۲۱} (سوراخ شدن^{۲۲}) را کاهش می‌دهد. الکتروودهای پر و زودجوش اغلب با جریان یکسو با قطبیت مستقیم به کار می‌روند، هرچند ممکن است با جریان متناوب نیز به کار روند. این نوع الکتروودها دارای گِل جوشکاری کامل بوده و خط جوش حاصل از آنها پیوسته، لیکن کمی موجدار است (جوش D و E شکل ۳ - ۷). بسیاری از کارگاه‌های تولیدی این الکتروودها را برای مصارف عمومی به کار می‌برند و در کارهای تعمیراتی نیز کاربرد وسیعی دارند. با اینکه آنها را می‌توان در تمام وضعیت‌های جوشکاری به کار برد، لیکن در جوش‌های سربالا و سقفی الکتروودهای زودجوش بر آنها برتری دارند. بسیاری از کارگاه‌های تولیدی ورق‌های نازک فولادی، از الکتروودهای زودجوش برای جوشکاری سرپایین استفاده می‌کنند. مثال‌هایی از این نوع الکتروود EXX12 برای جریان مستقیم و EXX11 و EXX13 برای جریان متناوب می‌باشند.

۳-۱۵-۳ الکتروودهای زودجوش

الکتروودهای زودجوش دارای قابلیت انجماد سریع فلز جوش می‌باشند. این خاصیت در مواردی که ترشح گل جوش و یا فلز جوشکاری به‌خارج از درز جوش وجود دارد و یا در جوشکاری‌های سربالا و سقفی، بسیار مهم است.

این الکتروودها دارای قوسی قوی و نفوذی بوده و عموماً با جریان یکسو با قطبیت معکوس به کار می‌روند، هرچند ممکن است با جریان متناوب نیز به کار روند. دارای سرباره کمی بوده و خط جوش تخت تولید می‌کنند. (شکل ۳ - ۷ جوش‌های B و C). با گذشت از استثنائات، خط جوش حاصل، جوابگوی آزمون پرتونگاری بوده و مورد استفاده آنها در جوشکاری لوله‌ها و مخازن تحت فشار است. این الکتروودها به‌طور وسیعی برای همه موقعیت‌های جوشکاری و در هر دو نوع عملیات ساخت کارخانه‌ها و کارهای تعمیراتی مورد استفاده می‌باشند. الکتروودهای E6010 با جریان مستقیم و E6011 با جریان متناوب مثال‌هایی از این نوع الکتروود می‌باشند.

۳-۱۵-۴ الکترودهای ترکیبی

در بعضی درزها، نیاز به هر دو خصوصیت پرجوشی و زودجوشی است. هنگامی که الکترودهای زودجوش مورد نیاز است، بهترین انتخاب رده^{۲۳} EXX10 و EXX11 می باشد. الکترودی که دارای هر دو خاصیت پرجوشی و زودجوشی است، الکترودهای EXX14 با روکش حاوی پودر آهن می باشد که در همه^{۲۴} وضعیت‌ها قابل استفاده است (تمام وضعیت). این الکترودهای خاصیت زودپرکنندگی به میزان نوع EXX24 نبوده و سرعت انجماد آن نیز به اندازه^{۲۵} EXX10 نمی باشد، ولیکن خواص آن در حد واسطه^{۲۶} این رده می باشد.

۳-۱۵-۵ الکترودهای کم‌هیدروژن^{۲۳}

الکترودهای کم‌هیدروژن دارای پوششی هستند که عملاً فاقد هیدروژن می باشد. این الکترودهای جوشی عاری از ترک، زیر ترک^{۲۴} و ریز ترک^{۲۵} تولید می کنند و جوش حاصل دارای شکل پذیری استثنایی است (جوش F و K در شکل ۳ - ۷). زیر ترک غالباً دارای علایم خارجی نیست و در منطقه^{۲۶} متأثر از حرارت جوش در فلز پایه به وجود می آید و عامل آن نفوذ هیدروژن از فلز جوش یا سرد شدن سریع است.

این الکترودها تخلخل حاصل از جوشکاری فولادهای گوگردار را برطرف کرده و جوش حاصل جوابگوی آزمایش پرتونگاری می باشد. به علت کاهش نیاز به عملیات پیش‌گرمایش با این نوع الکترودها، کاربرد ویژه آنها در جوشکاری فولادهای سخت جوش و فولادهای آلیاژدار پرمقاومت می باشد. مثال‌هایی از این نوع الکترودها EXX18 و EXX28 می باشد. این نوع الکترودها ممکن است با جریان مستقیم و قطبیت معکوس (DCRP) یا جریان متناوب به کار روند.

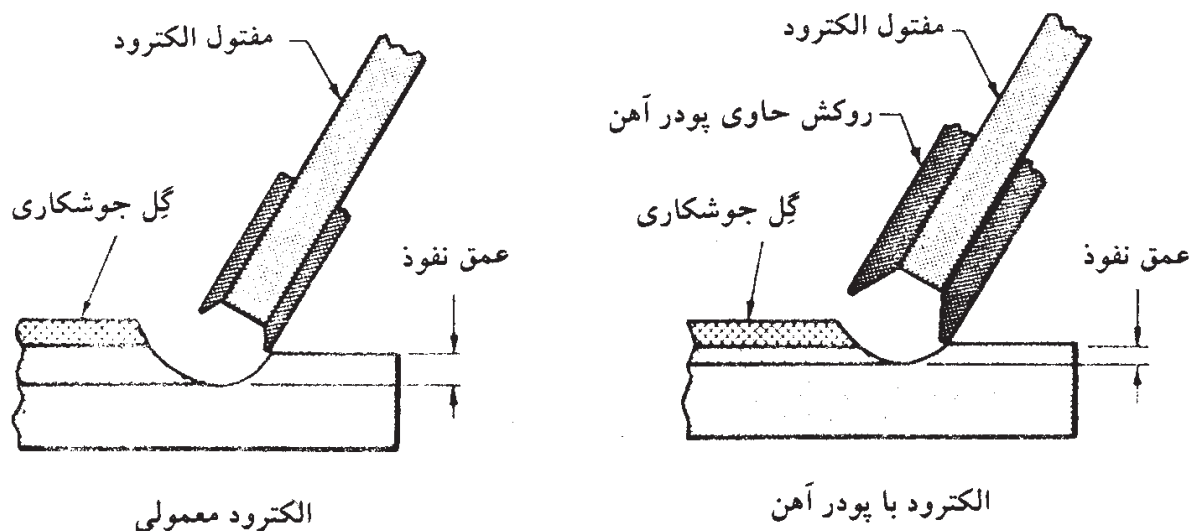
۳-۱۵-۶ پودر آهن

پودر آهن به روکش بسیاری از انواع الکترودها اضافه می شود. در حرارت شدید قوس الکتریکی، پودر آهن به فولاد تبدیل شده و بر فلز جوش می افزاید. هنگامی که پودر آهن به مقدار نسبتاً زیادی (حدود ۳۰ درصد یا بیشتر) به ترکیب روکش الکترودها اضافه می شود، سرعت جوشکاری به طور محسوسی افزایش یافته، قوس تثبیت شده و ترشح جوش کاهش می یابد و گِل جوش به راحتی جدا می شود (شکل ۳ - ۸). سطح جوش انجام شده با این الکترودها بسیار صاف است (جوش‌های H و I

23 – low-hydrogen electrode

24 – underbead crack

25 – microcrack



شکل ۳-۸ - یک روکش ضخیمتر حاوی پودر آهن، اثر پخته‌ای در انتهای الکتروود ایجاد می‌کند که موجب افزایش بازده انرژی حاصل از قوس الکتریکی می‌گردد.

در شکل ۳-۷). مثال‌هایی از این نوع الکتروود، EXX24 و EXX14 و EXX27 می‌باشد. این الکتروودها از نوع پرجوش بوده و می‌توانند با جریان یکسو یا متناوب به کار روند.

۳-۱۶ 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 رضایتبخشی ایجاد نمی‌گردد.

۳-۱۷ 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 دسترس بر روی انتخاب نوع الکتروود مصرفی تأثیرگذار است. بعضی از الکتروودها با جریان یکسو و بعضی با جریان متناوب دارای عملکرد بهتری می‌باشند.

۳-۱۸ ضخامت و شکل فلزات مورد جوشکاری

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

استفاده نمی شود.

برای صفحات نازک (2mm و کمتر) الکتروود E6013 معمولاً انتخاب مناسبی است، هرچند الکتروود E6012 نیز ممکن است به کار رود. الکتروود E6013 برای این نوع عملیات طراحی شده است و دارای کمترین میزان نفوذ در میان الکتروودهای رده E60XX است.

۱۹-۳ شکل درز و مونتاژ آن^{۲۶}

درزهای جوشکاری انواع مختلفی دارند و هر کدام از آنها ملزومات خاص خود را برای جوشکاری می طلبد. جوشکاری اتصالات گوشه به مقدار زیاد با جوشکاری اتصالات لب به لب تفاوت دارد. درزهای لب به لب ممکن است به صورت ساده یا پیچ زده باشند. مونتاژ قطعات ممکن است با شکاف^{۲۷} (فاصله) زیاد انجام شود یا ممکن است خیلی نزدیک و تنگ باشد.

در حالتی که مونتاژ لبه ها به خوبی انجام نشود، باید از الکتروود E6012 برای جریان مستقیم و یا الکتروود E6013 برای جریان متناوب استفاده نمود. هر دو نوع این الکتروودها با داشتن قدرت انتقال قطره ای^{۲۸} فلز مذاب در داخل جریان قوس، به خوبی بر روی شکاف پل^{۲۹} می زنند.

۲۰-۳ وضعیت جوشکاری

وضعیت جوشکاری یک عامل بسیار مهم در انتخاب الکتروود مصرفی است. بعضی از الکتروودها تنها در وضعیت جوشکاری تخت قابل استفاده بوده و بعضی دیگر در همه موقعیتها به خوبی قابل استعمال می باشند. نوع موقعیت جوشکاری گاهی بر روی هزینه ها تأثیرگذار است. جوشکاری تخت اقتصادی ترین نوع جوشکاری بوده و پس از آن به ترتیب جوشکاری افقی، سربالا و سقفی قرار دارند که جوشکاری سقفی گرانترین نوع است.

اندازه الکتروود مصرفی شدیداً متأثر از موقعیت 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 بالطبع باعث افزایش سرعت جوشکاری خواهد شد.

اگر جوشکاری باید در موقعیت سقفی، افقی و یا قائم انجام گیرد، الکتروودهای EXX20,24,27,28 قابل استفاده نیستند و انتخاب الکتروود مصرفی باید از میان الکتروودهای

26- joint design and Fitup

27- gap

28- globular transfer

29- bridge gap

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 قرارگرفته در طبقه EXX12,13,20,24,27,28 دارای کنترل آسان در موقعیت‌های افقی و قائم می‌باشند و جوشکاری قائم و سربالا با الکتروودهای EXX10 و EXX11,16 آسانتر است، خصوصاً سهولت استفاده از الکتروودهای EXX12 و EXX13 در جوشکاری قائم رو به پایین بیشتر است.

۳-۲۱ شرایط بهره‌برداری

احتیاجات بهره‌برداری بسیار مهم هستند. نوع سازه و مقدار تنش ایجاد شده در آن درحین بهره‌برداری باید مورد توجه قرار گیرد. مقاومت کششی، شکل‌پذیری، مقاومت خستگی و مقاومت در مقابل خوردگی خصوصیات مهم جوشی هستند که توجه به آنها به انتخاب صحیح الکتروود مصرفی کمک می‌کند. خواص مختلف فلز جوش براساس نوع الکتروود مصرفی در جدول ۳-۲ آمده است.

۳-۲۲ شرایط اجرایی

آیا قطعه مورد جوشکاری تمیز، زنگ زده، رنگ خورده و یا روغن‌کاری شده است؟ نوع عملیات سطحی که باید برای پرداخت رویه قطعه کار قبل از جوشکاری انجام گیرد چیست؟ آیا کل قطعه عاری از تنش‌های معمولی یا تنش ناشی از عملیات حرارتی است؟ آیا جوشکاری در مکانی است که شکل ظاهری سطح جوش مهم است؟

۳-۲۳ انواع الکتروود و کاربرد آنها

۳-۲۳-۱ الکتروودهای فولاد کربن دار^{۳۰}

الکتروودهای فولاد کربن دار که برای جوشکاری فولاد با کربن کم تا متوسط به کار می‌روند با شماره‌های شناسایی E4510، E4511، E4520 و E6010، 11، 12، 13، 14، 15، 16، 18، 20، 24، 27 و 28 طبقه‌بندی می‌شوند. E4510,11,20 الکتروودهای بدون روکش هستند که امروزه مورد استفاده زیادی ندارند و مابقی، الکتروودهای روکش دار برای جوشکاری قوسی می‌باشند.

۳-۲۳-۲ الکترودهای فولاد نرمه با روکش نازک

الکترودهای E4510 که قبل از کشیدن، روکش می‌شوند (همه وضعیت*)

این نوع الکترودها که عموماً با روکش سول^{۳۱} خوانده می‌شود، اغلب به عنوان الکتروود بدون روکش شناخته می‌شوند، هرچند که روکش سول در پایداری و تثبیت قوس مؤثر است.

این نوع الکترودها در مواردی قابل استفاده هستند که شرایط بهره‌برداری شدید نیست و فقط با جریان یکسو و قطبیت مستقیم (الکتروود منفی) قابل استفاده هستند. قوس حاصل از این نوع الکتروود وحشی ولی نه چندان قوی می‌باشد و عمق نفوذ آن زیاد نیست. نمونه‌ای از جوش انجام شده با این الکتروود در شکل ۳-۷، جوش A، نشان داده شده است.

الکترودهای E4511 که بعد از کشیدن، روکش می‌شوند (همه وضعیت)

الکترودهای E4511 در مواردی مشابه با الکترودهای E4510 به کار می‌روند. پایداری قوس، بهتر، کاربرد الکتروود در بعضی مواقع ساده‌تر و سطح جوش تولید شده با این نوع صاف‌تر و یکنواخت‌تر است. خواص فیزیکی فلز جوش تولید شده نسبت به الکتروود E4510 بهتر می‌باشد و همانند الکتروود E4510 در همه وضعیت‌ها قابل استفاده است و فقط با جریان یکسو با قطبیت مثبت عمل می‌کند.

۳-۲۳-۳ الکترودهای روکش‌دار از فولاد نرمه با روکش ضخیم

E6010: الکتروود همه وضعیت با جریان یکسو و قطبیت معکوس (از نوع زودجوش)

این الکتروودها یکی از بهترین نوع الکتروود روکش‌دار جهت جوشکاری‌های قائم و سقفی هستند. به همین دلیل دارای بیشترین کاربرد در جوشکاری سازه‌های فلزی با موقعیت غیرتخت و جوشکاری قائم و سقفی با پاس‌های متعدد می‌باشند. با اینکه اکثر کاربرد این نوع الکتروود در جوشکاری فولاد نرمه است، لیکن می‌توانند در جوشکاری ورق‌های گالوانیزه یا بعضی از فولادهای کم‌آلیاژ به کار روند. در جوشکاری فولاد، قوس قوی موجب خراشیدن رویه گالوانیزه شده و گیل سبک آن، کاهش حباب‌زایی^{۳۲} 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

* الکتروود همه وضعیت، الکتروودی است که در تمام وضعیت‌های تخت، افقی، قائم، و سقفی قابل استفاده است.

و تحت فشار می‌باشد. یک نوع ویژه از الکتروود E6010 برای جوشکاری لوله‌ها قابل دسترس است. در جوشکاری با این نوع، کیفیت فلز جوش رسوبی، بالاتر از حد انتظار است (جوش B شکل ۳-۷). ویژگی‌های کاربردی این نوع الکتروود به‌قرار زیر است:

- قوس قوی و نفوذی؛
- انجماد مناسب و یکدست فلز جوش؛
- گل کم ضخامت با چگالی و درجه ذوب پایین؛
- ایجاد پوشش گازی جهت حفاظت فلز مذاب حوضچه جوشکاری در حین عملیات جوشکاری.

الکتروود E6010 به‌خاطر وجود مقداری سلولز در ترکیب روکش خود گاهی تحت عنوان الکتروود سلولزی طبقه‌بندی می‌شود.

E6011: الکتروود همه وضعیت با جریان متناوب، (از نوع زودجوش)

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

میزان نفوذ، شدت قوس، کمیت و کیفیت گِل و ظاهر جوش گوشه حاصل از این الکتروود مشابه الکتروود E6010 می‌باشد (شکل ۳-۷، جوش C). فلز جوش رسوبی، عاری از تخلخل و حفره^{۳۳} بوده و پاک کردن گِل جوش به‌راحتی انجام می‌گیرد. سطح جوش گوشه و کناره‌های خط جوش تخت و گاهی محدب می‌باشند. این نوع الکتروود می‌تواند در همه وضعیت‌های جوشکاری به‌کار رود.

E6012: الکتروود همه وضعیت با جریان یکسو و متناوب با قطبیت مستقیم (از نوع زودجوش و پرجوش^{۳۴})

الکتروود E6012 می‌تواند با جریان یکسو و قطبیت معکوس و یا جریان متناوب به‌کار رود. این نوع

اغلب برای درزهایی که به طور مناسب جفت نشده‌اند^{۳۵} به کار می‌رود و این به خاطر قابلیت پل زنی این نوع الکتروود در درزه‌های 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. شکل پذیری فلز جوش نهشته 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 یک قوس مستقیم و پایدار ارجح است. در صورت استفاده از الکتروودهای قطورتر جریان متناوب به خاطر عاری بودن از پدیده وزش قوس (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 (2mm و کمتر) خصوصاً مناسب جوشکاری ورق‌های نازک می‌باشند چراکه 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 به نوار 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 وضعیتهای ازین ببرد. ترکیب فلز مذاب و گِل مذاب شکل جوش نهشته را کنترل می‌کند (جوش D، شکل ۳-۷). بنابراین E6012 خصوصاً مناسب جوشکاری گوشه در حالت افقی می‌باشد به گونه‌ای یک جوش تخت با تحدب کم و بدون سوختگی کناره جوش^{۳۶} ایجاد می‌کند. بسیاری از الکتروودهای E6012 مناسب جوشکاری قائم رو به پایین هستند، هرچند در بعضی موارد میزان و ضخامت گلوگاه مورد نظر تأمین نمی‌شود.

E6013: الکتروود همه وضعیتهای با جریان یکسو و متناوب و با قطبیت مستقیم (زود جوش و پرجوش) این نوع تقریباً مشابه الکتروود E6012 می‌باشد ولی در چند مورد مهم با هم اختلاف دارند. تمیز کردن گِل (گِل زنی) راحت‌تر و تثبیت قوس با سهولت بیشتری انجام می‌شود. این مورد خصوصاً در مورد الکتروودهای با قطر کم (۱/۵ تا ۲/۵ میل) صحت دارد. در نتیجه امکان انجام جوشکاری با ولتاژ

کمتری فراهم می‌شود. عموماً این الکتروودها برای جوشکاری صفحات نازک و جوشکاری‌های قائم رو به پایین طراحی شده‌اند. اندازه‌های بزرگتر این نوع الکتروود برای کلیه کاربردهایی که در توصیف E6012 ذکر شد، مورد استفاده است. رده‌های E6012 و E6013 از لحاظ عملکرد و ظاهر فلز جوش در یک طبقه هستند (جوش E در شکل ۳ - ۷). در جوشکاری با الکتروود E6013، عمل قوس آرامتر و سطح جوش صاف با موج‌های (فلس) ریز و ملایم است. این الکتروودها برای جوشکاری گوشه و جوش لب با ظاهر تخت تا کمی محدب مناسب هستند.

E7014: الکتروود همه وضعیت با جریان متناوب، و یکسو با قطبیت مستقیم (از نوع پرجوش)
 روکش این نوع الکتروود مشابه رده‌های E6012 و E6013 می‌باشد ولی پودر آهن اضافی آن را ضخیمتر ساخته است. نرخ ترسیب جوش نسبت به الکتروودهای فوق بالاتر است.
 الکتروود E7014 برای جوشکاری فولاد نرمه و فولادهای کم‌آلیاژ در همه وضعیت‌ها مناسب است. سطح جوش صاف با موج‌های ریز است و پاک کردن گل جوش مشکل نیست. این نوع، الکتروود خوبی برای جوشکاری ورق‌ها با ضخامت متوسط می‌باشد.

۳-۲۳-۴ الکتروودهای کم‌هیدروژن

الکتروودهای کم‌هیدروژن نتیجه تحقیقات در خلال جنگ دوم جهانی می‌باشند. موضوع این تحقیقات یافتن الکتروودی برای جوشکاری ورق‌های ضخیم زرهی (مورد استفاده در زره پوش‌ها یا تانک‌ها بود). این نامگذاری از آنجا ریشه می‌گیرد که ترکیب اجزای روکش این الکتروود فاقد مواد مصرفی و هیدروژن می‌باشد. فقدان هیدروژن خاصیت مهمی است، زیرا هیدروژن باعث ایجاد ترک مجاور جوش در فولادهای کربن‌دار و فولاد آلیاژی می‌گردد. با حذف هیدروژن، از ایجاد ترک‌های زیر و مجاور نوار جوش جلوگیری شده و فولادهای سخت می‌توانند بدون عملیات پیش‌گرمایش و یا با عملیات حرارتی کم جوش داده شوند. این الکتروودها همچنین در فولادهای پرگوگرد تولید یک جوش غیرمتخلخل کرده و از ایجاد انقباض‌های بعد از جوش در فولاد فسفردار جلوگیری می‌کنند. اضافه کردن پودر آهن به روکش الکتروود، 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 مورد نظر جوشکاری با اضافه کردن تعدادی عناصر آلیاژی نظیر کلئید کربن، منگنز، کروم، نیکل، مولیبدیم و وانادیم به ترکیب ساختمانی روکش این نوع الکتروود امکانپذیر است.

قوس ایجاد شده با این نوع الکتروود تند و شدید نبوده و دارای نفوذ متوسطی است. گل ایجاد شده ضخیم و ترد^{۳۷} بوده و به راحتی تمیز می شود. در جوشکاری با این نوع الکتروود باید از قوس کوتاه استفاده کرد. قوس بلند باعث مکش هیدروژن^{۳۸} (افزایش رطوبت) شده که موجب تخلخل و دخول^{۳۹} گل در نوار جوش می شود.

با استفاده از تکنیک های صحیح جوشکاری، تأمین جوشی با کیفیت خوب و جوابگوی آزمایش رادیوگرافی امکانپذیر است (جوش های J, K و F در شکل ۳ - ۷).

الکتروودهای کم هیدروژن با اندازه معمولاً ۴ میلی متر به بالا در همه موقعیت ها قابل استفاده هستند، البته نه به معنای واقعی مشابه آنچه که در مورد الکتروود E6010 ذکر شد. قطرهای بزرگتر این الکتروود برای جوشکاری گوشه در موقعیت افقی و تخت مناسب هستند.

خواص مکانیکی فلز تولید شده با این نوع الکتروود به مراتب از الکتروودهای رده های قبلی نظیر E6010 و E6012 بالاتر است. مقاومت کششی 8400 kg/cm^2 و بالاتر توأم با شکل پذیری زیاد با استفاده از این الکتروود قابل حصول است. این مقاومت در صورت استفاده از عملیات حرارتی تا 21000 kg/cm^2 قابل افزایش است. در ادامه، الکتروودهای موجود در این رده شرح داده می شوند:

E7015: الکتروود همه وضعیت، جریان یکسو با قطبیت معکوس (کم هیدروژن)

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

میزان نفوذ آن متوسط و گل آن ضخیم و ترد 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 قطر تا ۴ میلی متر جوشکاری در همه وضعیت ها امکانپذیر است. الکتروودهای بزرگتر می توانند در موقعیت های افقی و تخت مورد استفاده قرار گیرند. این الکتروود برای جوشکاری فولاد آلیاژی، فولاد پرکربن، فولاد گوگردار، آهن چکش خوار، فولادهای لعاب دار، فولاد فنی 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 معکوس (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 - ۷، جوش J ، نشان داده شده است.

E7018: الکتروود همه وضعیت با جریان متناوب و یکسو با قطبیت معکوس (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 ضخیمتر از آنها می باشد. گل حاصل ضخیم و ترد 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 - ۷). نوار جوش ممکن است در جوش های گوشه و یا شیار کمی تحدب داشته باشد. جوش حاصل جوابگوی آزمایش پرتونگاری خواهد بود. این نوع الکتروود در جوشکاری لوله ها، مخازن و کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار می گیرد.

با استفاده از الکتروودهای تا قطر ۴ میلی متر امکان جوشکاری در همه وضعیت ها موجود است. قطرهای بزرگتر برای جوش گوشه و شیار در موقعیت افقی و یا تخت به کار می روند. یک قوس کوتاه باید در تمام مدت جوشکاری اعمال شود. در جوشکاری قائم رو به بالا باید دقت خاصی مبذول داشت تا پوشش الکتروود در تماس دائم با حوضچه مذاب جوشکاری باشد. در ضمن یک قوس بلند باعث ایجاد تخلخل در نوار جوش خواهد شد. نرخ رسوب جوش در E7018 در بعضی موارد بالاتر از الکتروودهای E7015 می باشد.

اصلاح و بهبود خواص فلز بجای مانده از جوش 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 اقتصادی تری بوده و کنترل آن راحت تر است. این الکتروودها در طبقه E8018 تا E12018 قرار می گیرند (مقاومت کششی آنها بین 5600 kg/cm^2 تا 8400 kg/cm^2 می باشد).

E7028: قابل استفاده در وضعیت افقی و تخت، با جریان متناوب و یکسو با قطبیت معکوس (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 زیادتری از پودر آهن (معادل ۵۰ درصد) نسبت به E7018 می‌باشد که باعث افزایش ضخامت و وزن آن شده است. همچنین نرخ رسوب جوش در E7028 نسبت به E1918 بالاتر است.

عمل نفوذ جوش زیاد نیست ظاهر جوش تخت تا کمی مقعر با فلس‌های ریز و صاف می‌باشد (جوش F در شکل ۳ - ۷). گل حاصل ضخیم بوده و به راحتی پاک می‌شود. این الکتروود دارای ویژگی الکتروودهای پر جوش می‌باشد.

۳-۲۳-۵ سایر الکتروودهای روکش‌دار

E6020: جوش تخت و جوش گوشه افقی، جریان متناوب و یکسو با هر دو نوع قطبیت، حاوی اکسید آهن بالا

الکتروود E6020 برای استفاده با جریان متناوب یا یکسو (قطبیت مستقیم) و جوش گوشه افقی و همچنین جریان متناوب یا یکسو (هر دو نوع قطبیت) در جوشکاری تخت طراحی شده است. البته این الکتروود اساساً با جریان متناوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. عمق نفوذ این الکتروود با استفاده از جریان معمولی، متوسط است و هنگامی که شدت جریان برای ایجاد جوش گوشه عمیق افزایش می‌یابد، عمق نفوذ بیشتر می‌گردد. یک نمونه از خط این جوش در شکل ۳ - ۷ (جوش G) نشان داده شده است.

الکتروود E6020 ممکن است با حرارت بالا به کار رود که نتیجه آن افزایش عمق نفوذ است. بنابراین این الکتروودها در مواردی که کیفیت زیاد فلز جوش مورد نیاز است و هنگامی که جوشکاری در وضعیت پایین دست (تخت) انجام می‌گیرد، به کار می‌روند، مانند جوشکاری مخازن تحت فشار، منابع، کف ماشین‌ها، واحدهای تجهیزات سنگین و مقاطع ساختمانی.

ویژگی‌های اصلی این نوع الکتروود به‌قرار زیر است:

- الکتروود E6020 با هر دو نوع جریان متناوب و یکسو با قطبیت مستقیم قابل استفاده است.
- کاربرد اصلی الکتروود در جوش گوشه افقی با سطح تخت تا کمی مقعر و بدون گودافتادگی

(بریدگی) لبه‌هاست.

- گل حاصل از این نوع الکتروود به طور سریع منجمد نمی شود و حتی مدتی پس از انجماد فلز مذاب به حالت خمیری باقی می ماند.
- این الکتروود می تواند برای جوشکاری گوشه در موقعیت افقی، جوش لب و دیگر جوش های شیاری عمیق در درزهای تخت به کار رود.
- آزمایشات پرتونگاری صحت کامل و یکدستی جوش حاصل از این نوع الکتروود را نشان می دهند.
- الکتروود E6020 برای جوشکاری ورق های فلزی نازک قابل استفاده نیست.

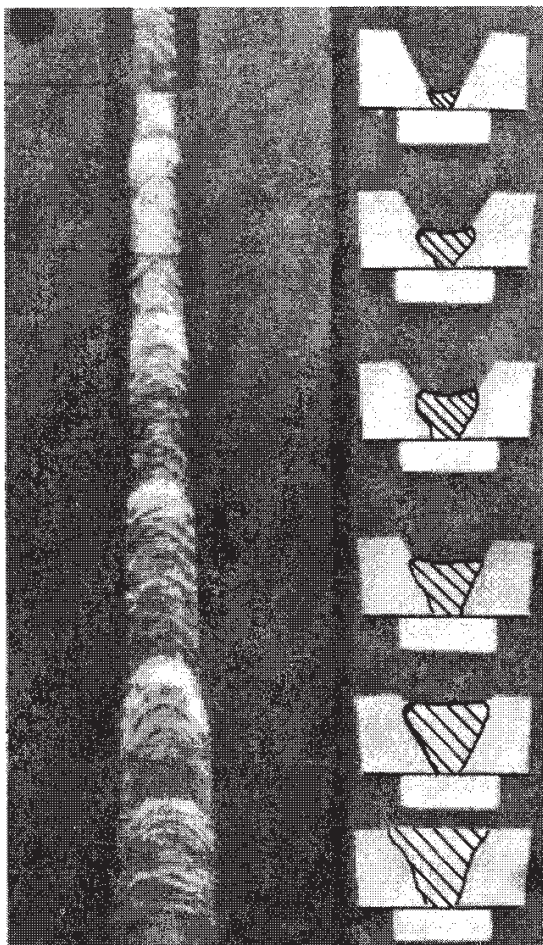
E7024: برای جوشکاری گوشه در موقعیت افقی و تخت جریان متناوب و یکسو و با هر دو نوع قطبیت (روکش آن از جنس تیتانیوم و پودر آهن)

الکتروود E7024 دارای روکشی با درصد زیاد پودر آهن (حدود ۵۰ درصد وزن روکش الکتروود) می باشد. الکتروود E7024 در مواردی که برای کاربرد الکتروودهای E6012 و E6013 ذکر شد، ممکن است به کار رود.

E7024 گاهی به نام الکتروودهای تماسی نیز خوانده می شود، 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 می شود 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 می دهند.

علاوه بر ذوب مفتول الکتروود و فلز پایه، حرارت حاصل از قوس، گرد آهن موجود در ترکیب روکش الکتروود را ذوب می کند تا ترسیب جوش بیشتری حاصل شود (شکل ۳ - ۸). بنابراین افزایش سرعت جوشکاری ممکن می گردد. بر اساس محاسبات انجام شده $\frac{1}{3}$ فلز جوش رسوب کرده، حاصل از روکش الکتروود است.

الکتروودهای E7024 جوشی با ترشح کم، مقدار نیتروژن پایین، بدون نقص و با ظاهری صاف تولید می کنند. این الکتروودها برای جوشکاری گوشه فولاد نرمه مناسب می باشند. جوش تولید شده دارای تحدب کمی در مقطع طولی می باشد. جوش حاصل دارای سطحی بسیار صاف با فلس های ریز و ملایم می باشد به گونه ای که تقریباً معادل سطح جوش های ماشینی است (اشکال ۳ - ۹ و ۱۰). این الکتروود با یک قوس ملایم، نفوذ کم و یک جوش عاری از عیب و نقص توصیف می شود. این نوع می تواند با سرعت عمودی زیادی مورد استفاده قرار گیرد. اغلب، برای جوشکاری فولاد کم آلیاژ و فولاد با کربن متوسط تا زیاد به کار می رود. با هر دو نوع جریان متناوب و یکسو و با هر دو نوع قطبیت به کار می روند هر چند در عمل جریان متناوب ترجیح داده می شود.

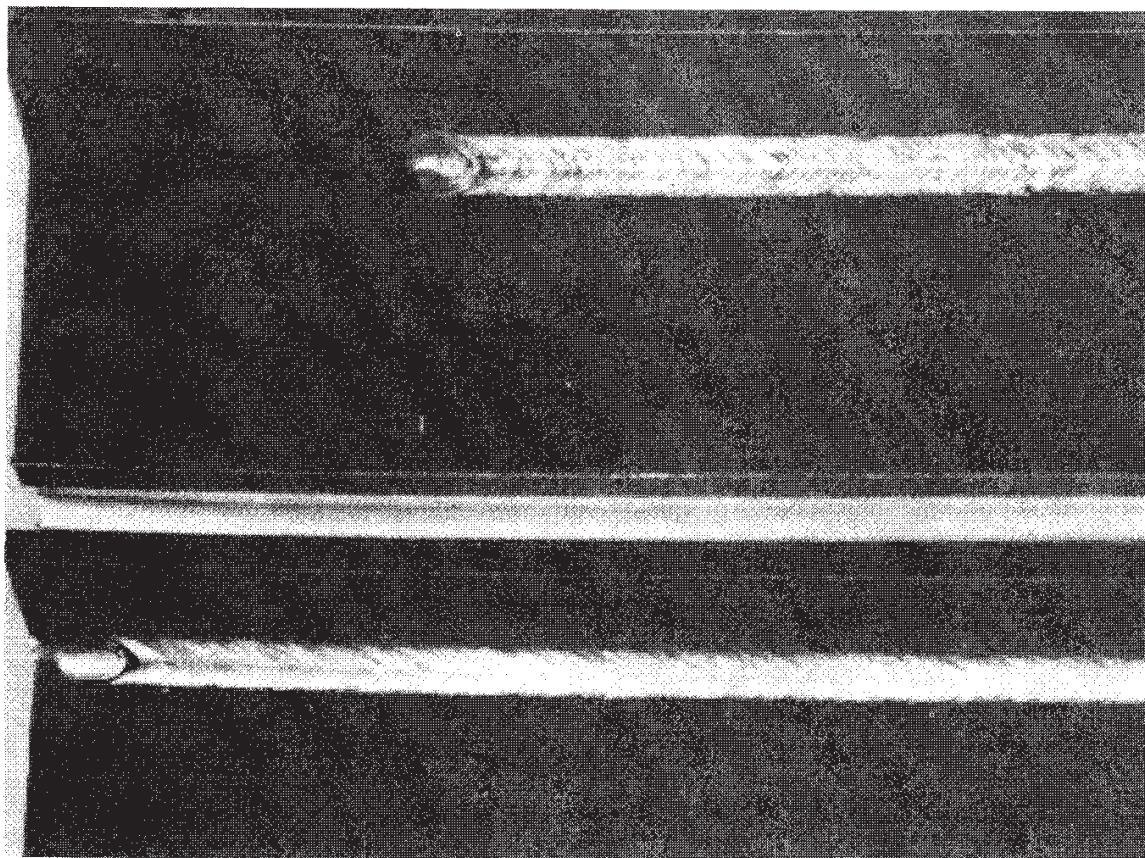


شکل ۳ - ۹ - یک جوش شیاری با چند پاس عبور. درز جناغی ورق ۱۸ میلی متر که با الکتروود حاوی پودر آهن جوش داده شده است. مقطع جوش با آزمایش حک اسید رویت شده که در شکل هاشور زده شده است.

E6027: برای جوشکاری گوشه افقی و تخت، جریان متناوب و یکسو با قطبیت مستقیم (حاوی پودر آهن و اکسید آهن)

الکتروود E6027 دارای روکشی است که حاوی درصد زیادی پودر آهن در ترکیب با مواد گدازآوری است که عموماً مشابه ترکیب روکش الکتروود E6020 می باشد. عملکرد جوشکاری نیز مشابه نتایج حاصل از الکتروود E7024 است.

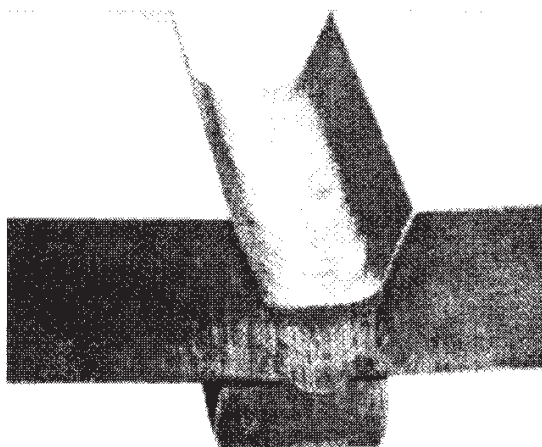
الکتروود E6027 به خاطر درصد زیاد پودر موجود در روکش آن که حدود ۵۰ درصد وزن روکش می باشد، بسیار سنگین می باشد. وجود پودر آهن موجب افزایش نرخ ترسیب جوش می گردد. اکسید آهن تولیدکننده گِل می باشد و گِل سنگینی ایجاد می کند. مفتول سیمی مورد استفاده مشابه الکتروودهای E6010 و E6020 است.



شکل ۳ - ۱۰ - الکتروود با پودر آهن باعث افزایش سرعت جوشکاری با ظاهری صاف و مناسب می‌شود. درز بالایی با الکتروود E6012 و درز پایینی با یک الکتروود پودر آهن جوشکاری شده‌اند. الکتروود با پودر آهن ۳۶ درصد سریعتر بوده و جوش حاصل ظاهر بهتری داشت.

E6027 نیز مشابه طبقه E7024 با تکنیک کشیدن^{۴۰} به کار می‌رود. این نوع الکتروود برای تولید جوش گوشه و جوش شیاری در موقعیت افقی و با جریان متناوب یا یکسو (قطبیت مستقیم) و جوش گوشه و شیاری در موقعیت تخت و با جریان متناوب یا یکسو (هر دو نوع قطبیت) و با کیفیت بالا طراحی شده است.

انتقال فلز مذاب با استفاده از این الکتروود از نوع پاشیدنی^{۴۱} است و سرعت ترسیب جوش نیز بالاست. میزان نفوذ متوسط بوده و مقدار ترشح جوش به اطراف کم است. مقطع طولی جوش تخت تا کمی مقعر با یک سطح صاف و موج‌های ریز و ملایم است. در ضمن فلز جوش هر دو طرف درز اتصال را می‌پوشاند (شکل ۳ - ۱۱). روکش این نوع الکتروود گِل ضخیمی تولید می‌کند که در قسمت



شکل ۳-۱۱ - جوش‌های شیاری عمیق ظاهر عالی داشته و تمیز کردن سرباره آنها بسیار راحت است. الکتروود E6027 با پودر آهن یک خط جوش صاف، تمیز و تخت ایجاد می‌کند.

زیرین لانه زنبوری (کرمو^{۴۲}) است و نوار جوش را می‌پوشاند. این سرباره ترد بوده و به راحتی پاک می‌شود. الکتروود E6027 مناسب جوشکاری سازه‌های سنگین است. با وجودی که سرعت جوشکاری پایین‌تر از سرعت جوشکاری ممکن با الکتروود E6024 می‌باشد، خواص فلز جوش فوق‌العاده بوده و دارای کیفیت بالا در آزمایش پرتونگاری است.

۳-۲۳-۶ الکتروود فولادی آلیاژدار

با توجه به نیاز بعضی از صنایع تولیدات کارخانه‌ای به مقاومت کششی زیاد، استفاده از فولادهای پرمقاومت آلیاژدار توسعه زیادی یافته است. امکان ساخت این تولیدات با استفاده از اتصالات جوشی عامل اصلی این توسعه می‌باشد.

الکتروودهای روکش‌دار جوشکاری قوسی با قابلیت تولید فلز جوشی با مقاومت کششی بالغ بر 7000 kg/cm^2 گسترش یافته‌اند. مفتول این الکتروودها به جای فولاد کربن‌دار از جنس فولادهای آلیاژدار می‌باشد. پوشش الکتروود نیز دارای سنگ آهن آهک‌دار از نوع کم‌هیدروژن بوده و ممکن است حاوی پودر آهن نیز باشد. ویژگی‌های کاربردی الکتروودهای مورد استفاده برای جوشکاری فولاد آلیاژی مشابه خواص مذکور برای الکتروودهای کم‌هیدروژن در طبقه 15, 16, 18 E60 می‌باشد. هرچند این الکتروود قابل دسترسی در رده‌های 70XX، 80XX، 90XX، 100XX، 110XX و 120XX می‌باشند.

۳-۲۳-۷ الکتروود فولادهای ضدزنگ^{۴۳}

فولاد ضدزنگ عنوان رایجی برای فولادهای کروم‌دار یا فولادهای کروم - نیکل می‌باشد. این آلیاژ، مصالحی است با مقاومت زیاد در برابر خوردگی، حرارت زیاد، اکسیداسیون، و پوسته شدن^{۴۴}. انواع مختلفی از فولادهای ضدزنگ و الکتروودهای مورد استفاده برای جوشکاری آنها وجود دارد. در این مورد هم فلز پایه و هم الکتروودگران قیمت هستند و در مورد جوشکاری آنها باید دقت زیادی مبذول داشت. سیستم شماره‌گذاری برای شناسایی الکتروودهای فولاد ضدزنگ متفاوت از روشی است که توسط AWS برای الکتروودهای فولاد کربن‌دار به کار می‌رود. این شناسایی براساس روش ارائه شده توسط AISI^{۴۵} (مؤسسه آهن و فولاد آمریکا) برای طبقه‌بندی فلزات آلیاژی می‌باشد (شکل ۳-۶). اولین گروه رقم سه‌تایی (یا دو تایی) نشان‌دهندهٔ مقاومت کششی این نوع الکتروود می‌باشد (برحسب 1000psi). الکتروود مناسب برای فولادهای فوق نیز با حرف E آغاز شده و عدد سه‌رقمی به دنبال آن مقاومت کششی فلز جوش برحسب کیلوپوند بر اینچ مربع می‌باشد. بنابراین الکتروودهای E308-XX و E309-XX مناسب جوشکاری فولادهای ضدزنگ هستند.

دو رقم بعدی براساس موقعیت جوشکاری و ویژگی‌های کاربردی الکتروود مطابق قراردادهای سیستم طبقه‌بندی AWS تعیین می‌شوند. برای مثال E309-15 ممکن است برای همه وضعیت‌های جوشکاری و با جریان یکسو با قطبیت معکوس به کار رود. این نوع یک الکتروود کم‌هیدروژن و با قوس ملایم و نفوذ متوسط می‌باشد.

الکتروودهای فولاد ضدزنگ با روکش حاوی آهنک، تیتانیوم آهنک و تیتانیوم طراحی شده‌اند. روکش‌های آهنک‌دار فقط برای جریان یکسو و قطبیت معکوس طراحی شده‌اند. این الکتروودها جوشی با سطح محدب تولید می‌کنند و برای پاس ریشه به منظور جلوگیری از ترک گلوگاه جوش مناسب می‌باشند. این نوع الکتروود می‌تواند در وضعیت قائم یا سقفی نیز به کار رود. گِل تولید شده سطح جوش را کاملاً می‌پوشاند و کمترین مقدار ترشح را ایجاد می‌کند. این نوع روکش با داشتن پودرهای خاص، ناخالصی‌ها را از سطح جوش دور کرده و بنابراین منجر به تولید جوشی عاری از تخلخل و دارای خواص مکانیکی و مقاومت خوردگی قابل توجه می‌گردد. این الکتروودها در طبقهٔ E3XX-15 قرار می‌گیرند.

روکش‌های از جنس تیتانیوم، برای هر دو نوع جریان متناوب و یکسو با قطبیت معکوس طراحی شده‌اند. الکتروودهای مذکور تحت عنوان الکتروودهای نوع آهنکی یاد می‌شوند و این به خاطر

43- stainless steel electrode

44- scaling

45- American Iron and Steel Institute

جدول ۳ - ۶

الکترودهای فولادی کرم نیکل دار (سری AISI300)		
نامگذاری طبق AISI	اسم تجارتمی	نامگذاری AWS
302 } 2303 } 304 } 308 }	18.8 or 19.9	E308-15, E308-16
309	25 12	E309-15, E309-16, 1E309Cb-15
310	25.20	E310-15, E310-16, 1E310Cb-15, 1E310Cb-16, 1E310Mo-15, 1E310Mo-16
312	29.9	E312-15, E312-16
316	18/12Mo	E316-15, E316-16, 1E316Cb-15, E316Cb-16
317	18/12Mo	E317-15, E317-16
318	18/12Mo Cb	
303	15/35	E330-15, E330-16
347	18.8Cb	E347-15, E347-16
الکترودهای فولادی کرم نیکل دار (سری AISI400)		
410	12 chromium	E410-15
430	16 chromium	E430-15
442	18 chromium	E442-15
446	28 chromium	E446-15
	AISI	
	500 Series	
502	5 chromium	E502-15, 502-18 505-18
505	9 chromium	E502-16, 505-18

شناسایی الکترودهای فولاد ضدزنگ

عمل آرام قوس حاصل است. ظاهر جوش صاف و گیل زنی به راحتی انجام می شود. جوشی با سطح کمی مقعر تولید می کنند که احتیاج زیادی به تمیز کردن و سوهان زنی و یا ماشین کاری ندارد. این الکترودها در طبقه E3XX-16 قرار می گیرند و تنها با جریان یکسو و قطبیت معکوس قابل استفاده هستند. الکترودهای با روکش تیتانیوم آهکی ممکن است تنها با جریان یکسو و یا هر دو نوع جریان متناوب و یکسو به کار روند. این نوع برای همه موقعیت های جوشکاری قابل استفاده بوده و برای

جوشکاری فولاد پرمقاومت کروم دار و فولاد ضدزنگ از آلیاژ کروم - مولیبدن و بعضی از فولادهای ضدزنگ کروم - نیکل به کار می‌روند.

۳-۲۳-۸ الکتروود مخصوص روکش کاری سخت

منظور از رویه سخت^{۴۶} ترسیب یک ماده آلیاژی بر روی یک قطعه فلز متوسط یکی از روشهای متعدد جوشکاری به منظور تولید یک سطح محافظ می‌باشد. این عمل می‌تواند از طریق پخش پودر یا پاشیدن فلز نیز انجام گیرد. بسته به نوع آلیاژ اضافه شده، مقاومت رویه در مقابل ساییدگی^{۴۷}، ضربه، حرارت، خوردگی و یا ترکیبی از این عوامل افزایش می‌یابد.

- ساییدگی مربوط به سطحی است که در معرض دائمی سنگ‌زنی^{۴۸}، اصطکاک ناشی از ماشین، و شیارزنی^{۴۹} قرار می‌گیرد. نیروی حاصل از اعمال فوق به موازات سطح قطعه می‌باشد.
- ضربه باعث تضعیف فلز یا تغییر شکل آن به صورت ورقه ورقه، لهیدگی و ترک خوردگی خواهد شد. در این مورد نیرو یک اثر ناگهانی است که به صورت عمود بر قطعه عمل می‌کند.
- خوردگی از بین رفتن سطح قطعه فلزی در اثر آلودگی‌های شیمیایی هوا و اکسیداسیون فلز یا پوسته شدن سطح فلز در اثر تغییرات درجه حرارت می‌باشد.

ایجاد این رویه سخت، ممکن است در مورد قطعات نو، جهت بهبود مقاومت آنها در مقابل فرسودگی در خلال بهره‌برداری یا جهت پوشش قطعات به منظور اصلاح قابلیت بهره‌برداری از آنها انجام شود. مواد مقاوم در مقابل پوسیدگی، برای حفاظت یا اصلاح سطوحی به کار می‌روند که فرسودگی حداکثر سطح را فرا گرفته باشد.

آلیاژهای مورد استفاده برای ایجاد رویه سخت معمولاً به صورت چدن بدون روکش، میله‌های لوله‌ای، الکتروود جامد روکش دار یا الکتروودهای میله‌ای، میله‌های جامد و یا به صورت گردی می‌باشند. الکتروودهای مورد استفاده برای جوشکاری قوسی فلزات براساس شرایط بهره‌برداری زیر طبقه‌بندی شده‌اند:

- ۱ - مقاومت در مقابل ضربه؛
- ۲ - مقاومت در مقابل ساییدگی؛
- ۳ - مقاومت در مقابل خوردگی و ساییدگی در درجه حرارت زیاد؛
- ۴ - مقاومت در مقابل ساییدگی ناشی از ضربات ملایم؛

46 - hard-facing

47 - abrasion

48 - grinding

49 - gouging

۵- مقاومت در مقابل ساییدگی ناشی از ضربات ملایم تا سنگین.

در اکثر حالات برای ایجاد سطح مقاوم، فقط نیاز به یک نوع الکتروود است. لیکن بعضی حالات نیاز به دو نوع الکتروود دارند. برای مثال هنگامی که خطر ساییدگی و بارهای ضربه‌ای به صورت توأم مطرح باشد، الکتروود نوع ۱ برای ایجاد لایه مقاوم در مقابل ضربه و الکتروود نوع دوم برای ایجاد لایه مقاوم در مقابل سایش، لازم می‌باشد. محتویات الکتروود اول به صورت یک بالشتک نرم در مقابل بارهای ضربه‌ای عمل کرده و لایه حاصل از الکتروود دوم که در مقابل ساییدگی مقاوم است را پشتیبانی (حفاظت) می‌کند.

انواع مختلفی از مواد مورد استفاده برای ایجاد لایه سخت وجود دارد. عموماً فلز اصلی شامل آهن، نیکل، مس یا کوبالت بوده و عناصر آلیاژی عبارتند از: کربن، کروم، مولیبدن، تنگستن، سیلیکون منگنز، نیتروژن، وانادیم و تیتانیوم. عناصر آلیاژی تشکیل کربید (ترکیب شیمیایی کربن با عناصر دیگر که بلور سختی دارد) سختی را می‌دهند که به تأمین خواص مورد نیاز یک رویه سخت کمک می‌کند. ترکیب درصد بالایی تنگستن یا کروم با مقدار زیادی کربن به شکل کربیدی درمی‌آید که از کوارتز (شیشه) سخت‌تر است. مواد آلیاژی با میزان کروم زیاد، مقاومت زیادی در مقابل اکسیداسیون و پوسته شدن نشان می‌دهند. نیکل، کبالت و کروم دارای مقاومت خوردگی زیادی می‌باشند.

۳-۲۳-۹ الکتروودهای آلومینیوم

آلومینیوم فلزی با کاربرد وسیع در کارهای ساخت و تولید است. این رواج مرهون عواملی نظیر، وسعت قابلیت دسترسی، قابلیت کارکرد مناسب و سطح شفاف و زیباست. بیش از ۲ دوجین فرآیند اصلی جوشکاری برای این فلز به کار می‌رود. جوشکاری‌های قوسی الکتروود فلزی تحت حفاظت گاز و جوشکاری گازی با الکتروود تنگستن کاربرد بیشتری نسبت به انواع دیگر دارد. در موارد محدودی جوشکاری قوسی با الکتروود روکش دار به کار می‌رود. آلومینیوم می‌تواند با ضخامتی در محدوده ۰/۰۰۴ میلی‌متر در فویل تا ۱۵۰ میلی‌متر در صفحات جوشکاری شود.

آلیاژهای اصلی که در الکتروودهای آلومینیومی و میله‌های جوشکاری بدون روکش به کار می‌روند عبارتند از: منیزیوم (در ترکیب با روی و یا بدون منگنز) و سیلیکون (با یا بدون مس). سه نوع از الکتروودهای روکش دار قابل دسترس برای جوشکاری قوسی آلومینیوم عبارتند از:

● الکتروودهای E1100 برای جوشکاری آلومینیوم بدون آلیاژ طراحی شده‌اند. دارای شکل پذیری زیاد، هدایت الکتریکی مناسب و حداقل مقاومت کششی معادل 840 kg/cm^2

می‌باشند.

- الکترودهای E3003 با شکل پذیری زیاد و حداقل مقاومت کششی معادل 980 kg/cm^2 .
- الکترودهای E4043 با مقدار سیلیکون بالا (حدود ۰.۵٪) که روانی فوق‌العاده‌ای در فلز جوش تأمین می‌کند. به این منظور این نوع الکتروود برای جوشکاری‌های معمولی ارجح است.

مفتول‌های بدون روکش و الکترودهای از جنس آلومینیوم یا آلیاژهای آلومینیوم برای استفاده با جوشکاری اکسی‌استیلن قوس کربنی، هیدروژن اتمی و جوشکاری‌های گازی، غیرتنگستن و جوشکاری فلزی با حفاظ گازی گسترش یافته‌اند. طبقه‌بندی الکتروودها و مفتول‌های بدون روکش طبق روش AWS به شرح زیر است:

ER1100، ER2319، ER4043، ER4047، ER4115، ER5183، ER5356، E5554،

E5556 و ER5654. همچنین انواع R242.0 و R295.0 و R355.0 و R356.0 جهت کارهای تعمیراتی در ریخته‌گری چدن به کار می‌روند.

در عمل وقتی که عامل‌های خورنده مهم هستند، الکتروودی باید انتخاب شود که عملاً ترکیب نزدیک و مشابهی با فلز پایه داشته باشند.

وجود رطوبت در روکش الکتروود یکی از عوامل اصلی ایجاد تخلخل در ساختمان جوش می‌باشد.

شکل‌پذیری و ترک‌خوردگی که به نام پارگی گرم^{۵۰} شناخته می‌شوند، مشکلات جوشکاری آلومینیوم می‌باشند. از درزهایی که نیاز به تعداد زیادی فلز جوش جهت پر کردن آنها وجود دارد (درزهای پر جوش) باید اجتناب شود. ترک‌خوردگی جوش به خاطر پایین بودن مقاومت کششی بعضی از ترکیبات فلز جوش در تغییرات درجه حرارت معمول است. بر این مورد می‌توان با استفاده از مقدار بیشتری آلیاژ منیزیوم - آلومینیوم غلبه کرد، چراکه جوش تولیدشده با این ترکیب مقاومت کششی خوبی پس از گیرش دارد. نوع درز اتصال و تکنیک جوشکاری بر روی ترک‌خوردگی جوش مؤثر می‌باشند.

۳-۲۳-۱۰ الکترودهای ویژه

انواع زیادی از الکترودهای خاص برای جوشکاری فلزاتی نظیر نیکل و آلیاژهای نیکل دار (پرنیکل)، مس و آلیاژهای مس، منیزیوم و آلیاژهای آن و همچنین تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم وجود دارد.

50 – hot-shortness

پارگی یا ترک خوردن فلزاتی نظیر چدن که بعد از ذوب فلز و در مرحله انجماد صورت می‌گیرد.

الکترودهای پرنیکل برای جوشکاری فلزاتی نظیر چدن خاکستری، آهن شکل پذیر، آهن چکش خوار و انواع دیگر از آهن‌ها به کار می‌روند. نوعی از فلز پرکننده از جنس آلیاژ نیکل دار قادر به جوشکاری ترکیبات فلزی متفاوت از جنس خود می‌باشد. شماری از الکترودها که حاوی ۵۰ درصد یا بیشتر نیکل می‌باشند برای جوشکاری نیکل و آلیاژهای آن به کار می‌روند. این الکترودها شامل ترکیبات آلیاژی زیر می‌باشند:

- آلیاژ نیکل - مس
- آلیاژ منل - نیکل - مس
- آلیاژ منل نیکل با عمر سخت پذیری^{۵۱}
- انیکنل با عمر سخت پذیری
- آلیاژ انیکنل - نیکل - کروم - آهن
- فلز پرکننده از جنس آلیاژ پر نیکل

۳-۲۴ نگهداری الکتروود

۳-۲۴-۱ تنظیم رطوبت

یک الکتروود کاملاً خشک اولین عامل مورد نیاز برای یک جوشکاری کامل و مطلوب است، خصوصاً هنگامی که نوع کار مستلزم استفاده از الکترودهای کم‌هیدروژن یا دیگر انواع الکترودهای نم‌گیر^{۵۲} می‌باشد. اگر الکتروود مصرفی خشک نباشد، جوشکار نمی‌تواند در مورد انجام یک جوش سالم و صحیح مطمئن باشد. جوشکاری با الکتروود مرطوب منجر به افزایش ولتاژ قوس، ترشح زیاد و گودافتادگی (بریدگی^{۵۳}) لبه‌ها شده و تمیز کردن سرباره حاصل از این جوش مشکل می‌باشد. نوار جوش ممکن است متخلخل و دارای ترک و ظاهری زبر و ناصاف باشد. وجود چنین شرایطی موجب عدم قبول جوش و تعمیر و اصلاح مجدد می‌گردد که هزینه‌بر می‌باشد و اگر این معایب آشکار نگردد، قطعاً به گسیختگی جوش تولید شده کمک می‌کند.

کلیه الکترودهای با روکش مواد معدنی خشک^{۵۴} هستند. هنگامی که خارج از بسته‌بندی قرار می‌گیرند، شروع به جذب رطوبتی بیش از مقدار رطوبت یک جوش سالم می‌کنند. بنابراین الکترودها نیازمند حفاظت در مقابل رطوبت می‌باشند. این موضوع خصوصاً در مورد جوشکاری روی زمین صحت دارد (به خاطر تماس الکترودها با زمین احیاناً مرطوب). تعدادی از آیین‌نامه‌های

51- age-hardenable

52- moisture-prone

53- under cut

54- thirsty

ساختمانی حاوی پیش‌بینی‌های ویژه‌ای در مورد نگهداری الکتروودها و بسته‌بندی آنها و مقرراتی در مورد استفاده از تجهیزات جوشکاری در محل کارگاه می‌باشند.

۳-۲۴-۲ خشک‌کن الکتروود^{۵۵}

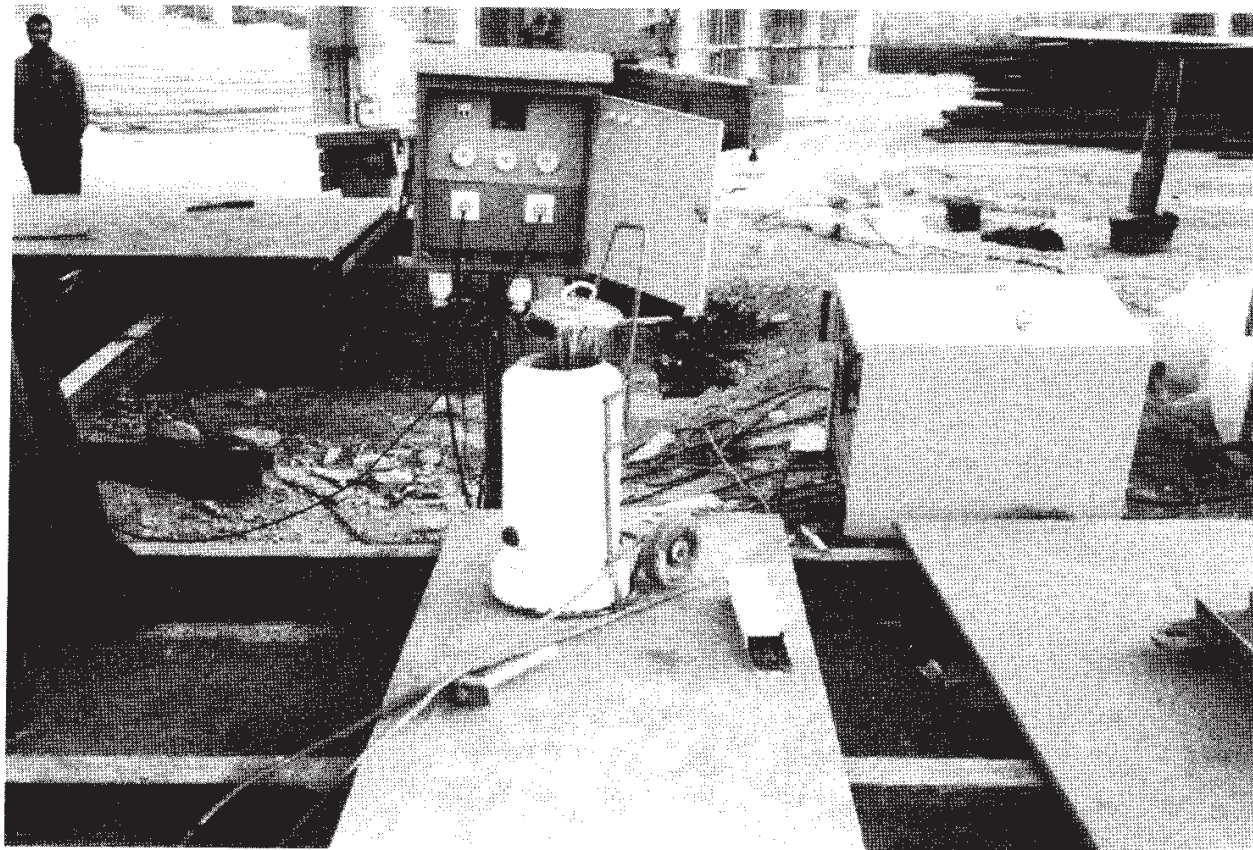
سازندگان الکتروود استفاده از انبارهای خشک‌کن را برای حفظ و نگهداری کیفیت اولیه الکتروودها توصیه می‌کنند. استفاده از خشک‌کن تنها یک توصیه نیست و برای الکتروودهای کم‌هیدروژن، الکتروودهای سخت رویه و سایر الکتروودهای خاصی که دارای عناصر زیر هستند، اجباری است:

- پودر آهن
- فولاد ضدزنگ
- آلومینیوم
- انیکل
- منل
- برنج
- برنز

خشک‌کن‌های الکتروود دارای ظرفیتی بین ۱۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم می‌باشند و درجه حرارت آنها تا ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد 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 دارند. پودرهای جوشکاری که حفاظت نشده‌اند، رطوبت محیط را به خود می‌گیرند که موجب ورودی ناخالصی‌های هیدروژنی به داخل جوش (دخول هیدروژن) می‌گردد. شکل ۳-۱۲ یک نوع از خشک‌کن‌های قابل حمل را نشان می‌دهد که می‌تواند جهت نگهداری پودر جوشکاری و یا مفتول روکش شده با این مواد به کار رود.

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



شکل ۳-۱۲ - خشک‌کن.

مقابل رطوبت می‌باشند و به‌هیچ‌وجه برای الکترودهای مذکور در صفحه قبل، مناسب نیستند.

۳-۲۵ بسته‌بندی الکترودها

۳-۲۵-۱ اندازه (قطر) و طول استاندارد

طول و قطر استاندارد برای الکترودها در جدول ۳-۶ نشان داده شده است. در بعضی شرایط خاص الکترودهایی با طول ۹۰۰ میلی‌متر نیز در دسترس هستند. در همه حالات، منظور از قطر (اندازه) استاندارد الکترودها، قطر مفتول داخلی است که محصور در روکش الکترودها می‌باشد. در طول‌های ۴۵۰ و ۹۰۰ میلی‌متر، طول انبرگیر انتهای الکترودها (در داخل فک انبر الکترودها) برای همه طول‌ها استاندارد است.

۳-۲۵-۲ بسته‌بندی و دسته‌بندی

به‌منظور جلوگیری از صدمه رسیدن به الکترودها در حین حمل و نقل، توصیه می‌شود وزن دسته و

جدول ۳ - ۷ - قطر و طول الکتروودها.

قطر استاندارد مفتول الکتروود (mm)	طول استاندارد (mm)
1.5	225
2	225-300
2	300
3	350
4	350
4.5	350
5.5	330-450
6	450
8	450
10	450

بسته‌های الکتروود در حدود زیر باشد:

- وزن دسته‌های الکتروود حدود ۴ کیلوگرم
- وزن جعبه‌ها حدود ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم
- وزن خالص حلقه و قرقره به طور تقریب بین ۶۵ تا ۹۰ کیلوگرم

۳-۲۵-۳ علامت‌گذاری

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

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

۳-۲۶ تولیدات داخلی الکتروود

در ایران پرسابقه‌ترین و معروفترین کارخانه الکتروودسازی، شرکت آما می‌باشد که در جدول ۳-۸ لیستی از محصولات تولیدی آن ارائه شده است.

جدول ۳-۸ - فهرست الکترودهای آما برحسب نوع و مصرف

الف: الکترودهای روتیلی

I.S.O 2560	DIN 1913	AWS/ASME	الکترو د آما
E432R12	E4322R(C)3	E 6013	آکا ۲۳
E432R22	E4321R22	E 6013	د ۱۸۰
E432R12	E4322R(C)3	E 6013	ای ۱۵۶۶
E432R12	E4322R(C)3	E 6013	۲۰۰۰
E512RR22	E5122RR6	E 6013	آ ۲۰۰۰
E432R12	E4322R(C)3	E 6013	۲۱۰۰

ب: الکترودهای قلیایی

I.S.O 2560	DIN 1913-8529	AWS/ASME	الکترو د آما
E514B26H	E5143B(R)10	E 7016	۱۰۰۷
E515B20	ESY4276MnB	E 7018-1	ف ۱۱۷۷
E515B11020H	E5155B10	E 7018	ف ۱۲۳۰

ج: الکترودهای پرنفوذ و جایگزینی زیاد

I.S.O 2560	DIN 1913	AWS/ASME	الکترو د آما
E512RR16032	E5122RR11 160	E 7024	کا ۱۱۱۸

د: الکترودهای سلولزی

I.S.O 2560	DIN 1913	AWS/ASME	الکترو د آما
E433C19	E4332C4	E 6010	پ ۱۰۳۴
-	-	E7010-A1	پ.ن ۱۷۰۷

طراحی درزجوش

۴-۱ معرفی

فصل مشترک دو قطعه که مصالح جوش در امتداد آن رسوب می نمایند، درز^۱ جوش نامیده می شود. هندسه درز، از عوامل مهم و تأثیرگذار بر اقتصاد و کیفیت جوش است. هندسه^۲ درز با سه پارامتر زیر تعریف می شود:

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 می شود. آغازگر این بحث، ارائه تعاریف عمومی می باشد.

۴-۲ انواع اتصال

نحوه قرار گرفتن قطعات و ورق ها در کنار یکدیگر، اتصال گفته می شود. انواع اتصال به قرار زیر است (شکل ۴-۱):

۱- اتصال سر به سر^۲ (یا لب به لب)

۲- اتصال سپری^۳ (T)



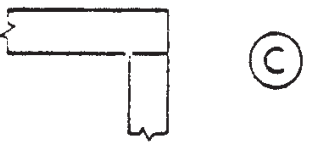

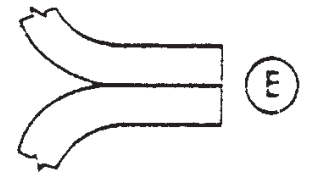
۳- اتصال کنج یا گونیا^۴

1- joint

2- butt

3- tee

4- corner

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

شکل ۴ - ۱ - انواع اتصال.

۴ - اتصال رویهم^۵ (پوششی)

۵ - اتصال پیشانی^۶

در شکل ۴ - ۱ انواع اتصال‌ها نشان داده شده‌اند.

۴ - ۳ انواع جوش

به منظور برقراری اتصالات فوق، انواع مختلف جوش به شرح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۴ - ۲).

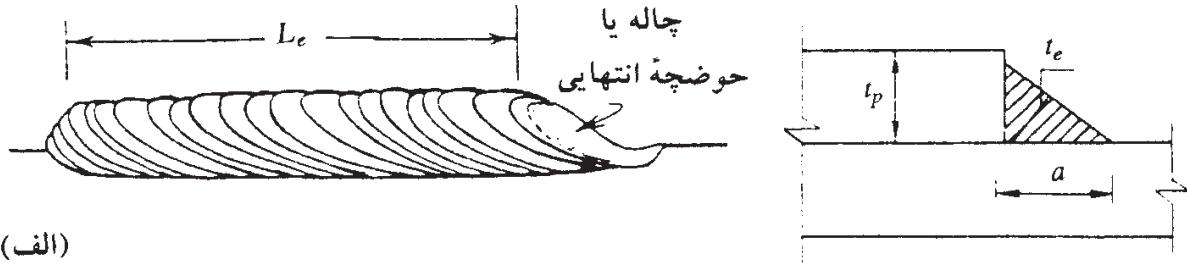
۱ - جوش گوشه:

a = ساق جوش

t_e = گلوی مؤثر جوش گوشه

L_e = طول مؤثر جوش

d = فاصله آزاد بین قطعات جوش



(الف)

۲ - جوش شیاری:

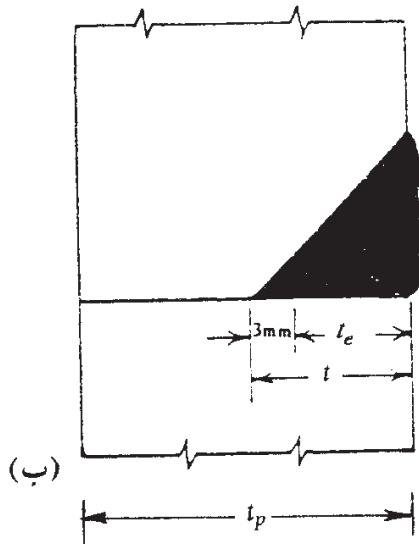
t_e = ضخامت مؤثر جوش شیاری با نفوذ نسبی

t_p = ضخامت ورق

L_e = طول مؤثر جوش

A_e = سطح مقطع مؤثر جوش

t = عمق شیار جوش



(ب)

۳ - جوش انگشتانه:

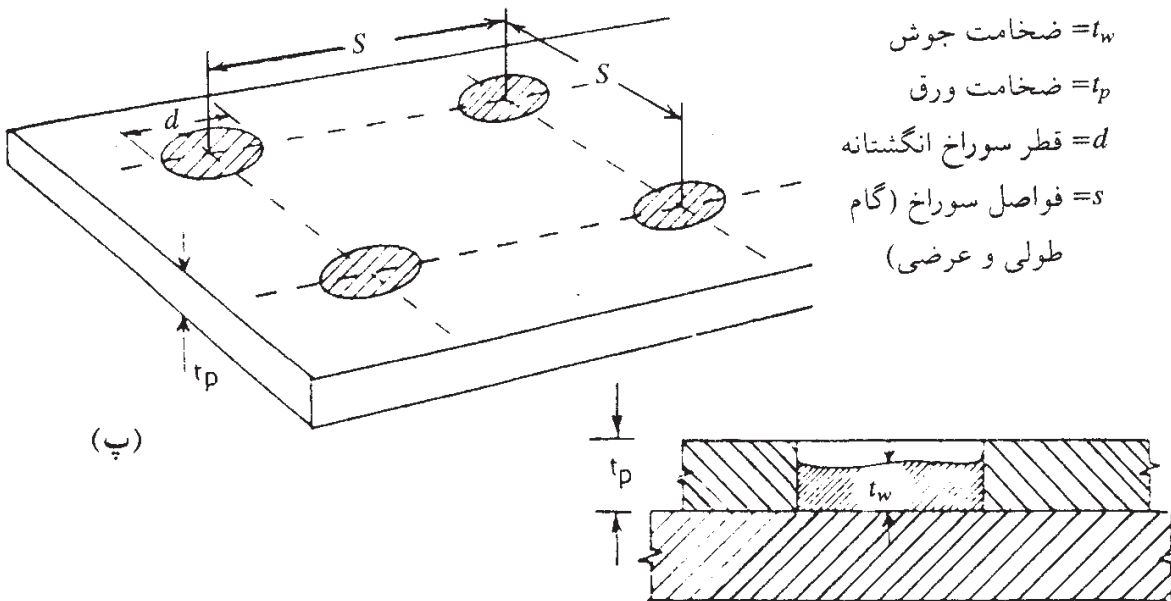
t_w = ضخامت جوش

t_p = ضخامت ورق

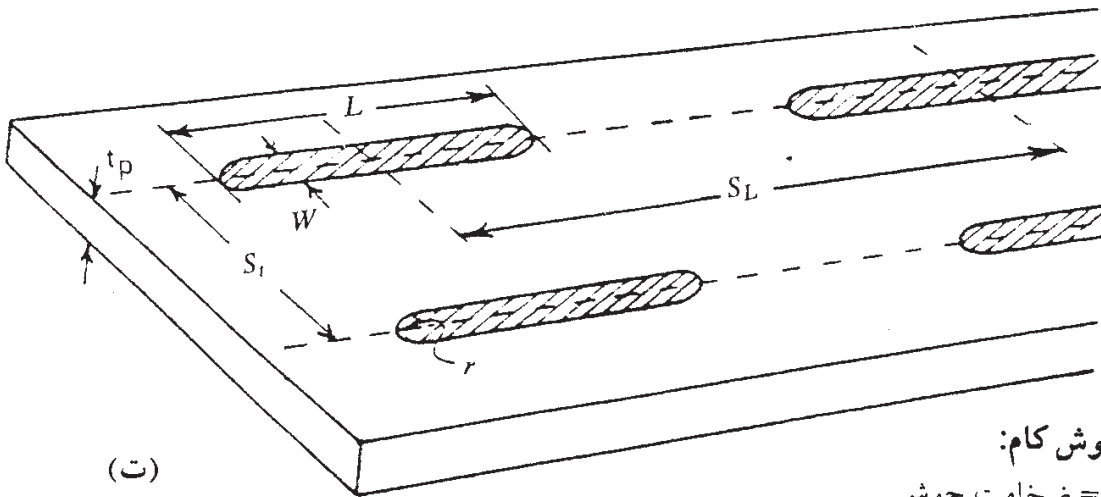
d = قطر سوراخ انگشتانه

s = فواصل سوراخ (گام)

(طول و عرضی)



(ب)



۴- جوش کام:

t_w = ضخامت جوش

t_p = ضخامت ورق

L = طول جوش کام

W = عرض شکاف

S_L = گام طولی

S_t = گام عرضی

شکل ۴-۲ - (ادامه).

۱- جوش گوشه^۷: جوشی است که بر وجوه جانبی دو قطعه مجاور هم رسوب می‌کند (شکل 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 به صورت توپر داده می‌شود (شکل ۴-۲-پ).

۴- جوش کام^{۱۰}: جوشی است که درون یک شکاف به صورت 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.

۴-۴ انواع درز^{۱۱}

برای اینکه جوش شیاری در درز بین دو قطعه رسوب کند، برحسب ضخامت و سهولت کار، به لبه

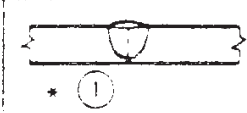
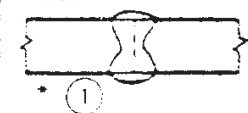
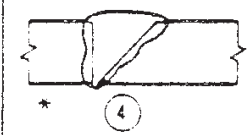
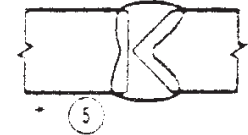
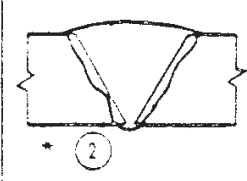
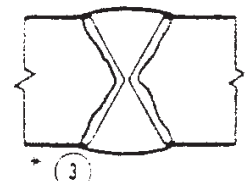
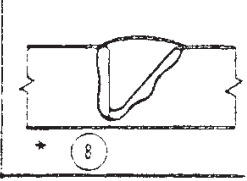
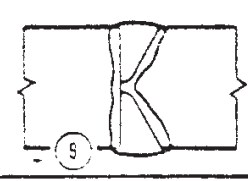
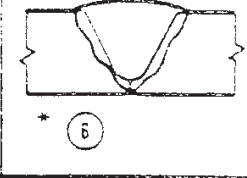
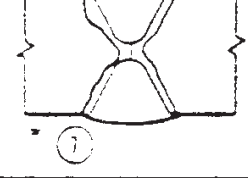
7- fillet

8- groove

9- pluge

10- slot

11- joint

	یکرو	دورو
شیاری با لبه ساده	 ① *	 ① *
شیاری نیم جناغی	 ④ *	 ⑤ *
شیاری تمام جناغی	 ② *	 ③ *
شیاری نیم لاله‌ای	 ⑧ *	 ⑨ *
شیاری تمام لاله‌ای	 ⑥ *	 ⑦ *

شکل ۴ - ۳ - انواع درز.

باید هندسه خاصی داد. برحسب نوع هندسه، انواع درز به صورت زیر به دست می آید (شکل ۴ - ۳).

۱ - ساده^{۱۲}

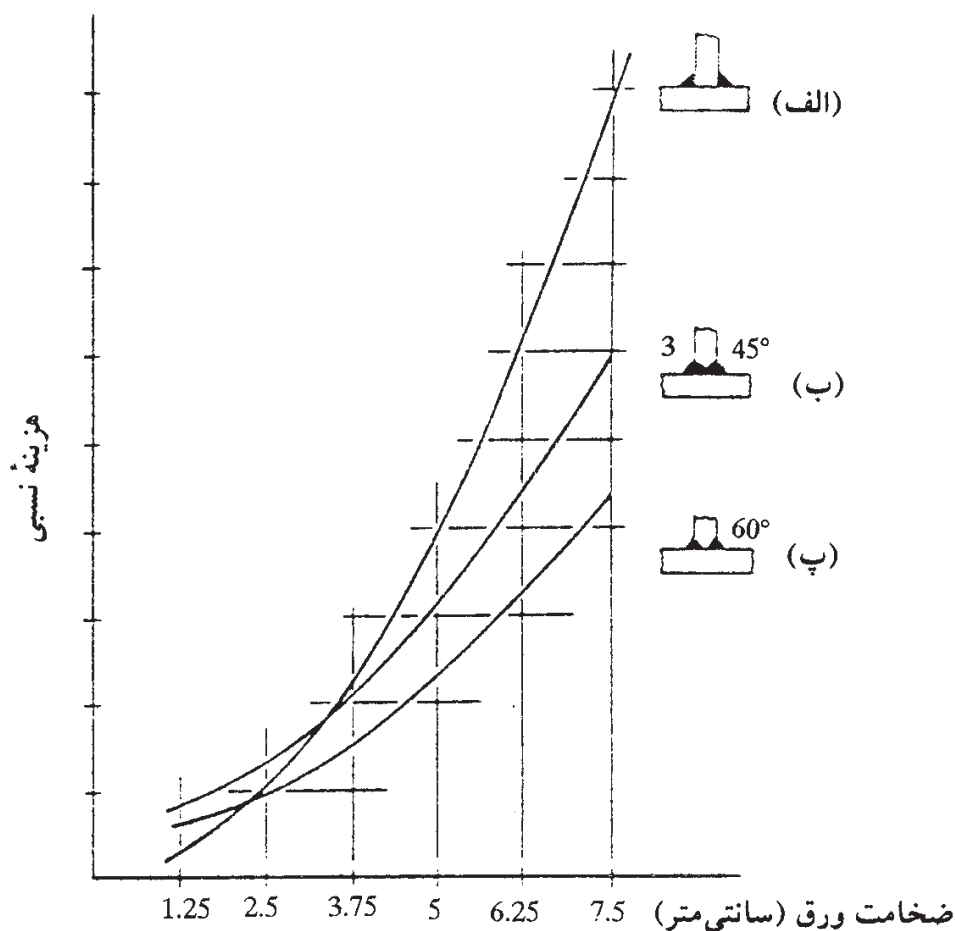
۲ - جناغی (یکرو و دورو) (V)

۳ - نیم جناغی (یکرو و دورو) (V)

۴ - لاله‌ای (یکرو و دورو) (U)

۵ - نیم لاله‌ای (یکرو و دورو) (J)

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 جوش‌های گوشه و دو نوع جوش



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

شیاری در یک اتصال سپری نشان می دهد.

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

جوش ب - همین جوش صددرصد را می توان با نیم جناغی کردن دو طرف لبه ورق تحت زاویه ۴۵° و در نظر گرفتن دهانه ریشه برابر با ۳ میلی متر (برای نفوذ کامل) به دست آورد. مقدار فلز جوش لازم در این حالت برای ورق ۲۵ میلی متر، ۷۵٪ و برای ورق ۱۰۰ میلی متر، ۵۶٪ حالت الف، می باشد. برای ورق ها با ضخامت کمتر از ۳۸ میلی متر، مخارج لازم برای پخ زدن لبه ها بیش از قیمت مصالح صرفه جویی شده است. اما برای ورق های ضخیمتر از ۳۸ میلی متر، قیمت مصالح صرفه جویی مخارج لازم برای پخ زدن لبه ها را جبران می نماید.

جوش پ - جوش صددرصد را می توان با پخ زدن لبه تحت زاویه ۶۰° نیز به دست آورد. روش جوشکاری در این حالت این طور خواهد بود که ابتدا فضای خالی ایجاد شده در ضخامت ورق

را با جوش پر کرده و سپس یک جوش گوشه 60° در خارج از ضخامت انجام می دهند. ارتفاع حداقل ناحیه پخ شده و همچنین ساق اضافی جوش گوشه، هر دو ۲۹٪ ضخامت ورق می باشند. 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 ۳۸ میلی متر می باشد. جوش نوع (پ) برای ضخامت‌های بالاتر از ۲۵ میلی متر ارزاترین قیمت را دارد. البته محل نسبی این منحنی‌ها با توجه به قیمت روز برش و جوشکاری تغییر پیدا می کند. در شرکت‌های جوشکاری بهتر است یک چنین منحنی‌هایی طرح شود و به مهندس طراح آن شرکت داده شود تا او بتواند به راحتی ارزاترین جوش را انتخاب کند.

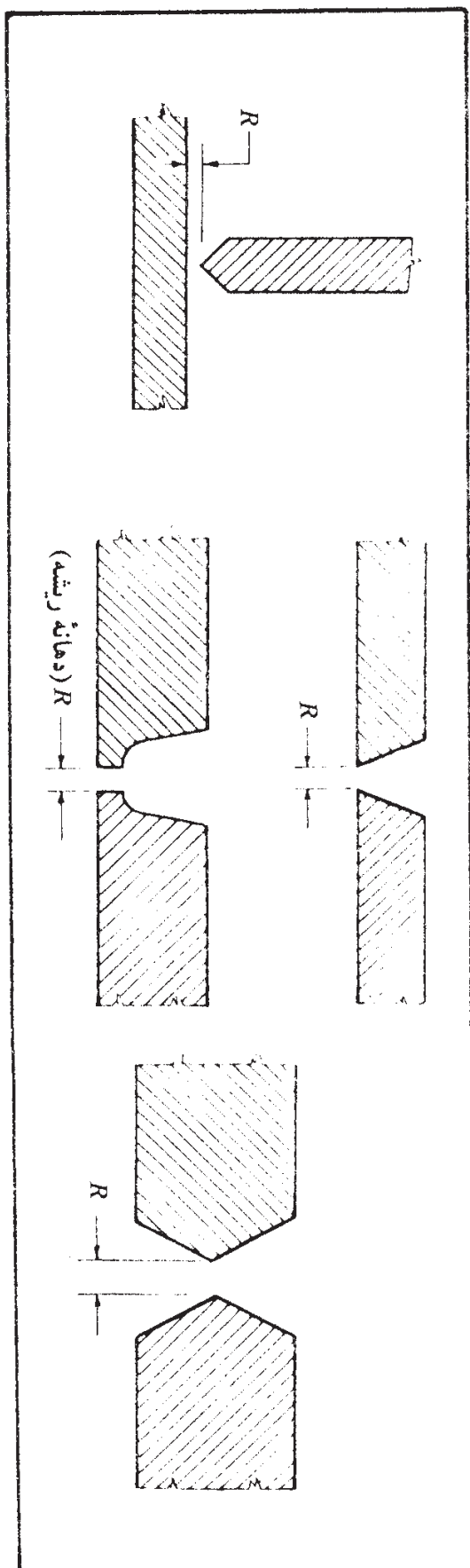
۴-۵ دهانه یا بازشدگی ریشه (R)

در شکل ۴ - ۵ دهانه ریشه (R) که همان فاصله بین دو لبه در محل ریشه درز می باشد، نشان داده شده است. دهانه ریشه برای این منظور به کار می رود 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.

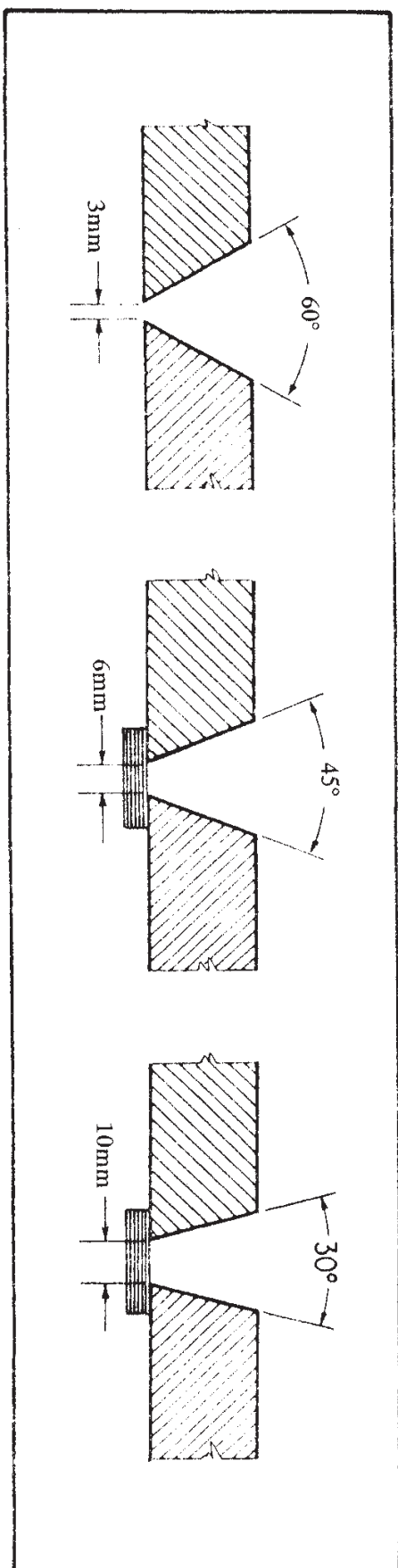
اگر دهانه ریشه خیلی کوچک باشد جوش ریشه خیلی مشکل خواهد بود و باید از الکتروودهای نازک استفاده شود و استفاده از الکتروودهای نازک باعث کندی کار خواهد شد. دهانه ریشه خیلی بزرگ بر کیفیت جوش اثری ندارد، ولی مصرف مصالح جوش را افزایش می دهد که نتیجه آن افزایش هزینه جوشکاری و اعوجاج حاصل از جوشکاری است. شکل ۴ - ۶ نشان می دهد، که چگونه وقتی زاویه پخی لبه کم می شود، دهانه ریشه باید افزایش یابد.

وقتی که دهانه ریشه زیاد می گردد، باید از تسمه پشت بند استفاده شود. هر سه وضعیت نشان داده شده در شکل ۴ - ۶ قابل قبول هستند و هر سه برای یک جوشکاری خوب مساعد می باشند، ترجیح یکی بر دوتای 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 می باشد.



شکل ۴ - ۵ - دهانه یا بازشدگی ریشه.



شکل ۴ - ۶ - تسمه پشت بند.

شکل ۴ - ۷ - الف، حالتی را نشان می‌دهد که فاصله لبه دو قطعه و همچنین زاویه پخی لبه‌ها کم می‌باشد. این حالت برای جوشکاری خوب نیست زیرا جوش بین دو لبه پل زده، تفاله و خاکستر جوشکاری پس از انجام عملیات جوشکاری در محل ریشه اتصال باقی می‌ماند و حذف آنها از روی جوش برای جوش طرف دوم وقت‌گیر خواهد بود.

شکل ۴ - ۷ - ب، نشان‌دهنده یک فرم صحیح لبه‌ها قبل از شروع به جوشکاری می‌باشد. این جوش باعث یک امتزاج و ترکیب خوب مصالح در ریشه خواهد شد. تولید خاکستر جوشکاری در این حالت به حداقل مقدار خود خواهد رسید.

شکل ۴ - ۷ - 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 بکنند از تسمه‌های فاصله‌دهنده با اندازه معین استفاده می‌کنند.

۴-۶ تسمه‌های پشت‌بند

وقتی که جوشکاری از یک طرف بوده و فاصله لبه‌ها نیز زیاد باشد، از تسمه‌های پشت‌بند استفاده می‌شود. تسمه‌های پشت‌بند در اشکال ۴ - ۸ - الف، ب و پ، نشان داده شده‌اند. این تسمه‌ها پس از انجام عملیات جوشکاری در جای خود باقی می‌مانند و جزیی از اتصال می‌شوند.

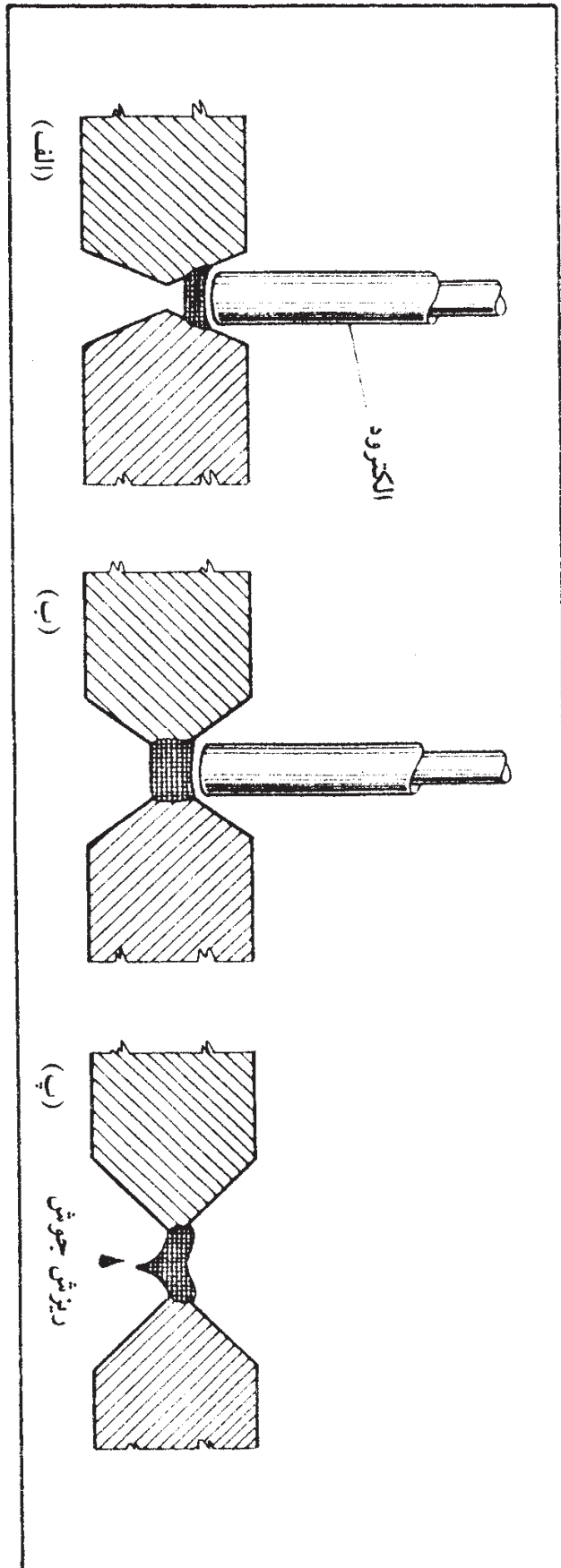
تسمه‌های فاصله‌دهنده اغلب در درزهای جناغی دورو (X) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این حالت قبل از جوشکاری طرف دوم، نیاز به سنگ زدن ریشه می‌باشد.

جنس تسمه‌های پشت‌بند با مصالح اصلی سازگار باشد. برای تثبیت این تسمه‌ها، قبل از انجام عمل جوشکاری از خال جوش‌های متناوب استفاده می‌شود. این خال جوش‌ها در هر دو طرف تسمه پشت‌بند به صورت چپ و راست داده می‌شوند تا ایجاد تنش‌های اضافی نکنند. در ضمن، این خال جوش‌ها نباید درست مقابل یکدیگر قرار گیرند (شکل ۴ - ۹).

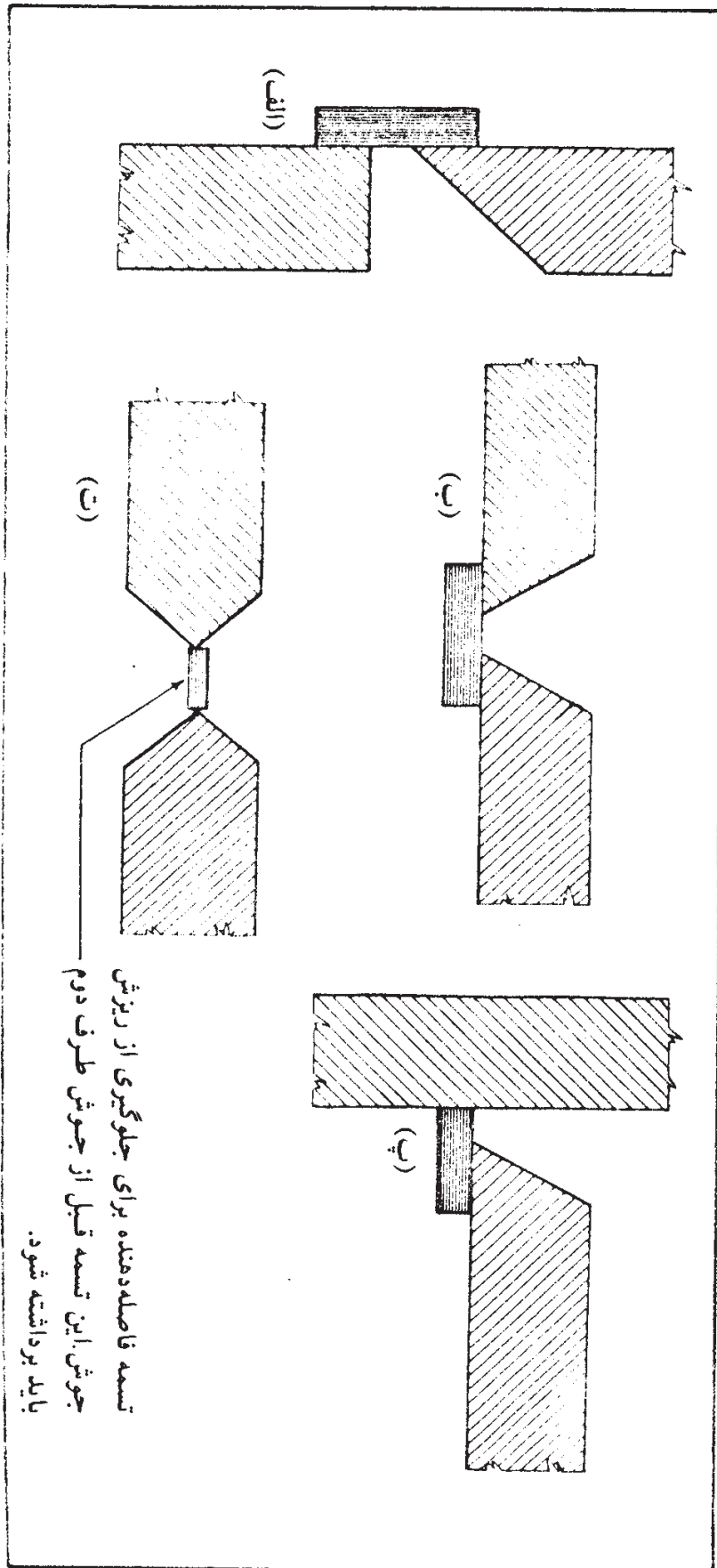
تسمه‌های پشت‌بند باید کاملاً به زیر ورق بچسبند و گرنه باعث به وجود آمدن تفاله جوشکاری در ناحیه ریشه جوش می‌شوند (شکل ۴ - ۱۰).

۴-۷ گرده جوش^{۱۳}

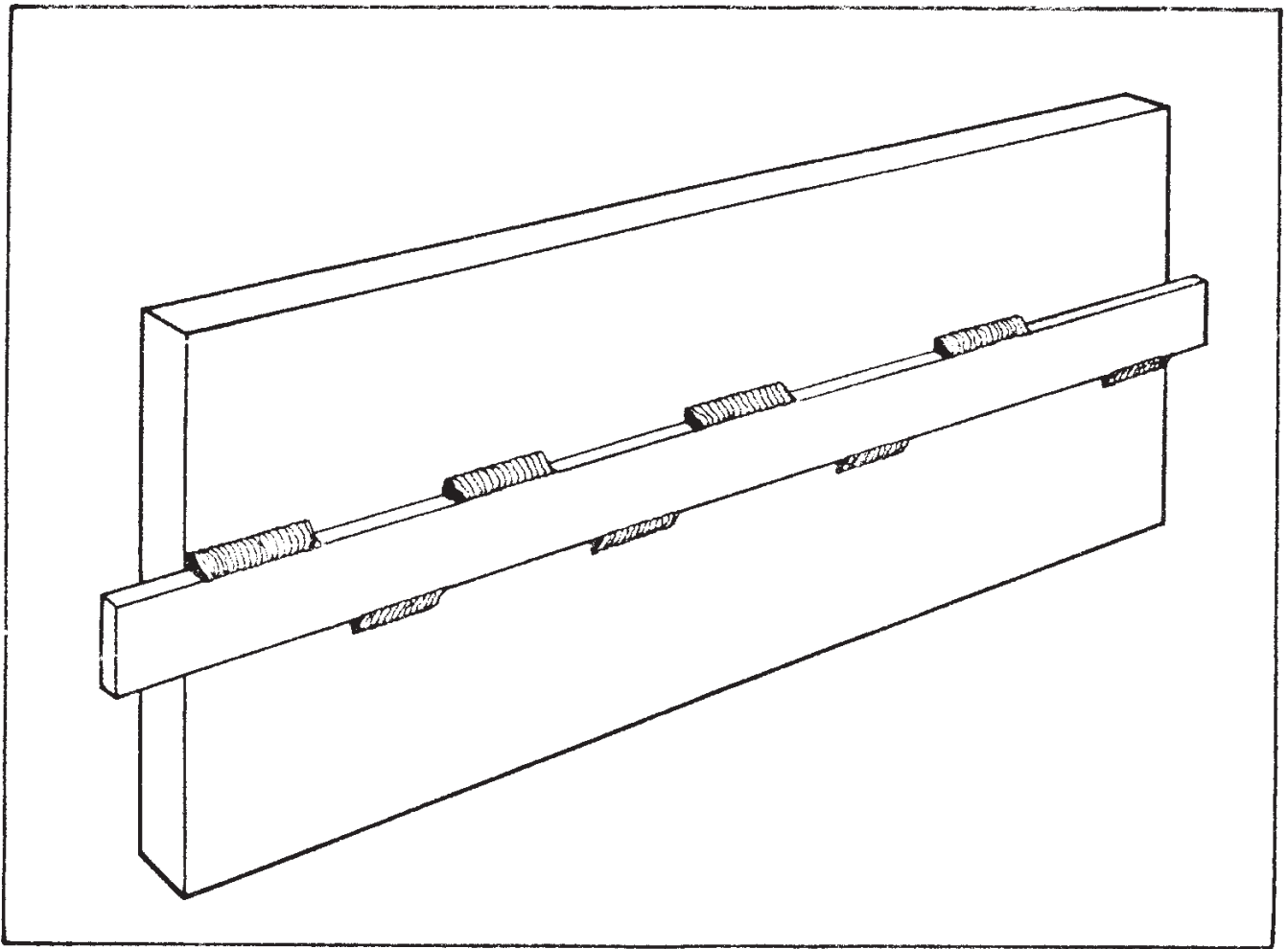
در درزهای لب به لب یک تحذب اسمی (تقریباً ۱/۵ میلی‌متر بالای سطح تراز) لازم است (شکل ۴ - ۱۱ - چپ).



شکل ۴ - ۷



شکل ۴ - ۸

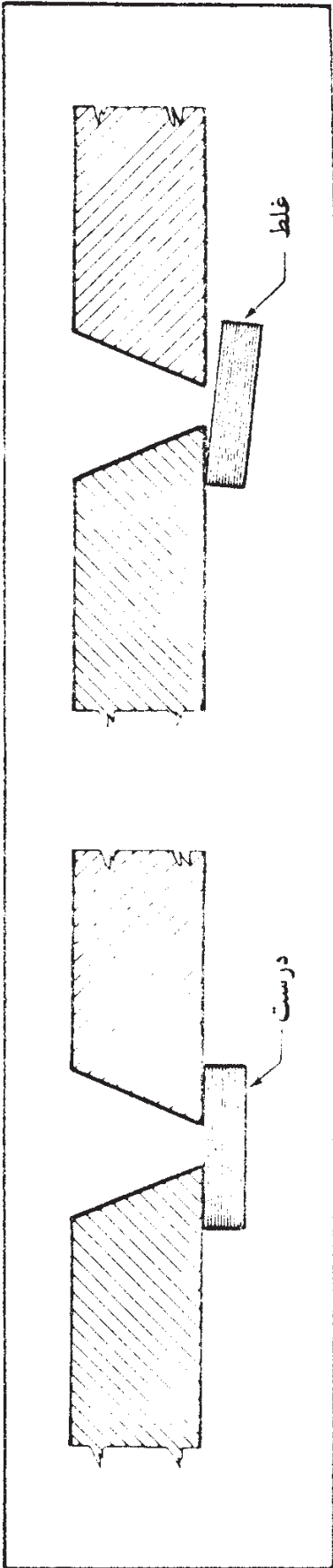


شکل ۴-۹ - اجرای خال جوش های متناوب برای اتصال تسمه پشت بند.

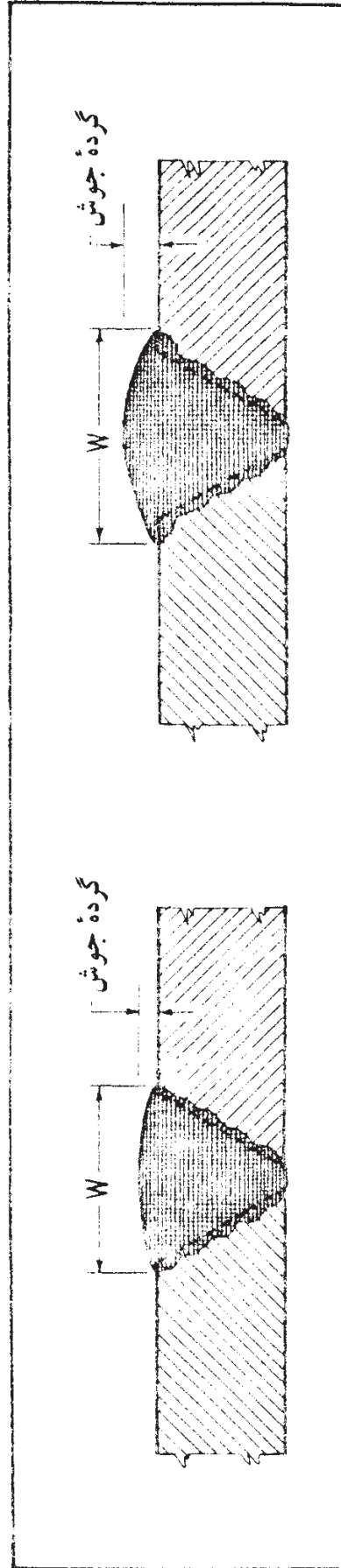
مقدار زیاد این تحدب فایده ای ندارد و باعث افزایش هزینه جوشکاری می شود (شکل ۴-۱۱ - راست). باید دقت شود که هم ارتفاع و هم پهناي گرده حداقل گردد.

۴-۸ آماده کردن لبه

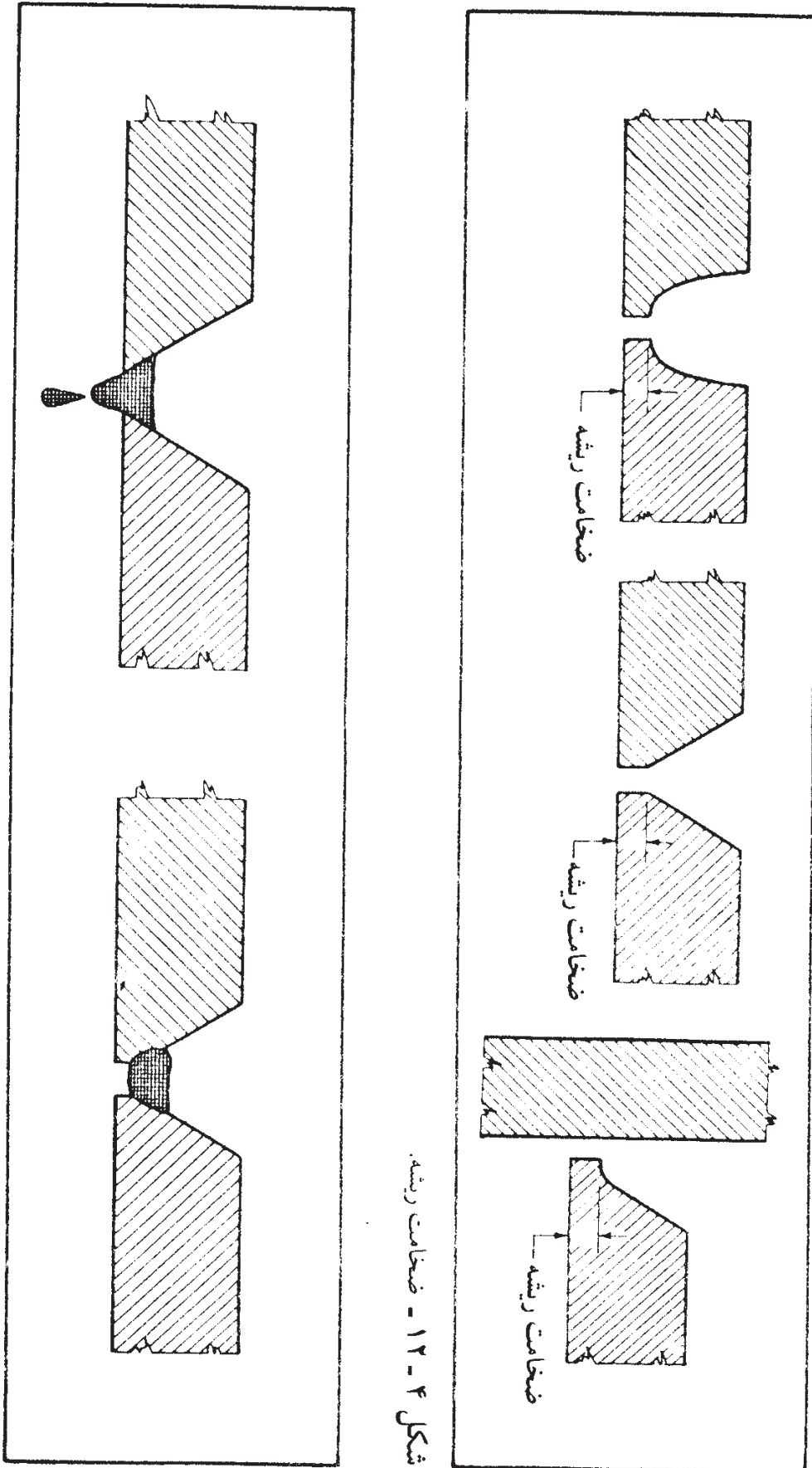
برای اینکه از سوختن ریشه جوش و همچنین از ریزش جوش جلوگیری شود، به جای اینکه لبه جوش در محل ریشه به صورت تیز باشد، ضخامتی برای آن قائل می شوند که آن را ضخامت ریشه^{۱۴} یا پیشانی می نامند (شکل ۴-۱۲). اگر لبه درز در محل ریشه تیز باشد، برای سوختن و ریزش خیلی مستعد است، مخصوصاً اگر فاصله لبه نیز مقداری زیاد باشد (شکل ۴-۱۳).



شکل ۱۰ - ۴



شکل ۱۱ - ۴



شکل ۱۲ - فضامت ریشه.

شکل ۱۳ - ۴

البته در آوردن ضخامت ریشه در عمل وقت‌گیر و پرکار است و به دو برش و یا یک برش و یک سنگ زدن نیاز دارد. وقتی منظور به دست آوردن جوش صد درصد (تمام قدرت) بوده و لبه نیز دارای ضخامت ریشه باشد، قبل از جوش روی دوم (پشت‌کار) احتیاج به سنگ زدن ریشه است. وقتی که از تسمه‌های پشت‌بند استفاده می‌شود، دیگر نباید ضخامتی برای ریشه در نظر گرفت (شکل ۴ - ۱۴). زیرا در این حالت یک فضای خالی پیدا می‌شود که در هنگام جوشکاری درون آن پر از گاز می‌گردد.

فلسفه اصلی از پخ زدن لبه ایجاد دسترسی برای جوشکاری در تمام ضخامت، و همچنین مطمئن شدن از ذوب و امتزاج کامل در تمام سطح مقطع می‌باشد. یک دسترسی خوب، با افزایش زاویه پخی، و افزایش دهانه ریشه به دست می‌آید که همیشه ترکیبی از آنها یک راه حل خوب به دست می‌دهد (شکل ۴ - ۱۵).

زاویه پخی بستگی به محل کار و زاویه‌ای که الکتروود در محل کار می‌تواند داشته باشد، دارد (شکل ۴ - ۱۶). همان طوری که در شکل نشان داده شده، زاویه پخی حداقل برابر با 45° توصیه می‌شود.

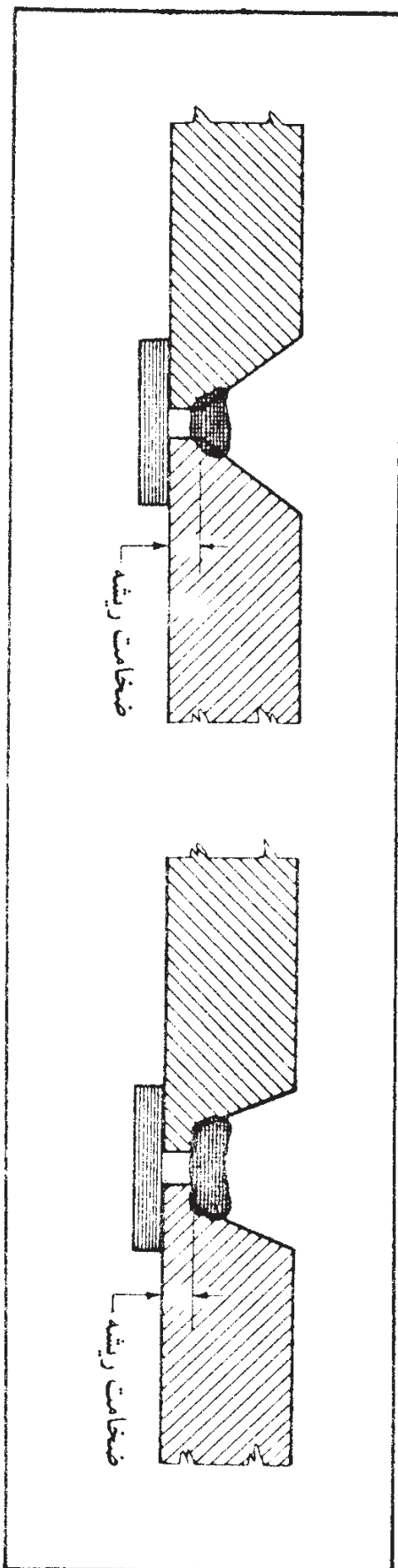
درزهای لاله‌ای (U) و نیم‌لاله‌ای (J)

درزهای لاله‌ای و نیم‌لاله‌ای برای جوشکاری بسیار عالی هستند ولی هزینه ساخت آنها گران تمام می‌شود (شکل ۴ - ۱۷). این اشکال نیز احتیاج به ضخامت ریشه و در نتیجه سنگ زدن ریشه از پشت دارند.

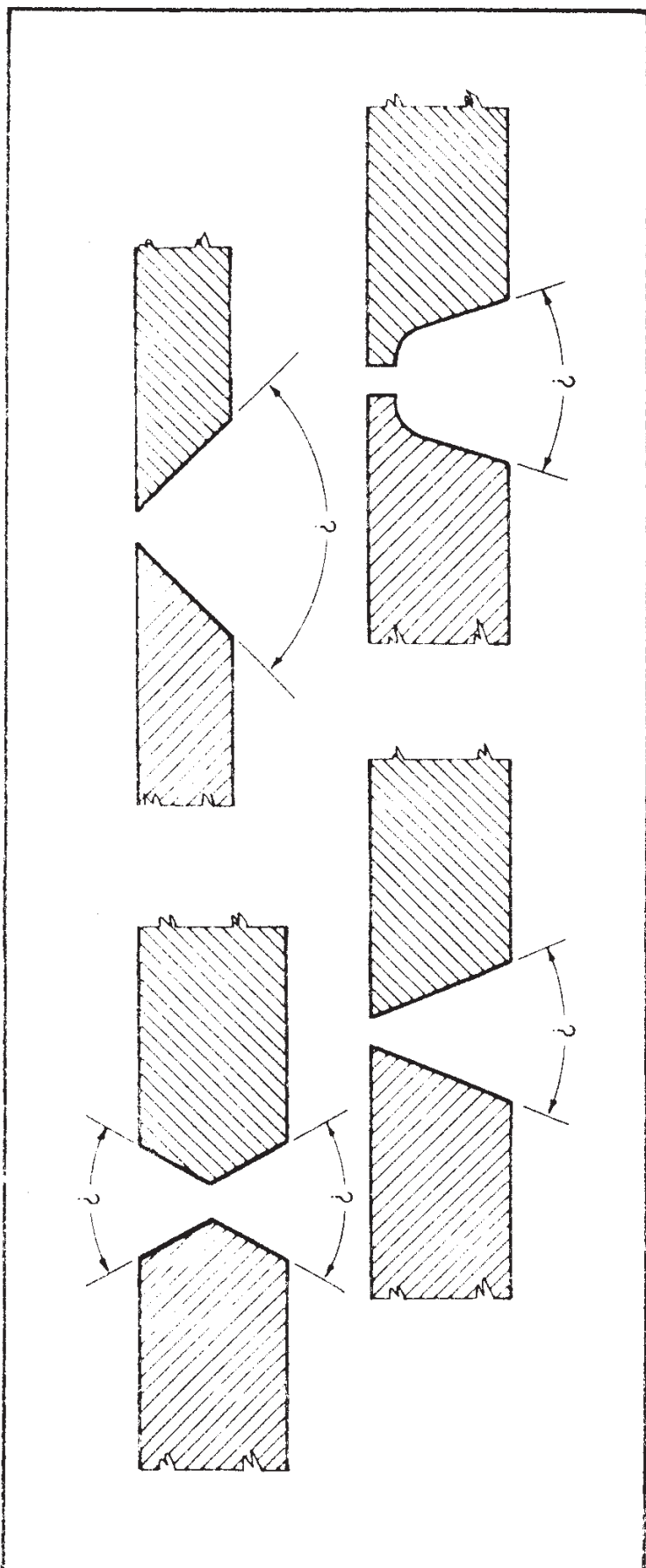
۴-۹ سنگ زدن ریشه از پشت (شیارزنی پشت)^{۱۵}

برای دستیابی به یک ذوب و امتزاج کامل در تمام مقطع جوش و در نتیجه یک جوش صد درصد (تمام قدرت) لازم است در تمام انواع درزها (به غیر از درز جناغی (V) و نیم‌جناغی (V)) با لبه تیز و تسمه پشت‌بند، طرف دوم یا پشت‌کار نیز جوش شود. قبل از جوش پشت‌کار باید ریشه جوش سنگ زده شود، این کار به وسیله تراش دادن یا سنگ زدن صورت می‌گیرد. بدون تراش ریشه جوش، جوش طرف دوم نفوذ کامل نخواهد داشت (شکل ۴ - ۱۸).

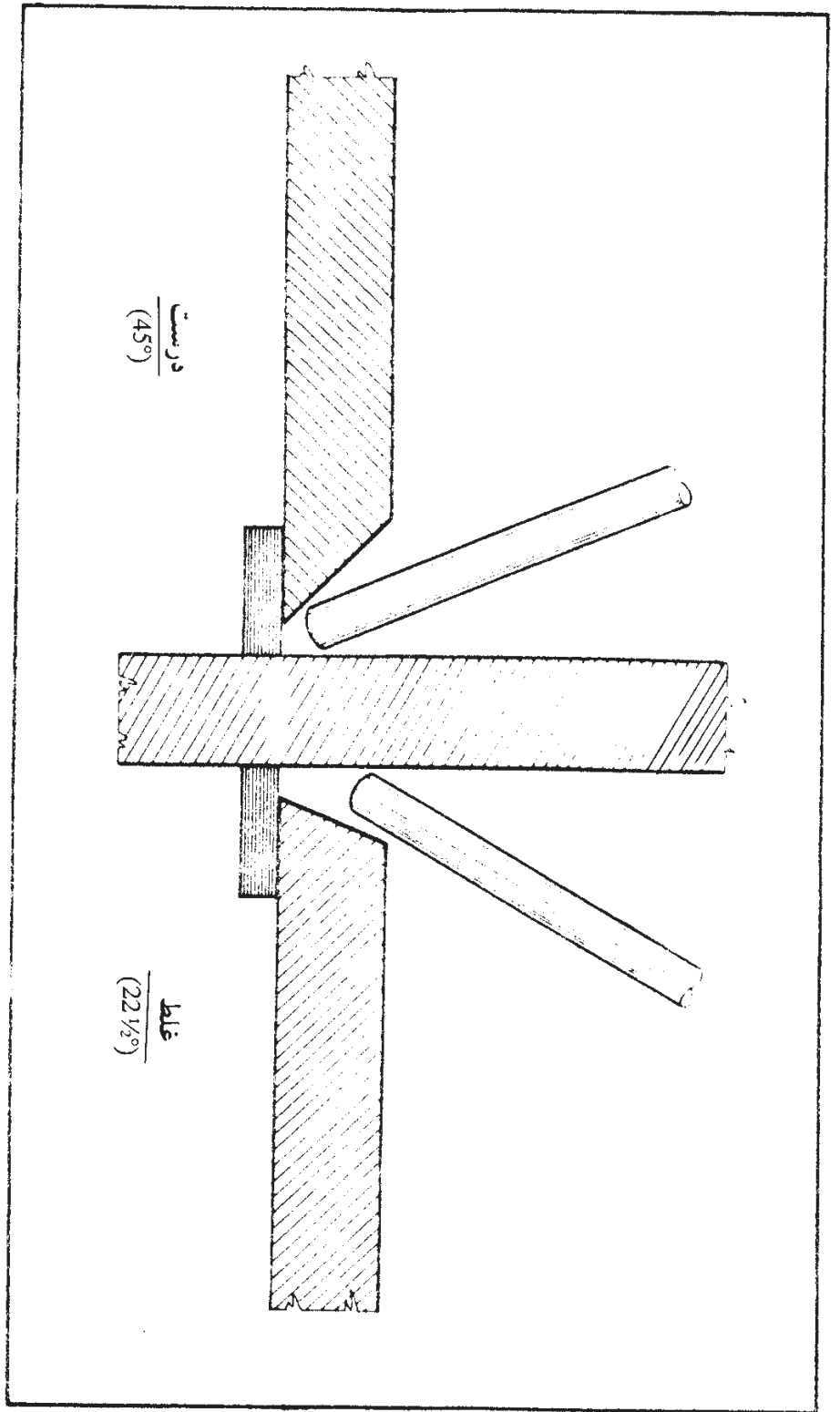
تراش ریشه آنقدر باید عمیق باشد تا مصالح اصلی جوش طرف اول ظاهر گردند. شکل تراش طوری باید باشد که الکتروود برای جوشکاری بتواند داخل آن گردد (شکل ۴ - ۱۹).



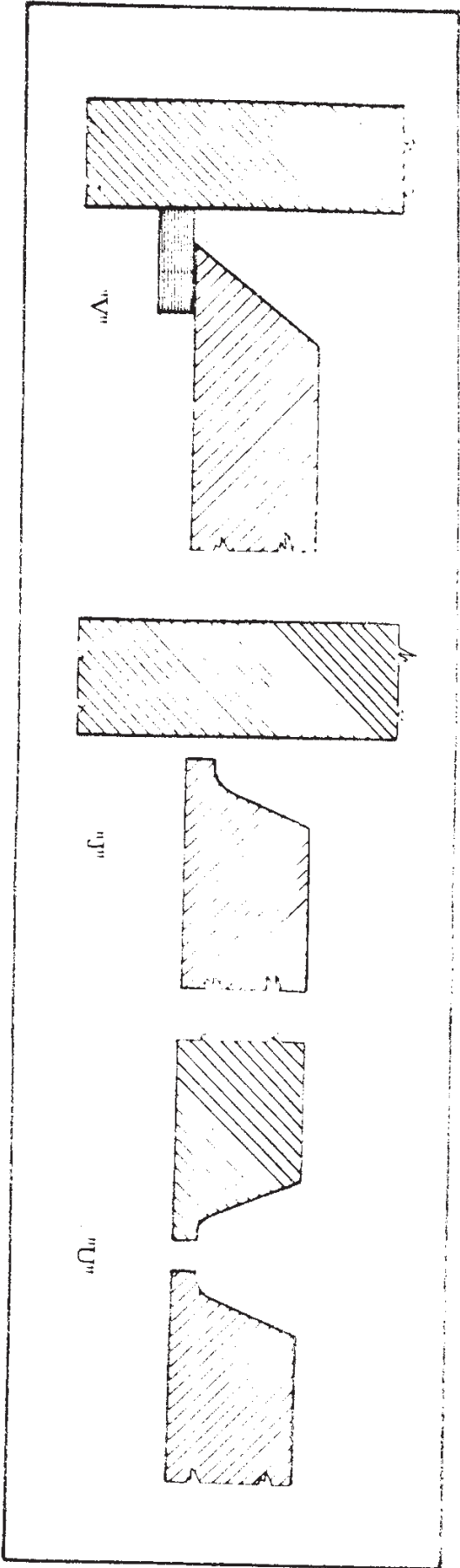
شکل ۴ - ۱۴



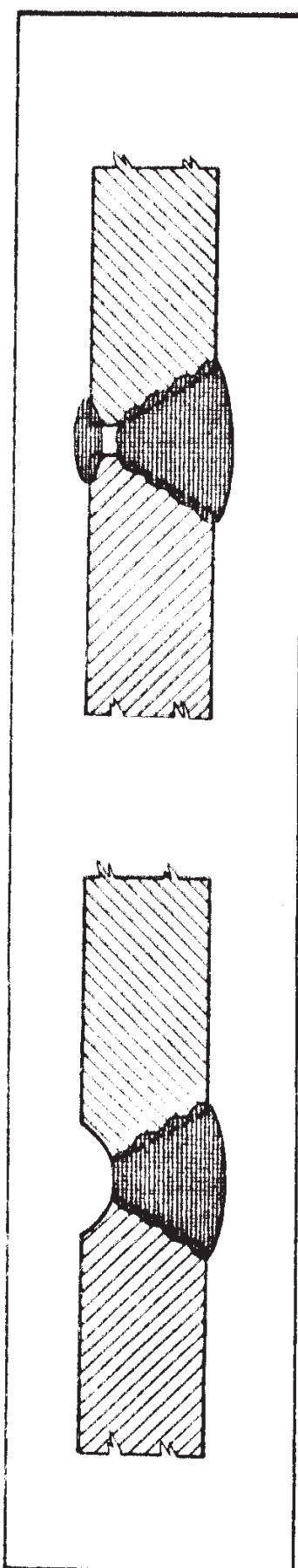
شکل ۴ - ۱۵ - زاویه یخی



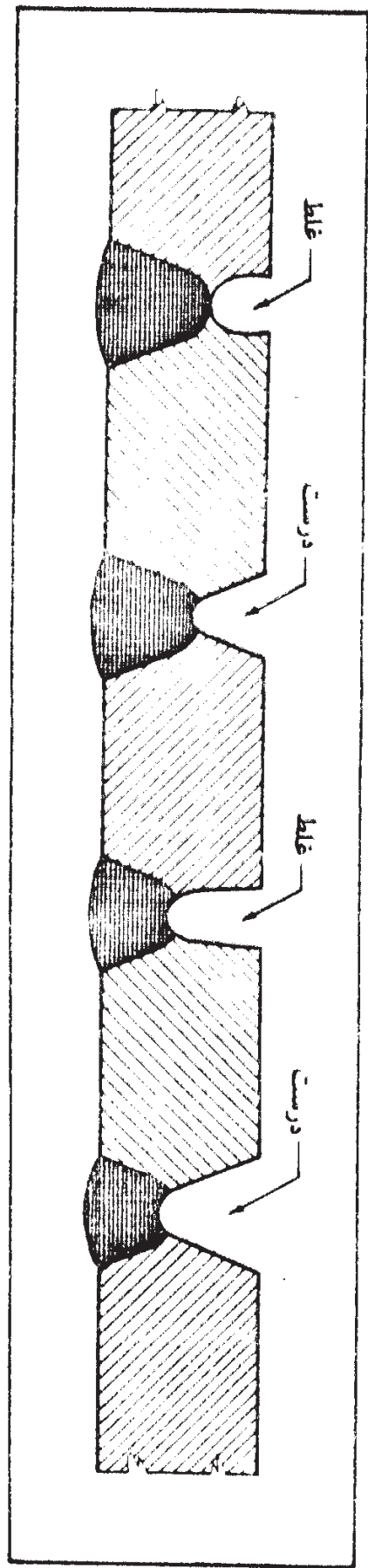
شکل ۱۴-۴



شکل ۱۷-۴



شکل ۴ - ۱۸ - شیارزنی از پشت.



شکل ۴ - ۱۹

جوشکاری و جوش پذیری

۵-۱ معرفی

به طور معمول درزی که به خوبی طرح و جوش شده باشد، نیاز به روش خاصی برای جلوگیری از بروز ترک در حین اجرا و بهره برداری ندارد. لیکن با افزایش ضخامت ورق های مصرفی و همچنین استفاده از فولادهای آلیاژدار، نیاز به روش های خاص جوشکاری افزایش می یابد.

در این فصل ابتدا عوامل مؤثر در ترک جوش مورد بررسی قرار می گیرد و سپس دستورالعمل جوشکاری^۱ برای اصلاح یا جلوگیری از مسئله ترک ارائه می شود. در قسمت بعد روش پیش گرمایش برای حذف و یا جلوگیری از وقوع ترک معرفی می گردد. در این بحث روش جدیدی برای تعیین دمای پیش گرمایش بر مبنای گرمای حاصل از جوش، سرعت بحرانی سرد شدن (که با استفاده از شیمی فولاد تعیین می گردد)، و هندسه جوش (به خصوص ضخامت ورق) معرفی می گردد.

۵-۲ جوش پذیری

اکثر فولادها را می توان با روش جوش قوسی با درزهای سالم و قوی، جوش داد. جوش پذیری یک فلز به صورت قابلیت سهولت در حصول یک جوش سالم و بدون ترک تعریف می شود. یک نوع فولاد وقتی قابل جوش نامیده می شود که بدون مخارج اضافی و مشکلات جنبی، آن را بتوان جوش نمود.

بعضی از فولادها برای جوشکاری با سرعت زیاد، مناسبتر از سایر فولادها می باشند. چون

جوش ترکیبی از فلز الکتروود و فلز پایه است، برای حصول یک جوش خوب، تعیین ترکیبات فلز جوش و فلز پایه، هر دو، لازم می‌باشد. در صورت استفاده از ولتاژ زیاد برای افزایش سرعت جوشکاری، میزان امتزاج فلز مبنا در جوش بیشتر می‌شود.

ترکیبات غیرآهنی موجود در فولاد، عوامل عمده مؤثر بر جوش پذیری آن می‌باشند. در جدول ۵-۱ حدود متعارف این ترکیبات برای حصول حداکثر سرعت جوشکاری و اقتصاد مناسب کار ارائه شده است. فولادهایی که ترکیبات آنها بیشتر از مقادیر مندرج در این جدول است، احتیاج به الکتروودها و دستورالعمل‌های خاص جوشکاری دارند.

جدول ۵-۱ حدود مناسب ترکیبات فولاد برای حصول قابلیت جوشکاری مناسب.

عنصر		دامنه مناسب (درصد)	در صورتی که مقدار هریک از عناصر از مقادیر زیر تجاوز نماید، احتیاج به روش‌ها و توجهات خاص در هنگام جوشکاری دارد
کربن	C	۰/۰۶~۰/۲۵	۰/۳۵
منگنز	Mn	۰/۳۵~۰/۸	۱/۴
سیلیسیم	Si	۰/۱ (حداکثر)	۰/۳
سولفور	S	۰/۰۳۵ (حداکثر)	۰/۰۵
فسفر	P	۰/۰۳ (حداکثر)	۰/۰۴

ترکیبات فولادهای نرمه تجارتي غالباً در محدوده‌های ذکر شده در جدول ۵-۱ قرار دارد. لیکن در جوشکاری فولادهای پر ضخامت، حتی اگر از نوع فولادهای نرمه باشند، نیاز به دستورالعمل‌ها و توجهات خاص می‌باشد.

میزان بعضی از ترکیبات موجود در فولادهای پر مقاومت و آلیاژدار از مقادیر جدول ۵-۱ تجاوز می‌نماید، در نتیجه جوشکاری آنها نیز نیاز به دستورالعمل‌ها و توجهات خاص دارد. در هنگام جوشکاری ورق‌های ضخیم و یا فولادهای پر مقاومت و آلیاژدار، نیاز به دستورالعمل‌های خاص جوشکاری برای جلوگیری از وقوع ترک می‌باشد. این دستورالعمل‌ها دربرگیرنده یک و یا تمام عوامل مذکور در زیر می‌باشند:

۱. شکل و هندسه درز جوش؛

۲. حداقل نفوذ به منظور جلوگیری از رقیق‌شدگی^۲ فلز جوش با عناصر آلیاژی ورق؛

۳. پیش‌گرمایش، درجه حرارت کنترل‌شده برای عبورهای (پاس‌های) میانی، و کنترل حرارت القایی از عمل جوشکاری به‌منظور به‌تأخیر انداختن سرعت سرد شدن و کاهش تنش‌های انقباضی.

دستورالعمل‌های جوشکاری پایه برمبنای نتایج تجزیه شیمیایی فولاد
 استانداردهای منتشرشده برای دستورالعمل‌های جوشکاری معمولاً برای شرایط عادی کار و فولاد نرمه با عناصر شیمیایی با نسبت‌های موجود در محدودهٔ جدول ۵ - ۱ می‌باشند. وقتی نتایج تجزیه شیمیایی یک فولاد وجود عناصری با نسبت بزرگتر از مقادیر مندرج در جدول ۵ - ۱ را نشان دهد، معمولاً دستورالعمل جوشکاری برمبنای مقادیر حدی آن عنصر انتخاب می‌شود. لیکن با توجه به‌اینکه خواص حرارتی فولاد به‌مقدار زیادی با وضعیت حدی آن عنصر متفاوت است، عملاً ممکن است به‌دستورالعمل خاص نیاز نباشد و یا احیاناً لازم گردد اصلاح مختصری در دستورالعمل استاندارد به‌کار گرفته شود. برای کسب اقتصاد و کیفیت مطلوب تحت شرایط غیرمتعارف، دستورالعمل جوشکاری باید برمبنای تجزیه شیمیایی واقعی فولاد انتخاب گردد تا مقادیر حدی حداکثر.

۵-۳ کیفیت جوش

هدف اصلی از ارائهٔ یک دستورالعمل جوشکاری، اتصال قطعات «به‌حد لازم» با حداکثر کارایی ممکن و حداقل هزینه می‌باشد. کلمهٔ «به‌حد لازم»^۳ اندازه و کیفیت جوشی را می‌رساند که با احتیاجات بهره‌برداری سازگار است. تمهیدات بیش از حد برای کسب کیفیت غیرضروری، نه تنها هیچ فایدهٔ عملی دربر ندارد، بلکه باعث افزایش هزینه‌ها نیز می‌گردد.

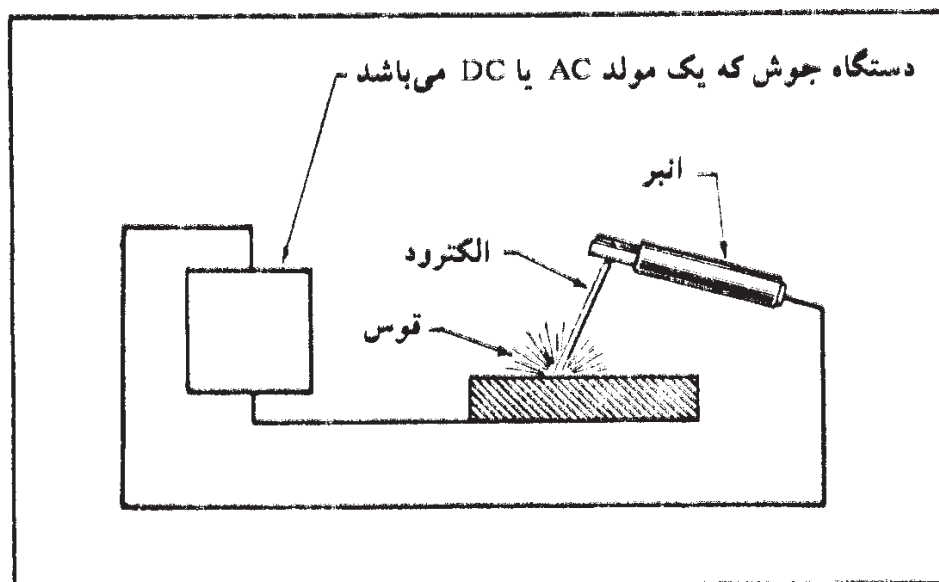
۵-۴ جوش قوسی تحت حفاظ

به‌منظور کسب احساس فیزیکی از جوش‌پذیری فولاد، داشتن اطلاعات پایه در مورد نحوهٔ جوشکاری ضروری است.

جوشکاری عبارت است از یکپارچه کردن دو قطعه فلز با برقراری یک امتزاج متالورژیک بین آنها. برای حصول این امتزاج، از فرآیندهای متفاوتی نظیر فشار و یا ذوب می‌توان استفاده نمود. جوش قوسی^۴ یک فرآیند ذوبی است. طی این فرآیند، با ایجاد درجه حرارت مناسب، محدوده‌ای از

دو قطعه فلز به حال مذاب درآمده و پس از امتزاج با یکدیگر، با سرد شدن تدریجی به صورت جامد درآمده و یکپارچگی کامل می‌گردد.

در جوش قوسی، درجه حرارت لازم برای ذوب، با برقراری قوس الکتریکی به وجود می‌آید. قوس الکتریکی بین قطعه مورد جوش (فلز پایه) و یک مفتول که الکتروود نامیده می‌شود، برقرار می‌گردد. با نزدیک کردن نوک الکتروود به فلز پایه، قوسی با درجه حرارت ۳۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در نوک الکتروود به وجود می‌آید. این درجه حرارت زیاد، مفتول الکتروود و قسمتی از فلز پایه را ذوب کرده و یک حوضچه مذاب در نوک الکتروود به وجود می‌آید که به آن حوضچه یا چاله ذوب^۵ می‌گویند. با سرد شدن ناحیه ذوب‌شده، دو قطعه مبنای یکدیگر یکپارچه شده و یک قطعه همگن به وجود می‌آید. با حرکت الکتروود در امتداد درز دو قطعه، عمل جوش در طول مورد نظر تکمیل می‌گردد.



قوس الکتریکی یک تخلیه الکتریکی یا جرقه می‌باشد که در شکاف موجود در یک مدار الکتریکی به وجود می‌آید. مقاومت هوا یا گاز موجود در شکاف، تمام انرژی الکتریکی را به حرارت بدل می‌نماید. دستگاه مولد الکتریکی دارای دو مشخصه آمپر^۶ و ولتاژ^۷ می‌باشد. مقدار انرژی، حاصل ضرب این دو کمیت است و بر حسب وات یا کیلووات بیان می‌گردد. انرژی مصرفی تابعی از نوع جریان [AC (متناوب) یا DC (یکسو)]، روکش الکتروود، و بسیاری عوامل دیگر می‌باشد. به منظور افزایش کیفیت جوش و برقراری کامل پدیده قوس الکتریکی، جوش قوسی تحت

5- crater

6- ampere

7- voltage

حفاظت یک عامل ثالث انجام می‌گیرد. عامل محافظ می‌تواند به یکی از صور زیر باشد:

۱. روکش روی الکتروود؛

۲. گاز؛

۳. پودر؛

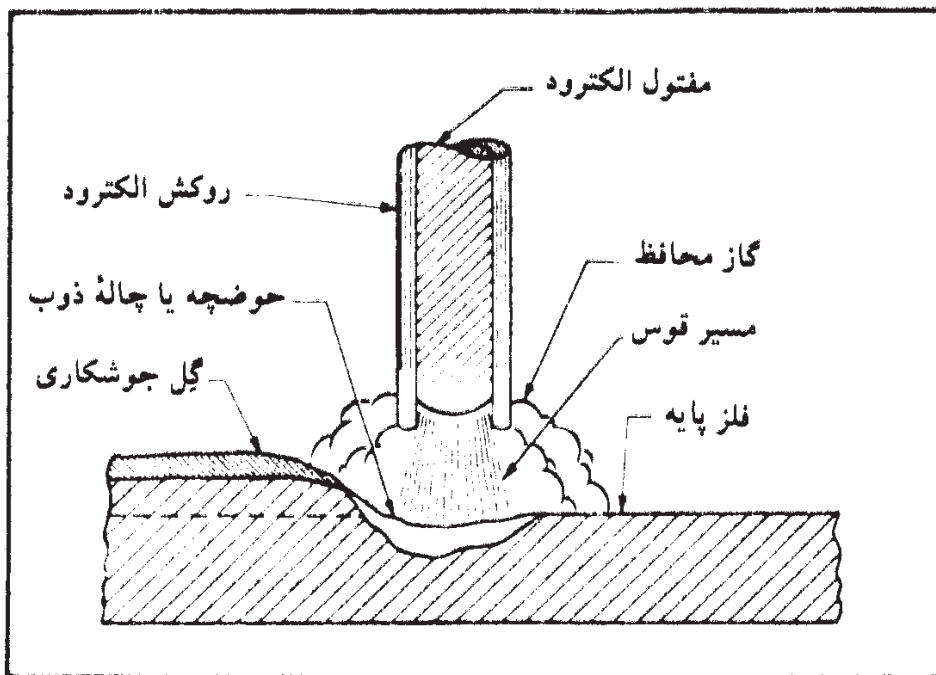
۴. نمک‌های فلزی در مغزه الکتروود.

نوع حفاظ انتخابی بستگی به تکنیک جوشکاری دارد. در جوشکاری دستی اغلب روکش الکتروود این وظیفه را به عهده دارد، لیکن در جوشکاری اتوماتیک روش‌های دیگر حفاظت مورد استفاده قرار می‌گیرند. با هر روشی که به کار گرفته شود، وظایف عامل محافظ عبارتند از:

۱. محافظت فلز مذاب در مقابل هوا با استفاده از گاز، بخار و یا گِل جوشکاری؛

۲. اضافه نمودن آلیاژهای خاص به مواد مذاب؛

۳. کنترل ذوب کامل مفتول الکتروود و برقراری مطلوبتر قوس الکتریک و استفاده بهینه از انرژی.



جوش قوسی نیاز به برقراری یک جریان پایدار از نقطه نظر آمپر و ولتاژ دارد. جریان می‌تواند به صورت متناوب (AC) و یا یکسو (DC) باشد. میزان ولتاژ و آمپر جریان باید کاملاً قابل کنترل باشند.

قسمت ۱: ترک خوردگی جوش

۵-۵ ترک جوش

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

۱. وقوع ترک در نوار (زنجیره) جوش (به صورت ظاهری یا داخلی)^۸؛
۲. ترک در ناحیه‌ای از فلز پایه که تحت تأثیر دمای جوش، تغییر حالت متالورژیک می‌دهد. به این ناحیه، ناحیه تفتیده می‌گویند (ترک در زیر نوار جوش)^۹؛
۳. ترک در جوش در هنگام بهره‌برداری (ترک مقاومتی).

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 (زنجیره) جوش؛ با سرد شدن، جوش تمایل به انقباض پیدا می‌کند. جوش با سطح محدب در گلوی خود مصالح کافی برای مقابله با کشش‌های دو محوری را دارد. لیکن در نوار جوش با سطح مقعر، تنش‌های کششی عرضی قابل توجهی به وجود می‌آید که می‌تواند یک ترک طولی در زنجیره جوش به وجود آورد.
- در یک جوش با نفوذ زیاد که عمق آن بیش از عرضش باشد، در صورت گیرداری درز، وقوع ترک‌های داخلی محتمل می‌باشد.
- در صورت بالا 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. هرچه میزان کربن و آلیاژ در فلز پایه زیاد باشد، کاهش در شکل‌پذیری فلز جوش افزایش یافته و احتمال وقوع ترک بیشتر می‌شود.
- ۴ – دخول حفرات هیدروژن از روکش الکتروود در نوار جوش، باعث به وجود آمدن رطوبت در سطح فلز پایه شده و در نتیجه آلودگی این سطح می‌شود.
- ۵ – سرد شدن سریع جوش که آثار ۳ و ۴ را افزایش می‌دهد.

8- bead crack

9- under bead crack

10- bead shape

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

- ۱ - میزان کربن یا آلیاژ زیاد که باعث افزایش قابلیت سخت‌شدگی و کاهش شکل‌پذیری حوزه تأثیر حرارت می‌شوند. (در فولادی که قابلیت سخت‌شدگی ندارد، امکان وقوع ترک زیر نوار جوش وجود ندارد).
- ۲ - تردی هیدروژنی^{۱۱} ناحیه ذوب‌شد: به علت دخول هیدروژن از فلز جوش.
- ۳ - سرعت سرد شدن که بر 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^{۱۲} نمی‌خورد، لیکن در صورتی که به خوبی طرح نشده باشد، وقوع ترک مقاومتی در آن امکان‌پذیر است. وقوع دو نوع خرابی در جوش در هنگام بهره‌برداری محتمل است و باید توسط طراح مدنظر قرار گیرد:

- ۱ - تردی ناشی از زخم^{۱۳} که باعث شکست^{۱۴} جوش یا فلز پایه در حوزه تأثیر حرارتی، 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. شکل نوار (زنجیره): 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 چندپاسه 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 پر مقاومت هرچند که باعث کاهش هزینه فولاد می‌گردد،

11- Hydrogen embrittlement

12- crack

13- notch toughness

14- break

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. دخول هیدروژن: برای جلوگیری از دخول حباب‌های هیدروژن، از مصالح جوش 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 حوزه تأثیر حرارت^{۱۵} می‌کاهد، می‌گردد. این دو عامل از عوامل مهم بروز ترک در جوش می‌باشند.

۵-۶ خال جوش

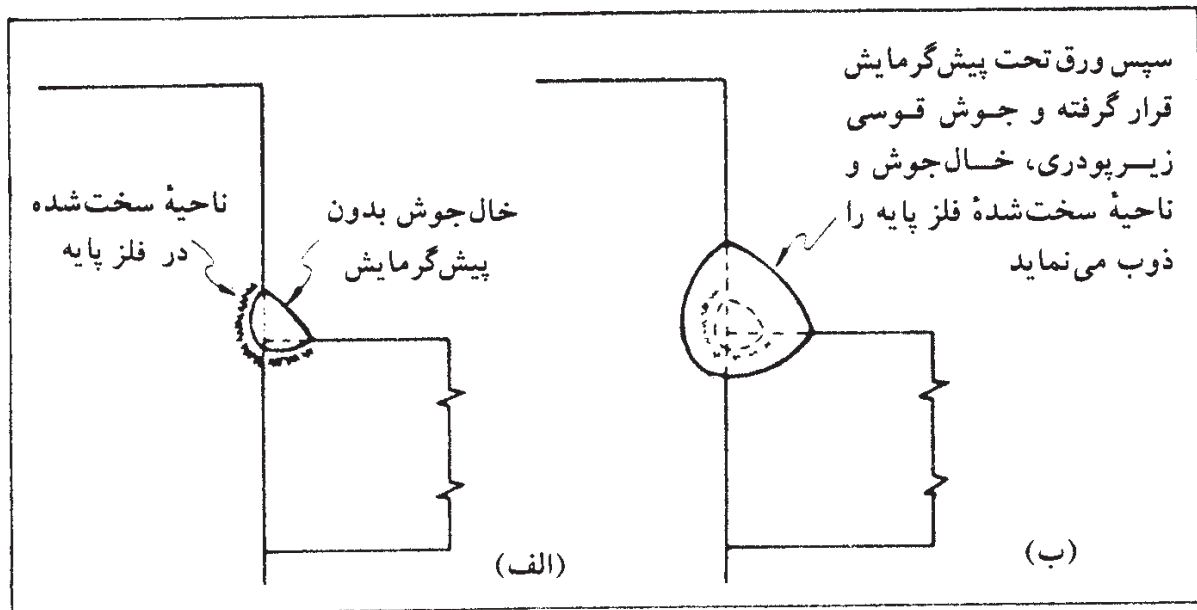
آیین‌نامه^{۱۶} AWS مقرر می‌دارد هر خال جوشی که بعداً جزیی از جوش اصلی می‌شود، باید با همان کیفیت جوش اصلی (شامل هر نوع پیش‌گرمایش) جوش گردد. در صورتی که خال جوش هنگام جوش اصلی کاملاً ذوب گردد، لزومی به منظور کردن تدابیر خاص در هنگام خال جوش نیست، مگر اینکه ضخامت ورق‌ها زیاد بوده و احتمالاً ترک خوردگی در آن وجود داشته باشد (شکل ۵ - ۱). 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 زنجیره جوش). توصیه می‌گردد که برای خال جوش ورق‌های ضخیمتر از ۲۵ میلی‌متر، از مصالح جوش کم‌هیدروژن استفاده گردد.

۵-۷ ورق‌های نازک

جوش‌هایی که ورق‌های نازک را متصل می‌کنند، به ندرت تمایل به ترک از خود نشان می‌دهند. حرارتی که در هنگام جوشکاری به ورق انتقال داده می‌شود و جرم کم ورق، سرعت سرد شدن را کاهش می‌دهد. این موضوع به علاوه تنش‌های داخلی کاهش یافته ناشی از نسبت مناسب گلو

15- heat affected zone

16- AWS=American Welding Society



شکل ۵ - ۱

به ضخامت ورق، و انعطاف‌پذیری خوب ورق نازک در مقابل انقباض، از شدت تأثیر عوامل ترک‌دهنده می‌کاهد. در جوشکاری ورق‌های نازک، ترک‌خوردگی تقریباً هیچ‌وقت مشکل مهمی نمی‌باشد، مگر اینکه میزان کربن و آلیاژ فولاد به‌طور غیر معمولی زیاد باشد.

۵-۸ 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 موردنظر، 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.

به علت هزینه، پیش‌گرمایش باید به خوبی تعریف شده باشد. به عنوان مثال، برای جوش گوشه ورق نازک جان به ورق ضخیم بال، پیش‌گرمایشی به اندازه پیش‌گرمایش جوش لب‌به‌لب دو ورق ضخیم با درجه گیرداری زیاد، لازم نیست.

مطابق شکل ۵-۲، برای کاهش تنش‌های انقباضی در جوشکاری ورق‌های ضخیم، لازم است فاصله‌ای حدود $0/8$ تا $1/6$ میلی‌متر، بین دو ورق ایجاد گردد. این فاصله را می‌توان به کمک میلگرد نرمه ایجاد نمود. برش مضرس لبه‌ها با دندان‌هایی در همین حدود، می‌تواند تأمین‌کننده این فاصله باشد.

جوش گوشه

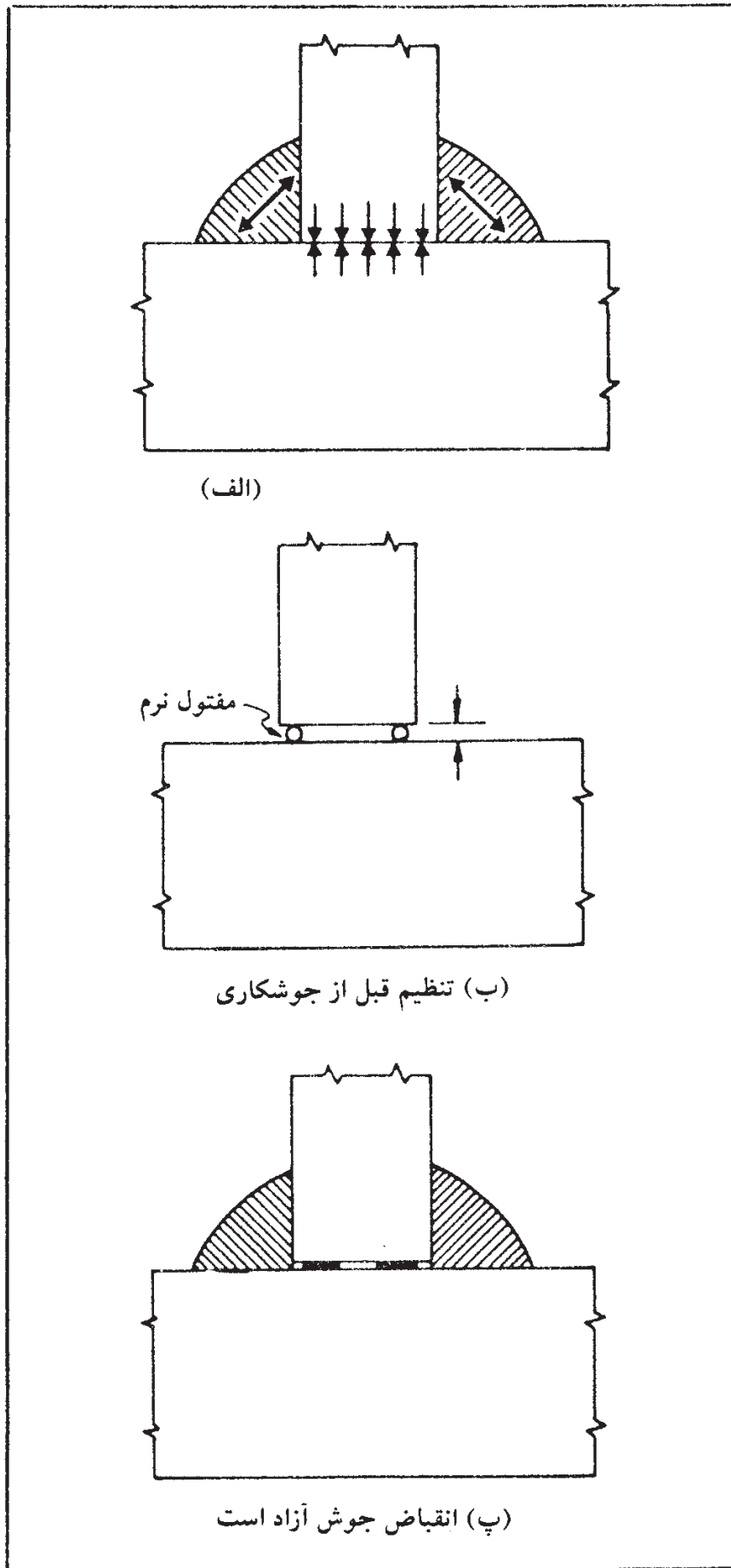
مطلب اخیر که در خصوص فاصله دادن بین لبه‌های در حال تماس ورق‌ها ارائه شد، مختص جوش گوشه بود.

در شکل ۵-۳ 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.

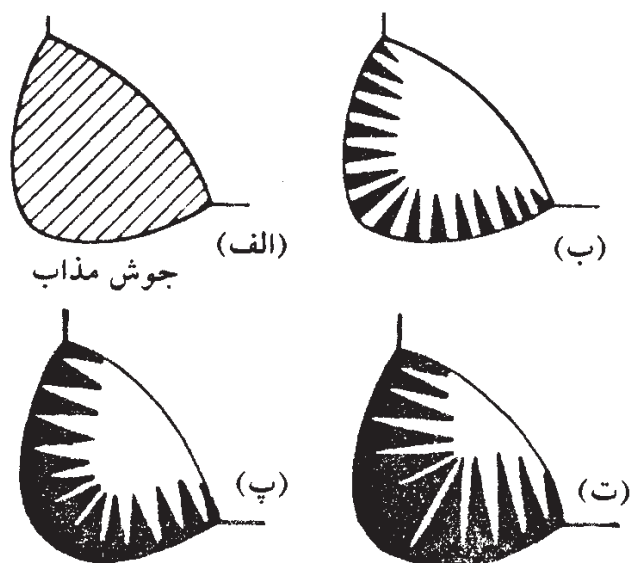
حال به مقایسه دو نوار جوش محدب و مقعر مطابق شکل ۵-۴ می‌پردازیم. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، مقایسه ظاهری، اندازه جوش مقعر را بزرگتر نشان می‌دهد. لیکن بررسی مقطع دو جوش نشان می‌دهد که جوش محدب دارای ضخامت گلوی بزرگتری می‌باشد. بنابراین جوش محدب با مصرف مصالح جوش کمتر، مقاومت بزرگتری دارا می‌باشد.

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

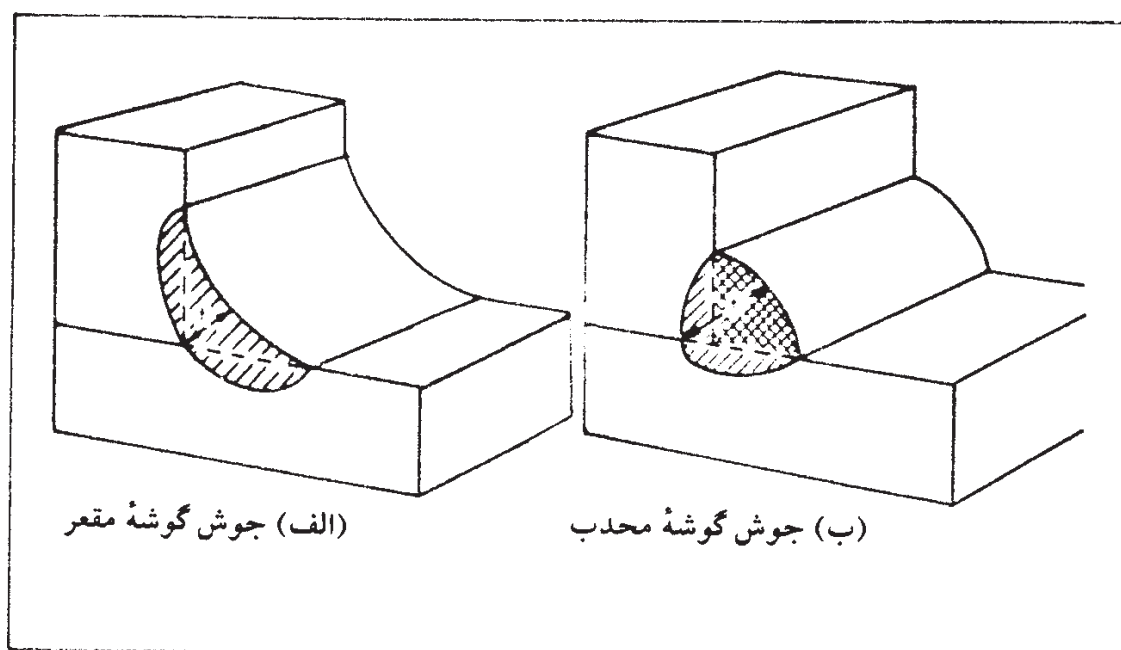
وقتی که یک جوش مقعر خنک و منقبض می‌شود، سطح خارجی آن به کشش می‌افتد (شکل ۵-۵-الف). این کشش می‌تواند در جوش ایجاد ترک نماید. با استفاده از جوش محدب می‌توان از این ترک جلوگیری نمود. همان‌طور که شکل ۵-۵-ب نشان می‌دهد، این جوش می‌تواند بدون ایجاد کشش سطحی، سرد و منقبض گردد. در جوش‌های گوشه چندپاسه، فقط پاس اول (جوش ریشه) لازم است به صورت محدب اجرا گردد. به همین علت اگر در طراحی جریان یکنواخت‌تر



شکل ۵-۲



شکل ۳-۵

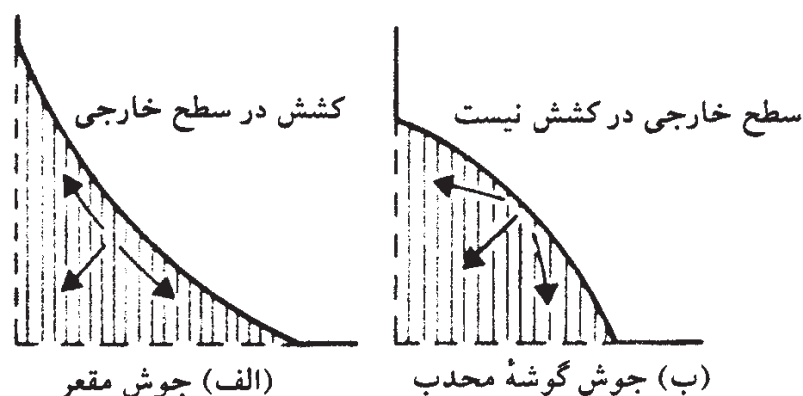


شکل ۴-۵

تنش لازم باشد از جوش مقعر استفاده گردد، باید جوش به صورت چندپاسه اجرا شود که پاس اول باید دارای قدری تحدب باشد.

۹-۵ جوش‌های شیاری

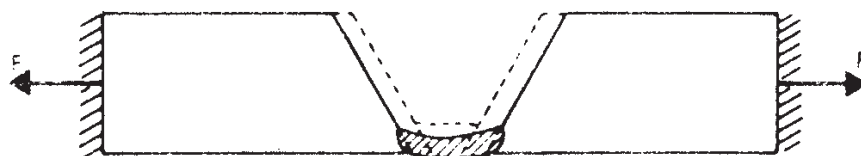
در ورق‌های ضخیم، پاس اول (جوش ریشه)، احتیاج به تمهیدات خاصی دارد. این مسئله در درزهای جناغی دو طرفه (X) برای جوش ریشه طرف دوم اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، چون در هنگام



شکل ۵-۵

اجرای این جوش، به علت اجرای جوش طرف اول، گیرداری بیشتری در درز وجود دارد. جوش در هنگام سرد شدن، تمایل به انقباض همه‌جانبه 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.

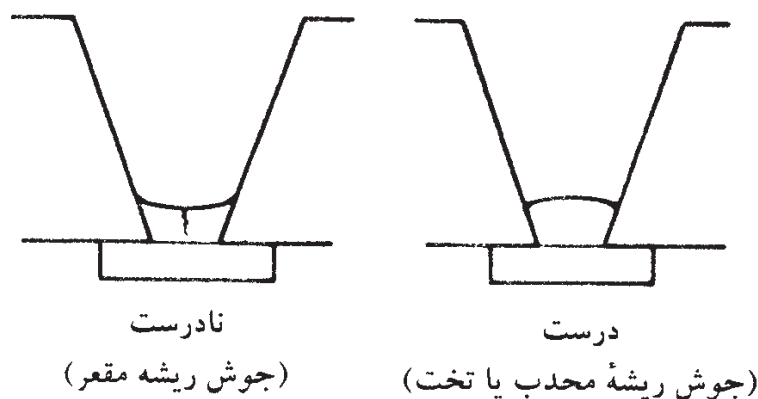
شکل ۵-۶ می‌تواند ایده‌ای از تنش‌های کششی محبوس و تسلیم جوش به دست دهد. فرض کنید که طول ورق‌ها کوچک بوده و اجازه انقباض آزاد به جوش داده شود. وضعیت انقباض یافته با



شکل ۵-۶

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 کشش عرضی در جوش می‌نماید. در عمل به علت عدم امکان حرکت در ورق و کم بودن ضخامت جوش در مقابل ورق، تمام 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) کربن یا آلیاژ بیشتری از فلز پایه کسب می‌نماید، شکل‌پذیری آن کمتر از سایر پاس‌ها می‌باشد. مطابق شکل ۵-۷، اگر این جوش به صورت مقعر اجرا



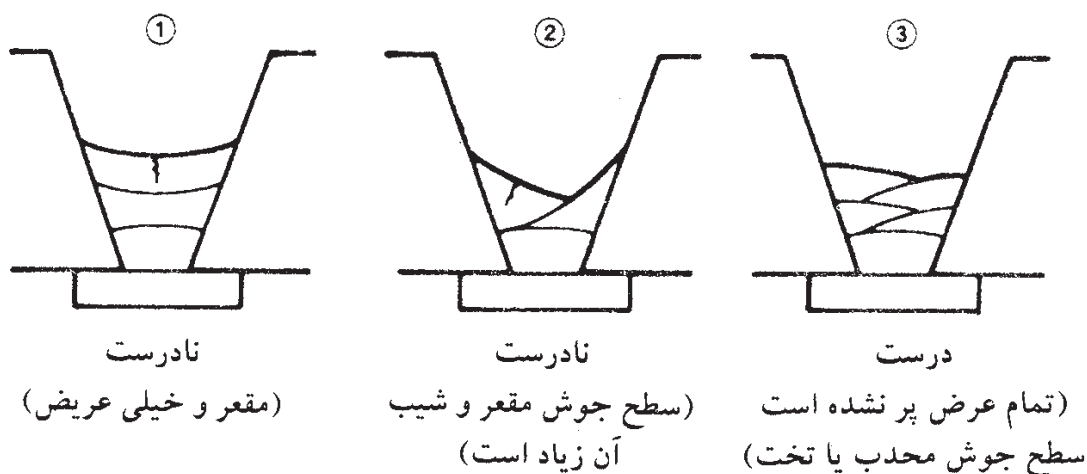
شکل ۵ - ۷

گردد، امکان ترک خوردگی در آن بیشتر خواهد شد. افزایش ضخامت گلوی پاس اول (جوش ریشه)، احتمال وقوع ترک در آن را کاهش می دهد. استفاده از مصالح جوش کم هیدروژن نیز عامل مهمی در کاهش احتمال ترک است، در نهایت استفاده از پیش گرمایش نیز می تواند مقرر شود. با توجه به هزینه زیاد پیش گرمایش، استفاده از آن باید در دستور آخر قرار گیرد.

اگر پاس های بعدی جوش به طور قابل توجهی عریض یا مقعر باشد، احتمال وقوع ترک در امتداد آنها نیز وجود دارد. مطابق شکل ۵ - ۸، در این حالت به جای استفاده از نوارهای عریض و مقعر، پاس های جوش بهتر است به صورت نوارهای پهلو به پهلو با عرض کمتر و تحدب بیشتر اجرا گردد.

۱۰ - ۵ ترک های داخلی در نوار جوش و نسبت عرض به عمق نوار ذوب

وقتی که به علت گیرداری درز یا شیمی مصالح یا هر دو عامل، تمایل به ترک خوردگی در جوش



شکل ۵ - ۸

وجود داشته باشد، ترک در سطح جوش ظاهر می‌شود. گاهی مواقع ممکن است ترک داخلی بدون هرگونه عوارض سطحی در جوش ظاهر گردد. این نوع ترک معمولاً به علت عمق زیاد جوش یا طرح غلط درز ایجاد می‌گردد.

سرد شدن (انجماد) جوش شیاری (یا لب به لب) مشابه جوش گوشه است. انجماد از سطح تماس جوش با سطح فلز پایه شروع شده و در محور مرکزی جوش به اتمام 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 ۵-۹-الف).

ترک‌های داخلی می‌توانند به علت عدم طراحی دقیق درز و آماده‌سازی لب‌ها نیز به وجود آیند.

شکل ۵-۹-ب، نتایج ترکیب ورق ضخیم، نفوذ عمیق و زاویه لبه ۴۵ درجه را نشان می‌دهد.

شکل ۵-۹-پ، یک جوش جناغی دوطرفه (X) را نشان می‌دهد که برای جوش طرف دوم شیار کم‌عرض و عمیقی سنگ خورده است. جوشکاری در این شیار باعث به وجود آمدن ترک داخلی خواهد شد.

شکل ۵-۹-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.

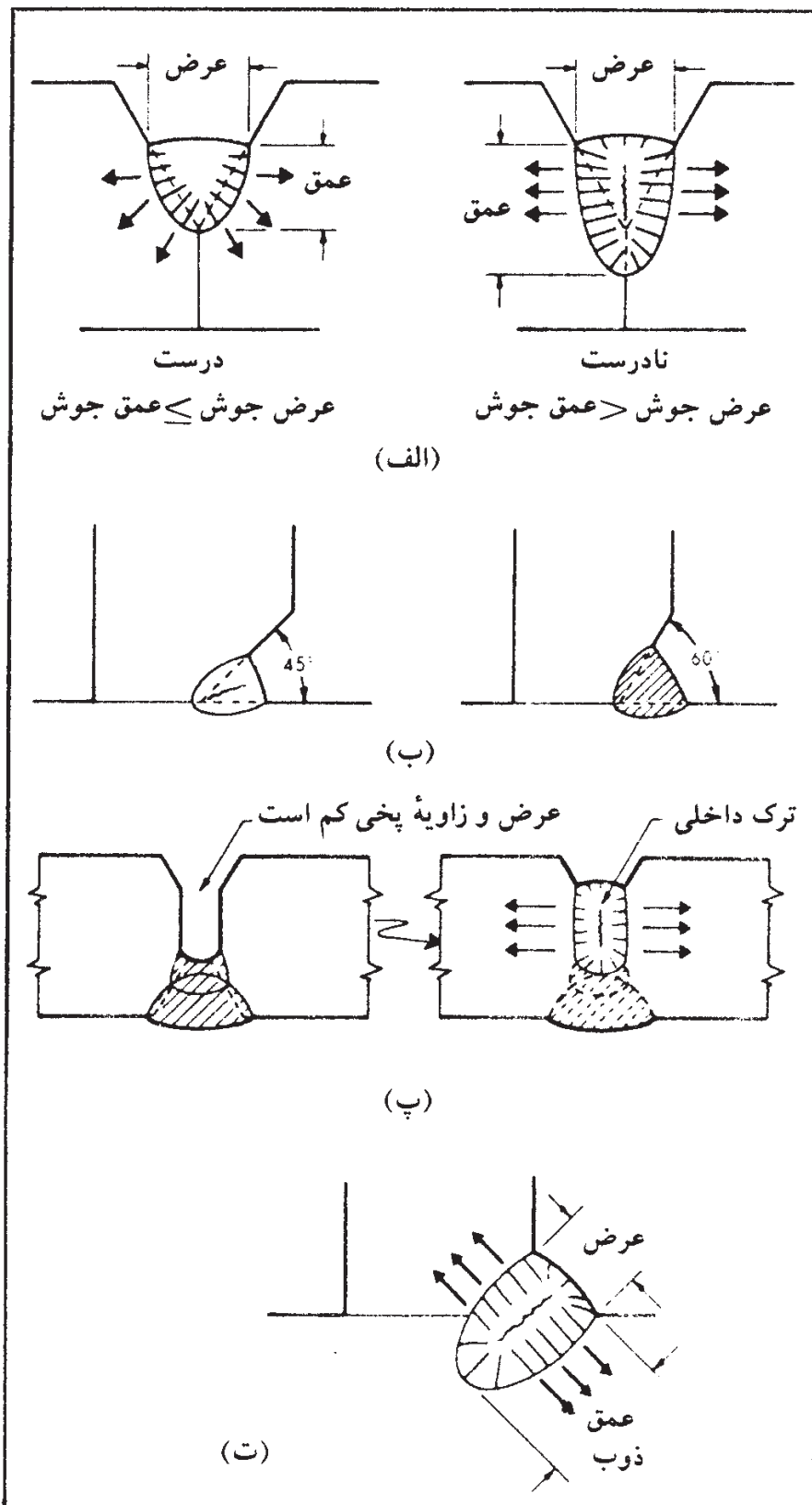
در میان عوامل فوق نسبت عمق به عرض درز جوش، مهم‌ترین است. تجربه نشان می‌دهد که

نسبت عرض به عمق مذاب جوش، از مقدار حداقل ۱ به ۱ تا حداکثر ۱/۴ به ۱ مناسب می‌باشد:

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

۱۱-۵ ترک در زیر نوار جوش^{۱۷} (ترک‌های عمقی)

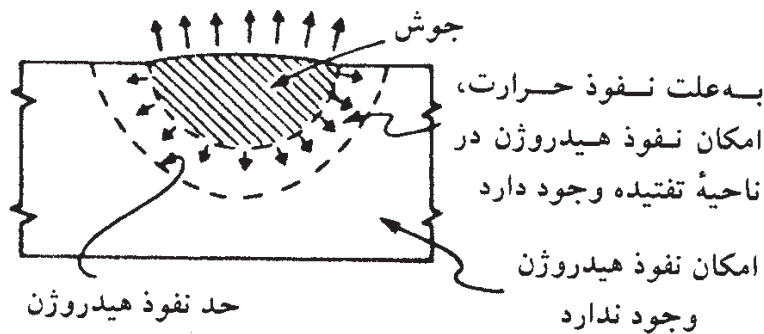
این نوع ترک، ترکی است که در زیر نوار جوش در حوزه تأثیر حرارت در فلز پایه به وجود می‌آید. در فولادهای نرمه کم‌کربن تقریباً وقوع چنین ترکی مشاهده نمی‌شود. با افزایش میزان کربن و آلیاژها و ضخامت ورق، امکان وقوع آن افزایش می‌یابد. در فولادهایی با حد تسلیم ۷۰۰۰ کیلوگرم بر



شکل ۵ - ۹

سانتی متر مربع حتی با وجود اعمال پیش گرمایش، باز باید انتظار وقوع این ترکها را داشت. یکی از طرق جلوگیری از این نوع ترک، استفاده از مصالح جوش کم هیدروژن است، چون نفوذ

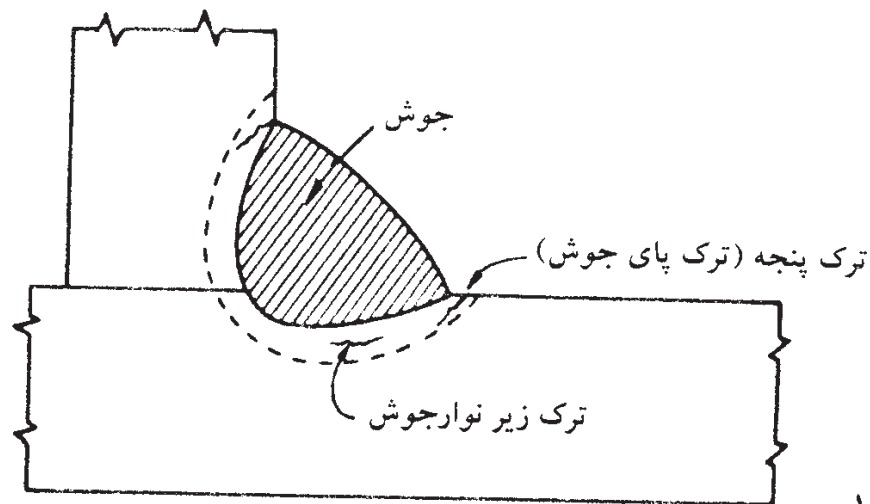
هیدروژن باعث تردی ناحیه تفتیده فلز پایه می‌گردد. هیدروژن می‌تواند از طریق روکش الکتروود و یا رطوبت موجود در سطوح مورد جوش وارد فلز پایه گردد. نوار جوش و ناحیه تفتیده فلز پایه، به علت درجه حرارت زیاد قدرت جذب هیدروژن بالایی دارند. خوشبختانه اکثر هیدروژن از حدفاصل درز جوش خارج شده و فقط قسمت ناچیزی از آن جذب نوار جوش و فلز پایه می‌گردد. با توجه به کاهش قابلیت جذب هیدروژن به علت کاهش دما، با دور شدن از حوزه تأثیر حرارت، قدرت جذب هیدروژن نیز توسط فلز پایه از بین می‌رود. در شکل ۵ - ۱۰ نواحی نفوذ هیدروژن در نوار جوش و فلز پایه نشان داده شده است. در واقع ناحیه خارج از حوزه تأثیر حرارت، مانند حصاری در اطراف حوزه تأثیر حرارت، از نقطه نظر جذب هیدروژن عمل می‌نماید و در شکل فریت (هیدرواکسید آهن) باقی می‌ماند.



شکل ۵ - ۱۰

با کاهش دما، ناحیه تفتیده به شکل قبلی خود یعنی فریت (هیدرواکسید آهن) بدون قدرت جذب هیدروژن برمی‌گردد. هیدروژن‌های جذب شده از فلز جدا شده و به صورت حفراتی در حدفاصل کریستال‌ها محبوس می‌شوند و باعث افزایش فشار بین کریستالی می‌گردند. این فشار اضافی در ترکیب با تنش‌های انقباضی و اثر تردشدگی این ناحیه، باعث بروز ترک می‌شود. چون کربن فولاد جوش کمتر از کربن فلز پایه است، این پدیده اکثراً در ناحیه تفتیده از فلز پایه رخ می‌دهد (شکل ۵ - ۱۱). 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^{۱۸} می‌گویند. کاهش سرعت انجماد، کاهش سرعت جوشکاری، و پیش‌گرمایش به هیدروژن جذب شده فرصت خروج می‌دهند و از شدت بروز این نوع ترک کاسته می‌شود.

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



شکل ۵-۱۱

۵-۱۲ 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 درمی‌آید و برای جلوگیری از وقوع آن به تمهیدات خاصی نیاز است.

برای جلوگیری از وقوع ترک روش‌های پیگشیرانه زیر ایجاب می‌گردد:

الف: انتخاب دستورالعمل جوشکاری مناسب به همراه مقطع مناسب برای نوار جوش و کنترل

مواد مضاف؛

ب: کاهش گیرداری درز با تعبیه فاصله بین دو لبه ورق؛

پ: استفاده از مصالح جوش کم‌هیدروژن؛

ت: کنترل سرعت انجماد با کاهش شدت جریان الکتریسیته، کاهش سرعت جوشکاری و در

صورت نیاز استفاده از پیش‌گرمایش و کنترل دما در پاس‌های میانی.

قسمت ۲: پیش‌گرمایش

۵-۱۳ چرا و چه وقت نیاز به پیش‌گرمایش است؟

پیش‌گرمایش که وجود آن همواره لازم نیست، در عمل بنا به یکی از دلایل زیر مورد استفاده قرار

می‌گیرد:

۱. برای کاهش تنش‌های انقباضی در جوش و فلز پایه مجاور آن. به خصوص در درزهایی که درجه‌گیری آنها زیاد است.
 ۲. برای کاهش سرعت انجماد در گذر از محدوده درجه حرارت بحرانی (۷۲۰ تا ۹۹۰ درجه سانتی‌گراد) به منظور جلوگیری از تردی و افزایش شکل‌پذیری نوارجوش و ناحیه تفتیده در فلز پایه.
 ۳. برای کاهش سرعت سرد شدن در محدوده ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برای اجازه دادن به خروج هرگونه هیدروژن جذب شده به مصالح جوش و ناحیه تفتیده در فلز پایه.
 ۴. برای افزایش سرعت بحرانی مجاز سرد شدن در زیر درجه حرارتی که خطر ترک خوردگی در زیر نوارجوش از بین رفته است.
- در یک دستورالعمل جوشکاری ثابت، درجه حرارت زیاد پیش‌گرمایش، سرعت حداکثر ایمن سرد شدن را افزایش و سرعت واقعی سرد شدن را کاهش می‌دهد. کوتل، و براداستریت^{۱۹} سرعت سرد شدن بحرانی (R_{cr}) را برای یک فولاد مشخص در ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از الکتروود کم‌هیدروژن برای جلوگیری از ترک زیر نوار جوش در پیش‌گرمایش‌های مختلف، به صورت زیر پیشنهاد می‌کنند:

T_0	R_{cr} (°C/sec)
درجه حرارت اولیه (سانتی‌گراد)	سرعت بحرانی سرد شدن
-۵۰	۳/۸ تا ۵/۵
۲۰	۵ تا ۶/۵
۱۰۰	۱۲ تا ۲۱

۵. به منظور افزایش طاقت زخم^{۲۰} در ناحیه جوش
 ۶. کاهش درجه حرارت انتقال در فلز جوش و فلز پایه اطراف آن.
- به طور معمول برای جلوگیری از ترک‌های زیر نوارجوش احتیاج به پیش‌گرمایش زیاد نیست. در صورت استفاده از الکتروود کم‌هیدروژن، این پیش‌گرمایش را می‌توان به حداقل رساند. در

19– Cottrell and Bradstreet "effect of Preheat on Weldability" British Welding Journal, July, 1995, p. 309.

20– notch toughness

وضعیت‌هایی نظیر جوشکاری ورق‌های خیلی ضخیم یا پراکلیاژ و یا درزهای با درجه‌گیری بالا، نیاز به پیش‌گرمایش بیشتری است. هرچند که پیش‌گرمایش فواید زیادی در بر دارد، لیکن به علت افزایش مخارج، استفاده از آن در تمام موارد امکانپذیر نیست.

۵-۱۴ حداقل پیش‌گرمایش

حداقل پیش‌گرمایش و درجه حرارت پاس‌های میانی طبق توصیه‌های AWS^{۲۱} در جدول ۵-۲ ارائه

جدول ۵-۲ حداقل دمای پیش‌گرمایش و درجه حرارت پاس‌های میانی طبق AWS^{۲۱}

t (mm)	نوع جوشکاری	
	جوشکاری با الکترودهای غیر کم‌هیدروژن	جوشکاری با الکترودهای کم‌هیدروژن
≤ 20	لازم نیست ^۳	لازم نیست ^۳
38 ≤ و > 20	۶۵ درجه سانتی‌گراد	۲۰ درجه سانتی‌گراد
64 ≤ و > 38	۱۰۵ درجه سانتی‌گراد	۶۵ درجه سانتی‌گراد
> 64	۱۵۰ درجه سانتی‌گراد	۱۰۵ درجه سانتی‌گراد

۱. وقتی که دمای محیط کمتر از (۱۷-) درجه سانتی‌گراد باشد، جوشکاری نباید انجام شود.
۲. وقتی که درجه حرارت فلز پایه کمتر از درجه حرارت توصیه شده برای ضخامت ورق است، برای هر دو حالت خال‌جوش و جوش اصلی باید پیش‌گرمایش انجام شود. پیش‌گرمایش باید به طریقی انجام شود که درجه حرارت سطحی سطح قطعاتی که فلز جوش در روی آنها ترسیب می‌شود، به فاصله‌ای مساوی ضخامت قطعه (ولی نه کمتر از ۷۵ میلی‌متر) در طرفین و سمت پیشروی جوش، از درجه حرارت مذکور در جدول بزرگتر گردد. درجه حرارت پیش‌گرمایش نباید از ۲۰۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر گردد (درجه حرارت پاس‌های میانی شامل هیچ محدودیتی نمی‌باشد).
۳. وقتی که درجه حرارت فلز پایه کمتر از صفر باشد، با اعمال پیش‌گرمایش درجه حرارت آن باید به ۲۰ درجه سانتی‌گراد برسد.

شده است. این حداقل‌ها باید با توجه به حرارت جذب شده در حین جوشکاری، تجزیه شیمیایی فولاد، هندسه درز، و سایر عوامل اصلاح گردد.

۵-۱۵ حرارت تولیدی در هنگام جوشکاری (حرارت القایی به علت جوشکاری)

یکی از عواملی که حرارت پیش‌گرمایش را می‌تواند کاهش دهد، استفاده از حرارت تولیدی بزرگتر در هنگام جوشکاری است. برای مثال حرارت تولیدی در جوشکاری در وضعیت سربالا با حرکت زیگ‌زاگ نوک الکتروود با سرعت ۷/۵ سانتی‌متر بر دقیقه، بزرگتر از حرارت تولیدی در جوشکاری در وضعیت تخت با سرعت ۱۵ سانتی‌متر بر دقیقه است.

حرارت تولیدی برای یک روش جوشکاری مشخص با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$J = \frac{60EI}{V} \quad (۵-۱)$$

که در آن:

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

E = ولتاژ 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:

75~80% برای جوشکاری دستی

90~100% برای جوش قوسی زیرپودری

اغلب درجه حرارت‌های پیش‌گرمایش و پاس‌های میانی، برای حالاتی تدوین یافته‌اند که حرارت تولیدی در هنگام جوشکاری در آنها نسبتاً پایین است. برای مثال جریانی 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، در حالی که در جداولی نظیر ۵-۲، اصولاً به حرارت تولیدی در هنگام برقراری قوس و جوشکاری، توجه نمی‌شود. بنابراین در صورت استفاده از روش‌های جوشکاری که تولید حرارت بزرگتری

می نمایند، می توان از مقدار پیش گرمایش های استاندارد، به مقداری کاست، البته به شرطی که شرایط سخت برای سرد شدن پس از انجام جوش وجود نداشته باشد.

به عنوان یک مثال عملی در اتصال ورق جان به ورق بال یک تیر I برای تولید جوشی به اندازه ۱۰ میلی متر، از جوش زیرپودری با شدت ۸۵۰ آمپر و سرعت ۵۰ سانتی متر بر دقیقه با حرارت تولیدی ۳۴۰۰۰ ژول بر دقیقه استفاده می شود. اگر جوش دوطرف جان به طور همزمان اجرا گردد، حرارت تولیدی به حدود دو برابر خواهد رسید که برقراری چنین وضعیتی مسلماً در کاهش حرارت پیش گرمایش تأثیر خواهد داشت.

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

۱۶-۵ سرعت خنک شدن

بعد از اتمام جوشکاری، جوش و ورق اطراف آن به سرعت خنک می شوند. سرعت خنک شدن بستگی به عوامل زیر دارد:

در درجه اول:

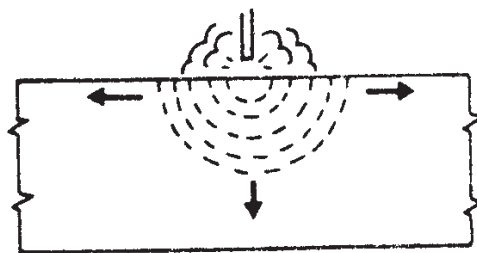
- درجه حرارت اولیه ورق (T_0) (شامل اثر پیش گرمایش)
- درجه حرارت تولیدی در هنگام جوشکاری

در درجه دوم:

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

شکل ۵-۱۲ نشان دهنده نمودار کاهش درجه حرارت بر حسب زمان در ناحیه تفتیده فلز پایه پس از اتمام جوشکاری می باشد. بر حسب شرایط موجود، شیب این منحنی می تواند متفاوت باشد.

بر حسب ترکیبات شیمیایی ورق، برای یک درجه حرارت 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 می آید. حدود درجه حرارت T_1 بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی گراد می باشد. برای بحث حاضر درجه حرارت T_1 در حدود ۳۰۰ درجه سانتی گراد فرض می گردد، (عددی که اغلب توسط



شکل ۵-۱۴

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

K = ضریب هدایت حرارتی (برحسب بی‌تی‌یو بر ساعت 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 درجه حرارت ۵۷۲ درجه فارنهایت مساوی ۲۵/۹ است.
 K_1 = ثابتی که نماینده K ، ρ و C در درجه حرارت T_1 است. مقدار آن برای فولاد نرمه مساوی ۱۶۱/۴۸ در درجه حرارت ۵۷۲ درجه فارنهایت است.

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

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

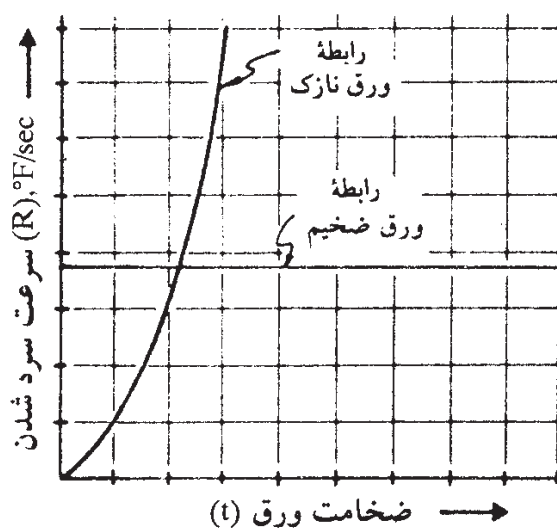
C = گرمای ویژه برحسب بی‌تی‌یو بر پوند بر درجه فارنهایت. مقدار آن برای فولاد نرمه مساوی ۰/۱۳۶ بی‌تی‌یو پانده در درجه حرارت ۵۷۲ درجه فارنهایت می‌باشد.

t = ضخامت واقعی ورق برحسب اینچ

J = گرمای تولیدی جوش (رابطه ۵-۱)

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 با جوش قوسی زیرپودری با شدت جریان ۱۰۰۰ آمپر و سرعت ۱۰ اینچ بر دقیقه به شرایط ورق نازک نزدیک خواهد شد، در مقابل جوشکاری جوش دستی ورق سه‌چهارم اینچ در حالت تخت با شدت جریان ۱۲۰ آمپر و سرعت ۱۲ اینچ بر دقیقه به شرایط ورق ضخیم نزدیک خواهد شد.

در شکل ۵-۱۵، روابط ۲-۵ و ۳-۵ در مقابل ضخامت ورق رسم شده‌اند.



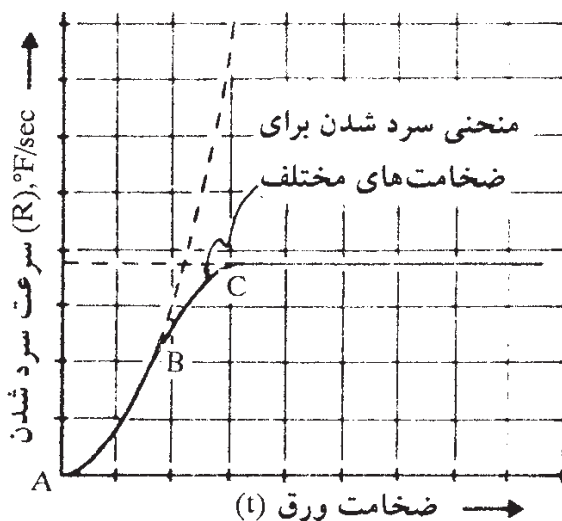
شکل ۵-۱۵

در رابطه ورق نازک، ضخامت t 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 ۵-۱۵، نمودار شکل ۵-۱۶ برای تعیین سرعت خنک شدن به دست می‌آید (نمودار با خط توپر).

نمودار شکل ۵-۱۶ را می‌توان با روابط زیر تعریف نمود:

از A تا B :

$$R = 161.48 \left(\frac{t}{J} \right)^2 (572 - T_0)^3 \quad (۴-۵)$$



شکل ۵-۱۶

از B تا C:

$$R = 5.961 \frac{(572 - T_0)^2}{J} \left(-27.09t^2 \frac{(572 - T_0)}{J} + 14.72t \sqrt{\frac{572 - T_0}{J} - 1} \right) \quad (5-5)$$

از رابطه ۵-۴، سرعت پیش‌گرمایش T_0 به راحتی بر حسب سرعت خنک شدن محاسبه می‌شود، لیکن از رابطه ۵-۵ به سادگی امکانپذیر نیست. استفاده مستقیم از نمودار شکل ۵-۱۶ امکانپذیر نیست، چون برای دمای پیش‌گرمایش بخصوصی ترسیم شده است. برای استفاده عملی روابط ۴-۵ و ۵-۵ به صورت بی بعد زیر نوشته می‌شوند:

از A تا B (قسمت تحتانی):

$$\frac{t}{t_{me}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{T_1 - T_0 / me}{T_1 - T_0} \right)^2} \quad (5-6)$$

از B تا C (قسمت فوقانی):

$$\frac{t}{t_{me}} = \sqrt{\frac{T_1 - T_0 / me}{T_1 - T_0} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \left(\frac{T_1 - T_0 / me}{T_1 - T_0} \right)^2} \right)} \quad (5-7)$$

که در آن:

 t = ضخامت واقعی ورق (اینچ) t_{me} = حداکثر ضخامت مؤثر بر حسب مقادیر J و R طبق رابطه زیر:

$$t_{me} = 0.4246 \sqrt[4]{\frac{J}{R}} \quad (5-8)$$

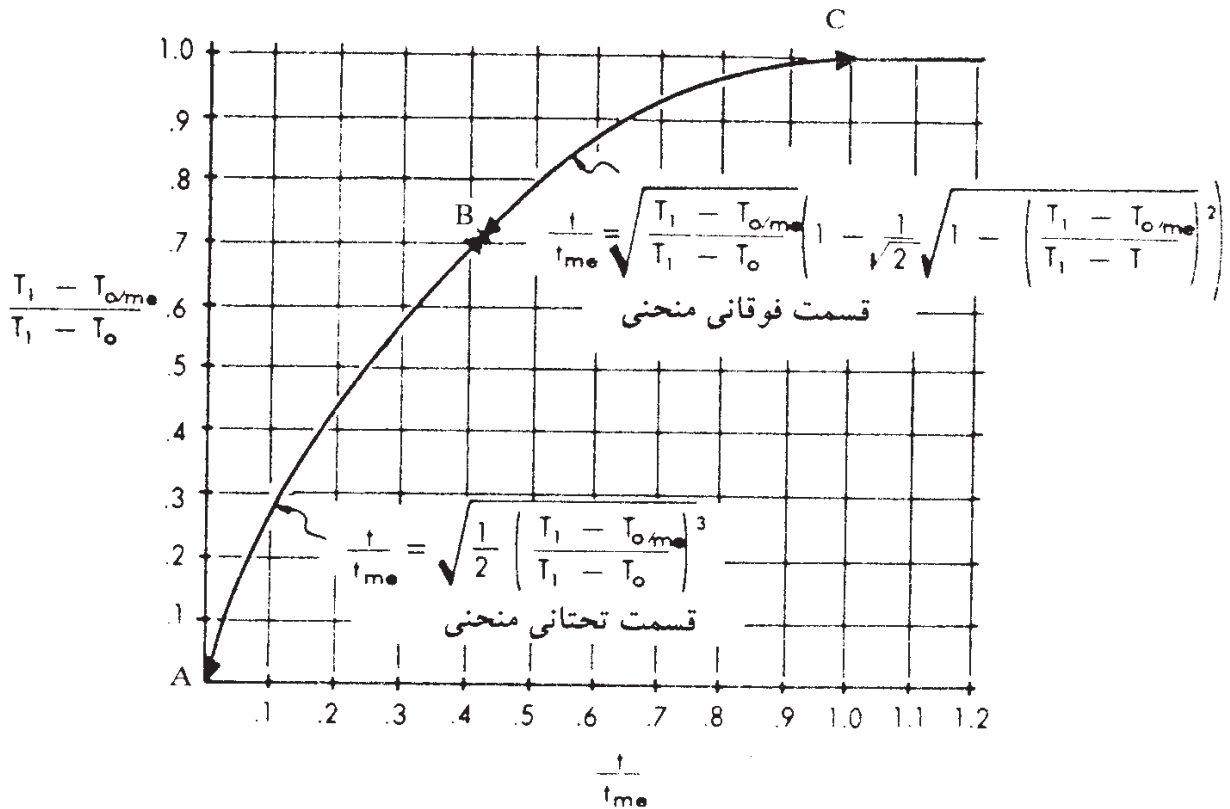
 T_1 = درجه حرارت تخمینی که در آن سرعت خنک شدن مورد نظر است (572°F) T_0 = دمای پیش‌گرمایش برای مقادیر مشخص J ، R ، و t (درجه فارنهایت) T_0/me = حداکثر دمای مؤثر پیش‌گرمایش برای مقادیر معلوم J و R (درجه فارنهایت)

$$T_1 - T_0 / me = \sqrt{\frac{RJ}{5.961}} \quad (5-9)$$

به کمک روابط ۵-۶ و ۵-۷ می‌توان نمودار شکل ۵-۱۷ را رسم نمود. از این نمودار می‌توان برای تعیین دمای پیش‌گرمایش T_0 استفاده نمود.

۱۷-۵ جریان دمای دوبعدی در مقابل سه بعدی

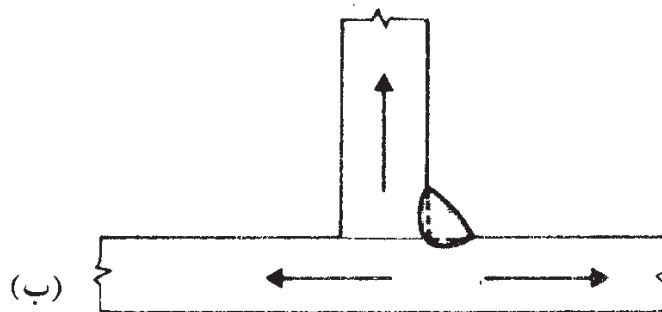
مطالب ارائه شده در قسمت قبل مربوط به حالاتی می‌شد که برای انتقال حرارت دو راه خروجی



شکل ۵-۱۷

وجود داشت (مانند شکل ۵-۱۸ الف). مواردی پیش می‌آید که همانند شکل ۵-۱۸ ب، سه‌راه خروج حرارت وجود دارد. در صورت برخورد با این موارد، روش ارائه شده 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 t برای منظور نمودن ورق سوم، برای این‌کار، ضخامت هر ورق فرضی در حالت دوبعدی، مساوی نصف مجموع سه‌ورق موجود در نظر گرفته می‌شود.



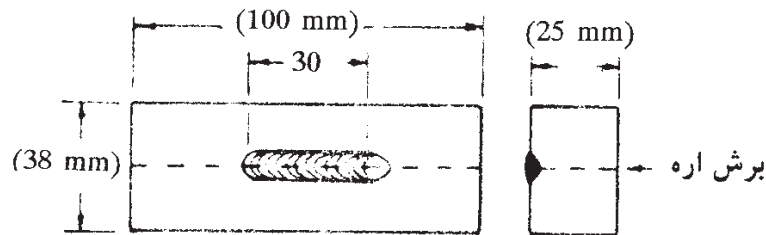
شکل ۵-۱۸

۱۸-۵ کربن معادل

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

$$C_{eq} = C\% + \frac{Mn\%}{6} + \frac{Ni\%}{20} + \frac{Cr\%}{10} - \frac{Mo\%}{50} - \frac{V\%}{10} + \frac{Cu\%}{40} \quad (۱۰-۵)$$

شکل ۵-۱۹ یک نمونه آزمایشی از ورقی به ضخامت ۱ اینچ را نشان می دهد که در روی آن نوار جوشی به اندازه $\frac{1}{8}$ اینچ (۳ میلی متر) 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 ۵-۲۰ نشان دهنده درصد وقوع ترکهای زیر نوار جوش بر حسب درصد کربن معادل می باشد. اگر همین نمونه با الکتروود



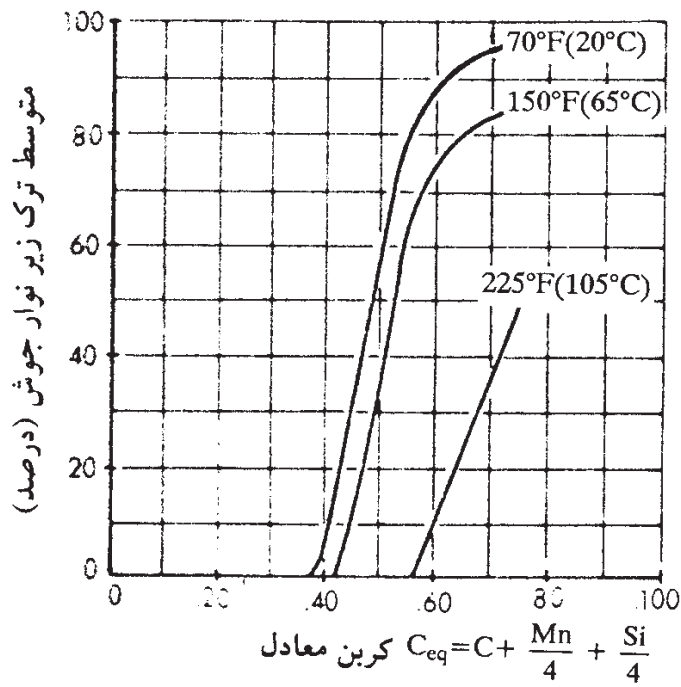
شکل ۵-۱۹

کم هیدروژن E6015 انجام شود، هیچ گونه ترکی در زیر نوار جوش ملاحظه نمی شود. الکتروود E6015 استاندارد AWS قابل مقایسه با الکترودهای E7018 کنونی است. توجه شود که منحنی های ارائه شده در شکل ۵-۲۰ برای سه دمای پیش گرمایش مختلف می باشد.

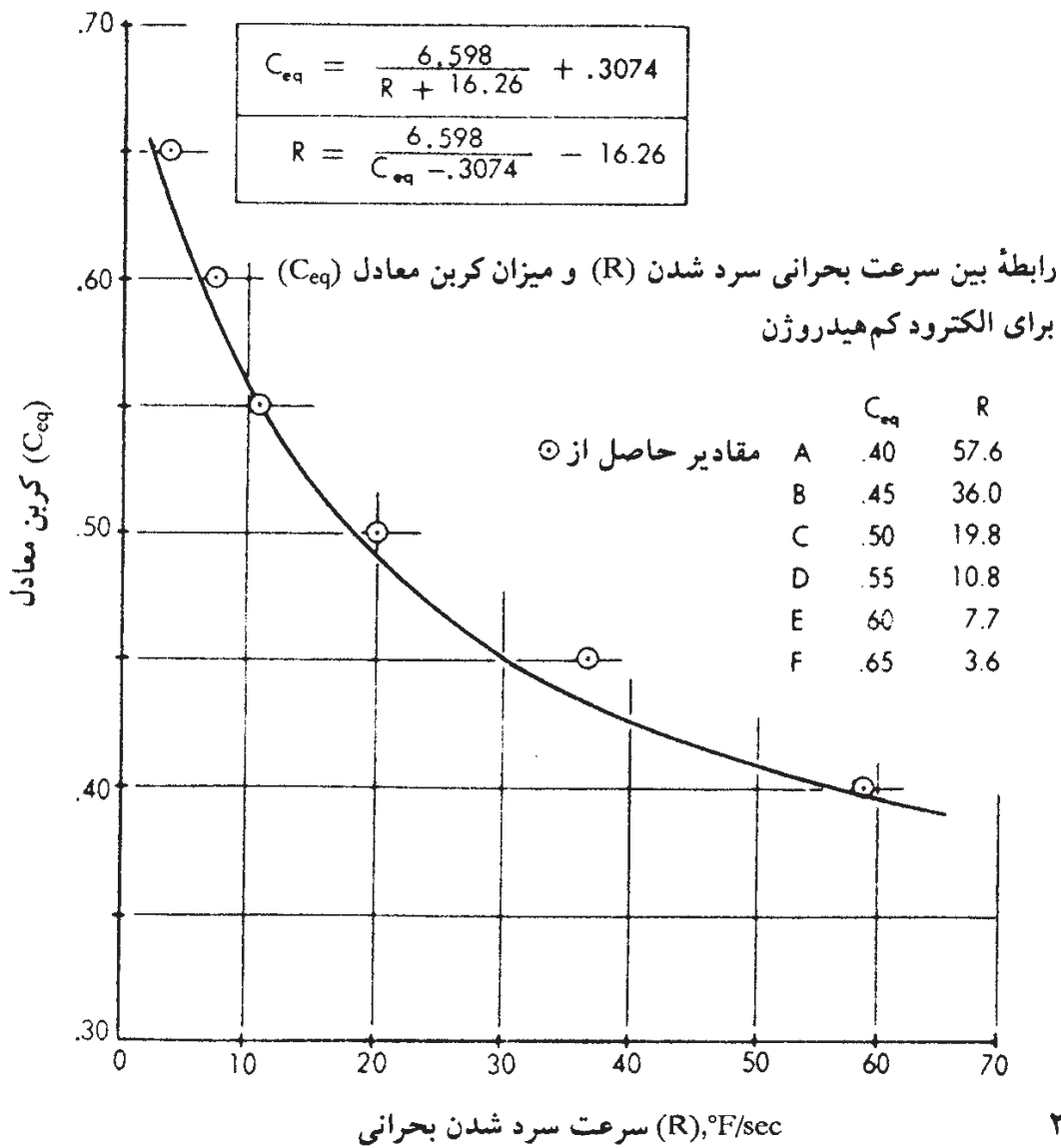
۱۹-۵ سرعت خنک شدن و کربن معادل

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

کوتزل و برادستریت^{۲۲} بر پایه یک روش آزمایشی ابداعی منحنی شکل ۵-۲۱ را برای تعیین



شکل ۵ - ۲۰



شکل ۵ - ۲۱

سرعت خنک شدن بحرانی (حداکثر) در مقابل درصد کربن معادل پیشنهاد نمودند. این منحنی را می توان به صورت رابطه زیر نشان داد:

$$R_{cr} = \frac{6.598}{C_{eq} - 0.3074} - 16.26 \quad (5-11)$$

رابطه فوق و منحنی شکل ۵-۲۱، سرعت خنک شدن بحرانی را در درجه حرارت $T_1 - 572$ درجه فارنهایت نشان می دهد.

۵-۲۰ تعیین درجه حرارت پیش گرمایش لازم

برای تعیین درجه حرارت پیش گرمایش لازم (T_0) به طوری که برای یک 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 ۵-۹، مقدار $(T_1 - T_{0/me})$ را تعیین نمایید.

۲. با استفاده از رابطه ۵-۸، مقدار t_{me} را تعیین کنید.

۳. با استفاده از نتایج گام ۲ مقدار t/t_{me} را تعیین کنید.

۴. با استفاده از نمودار شکل ۵-۱۷، و استفاده از نتایج گام ۳، مقدار زیر را تعیین کنید.

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

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

به دست می آید.

مثال ۵-۱

اطلاعت زیر در دست است:

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

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

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

مطلوب است تعیین درجه حرارت پیش گرمایش (T_0)

گام ۱:

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

گام ۲:

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

گام ۳: تعیین ضخامت نسبی

$$\frac{t}{t_{me}} = \frac{1''}{2.26''} = 0.4429$$

گام ۴: به کمک شکل ۵-۱۷، درجه حرارت پیش‌گرمایش نسبی به دست می‌آید:

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

گام ۵: بنابراین

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

$$572 - T_0 = 396.7$$

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

۵-۲۱ 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 پاس 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 نوار 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.

تغییر شکل های جوشکاری

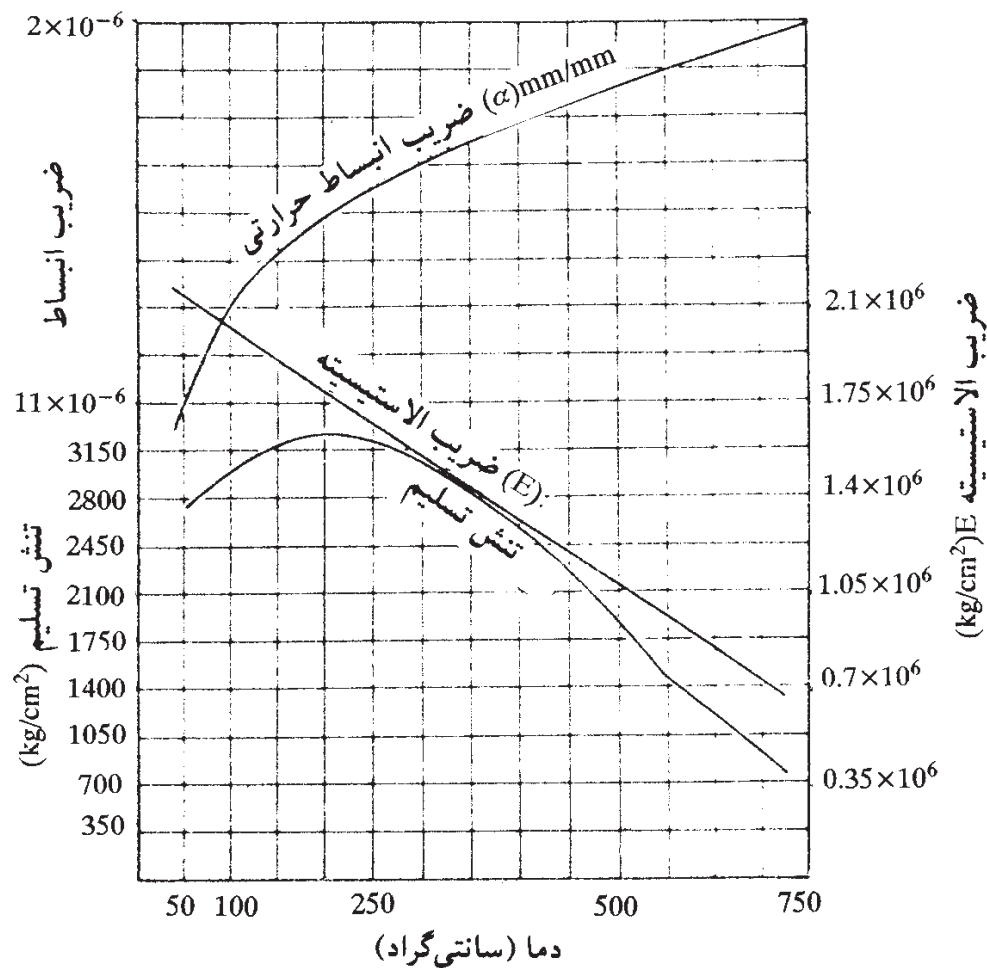
۶-۱ عوامل مؤثر در تغییر شکل های ناشی از جوشکاری

در عملیات جوشکاری، سیکل 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 کسب اقتصاد کامل در ساخت و ساز جوشی فولاد، مهندسین 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 قوس، توزیع خواص غیریکنواختی در قطعات به وجود می آورد. با افزایش درجه حرارت، خواصی نظیر مقاومت تسلیم، ضریب الاستیسیته، و هدایت حرارتی کاهش و ضریب انبساط حرارتی و گرمای ویژه افزایش می یابد (شکل ۶-۱). در نتیجه تخمین اعوجاج و تغییر شکل مصالح به کمک تحلیل حرارتی بسیار مشکل می شود. به علاوه، گیرداری های 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 زمانی که یک شرایط خاص در حال تأثیر است، 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.



شکل ۶-۱ - تغییر خواص مکانیکی در درجه حرارت زیاد، تحلیل انقباضی جوش را مشکلتر می نماید. نمودارها برای فولاد نرمه می باشند.

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.

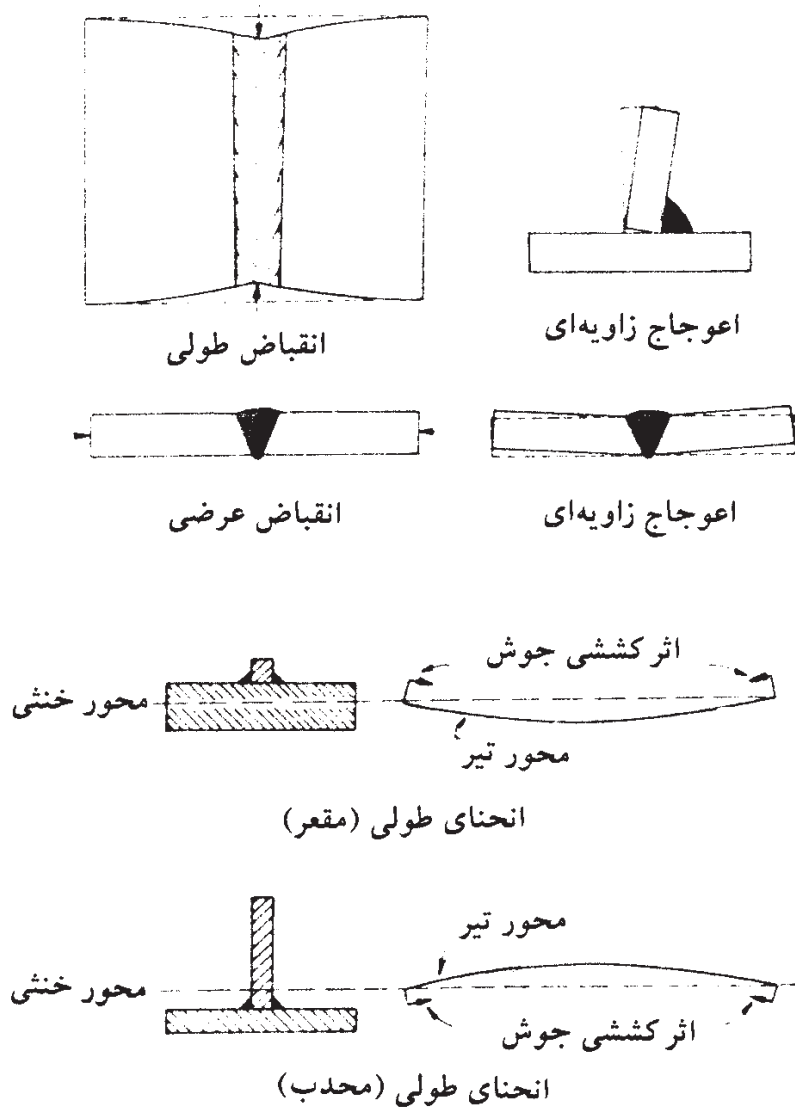
۶-۲ عوامل اعوجاج

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

انحنای طولی وقتی رخ می دهد که شرایط انبساط و یا انقباض غیر یکنواخت به وجود آید.

با برآوردی از عوامل زیر می توان مقدار انحنای طولی را تخمین زد:

۱ - جوش به همراه قسمتی از فلز اطراف، در هنگام سرد شدن منقبض شده و تولید نیروی



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

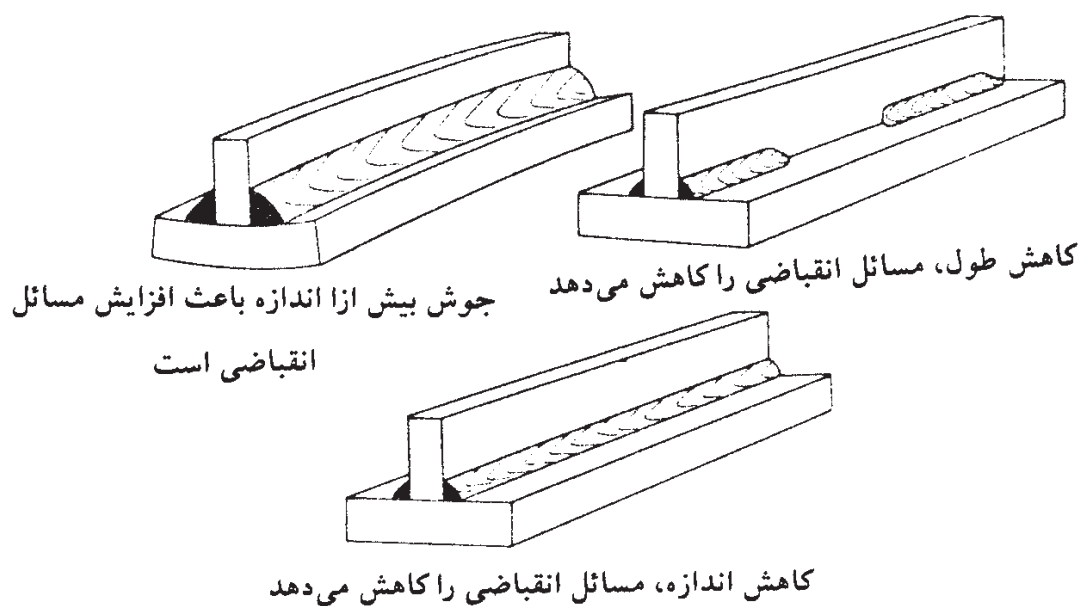
انقباضی F را می نماید.

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

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

۶-۳ تأثیرات نامطلوب جوش بیش از حد

اضافه جوش، نیروی انقباضی F و تمایل به انقباض را افزایش می دهد. هر چیزی که مقدار جوش را



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

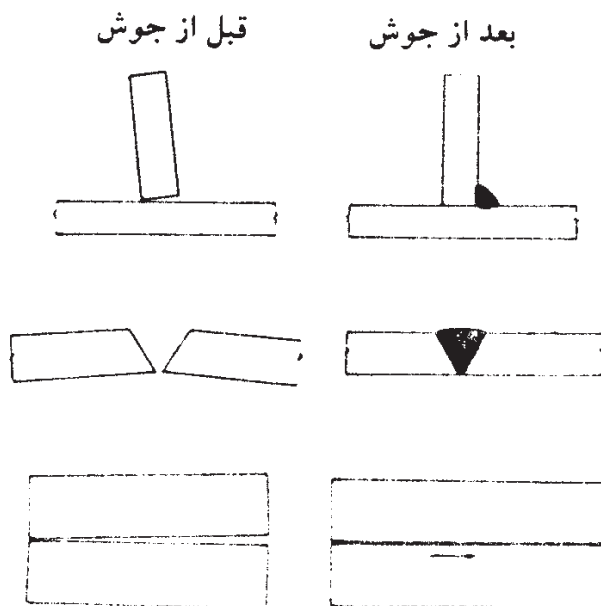
کاهش دهد، نظیر کاهش اندازه ساق، کاهش طول، یا استفاده از جوش منقطع (شکل ۶ - ۳)، تمایل به انقباض را کاهش خواهد داد.

اضافه جوش می تواند با دست به هم دادن یک سلسله اتفاقات، به طور غیر عمدی رخ دهد. طراح ممکن است با منظور کردن قدری اطمینان، اندازه جوش را یک نمره بزرگتر انتخاب نماید. در کارخانه ساخت، سرپرست جوشکاری نیز ممکن است جهت اطمینان را گرفته و اندازه جوش را یک نمره بزرگتر دستور دهد. جوشکار نیز از ترس اینکه جوشش زیر اندازه به دست آید، ممکن است جوش را کمی ضخیمتر اجرا نماید. در نتیجه جوش ۶ میلی متر تبدیل به ۱۲ میلی متر می شود. با توجه به اینکه افزایش مقدار مصالح جوش متناسب با توان دوم اندازه جوش است، این باعث می شود مقدار مصالح جوش، مخارج، و نیروی انقباض ۴ برابر گردد.

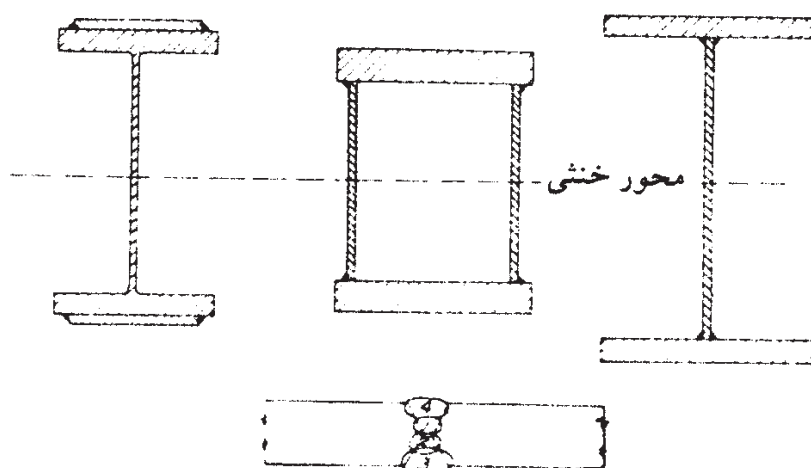
۶-۴ کنترل انقباض جوش

یکی از روش های مقابله با آثار انقباضی جوش، پیش خمش اعضا و تنظیم درزها برای خنثی سازی آثار انقباضی است. در این حالت مطابق شکل ۶ - ۴، انقباض جوش باعث می شود که اعضا به وضعیت اولیه درآیند.

در صورت امکان، جوش باید در حول تار خنثای عضو متعادل گردد. در این حالت بازوی نیروی برون محور مساوی صفر می گردد. به طوری که اگر نیروی انقباضی F وجود داشته باشد، لنگر انقباضی Fd مساوی صفر می شود (شکل ۶ - ۵).



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

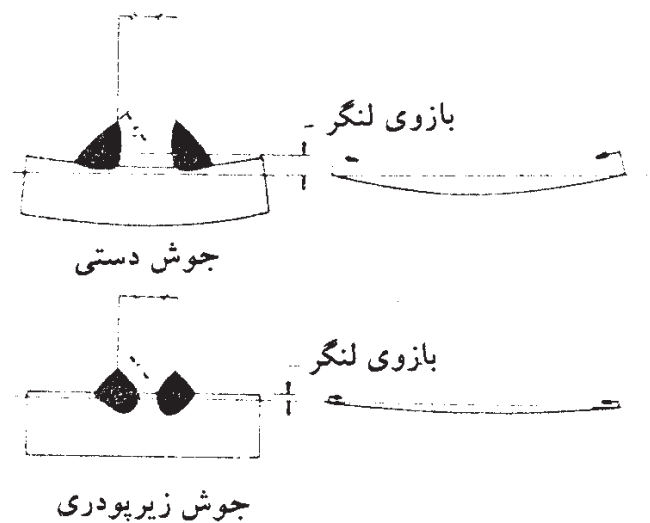


شکل ۶-۵ - متعادل کردن جوش‌ها و یا نوارهای جوش در حول تار خنثای عضو، اعوجاج زاویه‌ای را به‌صفر می‌رساند.

اغلب محور خنثای عضو مطابق شکل ۶-۶ پایین‌تر از مرکز ثقل جوش‌ها قرار دارد. در صورت استفاده از جوش زیرپودری که تولید جوش عمیق از مشخصه‌های آن است، مرکز ثقل نوارجوش‌ها پایین افتاده و بازوی لنگر و در نتیجه لنگر انقباضی کاهش می‌یابد.

تأثیر فلز پایه در مجاورت نوارجوش

انقباض فلز جوش به‌تنهایی، اغلب نمی‌تواند مقادیر انقباض‌های واقعی را توجیه نماید. به‌این



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

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، این ناحیه گرم شده، تحت انقباض حجمی قرار گرفته و تنش‌های انقباضی در امتداد طولی و عرضی به وجود می‌آید. در نتیجه، این ناحیه از فلز پایه به همراه فلز جوش منقبض می‌شود.

تأثیر سرعت زیاد جوشکاری

حجم فلز پایه‌ای که در اعوجاج شرکت می‌کند، می‌تواند توسط دستورالعمل جوشکاری^۱ 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 اتوماتیک و نیمه‌اتوماتیک و یا استفاده از الکترودهای خاص در جوشکاری دستی به دست آورد. تأثیر شدت جریان و سرعت جوشکاری در ناحیه تفتیده در شکل ۶-۷ نشان داده شده است. تقریباً اندازه جوش به دست آمده در حالات الف و ب، یکسان است. اختلاف آنها در این است که سرعت بیشتر جوشکاری، ناحیه تفتیده باریکتری به وجود می‌آورد. از عرض خط تراز ۱۵۰ درجه

سانتی‌گراد می‌توان به‌عنوان نشانه‌ای از ناحیه تفتیده فلز پایه که به‌همراه فلز جوش در انقباض مؤثر است، استفاده نمود. این پدیده پاسخی به این سؤال است که چرا جوشکاری با سرعت زیاد، اعوجاج کمتری تولید می‌کند. این مسئله از مقایسه حرارت اعمال شده به ورق به وسیله جوش، نیز آشکار است.

برای جوش الف:

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

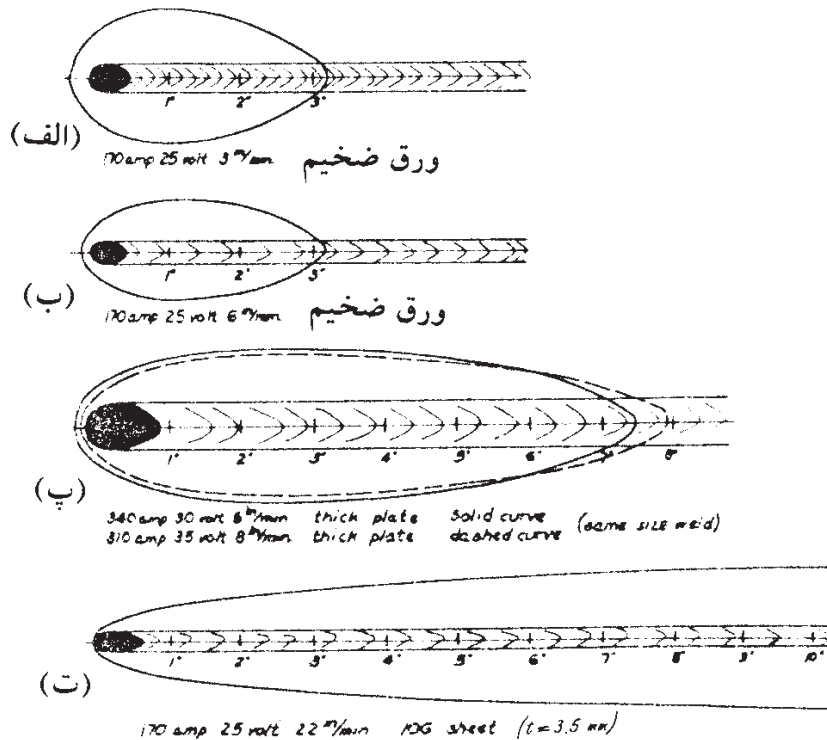
$$= 33465 \text{ Joule/cm}$$

برای جوش ب:

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

$$= 31890 \text{ Joule/cm}$$

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.



شکل ۶-۷ - تاثیر تکنیک‌های جوشکاری بر ناحیه تفتیده. در هر حالت، خط تراز درجه حرارت ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است.

جوش سربالا با سه بار عبور با سرعت ۳ اینچ بر دقیقه با حرکت از پایین به بالا به طور زیگزاگ، اجرا شده است (جوش الف). جوش افقی با ۶ بار عبور با سرعت ۶ اینچ بر دقیقه اجرا شده است (جوش ب). سرعت جوش بیشتر، باعث شده است که عرض ناحیه هم حرارت 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 عبور (پاسهای) بیشتر، انقباض عرضی بزرگتری نسبت به جوشها با عبور کمتر به وجود می آورند. با استفاده از تعداد عبور کمتر، انقباض عرضی کمتر می شود. استفاده از الکترودهای ضخیمتر، باعث کاهش بیشتر انقباض عرضی می گردد. در شکل ۶-۷-ت، ملاحظه می شود که عرض بزرگتری از فلز پایه در ناحیه تفتیده قرار گرفته است. این مسئله به همراه انعطاف پذیری بیشتر ورق نازکتر، باعث اعوجاج بیشتری شده است. اصولاً ورقهای نازکتر، از نظر مسائل اعوجاجی و حرارتی مشکل سازتر از ورقهای ضخیم هستند.

۶-۵ 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 به وجود می آورد. نمودار پایینی نشان می دهد که میزان انقباض در یک ورق با ضخامت مشخص، متناسب با سطح مقطع جوش می باشد. زاویه پخی باز نشان داده شده فقط به منظور نشان دادن سطح مقطع بزرگتر جوش است و لزوماً پخی واقعی را نشان نمی دهد. نمودار بالا اثر جوش یکطرفه و دوطرفه را نشان می دهد. در هر دو نمودار فرض شده است که ورقها هیچگونه گیرداری در لبهها ندارند.

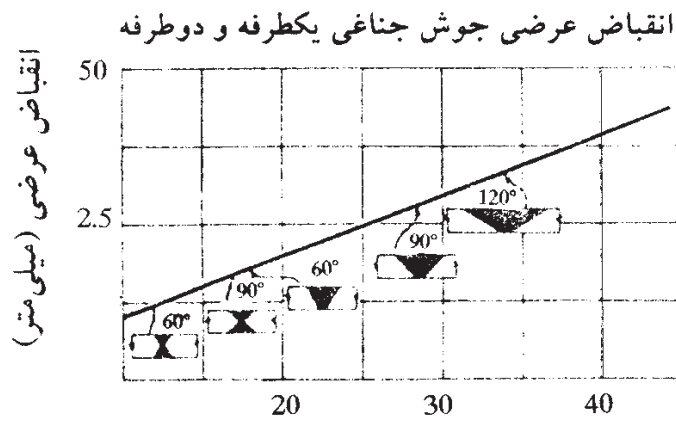
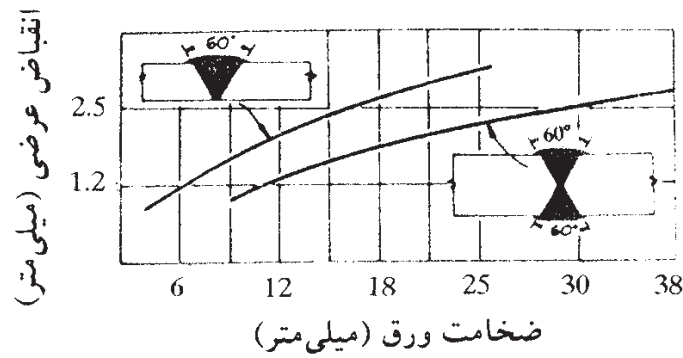
محاسبات نشان می دهند که انقباض عرضی در حدود ۱۰ درصد عرض متوسط سطح مقطع جوش می باشد.

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

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

مثال ۶-۱

در شکل ۶-۹ سطح مقطع عرضی جوش جناغی دوطرفه برای درز جوش ورقی به ضخامت ۲۵



سطح مقطع عرضی جوش
انقباض عرضی - ضخامت ورق ثابت

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

میلی متر نشان داده شده است. مطلوب است تعیین انقباض عرضی جوش.

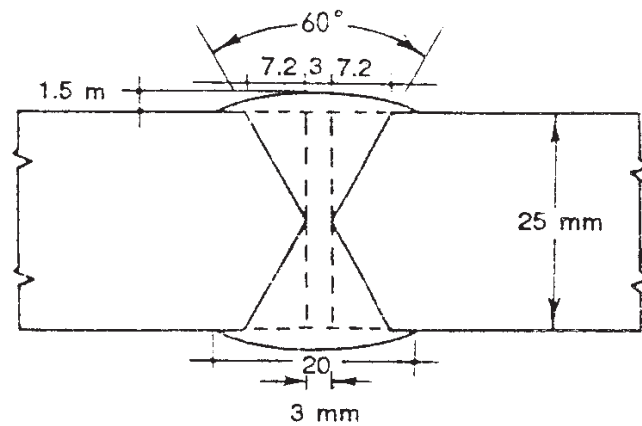
حل:

محاسبه سطح مقطع جوش

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

$$\Delta_{\text{tran}} = 0.10 \frac{A_w}{t} = 0.1 \times \frac{300}{25} = 1.2 \text{ mm}$$

استفاده از الکترودها با پوشش حاوی پودر آهن^۲ از مقدار انقباض فوق کم می کند، و استفاده از جوش اتوماتیک زیرپودری کاهش بیشتری را به دنبال خواهد داشت. همچنین هرچه تعداد عبور جوش ها کمتر شود، مقدار انقباض کمتر خواهد شد.

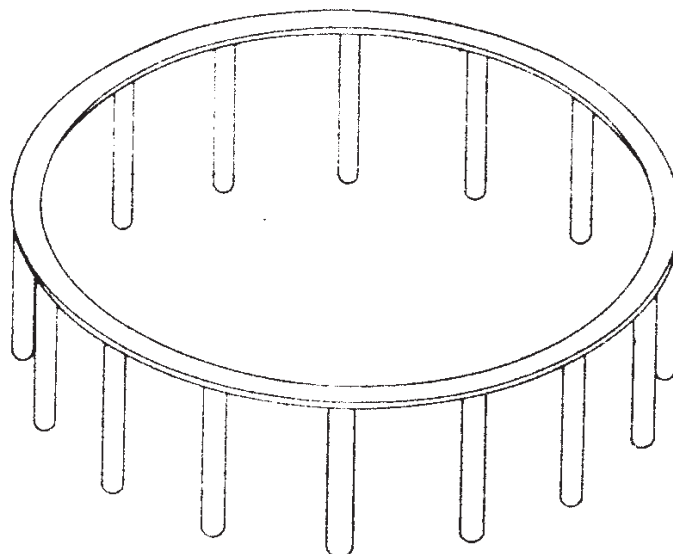


شکل ۶-۹ - مربوط به مثال ۶-۱.

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

مثال ۶-۲

یک حلقه فولادی از ورق ۲۵۰×۱۲ میلی متر، گنبدی به قطر $۴۱/۵$ متر را تحمل می کند. این حلقه به روی ۲۴ ستون متکی است که در وجه هر ستون ورقی کار گذاشته شده و قرار است قطعات حلقه



شکل ۶-۱۰ - مربوط به مثال ۶-۲.

موردنظر، در حدفاصل دو ستون، به این ورق ها جوش شوند (شکل ۶ - ۱۰). در هنگام ساخت هیچ گونه تدابیری برای انقباض اتخاذ نشده بود. بعد از اجرا فهمیده شد که محیط این حلقه کوتاه و باعث شده که بالای ستون ها به اندازه ۱۲/۵ میلی متر به سمت داخل کشیده شوند. آیا این جمع شدگی قطری به روش محاسباتی قابل پیش بینی بود یا نه.

سطح مقطع جوش

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

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

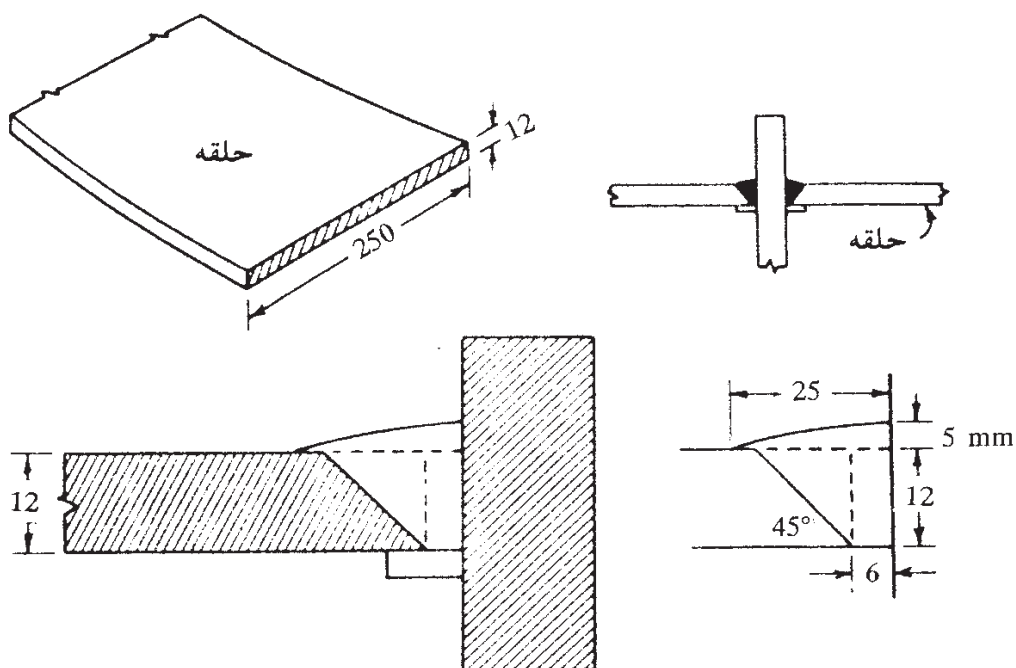
$$\text{انقباض عرضی} = \Delta_{\text{trans}} = 0.1 \times 1.34 = 0.134 \text{ cm}$$

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

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

$$\text{انقباض قطری} = \frac{6.43}{2\pi} = 1.02 \text{ cm} \quad (\text{انطباق منطقی با مقدار اندازه گیری شده دارد})$$

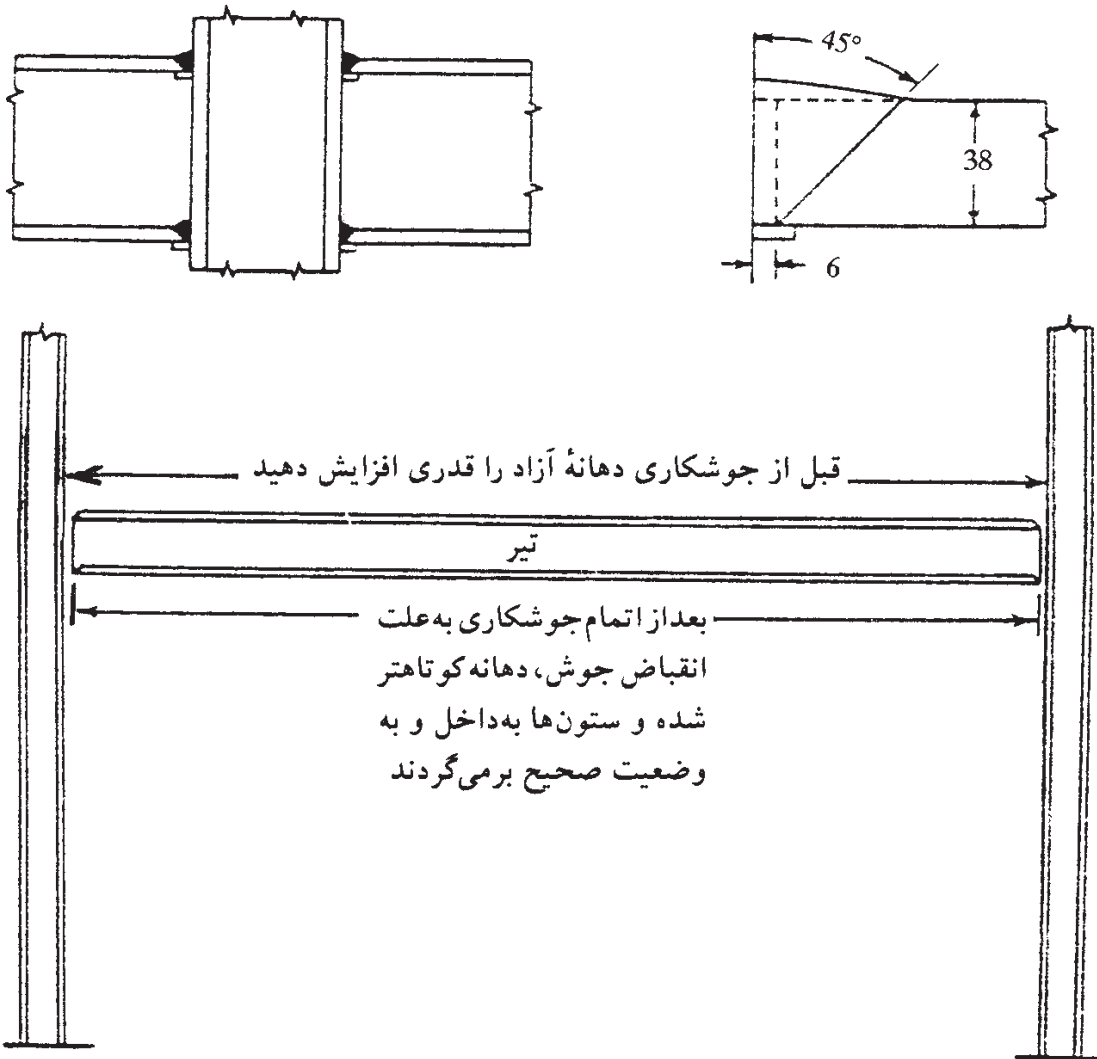
هرگونه تنظیم غلط درز جوش و یا گرده اضافی، باعث افزایش سطح مقطع و در نتیجه افزایش انقباض می گردد.



شکل ۶ - ۱۱ - میزان بازشدگی در محل درز.

مثال ۳-۶

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



حل:

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

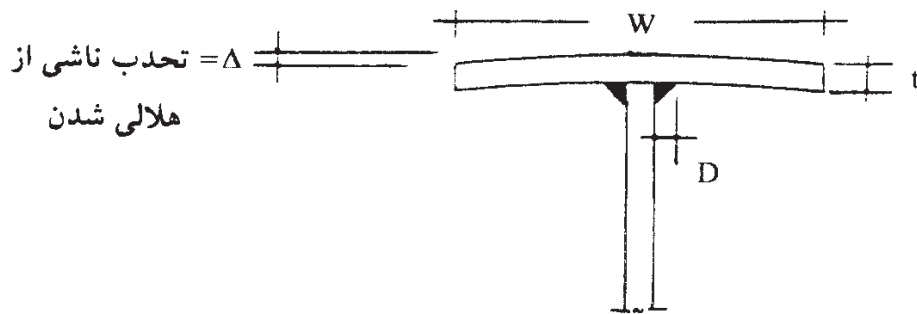
$$\Delta = 0.1 \frac{A_w}{t} = 0.1 \times \frac{10.4}{3.8} = 0.27 \approx 3 \text{ mm}$$

جوش ۱۰ میلی‌متر جان 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 بازگردد تا

بعد از جوش به وضعیت اولیه برگردد.

۶-۶ هلالی شدن بال^۳

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



از رابطه زیر می توان برای تخمین انحنای عرضی استفاده نمود:

$$\Delta = \frac{0.038WD^{1.3}}{t^2} \quad (۲-۶)$$

در رابطه فوق:

W = عرض بال (cm)

D = اندازه جوش (cm)

t = ضخامت بال (cm)

Δ = میزان تحذب عرضی (cm)

در شکل ۶-۱۲ مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر محاسباتی برای چندین نمونه جوش ورق

بال به جان نشان داده شده است که حاکی از انطباق خوب رابطه نظری با نتایج واقعی است.

۶-۷ شمشیری شدن

به علت انقباض جوش های طولی نامتعادل نسبت به تار خنثی، انحنای طولی یا شمشیری شدن رخ

می دهد (شکل ۶-۱۳). مقدار خیز Δ به علت شمشیری شدن را می توان از رابطه زیر تعیین نمود:

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

در رابطه فوق:

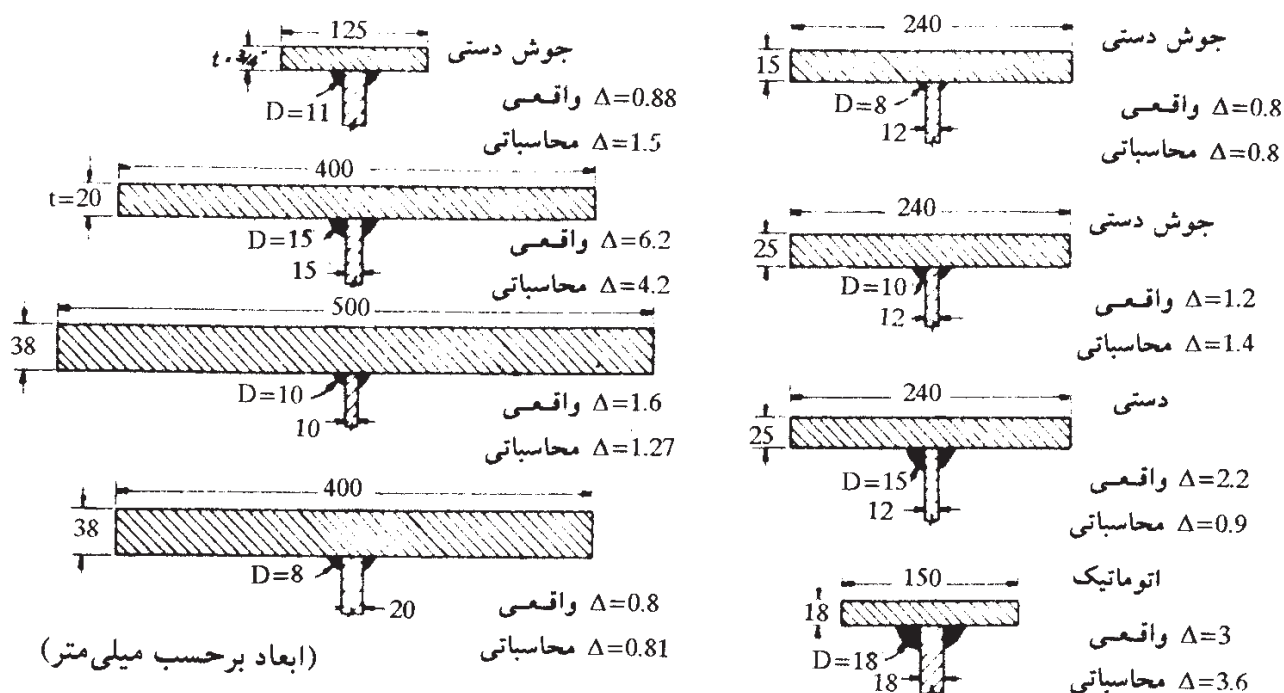
A_w = سطح مقطع کلی جوش ها (cm²)

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

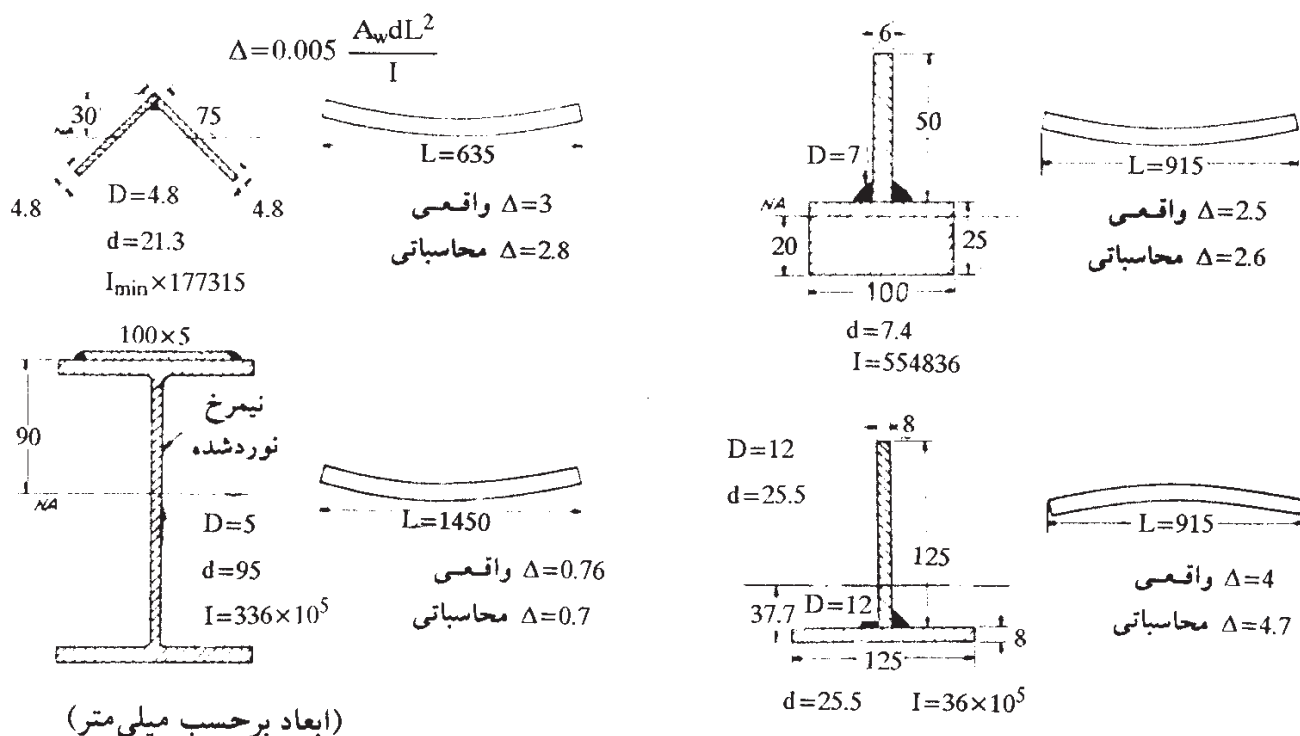
L = طول کلی عضو (با فرض جوش طولی کامل) (cm)

I = ممان اینرسی عضو (cm^4) Δ = خیز حداکثر (cm)

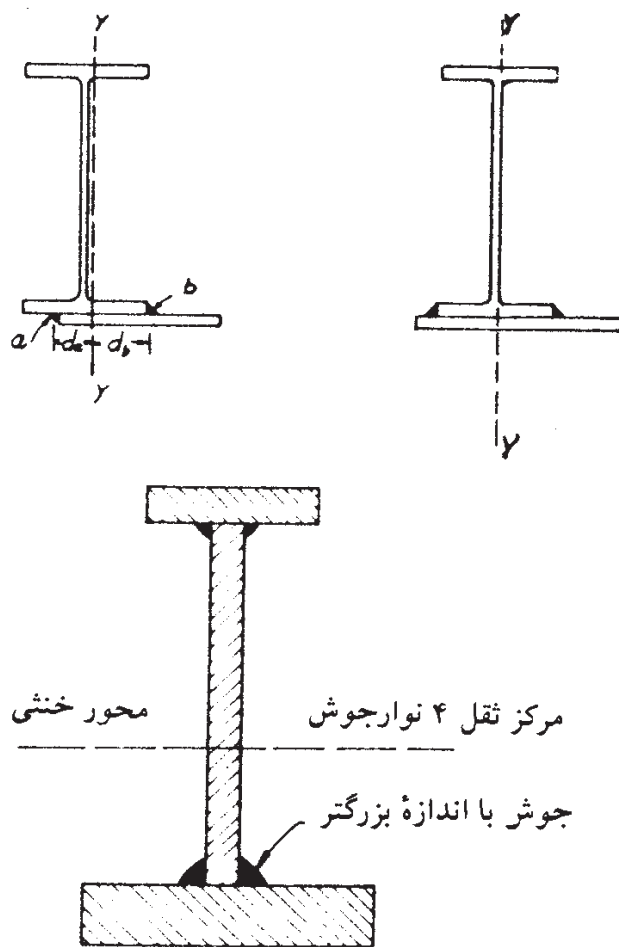
در شکل ۶-۱۳ انطباق خوب نتایج حاصل از رابطه با مقادیر اندازه گیری شده نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۲ - هلالی شدن نسبت مستقیم با عرض بال و اندازه جوش و نسبت معکوس با ضخامت بال دارد.



شکل ۶-۱۳ - انطباق خوب رابطه ۶-۳ با مقادیر اندازه گیری شده در عمل.



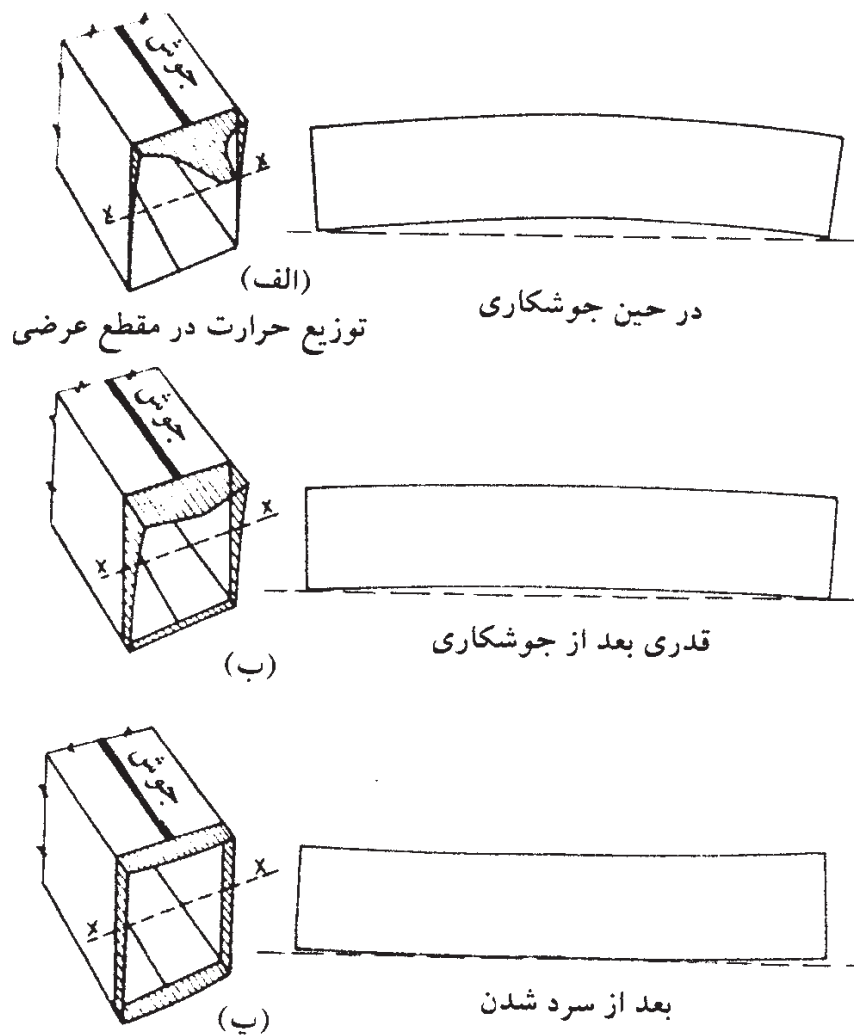
شکل ۶-۱۴ - وقتی که جوش‌ها در حول تار خنثی متعادل نیستند، ارجح است که ابتدا جوش نزدیکتر به تار خنثی انجام شود. حتی بهتر است که اندازه جوش آن نیز به تناسب افزایش یابد.

گاهی مواقع حتی با وجود تعادل جوش‌ها در حول تار خنثی، پدیده شمشیری شدن در اعضای طولی رخ می‌دهد. این پدیده این‌طور توجیه می‌شود که در اطراف خط جوش اول تغییرشکل‌های خمیری رخ می‌دهد که این تغییرشکل‌ها به علت خط جوش قرینه، خنثی نمی‌شود. در صورتی که برای حصول جوش چند عبور لازم گردد، با انتخاب توالی مناسب برای انجام جوش، می‌توان از بروز تغییرشکل‌های ناخواسته جلوگیری نمود. به‌عنوان مثال به‌توالی 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 یک تیر IPE را نشان می‌دهد، ابتدا باید جوش a و بعد جوش b اجرا گردد. در صورتی که از جزئیات شکل سمت راست استفاده گردد، هم تعادل جوش‌ها برقرار شده و هم هر دو جوش به صورت تخت و همزمان قابل اجرا هستند.

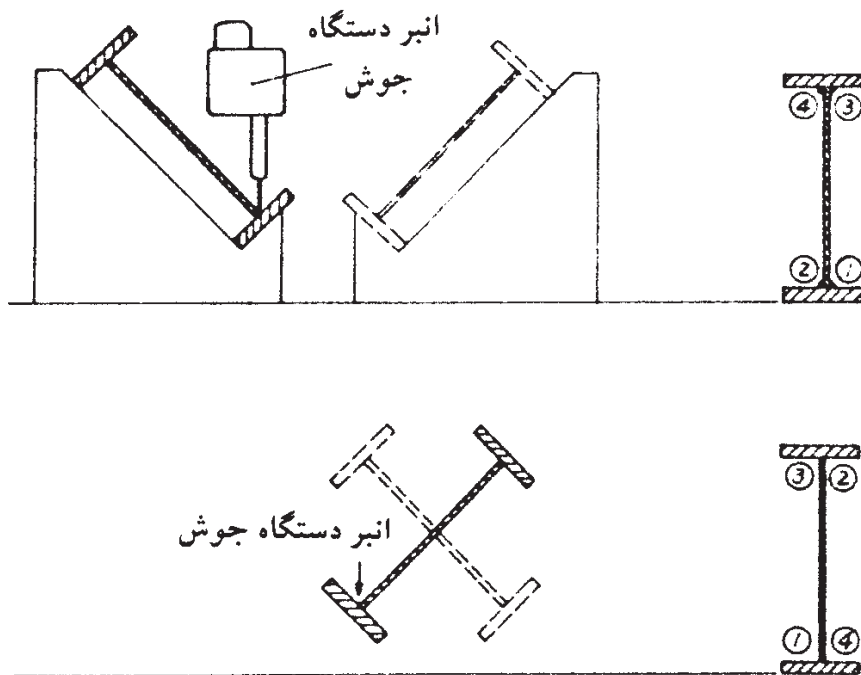
اغلب لازم می‌شود که برای حصول مقاومت لازم، دو یا چند نیمرخ جدار نازک به یکدیگر متصل شوند (شکل ۶-۱۵). در چنین حالتی کار درستی نیست که ابتدا جوش یک سمت را انجام داده و اجازه دهیم تا سرد شود، و سپس جوش سمت دیگر را انجام دهیم. در این حالت انجام جوش دوم نمی‌تواند انحنای ناشی از جوش اول را کاملاً خنثی نماید. این پدیده با توجه به شکل ۶-۱۵ بدین ترتیب توجیه می‌شود؛ جوش فوقانی باعث گرم شدن بال فوقانی و در نتیجه تحدب کل عضو می‌شود (اشکال الف و ب). اگر اجازه دهیم بال و جوش فوقانی به دمای محیط برسد، تحدب از بین



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

رفته و به علت انقباض جوش، عضو به صورت مقعر در می‌آید (شکل پ). حال اگر در این حالت جوش سمت دیگر انجام شود، نمی‌تواند تمام این تقعر را خنثی نماید. چاره کار این است که بلافاصله بعد از اتمام جوش سمت اول و قبل از سرد شدن بال فوقانی، عضو را برگردانده و جوش سمت دیگر را انجام داد. این روش باعث افزایش انقباض جوش دوم و در نتیجه مستقیم شدن عضو می‌شود.

در شکل ۶-۱۶، روش انجام جوش اتوماتیک 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.

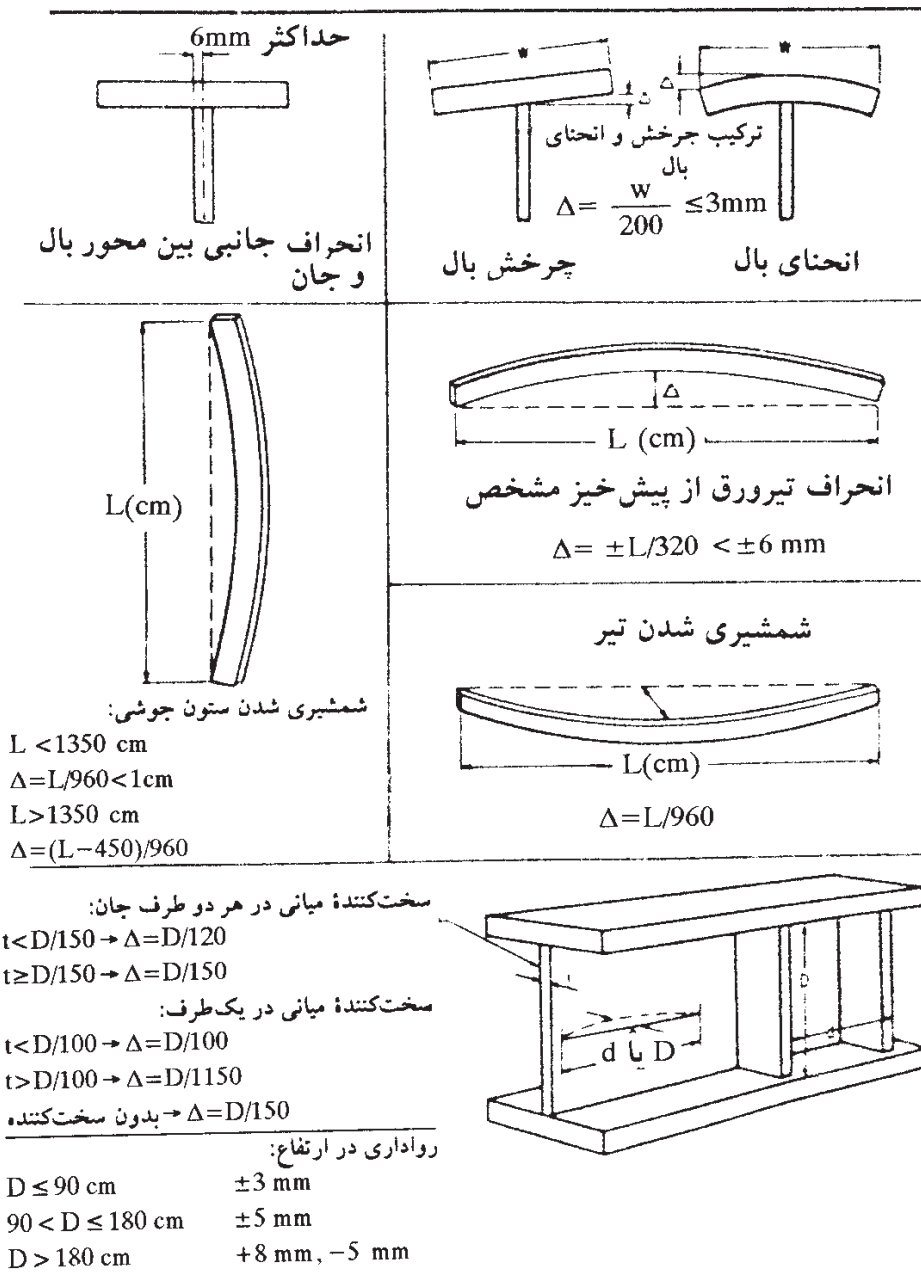


شکل ۶-۱۶ - وضعیت و توالی جوشکاری در اتصال بال به جان تیورورق.

در شکل ۶-۱۷، رواداری‌های مجاز ساخت و تغییرشکل‌های ناشی از جوشکاری، طبق آیین‌نامه AWS ارائه شده است.

۶-۸ هم‌راستایی ورق‌ها

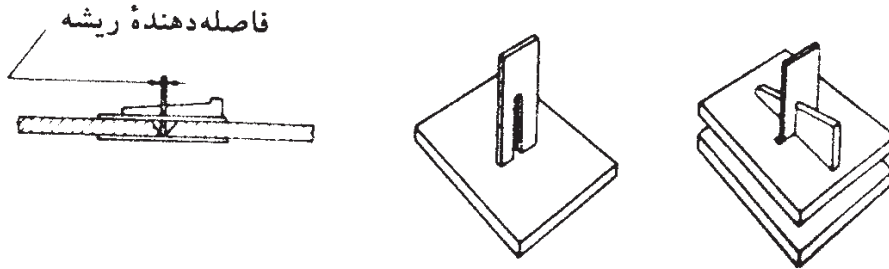
به منظور هم‌راستا نمودن ورق‌ها و حفظ هم‌راستایی آنها در حین جوشکاری، روش‌های مختلفی



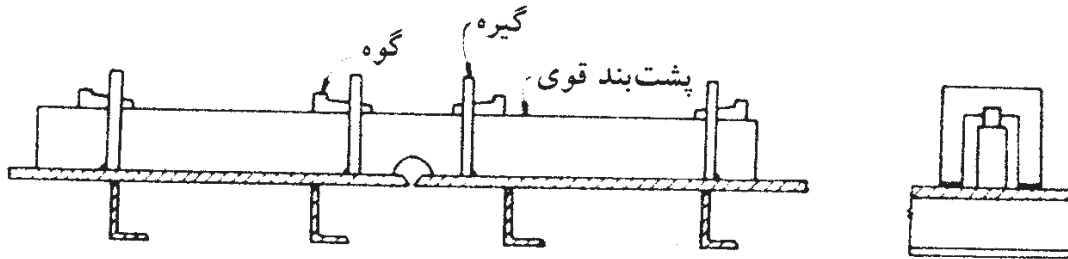
شکل ۶- ۱۷ - رواداری های مجاز ساخت و تغییر شکل های مجاز ناشی از جوشکاری طبق AWS.

وجود دارد. یک روش ساده و متداول استفاده از گوه می باشد که در شکل ۶ - ۱۸ نشان داده شده است. در حالت ساده، گیره هایی به لبه یکی از ورق ها جوش شده و با فرو راندن گوه ای در حد فاصل گیره و ورق دوم، دو لبه ورق مقابل یکدیگر قرار می گیرند.

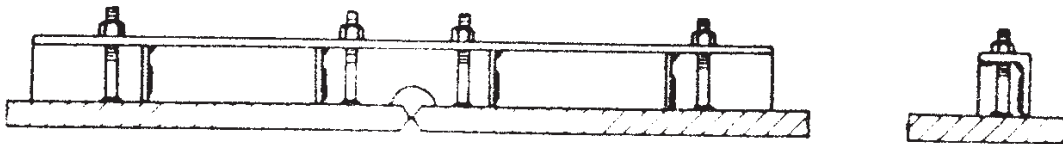
در قسمت تحتانی شکل ۶ - ۱۸ روش دیگری برای هم راستا نمودن ورق ها به کمک گوه نشان داده شده است. این روش لبه های ورق را در عرض بزرگتری به صورت مستقیم حفظ نموده و از اعوجاج ورق ها در حین جوشکاری نیز کم می کند. در شکل ۶ - ۱۹، در قسمت فوقانی از گوه و در قسمت تحتانی از فشار پیچ برای هم راستایی استفاده شده است.



شکل ۶-۱۸ - هم راستا نمودن ورق ها و حفظ هم راستایی در لبه های آنها به کمک گیره و گوه.



استفاده از گوه برای ورق های نازک



استفاده از پیچ برای ورق های ضخیم

شکل ۶-۱۹ - روش دیگری برای هم راستایی ورق ها در حین جوشکاری. در جزییات فوقانی از فشار گوه و در قسمت تحتانی از فشار پیچ برای هم راستا نمودن ورق ها استفاده شده است.

۶-۹ استفاده از چکش کاری و حرارت برای رفع انقباض های جوشکاری

چکش کاری یکی از روش های متداول برای حذف اعوجاج حاصل از جوشکاری است. چکش کاری اگر به درستی انجام شود، باعث انبساط شده و انقباض جوشکاری را از بین می برد، لیکن باید توجه داشت که در چکش کاری، انبساط به صورت سطحی انجام می شود.

چکش کاری در درجات حرارت بزرگتر، بیشتر مؤثر می باشد، لیکن متأسفانه اکثر انقباض بعد از سرد شدن به وجود می آید. در نتیجه به مقدار زیادی از بازده چکش کاری کم می شود. عیب

چکش کاری کم کردن خواص شکل پذیری فولاد می باشد.

استفاده از حرارت شعله مشعل برش، روش دیگری برای کاهش و یا از بین بردن آثار انقباضی جوش است. حرارت مشعل باعث انبساط نواحی حرارت دیده می گردد. این نواحی توسط نواحی خنکتر احاطه شده است، در نتیجه در هنگام سرد شدن، کوتاهتر شده و تحت تنش کششی قرار می گیرد. تکرار عمل حرارت دادن، نهایتاً باعث انقباض می گردد.

انحنای عضو به علت جوشکاری و راست نمودن آن به کمک حرارت، مثل چهارپایه ای می ماند که یک پایه آن به علتی کوتاه شده و با کوتاه کردن باقی پایه ها، چهارپایه به صورت تراز در می آید.

۱۰-۶ جمع بندی مطالب فصل

انقباض عرضی

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

انقباض زاویه ای می تواند با تدابیر زیر کاهش یابد

- ۱- استفاده از جوش های جناغی (V) و لاله ای (U) دوطرفه؛
- ۲- انجام جوش های پشت و رو به صورت یک درمیان؛
- ۳- پخ زدن لبه به منظور کاهش بازوی لنگر و در نتیجه کاهش اعوجاج؛
- ۴- استفاده از جوش های گوشه با اندازه کم. مقدار انحنای آن توان $1/3$ اندازه جوش متناسب می باشد؛
- 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 جوش ها در حول محور ختثای مقطع به دو روش زیر:
 - الف: هم اندازه کردن جوش های هم فاصله در دو طرف تار ختثی؛
 - ب: در صورتی که جوش های دو طرف تار ختثی هم اندازه نباشند، اندازه جوش هایی 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 جوشکاری در مقطع هر مجموعه

به صورت متقارن باشد.

اگر بال طولیتر یک عضو خمیده، حرارت داده شود، به صورت مستقیم در می‌آید.

روش‌های مناسب برای کنترل اعوجاج

۱ - بستن عضو به شاسی کار و نگهداری آن در حین جوشکاری؛

۲ - تنظیم لبه‌ها و ورق‌ها به صورت غیرمراستا، به طوری که بعد از جوش به صورت مستقیم درآیند؛

۳ - پیش‌انحنای عضو (پیش‌خیز)؛

۴ - بستن دو عضو به صورت پشت به پشت با مقداری پیش‌انحنا؛

۵ - استفاده از گیره و قالب؛

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 سرهم کردن قطعات؛

۹ - ابتدا قطعات انعطاف‌پذیرتر جوش داده شوند، به طوری که راست کردن آنها ساده باشد.

کیفیت و بازرسی جوش

۷-۱ مردود نمودن در مقابل پیشگیری^۱

جوشکاری در ساختمان و پل از این جهت که تا به حال منجر به خرابی فاجعه‌انگیز نشده است، دارای اعتبار خوبی است. ولی موارد متعددی وجود دارد که در آنها به علت عدم برآورده شدن مشخصات در بازرسی نهایی، جوش گسیخته شده است.

دلایل بسیاری برای مردود کردن جوش در بازرسی نهایی وجود دارد. قبل از اقدام به اصلاح چنین جوش‌هایی، سؤالات متعددی وجود دارد که باید به آنها پاسخ گفت. برای مثال سیاست خوبی است که روش‌های بازرسی مورد بازبینی قرار گیرند و ارتباط بین دلایل مردود شمردن جوش و شرایط بهره‌برداری مورد جست و جو قرار گیرند. وقتی که چنین ارتباطی وجود نداشته باشد، باید اقدامات سریعی برای اصلاح جوش‌های مردود انجام شود تا از تکرار آنها جلوگیری گردد. از طرف دیگر اگر روش‌های بازرسی نامناسب و یا غیرواقعی باشد، باید با روش‌های صحیحتری جایگزین گردند.

برای هر عیب جوش یک علت منطقی وجود دارد و برای اصلاح و تعمیر آن نیز یک روش منطقی. اغلب عیوب جوش مربوط به روش و دستورالعمل جوشکاری است و با پیشرفت کار می‌تواند مورد جست و جو قرار گیرد.

جست‌وجوی به‌هنگام عیوب جوش، اجازه اصلاح اقتصادی آنها را می‌دهد. اگر این کار

به بازرسی نهایی پس از اتمام کار واگذار شود، باعث اتلاف بیهوده‌ی زمان و هزینه خواهد شد.

۷-۲ یک جوش خوب چیست؟

به نظر خیلی از مهندسين، «پاسخ اين سؤال كه جوش خوب چيست؟» اين است كه «جوشى كه در بازرسى نهايى به تأييد برسد». اگر به اين نكته توجه شود كه ارتباط ضعيفى بين عيوب مشاهده شده در حين بازرسى و عملکرد جوش در حين بهره‌بردارى وجود دارد، باز مى‌توان گفت كه اين پاسخ درست است!

تعريف بهتر اين مى‌تواند باشد كه جوش خوب، جوشى است كه بتواند وظائف مقرر شده را در حين بهره‌بردارى برآورده نمايد. مشكللى كه چنين تعريفى مى‌تواند به بار آورد اين است كه نمى‌توان روش آزمون غيرمخربى تعيين نمود كه پاسخ آرى يا خير را بتوان از آن به دست آورد. در عوض، در بازرسى جوش، به دنبال عيوب جوش مى‌گرديم و اميدواريم كه آن را پيدا كنيم. اگر چنين عيوبى پيدا شوند، برحسب تأثير عيب بر شرايط بهره‌بردارى، مى‌توان قضاوت نمود كه آيا جوش خوب است يا بد.

۷-۳ راه حل چیست؟

ابتدا بايد عيب و عامل آن را پيدا نمود. سپس بايد دستورالعمل جوشكارى^۲ برقرار كرد كه بتواند اين عيب را برطرف كند. اين كار آن طورى كه به نظر مى‌رسد، سخت نيست. ليكن بايد جزييات ظريفى را مورد جست و جو قرار داده و در اجرا به آن توجه نمود.

نكته دلگرم‌كننده اين است كه اشاره گردد جوشكاران خوب و مورد تأييد و اپراتورهاي دستگاه‌هاي جوش، به اهميت اين جزييات ريز و ظريف واقف هستند. آنها اغلب مى‌توانند پاسخ بازرسى نهايى را پيش‌بيني نمايند. جوشكاران با وجدان مى‌توانند يك بازرس چشمى تمام وقت باشند. زيرا آنها تمام نوارجوش را از لحظه ذوب تا انجماد به طور كامل مشاهده مى‌كنند و بهتر از بازرسى كه فقط جوش تمام شده را مى‌بيند، و فقط روى قسمت‌هاي خاصى مى‌تواند دقيق شود، مى‌توانند از كيفيت جوش آگاه باشند.

۷-۴ نظارت و بازرسى از چه زمانى شروع مى‌شود؟

اين تصميم كه نظارت فقط بعد از اتمام جوشكارى انجام شود، خيلى خطرناك است و بهترين روش براى آگاهى از كيفيت جوش نيست. اين كار نوشداروى بعد از مرگ است.

به طور كلّى كيفيت نهايى هر كار به دو روش به كيفيت مطلوب نزديك مى‌گردد:

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

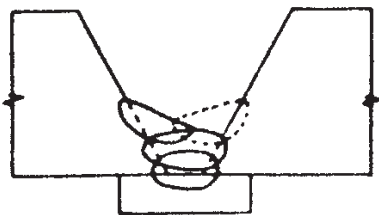
ب) از طریق برنامه‌های کنترل کیفیت (Q.C. = Quality Control)

برنامه‌های تضمین کیفیت شامل بازرسی مواد اولیه، بررسی روش‌های جوشکاری، آزمون‌های تعیین 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 چشمی (عینی) و آزمایش‌های غیرمخرب و در نهایت کنترل ابعادی قطعات بعد از جوشکاری است.

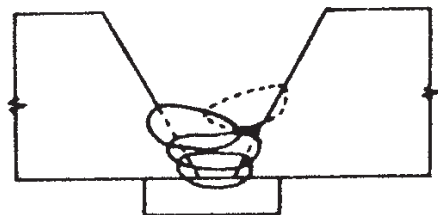
۷-۵ شناسایی عیوب کوچک و اصلاح آنها

شاید اغلب مردود شدن جوش‌ها به علت نتایج آزمایش پرتونگاری باشد. این روش توانایی آشکارسازی فقدان ذوب و تداخل گِل جوشکاری، حفره، و ترک داخلی را که به وسیله بازرسی چشمی امکان‌پذیر نیست، دارد.

اگر از استثناها بگذریم، یک جوشکار با وجدان با بازرسی چشمی می‌تواند بگوید که آیا ذوب خوب حاصل شده یا نه (شکل ۷-۱). 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.



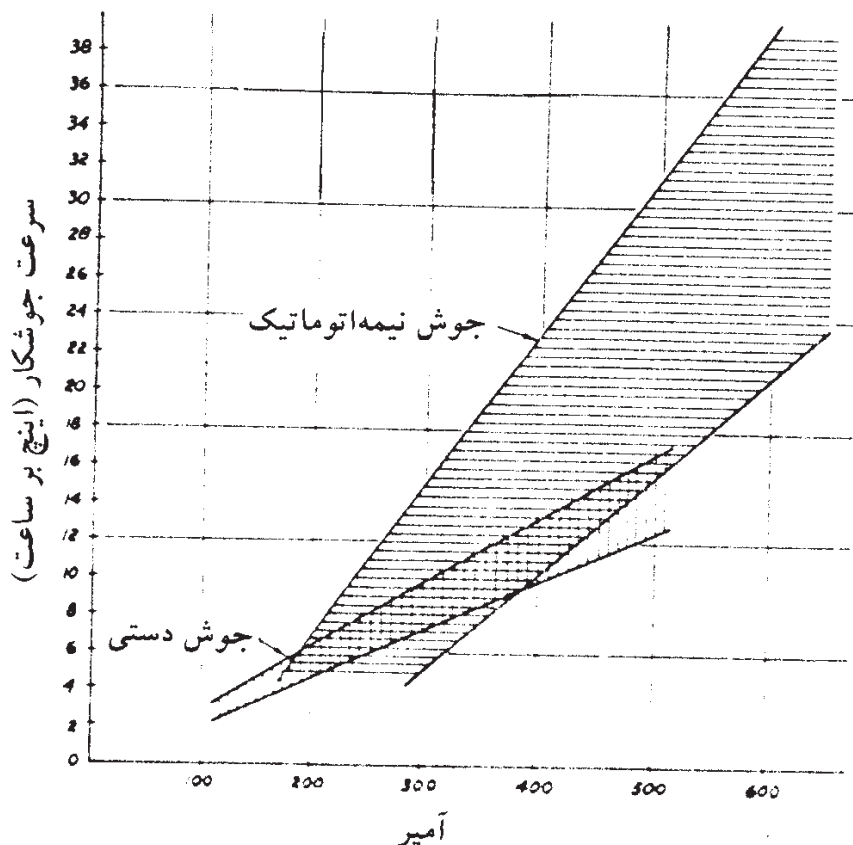
الف) هیچ مشکلی برای پاس بعدی برای ذوب لبه ورق و پاسهای قبلی وجود ندارد



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

شکل ۷-۱ - یک جوشکار با وجدان به‌طور چشمی هر نواری را که جوش می‌دهد، بازرسی می‌کند. او می‌داند که خطوط تراز ناچور 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. ضررهای اقتصادی این تصور نادرست در هنگام مردود شدن جوش در بازرسی نهایی روشن می‌شود.



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

۶-۷ درزهای پیش‌ارزیابی شده

طبق آیین‌نامه AWS-D2.-66 و AWS-D1.0-66، درزهای پیش‌ارزیابی شده، درزهایی هستند که ۱۲ شرط مقرر شده در فصول ۳ و ۴ از آیین‌نامه‌های فوق‌الذکر در مورد آنها اعمال گردد. برآورده کردن این شرایط احتیاج به دقت زیادی دارد و اگر بتوان به آن دست یافت، می‌توان این انتظار را داشت که جوش به احتمال زیاد از بازرسی نهایی موفق از آب درآید. چنین درزهایی وقتی موفق هستند که به همراه دستورالعمل جوشکاری مناسب مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از درزهای پیش‌ارزیابی شده

به معنای حذف بازرسی نهایی نیست.

۷-۷ ارتباط و هماهنگی

برای حصول یک جوش خوب، نیاز به ایجاد همکاری و ارتباط مناسب بین طراح، مهندسین و تکنسین‌های اجرایی می‌باشد. حاصل این همکاری، تعیین روش، وضعیت، نوع الکتروود، نوع درز، آماده‌سازی لبه‌ها، و سایر عوامل مؤثر در جوش خواهد بود.

۷-۸ پنج دستورالعمل برای جوش ساختمانی خوب

برای حصول یک جوش خوب باید در پنج نکته زیر دقیق بود (پنج P):

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

روش جوشکاری

اولین گام انتخاب روش مناسب برای جوشکاری است. در این گام مسئولین طراحی و اجرا، تصمیم می‌گیرند که از کدامیک از حالات جوش دستی، نیمه اتوماتیک و یا تمام اتوماتیک 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 اتوماتیک باعث افزایش قابل توجه در سرعت و کاهش هزینه‌ها می‌گردد، که البته مستلزم سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر نیز می‌باشد. در اشکال ۷-۲ و ۷-۳، مقایسه‌ای بین سه روش جوشکاری به منظور انتخاب مناسبترین آنها انجام شده است.

آماده‌سازی لبه‌ها

در درزهای لب‌به‌لب، آماده‌سازی لبه‌ها ایجاد تعادلی بین زاویه پخی لبه و دهانه ریشه می‌باشد. زاویه پخی زیاد، نیاز به دهانه ریشه کوچکتر و زاویه پخی کم، 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 جوش استاندارد برحسب روش جوشکاری ارائه شده است. برای حفظ اقتصاد جوش، زاویه پخی و دهانه ریشه باید در حداقل حفظ گردد و اندازه الکتروود نیز

روش جوشکاری	الکتروود مغزه دار	زیرپودری	دستی	دستی
نوع الکتروود	2.4NS.3M	2.L 60	4.8 و 5.6	4.8
شدت جریان	325-350	350-375	E6027	E6018
ولتاژ	30-31	30-31	300-350	200-225
قطبیت	DC+	DC+	AC	DC+
سرعت جوش	12-13	10.5-11.0	9.5-10.5	5-6
زمان قوس	3.2	3.8	3.9	8.3
زمان تمیز کردن (زمان‌ها به دقیقه)	1.0	.7	1.0	2.3
زمان کل	4.2	4.5	4.9	10.6
عامل زمان	1.0	1.1	1.2	2.5

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

متناسب و سازگار با کار باشد. در شکل ۷-۴ حداکثر اندازه مجاز الکتروود طبق آیین‌نامه AWS ارائه شده است. بعد از انتخاب زاویه پخی، دهانه ریشه و اندازه الکتروود، قبل از شروع جوش‌های اصلی، باید یک‌سری جوش آزمایشی انجام شده و مورد آزمایش قرار گیرد.

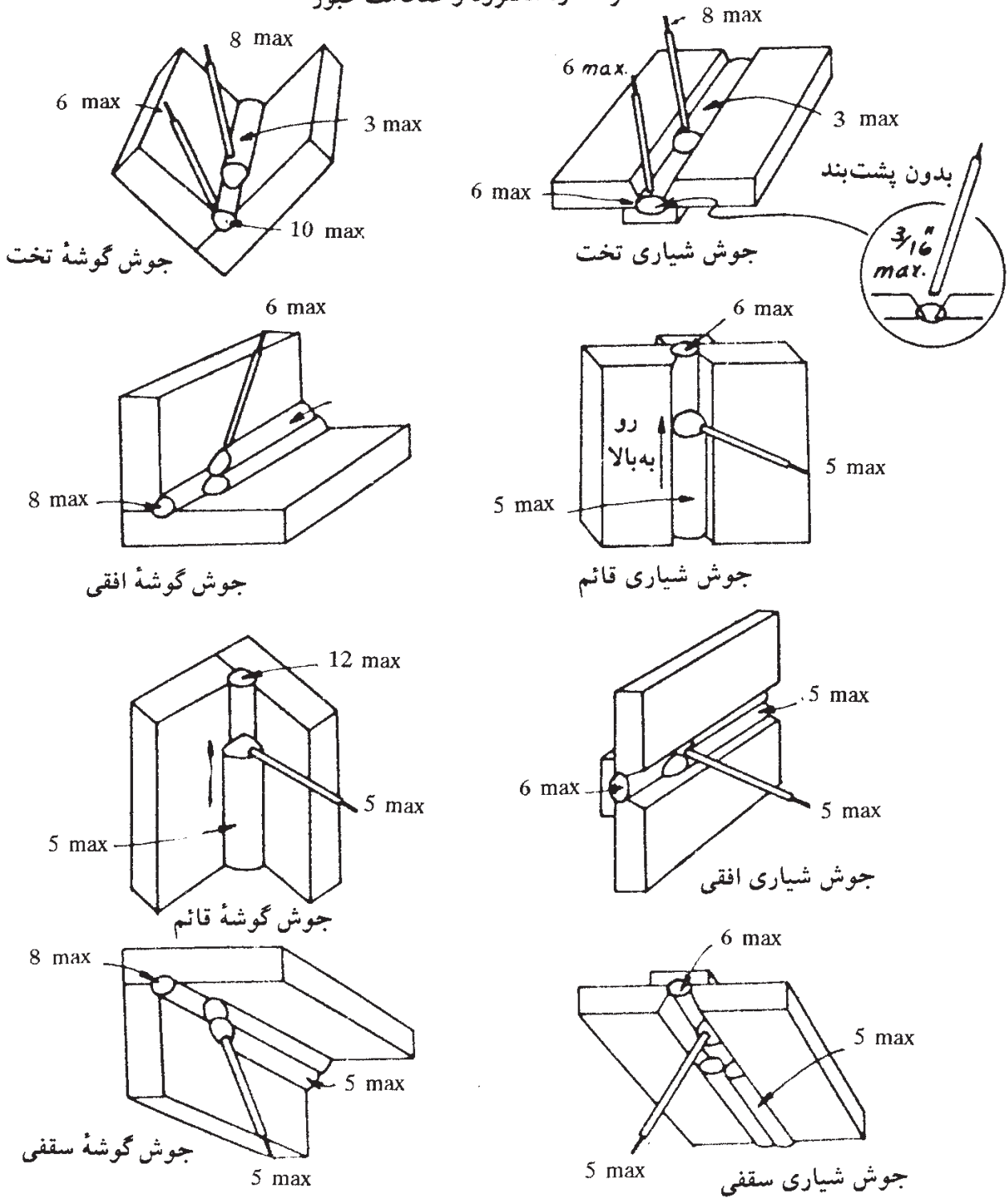
دستورالعمل جوشکاری

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 تعیین دستورالعمل جوشکاری قابل اعتماد، استفاده از نمونه‌های دستی آزمایشی است. در شکل ۷-۵ تصویری از یک نمونه آزمایشی که مراحل جوشکاری به‌خوبی روی آن مشخص است، نشان داده شده است. یک دستورالعمل جوشکاری کامل، باید شامل اطلاعات زیر باشد:

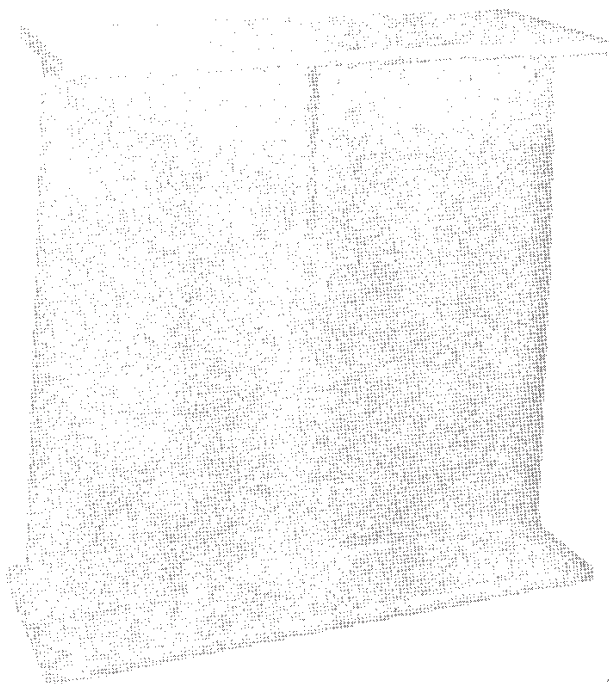
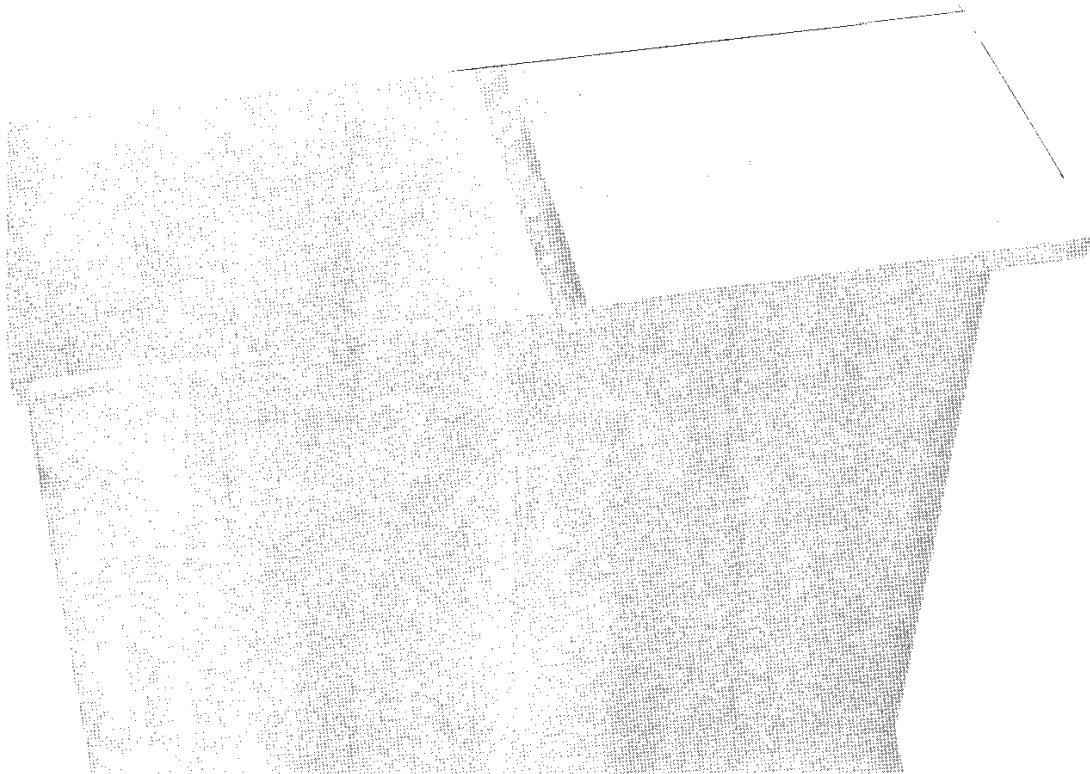
- ۱- جزئیات اتصال
- ۲- هندسه و رواداری‌های درز
- ۳- روش جوشکاری
- ۴- نوع و اندازه الکتروود
- ۵- نوع پودر و یا گاز محافظ

حداکثر اندازه الکتروود و ضخامت عبور



(تمام اندازه‌ها برحسب میلی متر می باشند)

شکل ۷-۴ - حداکثر اندازه مجاز الکتروود طبق AWS.



شکل ۷-۵ - نمونه آزمایشی به منظور انجام دستورالعمل جوشکاری به صورت آزمایشی.

۶- شدت جریان و ولتاژ (و تغییرات آنها در پاس‌های مختلف) و قطبیت

۷- پیش‌گرمایش و درجه حرارت عبورهای میانی

۸- توالی عبورها (همراه با یک طرح)

۹- نوع بازرسی مورد نیاز

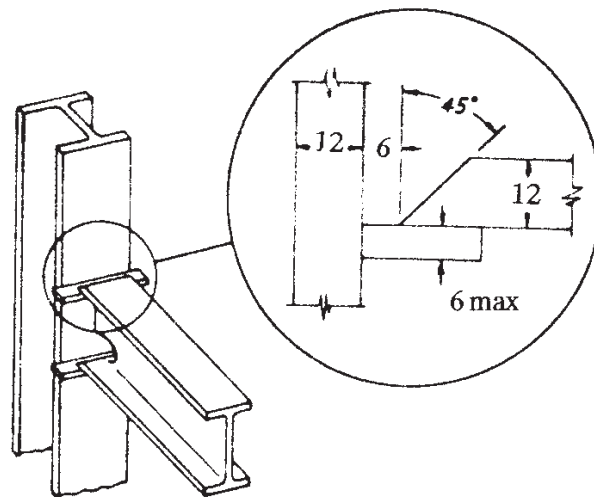
۱۰- هر اطلاعات دیگر از قبیل زاویه الکتروود، قرارگیری نوار جوش، و یا تکنیک‌های خاصی

که کمکی برای حصول جوش خوب توسط جوشکار باشد.

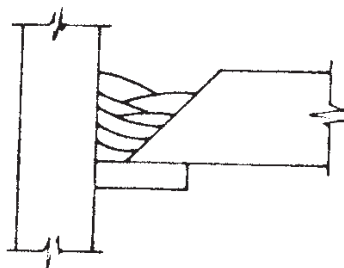
در شکل ۶-۷ یک نمونه از دستورالعمل جوشکاری ارائه شده است. هرچند که انتخاب

دستورالعمل جوشکاری مناسب به زمان اولیه نیاز دارد، لیکن باید به نتایج آن که ایجاد یکنواختی و

هماهنگی بین تمام جوشکاران و جلوگیری از اعمال سلیقه‌های شخصی است، توجه داشت.



دستورالعمل جوشکاری



نوع الکتروود :

شدت جریان :

توالی عبور (پاس) :

تکنیک جوشکاری :

پیش‌گرمایش :

احتیاجات نظارتی :

قطبیت :

شکل ۶-۷ - 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. یک روش ساده و

نسبتاً ارزان برای آزمایش جوشکاران، انجام آزمایش تشخیص صلاحیت جوشکار^۴ AWS می باشد (شکل ۷-۷).

	آزمون جوش گوشه	آزمون جوش شیاری خمش ریشه	آزمون جوش شیاری خمش جانبی
آزمون آماده سازی درز			
وضعیت تخت			
وضعیت افقی			★
وضعیت قائم (سربالا)			★
وضعیت بالای سر (سقفی)			★
آماده سازی نمونه			
آزمون های لازم	دو خمش ریشه	یک خمش ریشه و یک خمش رویه	دو خمش جانبی

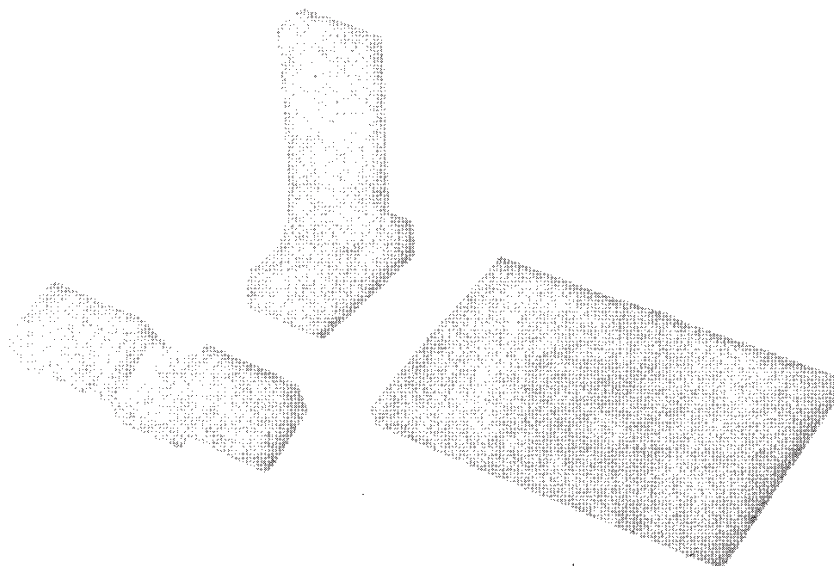
شکل ۷-۷ - مقررات آزمایش تشخیص صلاحیت جوشکار.

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

در جوشکاری نیمه و تمام اتوماتیک، ممکن است صلاحیت جوشکار خیلی مهم نباشد، لیکن باید جوشکار برای کار با دستگاه آزمایش لازم را ببیند.

پیش‌آزمایش

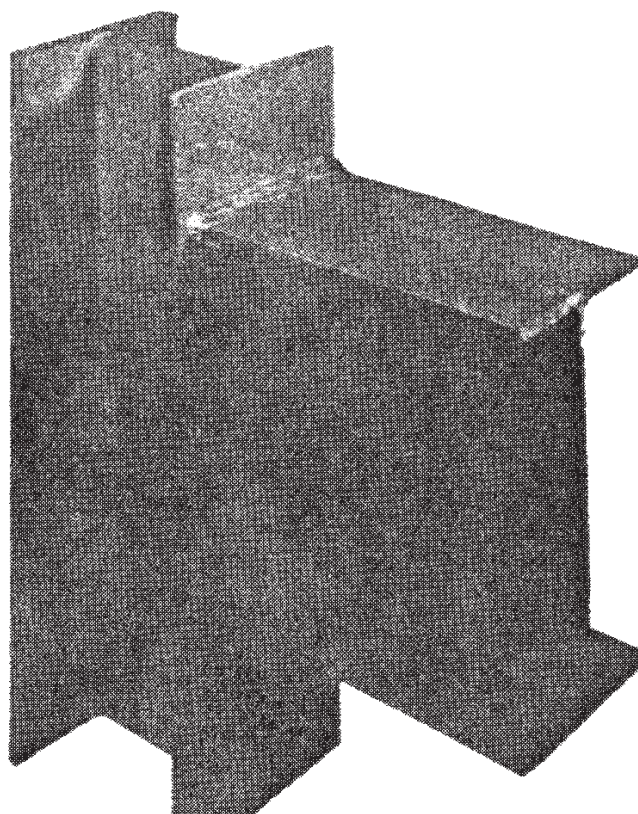
بعد از تعیین روش جوشکاری، آماده کردن لبه‌ها، دستورالعمل جوشکاری و انتخاب پرسنل مناسب، باید نمونه‌های واقعی از کار منطبق با شرایط واقعی، جوش شده و مورد آزمایش‌های مخرب یا غیرمخرب قرار گیرند (شکل ۷ - ۸). انجام بعضی از این آزمایش‌ها در مورد نمونه‌های واقعی ممکن است امکان‌پذیر نباشد.



شکل ۷ - ۸ - نمونه‌های آزمایش قبل از آغاز کار واقعی.

۷-۹ نظارت‌های پیشگیرانه

به‌طور خلاصه باید به این نکته توجه نمود که اگر انجام بازرسی به‌بعد از اتمام جوش واگذار گردد،



شکل ۷-۹ - یک نمونه آزمایشی تماس مقیاس از اتصال تیر به ستون.

خیلی دیر خواهد بود. اگر بعد از اتمام جوش، وقوع ترک، بریدگی لبه جوش^۵، اندازه غلط، ذوب ناقص یا سایر معایب مشاهده گردد، رفع آنها خیلی گران قیمت 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 چشمی، 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 ادامه یک چک‌لیست کامل ارائه می‌گردد.

چک لیست مواردی که بر کیفیت جوش مؤثر هستند

نکاتی که قبل، در حین و بعد از جوشکاری

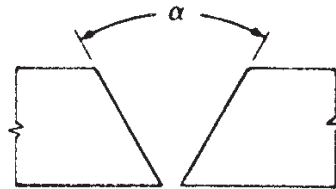
باید مورد بازرسی چشمی قرار گیرند

●○○ کنترل قبل از جوشکاری

○○● کنترل در حین جوشکاری

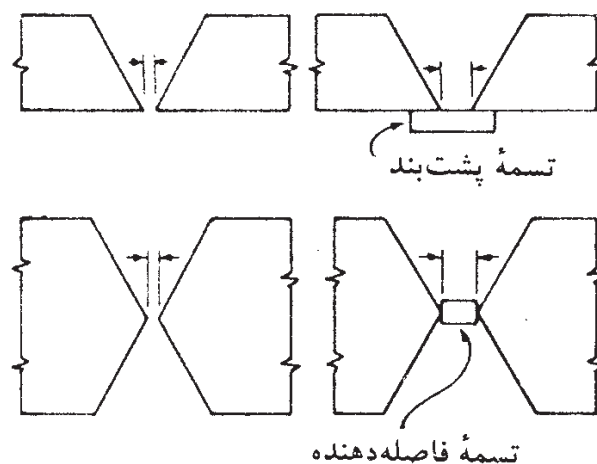
○○● کنترل بعد از جوشکاری

۱ - زاویه پخی (Included angle) ●○○

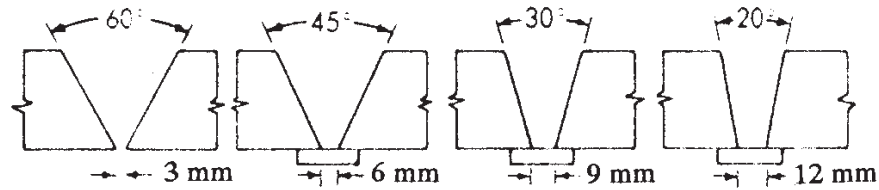


زاویه پخی باید به اندازه‌ای باشد که الکتروود به راحتی به ریشه جوش برسد و در عبورهای متوالی، از ذوب کامل جداره‌ها اطمینان حاصل گردد. در حالت عمومی هرچه این زاویه بزرگتر باشد، مصرف مصالح جوش افزایش می‌یابد.

۲ - دهانه ریشه (Root opening) ●○○



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



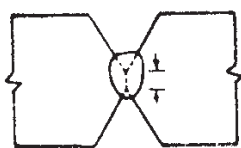
پشت کار وجود داشته باشد، عدم ذوب کامل ریشه در عبور (پاس) اول خیلی جدی نیست. در صورت استفاده از تسمه پشت‌بند، دهانه ریشه افزایش داده می‌شود تا ذوب کامل ریشه و تسمه پشت‌بند امکان‌پذیر باشد. در این حالت نیازی به سنگ زدن ریشه از پشت کار نمی‌باشد و امکان سوختن ریشه نیز در میان نیست. در پخی دوطرفه، تسمه فاصله‌دهنده 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 عمل متقابل عکس روی یکدیگر دارند. یعنی هرچه زاویه پخی کم باشد، باید دهانه ریشه افزایش داده شود و هرچه دهانه ریشه کم باشد، باید زاویه پخی افزایش داده شود. در عمل باید به کمک آزمون و خطا، مطلوبترین حالت تعیین شود.

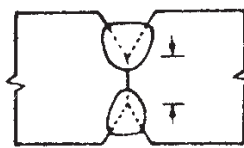
۳- ضخامت ریشه (Root face) ●○○



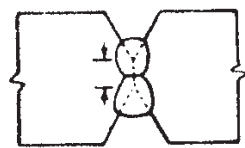
رعایت ضخامت ریشه به منظور جلوگیری از سوختن ریشه می‌باشد و معمولاً در جوش‌های اتوماتیک زیرپودری مقرر می‌گردد. ضخامت ریشه دارای یک مقدار حداقل و یک مقدار حداکثر است و در صورت عدم رعایت مقدار حداقل، ریشه جوش می‌سوزد و در صورت عدم رعایت مقدار حداکثر، ذوب ریشه کامل نخواهد بود.



(پ) ضخامت ریشه مناسب
باعث نفوذ مناسب
است

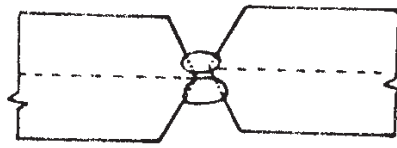


(ب) ضخامت ریشه زیاد
باعث عدم نفوذ کامل
می‌شود



(الف) ضخامت ریشه کم
باعث سوختن ریشه
می‌شود

۴ - هم محوری درز (Alignment) ●○○



عدم هم محوری صحیح باعث تشکیل قسمت هایی با نفوذ ناقص جوش می شود.

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

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

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

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

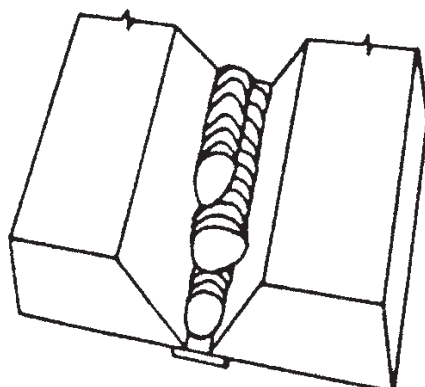
۷ - قطبیت و شدت جریان مناسب (Proper welding current and polarity) ○●○

برحسب نوع و قطر الکتروود، نوع درز، و وضعیت جوشکاری، باید شدت جریان و قطبیت جوشکاری مناسب باشد.

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

خال جوش ها باید کوچک و بلند باشند، به طوری که با جوش اصلی تداخلی نداشته باشند. در ورق های ضخیم، برای اجرای خال جوش ها باید از الکتروودهای کم هیدروژن استفاده نمود.

۹ - ذوب خوب (Good fusion) ○●●



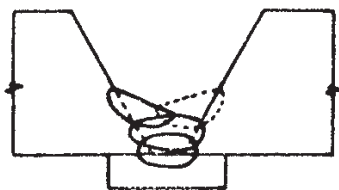
هر عبور (پاس) جوش باید به طور کامل با ورق پشت بند، عبور قبلی، و فلز پایه همجوش شده و امتزاج کامل به وجود آورد، به طوری که هیچ گونه حفره هوا در فصل مشترک به وجود نیاید.

۱۰ - پیش گرمایش و درجه حرارت پاس های میانی

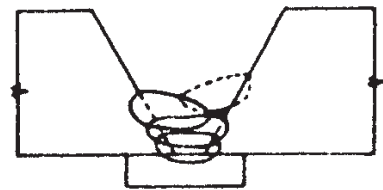
○○○ (Proper Preheat and interpass temperature)

مقدار پیش گرمایش 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، پیش گرمایش و درجه حرارت خاصی برای جوش های میانی لازم بدانند، در حین عملیات جوشکاری این موضوع باید به طور پیوسته مورد بررسی قرار گیرد.

۱۱ - توالی و ترتیب پاس های جوش (Proper sequencing of passes)



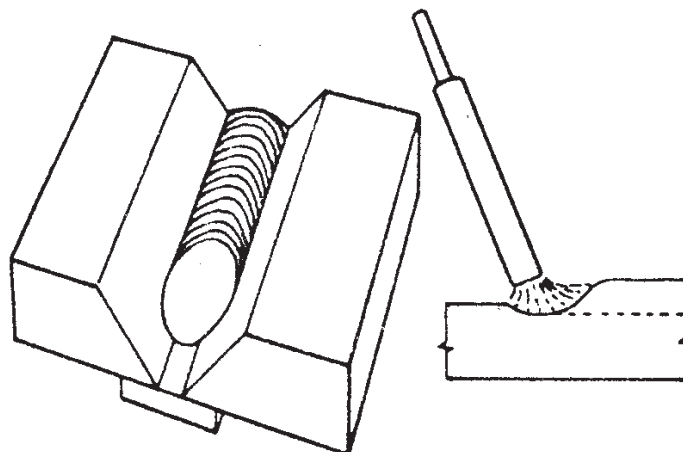
(الف) هیچ مشکلی برای عبور بعدی وجود ندارد



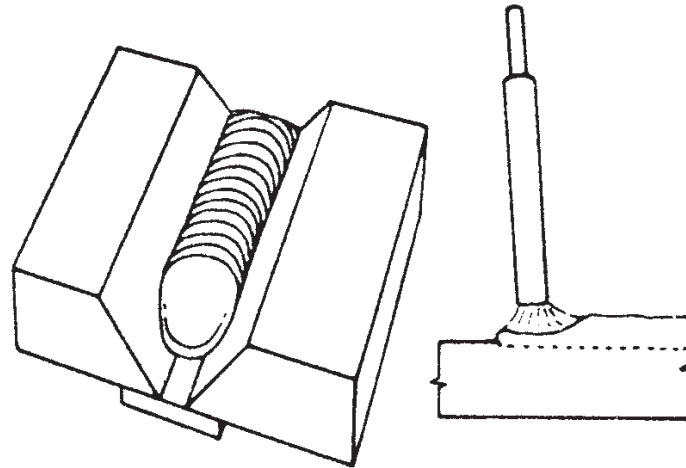
(ب) به علت فضای محدود امکان تولید حفرات هوا وجود دارد

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

۱۲ - سرعت مناسب حرکت نوک الکترود (Proper travel speed)

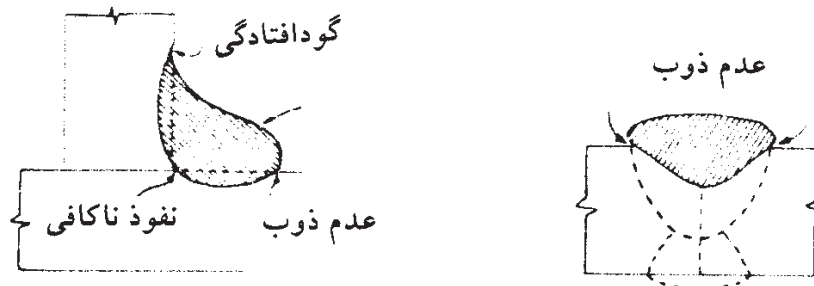


اگر سرعت حرکت خیلی آهسته باشد، فلز جوش ذوب شده و گل جوشکاری، به سمت جلوی الکتروود فرار کرده و شروع به سرد شدن می‌نمایند. در نتیجه جوش اصلی که به روی این قسمت اجرا می‌گردد، شانس نفوذ کافی به ریشه را از دست می‌دهد.

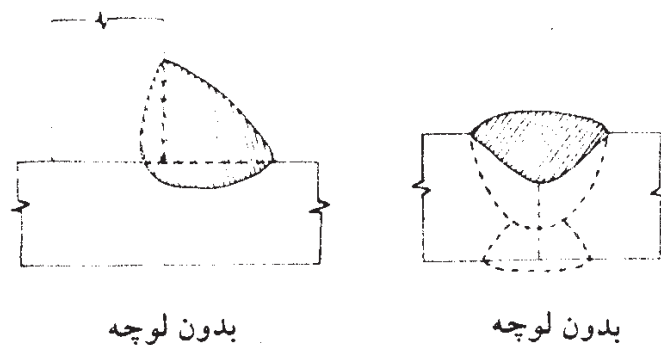


اگر سرعت حرکت افزایش داده شود، امکان فرار مواد مذاب به جلوی الکتروود وجود نداشته و نفوذ کامل صورت می‌گیرد.

۱۳ - لوچه (شره) جوش (Over lap) ●●○

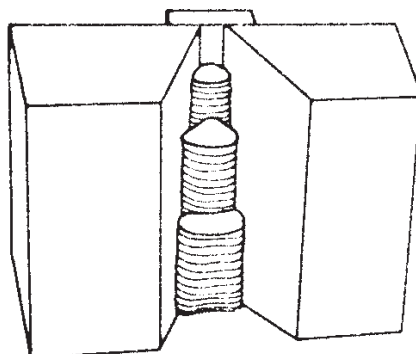


اگر سرعت نوک الکتروود خیلی آهسته باشد، مقادیر زیادی از فلز جوش در حال رسوب، از لبه‌های نوار جوش به سمت بیرون سرریز (شره) کرده و از همجوشی کامل جلوگیری می‌نمایند. عمل سرریز به سهولت در حین جوشکاری قابل مشاهده بوده و روش اصلاح آن افزایش سرعت جوشکاری است (شکل زیر).

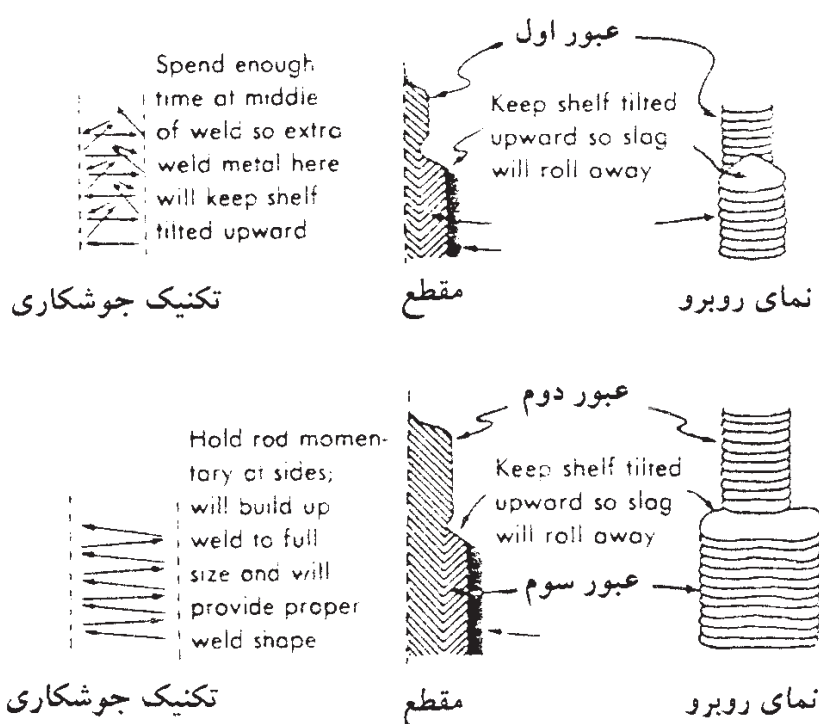


۱۴ - غلتاندن حوضچه مذاب نوک الکتروود در جوش های سربالا (قائم)

○○○ (Tilt of crater in vertical welding)



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



۱۵ - چاله انتهای جوش (Filled Crater)

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

۱ - ضخامت گلوی جوش کمتر از سایر قسمت های نوار جوش است.

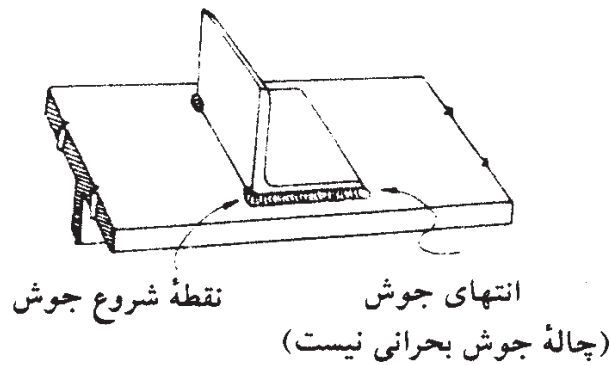
۲ - با توجه به اینکه سطح مقعری دارند، امکان وقوع ترک ستاره ای در آنها در هنگام سرد شدن

وجود دارد. در جوش های گوشه پیوسته، خطر چاله انتهای جوش وجود ندارد، زیرا جوشکار در

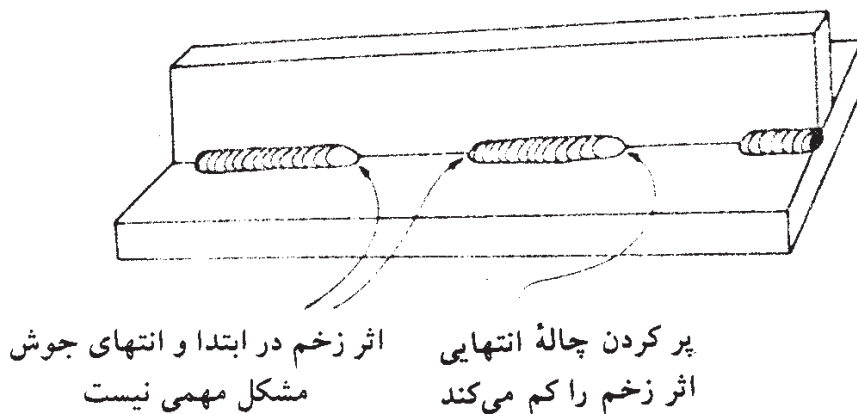
هنگام تعویض الکتروود، چاله انتهای جوش قبلی را با جوش پر می‌کند. در جوش‌ها با طول محدود، لازم است انتهای جوش در محلی واقع گردد که میزان تنش کم است، در غیر این صورت باید دقت گردد که در انتهای جوش چاله کاملاً پر شود.

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

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

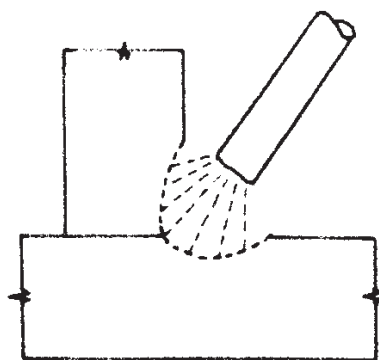


مثال: در جوش‌های منقطع، تشکیل حوضچه در دو انتهای هر قطعه، مشکل مهمی نیست.

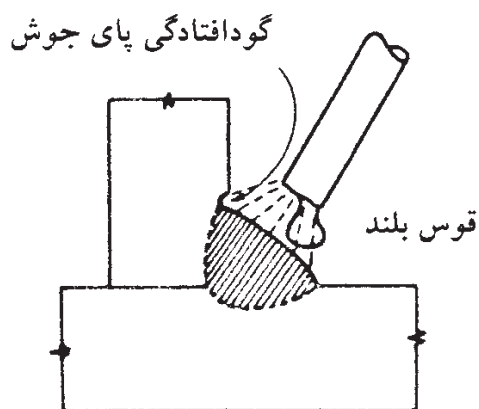


۱۶ - بریدگی لبه‌های جوش (Under cut) ●●○

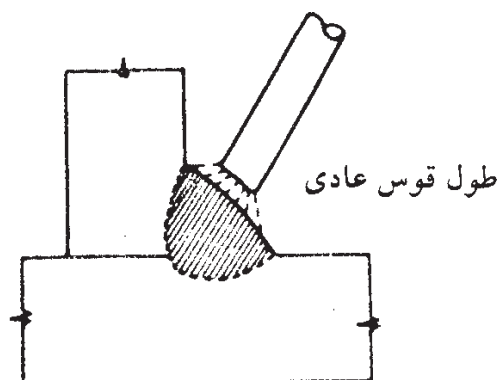
الف: قوس الکتریک قادر به ذوب قسمت‌هایی از فلز پایه می‌باشد.



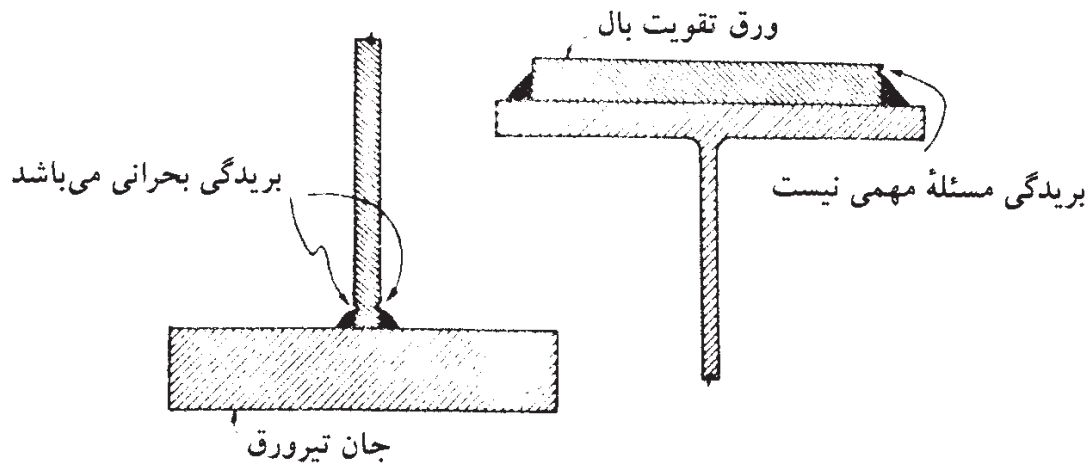
ب : اگر طول قوس بلند باشد (فاصله نوک الکتروود تا سطح جوش)، مصالح جوش نمی تواند تمام فضای ذوب شده را پر کند، در نتیجه در لبه جوش گودافتادگی یا بریدگی به وجود می آید.



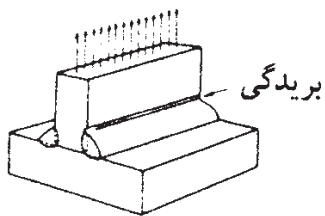
پ : با کاهش طول قوس (نزدیک کردن نوک الکتروود به سطح جوش)، مصالح جوش تمام فضای ذوب شده را پر می کند.



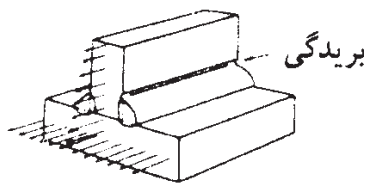
با توجه به اینکه بریدگی به راحتی با اصلاح دستورالعمل جوشکاری قابل اصلاح است، وقوع آن قابل پذیرش نیست. اما این سؤال پیش می آید که بریدگی در چه مواردی مضر بوده و باید اصلاح گردد. ۱- اگر بریدگی باعث کاهش عمده در ضخامت یا سطح مقطع گردد، وقوع آن مردود است.



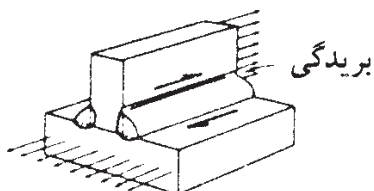
۲- اگر تنش در ستاد عرضی اعمال گردد، بریدگی همانند یک زخم عمل کرده و زیانبار خواهد بود.



در شکل روبرو بریدگی زیانبار است.



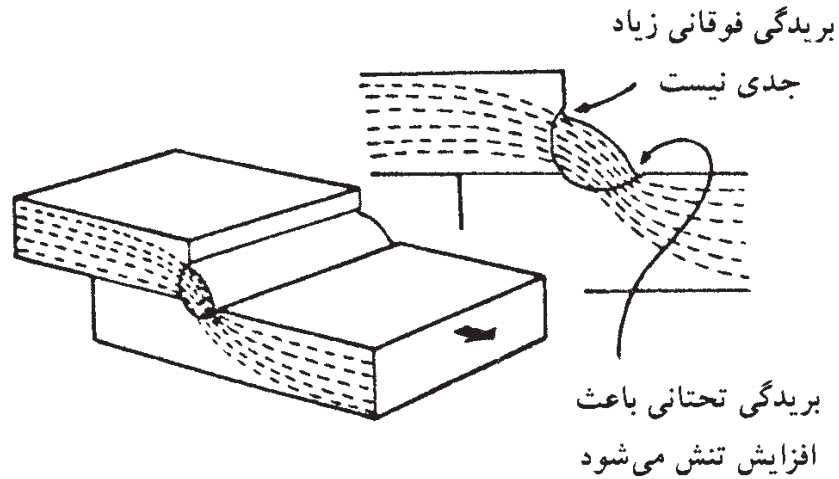
در شکل روبرو بریدگی خیلی مضر نیست.



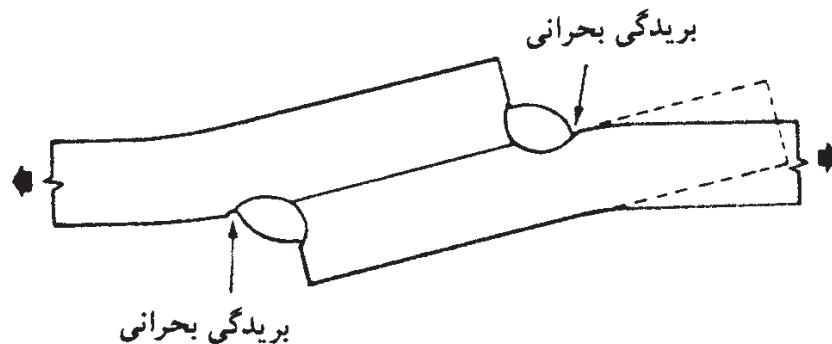
در شکل روبرو نیز تنش برشی به موازات بریدگی عمل نموده و زیانبار نخواهد بود.

طبق آیین نامه AWS، در حالتی که نیرو به طور عرضی بر بریدگی اعمال نگردد، بریدگی تا عمق ۰/۲۵ میلی متر و در صورتی که نیرو به موازات بریدگی باشد، تا عمق ۰/۸ میلی متر قابل قبول است.

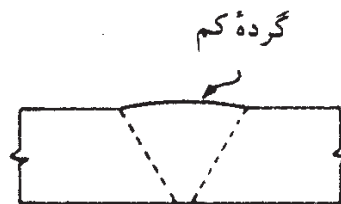
به عنوان آخرین مطلب، توجه گردد که بریدگی تحتانی دارای تأثیر زیانبارتری نسبت به بریدگی فوقانی است.



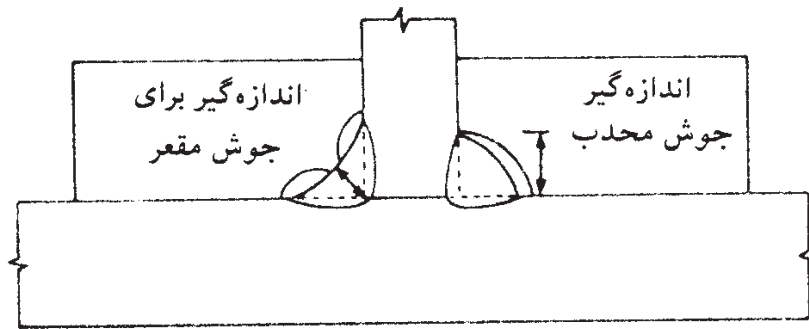
هرگونه برون محوری، باعث ایجاد تنش خمشی در بریدگی تحتانی می گردد.



۱۷ - گرده در جوش های شیاری (Slight Reinforcement on Groove Welds) ●●○
وجود گرده تا ۱/۵ میلی متر در جوش های شیاری قابل پذیرش است. مقادیر بیشتر باعث افزایش مخارج و کاهش مقاومت خستگی می گردد.



۱۸ - اندازه جوش گوشه (Full size of fillet weld) ●●○
با استفاده از گیج های مخصوص، اندازه جوش گوشه باید کنترل گردد.



۱۹ - وقوع ترک (Cracks) ●●○

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

آزمایش‌های ارزیابی

قسمت الف: کلیات

۸-۱ معرفی

جوشکاری در ابتدا جهت وصله قطعات و کارهای تعمیری مورد استفاده بود و به ندرت در ساخت سازه‌های فولادی نظیر ساختمان‌ها و پل و یا سازه‌های صنعتی نظیر مخازن، سیلوها، مخازن تحت فشار، خطوط لوله آبرسانی و سوخت‌رسانی، و سایر موارد مشابه که خرابی و شکست آنها موجب فجایع جبران‌ناپذیر می‌گردد، مورد استفاده قرار می‌گرفت. 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. به همین جهت در کنار گسترش کاربرد جوش، باید روش‌هایی جهت تعیین کیفیت جوش و کنترل و ارزیابی صلاحیت فنی جوشکار و در نهایت بازرسی و تأیید کار تمام‌شده، تدوین می‌شد.

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

۸-۲ معایب جوش و آزمایش‌های ارزیابی و تأیید

در این قسمت بدون اینکه بخواهیم به موضوع عمیق شویم، به بیان عمومی موضوع و معرفی معایب جوش، خصوصیات مقاومتی لازم برای درز جوش، و روند کلی ارزیابی و تعیین صلاحیت

جوشکار و در نهایت تأیید نهایی کار می‌پردازیم.

معایب جوش

معایب احتمالی جوش که وجود آنها در مقاومت و عملکرد درز جوش تأثیرگذار است به شرح زیر می‌باشد:

۱ - نفوذ ناقص؛

۲ - امتزاج ناقص؛

۳ - بریدگی (گودافتادگی) لبه نوار جوش؛

۴ - اختلاط سرباره؛

۵ - تخلخل؛

۶ - ترک؛

۷ - معایب ابعادی؛

۸ - تردشکنی.

هدف آن است که با استفاده از روش‌های تضمین کیفیت (Q.A.) و کنترل کیفیت (Q.C.) از معایب فوق جلوگیری نمود و یا در صورت بروز آنها را پیدا کرده و رفع نمود. آزمایش‌های جوش هم در زمینه تضمین و هم در زمینه کنترل کیفیت، به خدمت گرفته می‌شوند.

آزمایش‌های جوش

آزمایش‌های جوش با سه هدف عمده زیر انجام می‌شوند:

۱ - آزمایش‌های ارزیابی و تأیید صلاحیت دستورالعمل جوشکاری^۱ (W.P.S)؛

۲ - آزمایش‌های ارزیابی، تعیین صلاحیت و رده‌بندی جوشکاران؛

۳ - آزمایش‌های بازرسی و تأیید.

آزمایش‌های ردیف ۱ و ۲ در قالب تضمین کیفیت بوده و در رده آزمایش‌های مخرب قرار می‌گیرند. 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 ارائه‌شده در دستورالعمل جوشکاری (که از طرف پیمانکار ارائه شده) توسط یک جوشکار با صلاحیت، جوشکاری می‌شود و سپس 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.

آزمایش‌های ارزیابی و رده‌بندی جوشکاران نیز کم 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 می‌گیرد. برحسب نتایج حاصل، صلاحیت جوشکار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. 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 به تأیید رسیده و توسط جوشکاری انجام می‌شود که صلاحیت آن نیز مورد تأیید است. آزمایش‌های بازرسی و تأیید از بازرسی عینی درزجوش و نحوه نگهداری الکتروودها آغاز شده و با بازرسی در حین عملیات جوشکاری ادامه می‌یابد و در نهایت به بازرسی عینی درز جوش شده و بالاخره با انجام آزمایش‌های تکمیلی نظیر پرتونگاری، فراصوت، نفوذ و پودر مغناطیسی به اتمام می‌رسد. نتیجه کار می‌تواند مبین بی‌عیب و قابل پذیرش بودن کار و یا مردود بودن و تعمیر شدن کار باشد. این آزمایش‌ها در برنامه Q.C قرار می‌گیرد.

این فصل به چهار قسمت تقسیم می‌شود که عبارتند از:

قسمت الف: کلیات

قسمت ب: آزمایش‌های غیرمخرب

قسمت پ: آزمایش‌های مخرب

قسمت ت: عیوب جوشکاری

قسمت ث: ضوابط پذیرش

۸-۳ ارزیابی دستورالعمل جوشکاری

ارزیابی دستورالعمل جوشکاری، کنترلی است برای تعیین صحت روش جوشکاری مورد استفاده در یک عملیات خاص. انجمن جوش آمریکا و بسیاری از آیین‌نامه‌های دیگر دستورالعمل‌های استاندارد برای جوشکاری تدوین کرده‌اند. دستورالعمل جوشکاری دربردارنده مشخصات فلز پایه، فلز پرکننده، آماده‌سازی درز، موقعیت جوشکاری، روش و تکنیک جوشکاری، و جریان الکتریکی می‌باشد.

دستورالعمل جوشکاری

(W.P.S)

<p>نام شرکت:</p> <p>روش جوشکاری: SMAW (جوش الکتروود دستی)</p>	<p>تاریخ:</p> <p>تجدید نظر: B</p> <p>نیمه اتوماتیک <input type="checkbox"/> دستی <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>اتوماتیک <input type="checkbox"/> ماشینی <input type="checkbox"/></p>
<p>طراحی درز: (JOINT DSIGN USED)</p> <p>نوع: <input checked="" type="checkbox"/> Double Weld <input type="checkbox"/> Single</p> <p>پشت بند: <input checked="" type="checkbox"/> خیر <input type="checkbox"/> بله</p> <p>مصالح پشت بند:</p> <p>دهانه: 00mm</p> <p>شماره زنی از پشت: <input type="checkbox"/> بله <input checked="" type="checkbox"/> خیر <input type="checkbox"/> روش <input type="checkbox"/></p>	<p>وضعیت: (POSITION)</p> <p>تخت <input type="checkbox"/> افقی <input type="checkbox"/> سقفی <input type="checkbox"/></p> <p>جوش قائم <input type="checkbox"/> (سر پایین) <input type="checkbox"/> سربالا <input type="checkbox"/></p> <p>پس گرمایش:</p> <p>(POSTWELD HEAT TREATMENT)</p> <p>درجه حرارت:</p> <p>زاویه شیار:</p>
<p>مصالح پایه: (BASE MATERIALS)</p> <p>نوع فولاد پایه:</p> <p>ضخامت ورق های دو طرف درز:</p>	<p>تکنیک جوشکاری: (TECHNIQUE)</p> <p>یک پایه <input type="checkbox"/> چند پایه <input type="checkbox"/></p> <p>تعداد الکتروود:</p> <p>روش تمیزکاری بین پاس ها:</p>

(FILLER METALS) مصالح الکتروود:

رده الکتروود

طرح درز:

(PREHEAT)

پیش‌گرمایش:

دمای پاس اول:

دمای پاس‌های میانی:

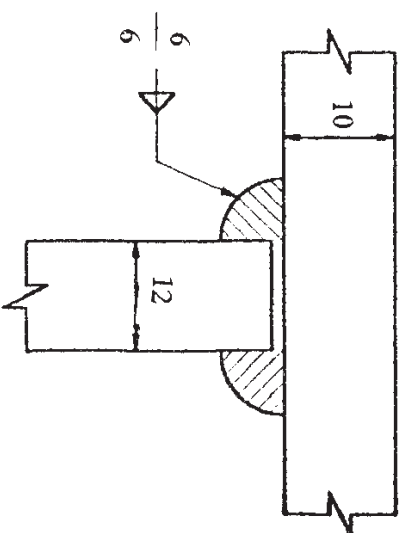
مشخصات الکتریکی:

(ELECTRICAL CHARACTERISTICS)

قطبیت: DCEN DCEP AC

آمپراژ:

ولتاژ:



شماره	پاس	الکتروود		جریان			آمپراژ	ولتاژ	سرعت الکتروود
		روش جوشکاری	نوع الکتروود	قطر الکتروود	قطبیت	سرعت الکتروود			
1	اول	SMAW	E6013	3.2	DCEP	90~130	18~22	10~20cm/min	
2	دوم	SMAW	E6013	4.2	DCEP	90~130	18~22	10~20	
3	سوم	SMAW	E6013	5.2	DCEP	90~130	18~22	10~20	

پاره‌ای از شرایط نظیر مشخصات جریان الکتریکی، اندازه‌الکتروود، مهارت جوشکار در حرکت الکتروود، درجه حرارت پیش‌گرمایش، درجه حرارت بین پاس‌ها و درجه حرارت پس‌گرمایش نیز در این دستورالعمل‌ها ارائه می‌گردد. پیروی از یک دستورالعمل خاص جوشکاری نتایج هماهنگ و یکنواختی را تضمین می‌کند. در صفحه قبل، یک دستورالعمل جوشکاری ارائه شده است.

۸-۴ ارزیابی جوشکار

آزمونی که صلاحیت جوشکار را برای اجرای ضوابط آیین‌نامه‌ای تأیید می‌کند، آزمایش تشخیص صلاحیت^۲ یا ارزیابی جوشکار^۳ و یا آزمون کیفیت اجرا^۴ خوانده می‌شود. این ارزیابی مشخص می‌کند که آیا جوشکار دانش و مهارت لازم را در به‌کارگیری و اعمال دستورالعمل جوشکاری مدون در رابطه با رده‌بندی کاری خود دارد یا خیر.

ارزیابی جوشکار ممکن است با تجهیزات جوشکاری دستی و یا با تجهیزات جوشکاری تمام اتوماتیک انجام شود.

قابلیت اعتماد به یک جوشکاری بر پایه استفاده از بازرسی مناسب قرار دارد. روش‌های آزمایشی که کیفیت یک جوش را تعیین می‌کند، در سه طبقه‌بندی بسیار وسیع قرار می‌گیرد: ۱- آزمایش‌های غیرمخرب؛ ۲- آزمایش‌های مخرب؛ ۳- بازرسی عینی.

یک آزمایش غیرمخرب، همان‌طور که از اسم آن پیداست، آزمایشی است که موجب تخریب جوش یا قطعه تولید شده نمی‌گردد. تجهیزات و فن‌آوری‌های پیشرفته بازرسی، آزمایش غیرمخرب را به یک ابزار بازرسی مؤثر تبدیل کرده‌اند.

در آزمایش مخرب که گاهی آزمایش مکانیکی نیز خوانده می‌شود، نیاز به اخذ یک نمونه آزمایشی از قطعه ساخته شده و یا نمونه بریده شده از قطعه آزمایشی می‌باشد. این نمونه در حین آزمایش تخریب شده و قابل استفاده نیست. آزمایش مخرب عموماً برای تعیین خواص مکانیکی و متالورژی مشروح در دستورالعمل جوشکاری به کار می‌رود. این نوع آزمایش همچنین برای آزمون جوشکاران و دستورالعمل جوشکاری قبل از شروع کار اصلی نیز به کار می‌رود.

در بازرسی عینی سطح جوش و فلز پایه در ناحیه جوشکاری به دقت بازمینی می‌شود. ابزار بازرسی مخصوص و دستگاه‌های اندازه‌گیری ممکن است در کنار مشاهده چشمی به کار روند. بازرسی عینی، آزمایشی است که عموماً توسط بازرسین جوشکاری و ناظرین مجرب به کار می‌رود.

2- procedure qualification test

3- operator qualification test

4- performance qualification test

این روش برای کارهای غیرمهم (غیرآیین‌نامه‌ای) بسیار مناسب می‌باشد.

قسمت ب: آزمایش‌های غیرمخرب

۸-۵ آزمایش غیرمخرب

۸-۵-۱ آزمون ذرات مغناطیسی^۵ (MT)

آزمون ذرات مغناطیسی یکی از آسانترین آزمایش‌های غیرمخرب جوشکاری است. این آزمایش برای بررسی و بازبینی عیوب سطحی لبه ورق‌های قبل از جوشکاری به کار می‌رود. این روش جوش را برای معایبی از قبیل ترک‌های سطحی^۶، ذوب ناقص^۷، تخلخل^۸، بریدگی کناره جوش^۹، نفوذ ناقص ریشه جوش^{۱۰} و اختلاط سرباره^{۱۱} کنترل می‌کند. این روش محدود به مواد مغناطیسی شونده نظیر چدن و فولاد بوده و برای مواد و فلزات غیرمغناطیسی مانند، فولاد ضد زنگ، آلومینیم و مس کاربرد ندارد. نام دیگر این آزمایش، روش پودر یا گرد مغناطیسی^{۱۲} است.

این آزمایش که در شکل ۸-۱ 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 ۱۰ تا ۲۰ 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 یک میدان مغناطیسی در داخل مصالح، یا قرار دادن آن در داخل یک سیم‌پیچ، 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 می‌تواند از روی سطح برداشته شود ولی در صورت وجود یک عیب سطحی یا داخلی گرد مورد نظر در داخل حفره یا ترک مربوطه فرو می‌رود (یا می‌چسبد).

5- Magnetic Particle Testing (MT)

6- surface crack

7- lack of fusion

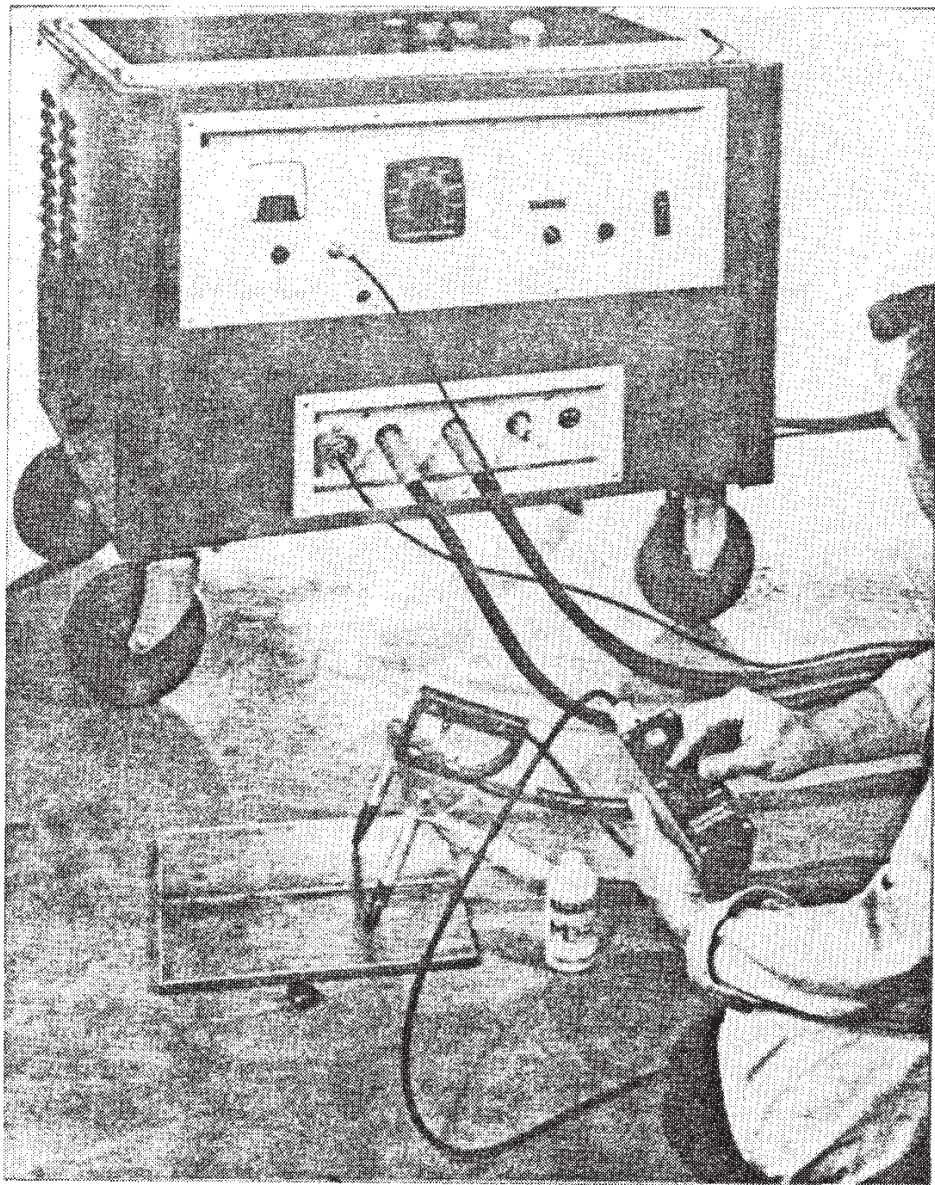
8- porosity

9- undercut

10- root penetration

11- slag inclusion

12- magna flux



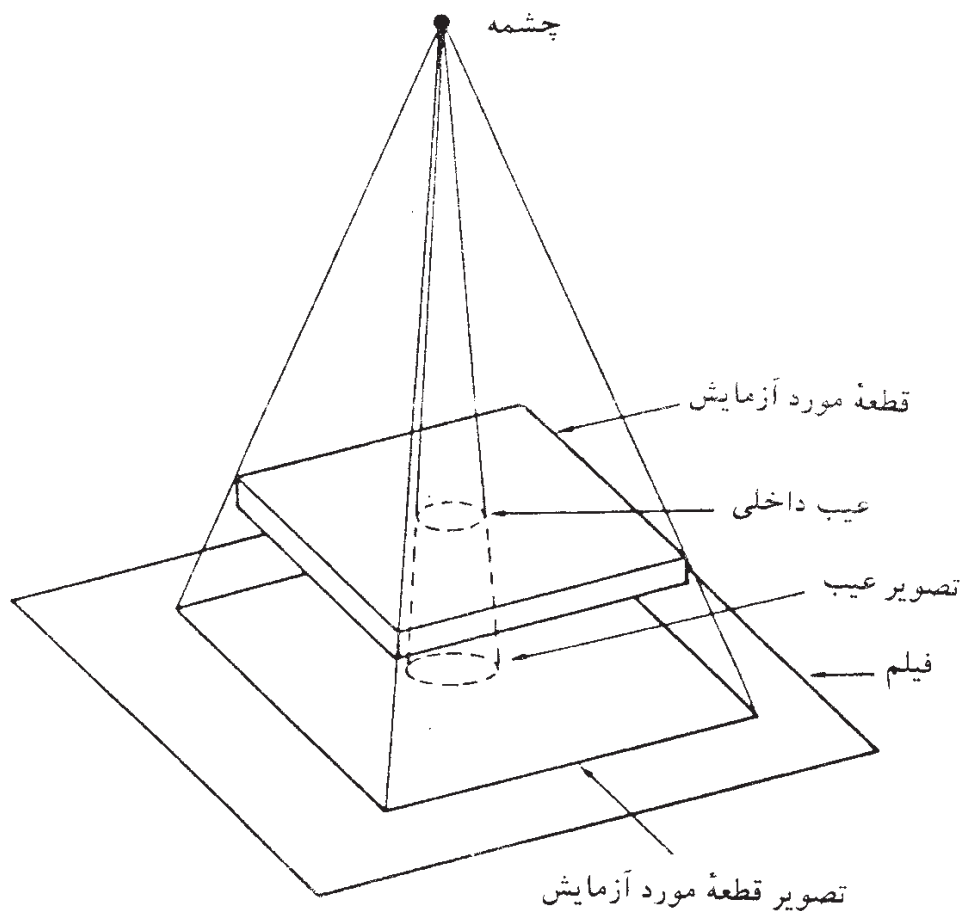
شکل ۸-۱ - دستگاه آزمایش ذرات مغناطیسی

۸-۵-۲ آزمون پرتونگاری^{۱۳}

پرتونگاری یکی از روش‌های آزمایش غیرمخرب می‌باشد که نوع و محل عیوب داخلی و بسیار ریز (میکروسکوپی) جوش را نشان می‌دهد. این روش دو نوع پرتو X یا گاما را مورد استفاده قرار می‌دهد. اشعه گاما به خاطر طول موج کوتاه خود می‌تواند در ضخامت‌های نسبتاً زیادی از مواد نفوذ کند، در ضمن زمان تابش اشعه به قطعه مورد پرتونگاری^{۱۴} در مورد اشعه گاما نسبت به اشعه X

بسیار طولانی‌تر می‌باشد. فیلم‌های به‌دست آمده از پرتونگاری با اشعه X به‌نام ایکس‌نگار^{۱۵} و فیلم‌های به‌دست آمده از کاربرد اشعه گاما، به‌نام گامانگار^{۱۶} خوانده می‌شوند. این دو نوع فیلم در حالت کلی به‌نام پرتونگار^{۱۷} 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. نفوذ گیل، حفره‌گازی، 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.



15- exograph

16- gammagraph

17- radiograph

۸-۵-۳ بازرسی با مواد نافذ^{۱۸}

بازرسی با مواد نافذ یکی از شیوه‌های غیرمخرب برای محل‌یابی معایب سطحی می‌باشد. مشابه روش پرتونگاری این آزمایش برای فلزات غیرمغناطیسی نظیر فولاد ضدزنگ، آلومینیم، منیزیم و تنگستن و پلاستیک‌ها نیز قابل کاربرد است. آزمایش با مواد نافذ جهت تشخیص عیوب داخلی قابل استفاده نمی‌باشد.

آزمون با رنگ نافذ قرمز

سطح مورد بازرسی باید در ابتدا از لکه‌های روغن، گریس و مواد ناخالص و خارجی تمیز شود. سپس ماده‌ی رنگی مورد نظر بر روی سطح پاشیده شده و در داخل ترک‌ها و سایر ناهمواری‌ها نفوذ می‌کند. رنگ اضافی از روی سطح پاک شده و سپس یک مایع فوق‌العاده فرار حاوی ذرات ریز سفیدرنگ بر روی سطح پاشیده می‌شود. این ماده به نام ماده‌ی ظهور^{۱۹} (ظاهرکننده) خوانده می‌شود. تبخیر مایع فرار باعث برجای ماندن گرد خشک سفیدرنگ بر روی ماده‌ی قرمز نفوذ کرده در ترک‌ها می‌گردد و بر اثر عمل مویینگی، ماده قرمز از ترک بیرون کشیده شده و پودر سفید کاملاً قرمز می‌شود. به همین جهت ترک مورد نظر به وضوح با این روش قابل شناسایی است (شکل ۸-۲).

آزمون با ماده‌ی نافذ^{۲۰} حساس

این روش مشابه آزمون‌های غیرمخرب با مواد نافذ رنگی است که برای کشف معایب سطحی به کار می‌رود. مشابه سایر روش‌های این رده، این آزمایش نیز شامل نفوذ ماده‌ی رنگی در ترک (یا نقص مورد نظر)، پاک کردن ماده رنگی اضافی و ظهور قسمت معیوب می‌باشد. ماده رنگی این آزمایش ماده‌ای با حساسیت بسیار زیاد است. ترک‌های ریز در زمینه سفیدرنگ ماده ظهور قابل شناسایی هستند. این ماده حساس محل ترک‌های ریز، تخلخل، حفره و درزهای غیرقابل رؤیت با چشم غیرمسلح را بر روی ماده رنگی قرمز به طور واضح و مجزا مشخص می‌کند.

آزمایش بر روی بسیاری مصالح نظیر فولاد، آلومینیم، برنج، کربید، شیشه و پلاستیک به کار می‌رود. شکل ۸-۲، آزمایش جوش با این روش را نشان می‌دهد.

18 – penetrant inspection

19 – developer

20 – spotcheck



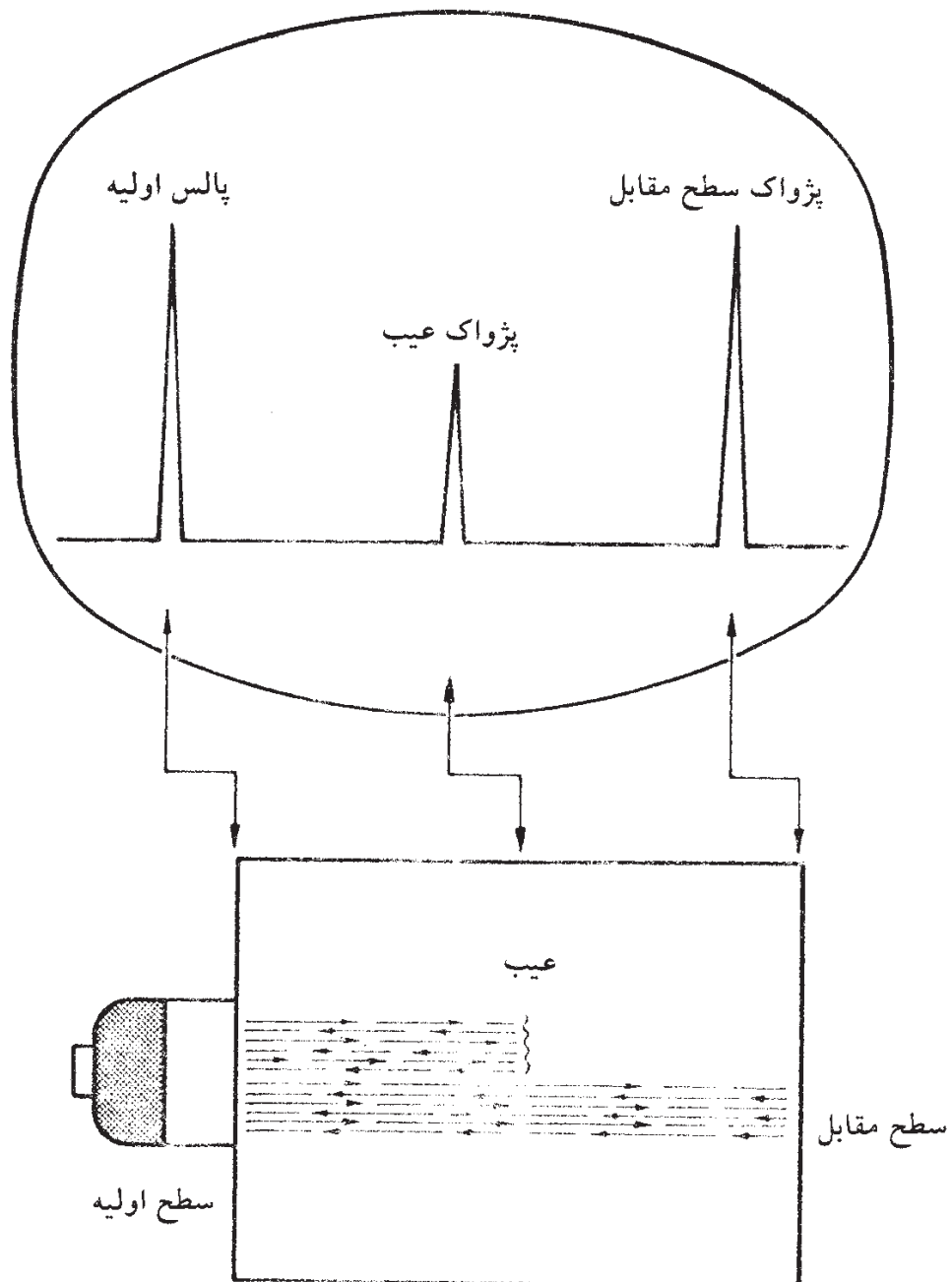
شکل ۸-۲ - آزمون با رنگ نافذ در یک اتصال جوشی

۸-۵-۴ آزمون فراصوتی^{۲۱}

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 تخریب قطعه جوش شده می‌باشد. چون این روش از نزدیک کنترل می‌شود، قابلیت ارائه اطلاعات دقیق و مورد نیاز قطعه جوش شده، بدون نیاز به یک سری عملیات پرکار را دارا می‌باشد. این روش هم معایب سطحی و هم نواقص داخلی فلز جوش و فلز پایه را مشخص، مکان‌یابی و اندازه‌گیری می‌کند.

آزمایش فراصوتی توسط موج منتشر شده از یک مبدل (بلور کوارتز)، که مشابه یک موج صوتی ولی با گام و 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. این موج‌ها توسط یک مبدل^{۲۲} (بلور کوارتز که تحت جریان متناوب قرار داد) که به یک واحد جست‌وجوگر متصل شده، تولید می‌شوند. امواج منعکس شده (پژواک‌ها) به صورت برجستگی‌هایی نسبت به خط مبنا، بر روی صفحه نمایش دستگاه، ظاهر می‌شوند.

هنگامی که واحد جست و جوگر به مصالح مورد نظر متصل می‌شود، دو نوع پژواک بر روی صفحه نمایش ظاهر می‌شود. ضربان اول، انعکاس صدا از سطح رویی جسم که در تماس با دستگاه است، می‌باشد، 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 جست و جو پیدا شود، تولید ضربان سوم می‌کند که بین ضربان اول و دوم بر روی صفحه نمایش ثبت می‌شود (شکل ۸ - ۳).



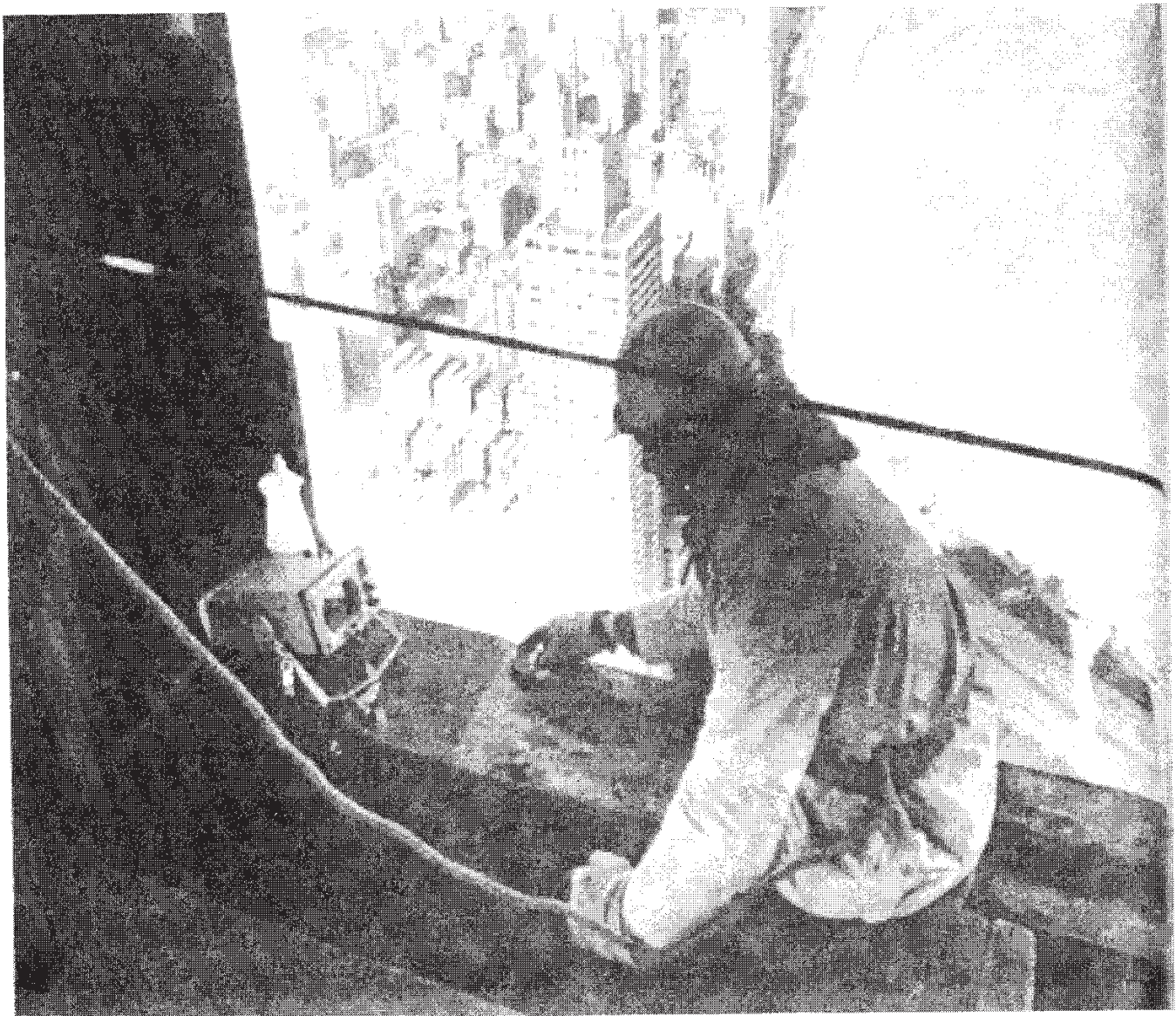
شکل ۸ - ۳ - انعکاس امواج در برخورد با سطوح ورق و عیب به صورت امواج ضربانی بر روی صفحه نمایش ظاهر می‌شوند.

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 - ۴ برای بازرسی اتصال جوشی تیر به ستون نشان داده شده است.

نوع نمایش تصویری در آزمون فراصوتی

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

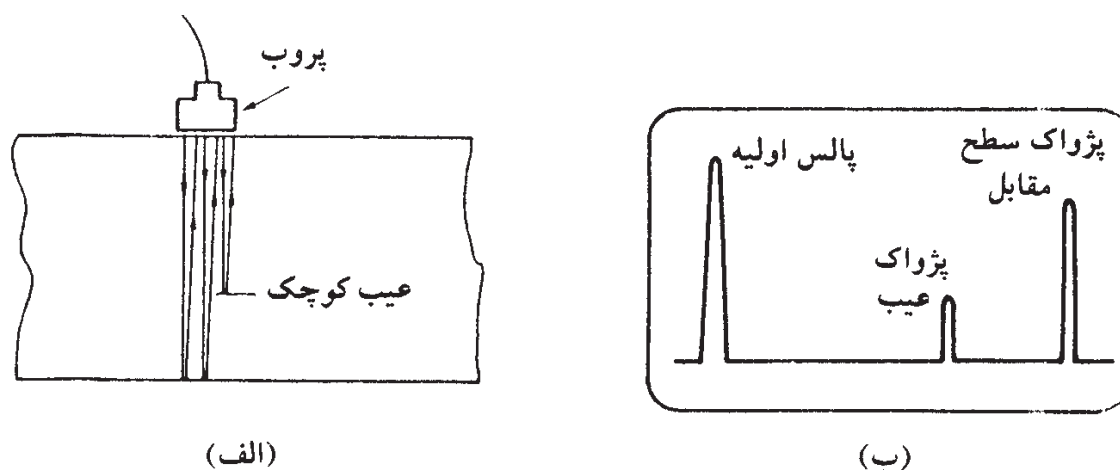


شکل ۸ - ۴ - کاربرد یک دستگاه آزمایش فراصوتی قابل حمل در کنترل جوش ساختمانی در طبقه ۷۶ یک آسمانخراش.

● نمایش تصویری A

معمول ترین سیستمی که مورد استفاده قرار می گیرد نمایش تصویری روبشی "A" است. یک موج ناقص در سمت چپ صفحه اسیلوسکوپ ظاهر می شود که مربوط به پالس اولیه است، موج های ناقص دیگری نیز روی صفحه اسیلوسکوپ ظاهر می شوند که مربوط به علامت پژواک های دریافتی هستند. ارتفاع پژواک معمولاً متناسب با اندازه سطح بازتاب است، ولی مسافتی که علامت طی می کند 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 تکنیک های بازرسی با پروب دستی معمول است.

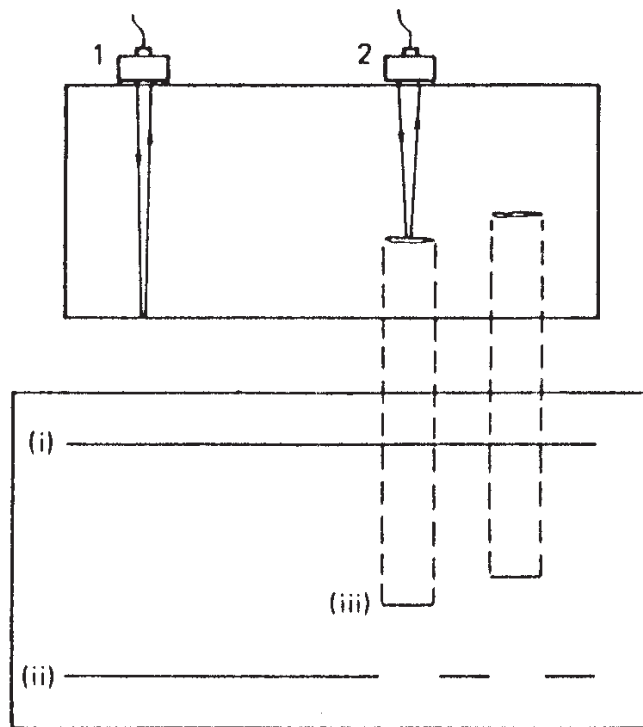
از معایب نمایش تصویری روبشی 'A' این است که ثبت دائم تصویر ممکن نیست، مگر اینکه از تصویر اسیلوسکوپ عکس گرفته شود، البته دستگاه های جدید پیشرفته دارای وسایل ثبت دیجیتال هستند.



نمایش تصویری روبشی 'A': (الف) بازتاب هایی که از دیواره پشتی قطعه را ثبت کرد. این سیستم در شکل آمده اند؛ (ب) نحوه نمایش تصویری روبشی 'A'.

● نمایش تصویری B

با نمایش تصویری روبشی 'B' می توان موقعیت عیب درون قطعه را ثبت کرد. این سیستم در شکل 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 تکنیک های آزمون اتوماتیک و نیمه اتوماتیک محدود می شود.



نمایش تصویری روبشی 'B'.

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

● تکنیک‌های بازرسی در آزمون فراصوتی

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

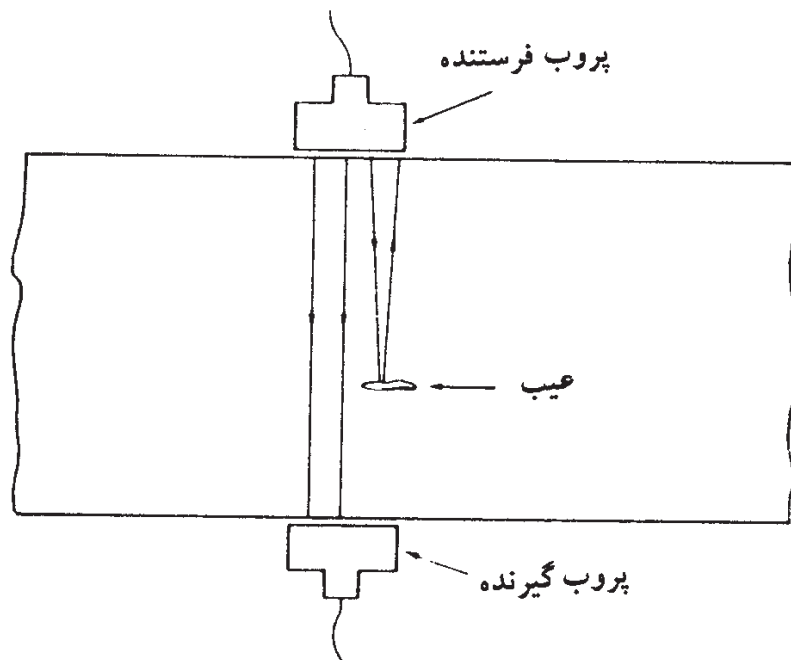
● روش بازتابی با پروب عمودی

این روش در آزمون فراصوتی از معمول‌ترین تکنیک‌هاست و در شکل صفحهٔ قبل نشان داده شده است. تمام یا بخشی از پالس توسط عیب داخل ماده بازتاب یافته و به وسیلهٔ پروب دریافت می‌شود. این پروب به جای فرستنده و گیرنده عمل می‌کند. فاصلهٔ زمانی بین ارسال پالس و دریافت پژواک برای محاسبهٔ فاصلهٔ عیب از پروب به کار می‌رود.

- روش بازتابی نسبت به روش عبوری دارای مزایای معینی است که عبارتند از:
- (الف) قطعه کار به هر شکل می تواند باشد؛
 - (ب) فقط دسترسی به یک طرف قطعه کار مورد نیاز است؛
 - (پ) فقط یک نقطه جفت شدن وجود دارد و در نتیجه مقدار خطا حداقل می شود؛
 - (ت) فاصله عیبها از پروب می تواند اندازه گیری شود.

● روش عبوری با پروب عمودی

در این روش فرستنده با استفاده از یک روغن جفت کننده^{۲۳} با سطح قطعه کار تماس برقرار می کند. یک پروب دریافت کننده روی سطح مقابل ماده نصب می شود.



روش عبوری با پروب عمودی.

اگر در داخل ماده هیچ گونه عیبی وجود نداشته باشد، علامتی با یک شدت معین به گیرنده 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 می توان به وجود عیب پی برد.

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؛

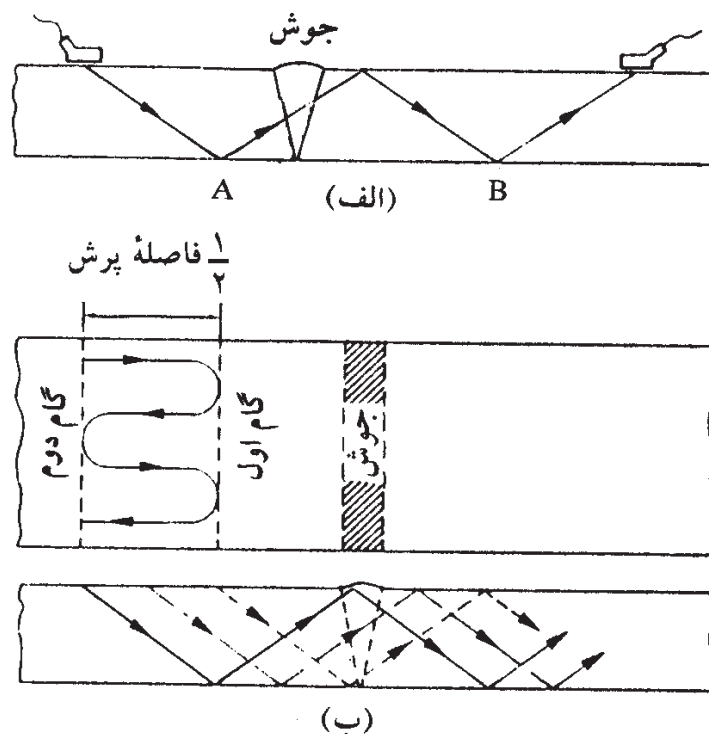
(ب) دو عدد پروب مورد نیاز است لذا جفت کردن آنها ممکن است عمل سیال اتصالی را کم بهره کند؛

(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 به‌خصوص آزمون وجود دارند که امکان به‌کارگیری 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 لب‌به‌لب صفحات موازی است. اگر در منطقه جوش عیبی وجود داشته باشد شدت علامت دریافتی کاهش خواهد یافت. فاصله AB را فاصله پرش می‌نامند و برای روبش 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.

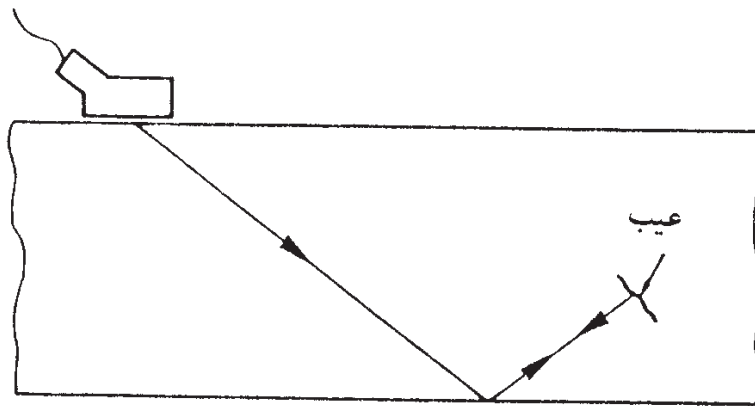


روش عبوری با پروب زاویه‌ای: (الف) موقعیت پروب‌ها و فاصله پرش؛ (ب) روش روبش برای بازرسی کامل یک جوش لب‌به‌لب.

● روش بازتابی با پروب زاویه‌ای

همچنان‌که در شکل بعد دیده می‌شود، با به‌کار بردن 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 تنظیم شود. طراحی و استفاده از قطعات تنظیم در بخش بعدی شرح داده می‌شود.

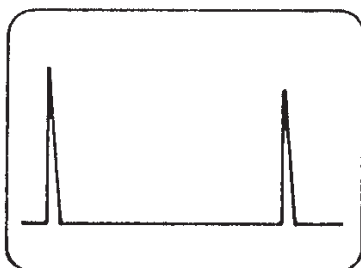


روش بازتابی با پروب زاویه‌ای.

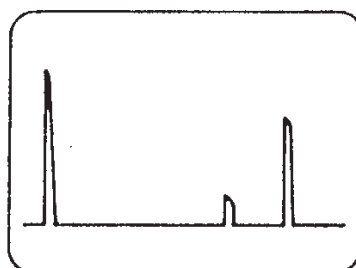
تعیین هویت عیب‌ها

به‌وسیله روش‌های فراصوتی نه تنها موقعیت دقیق عیوب داخلی شناسایی می‌شود بلکه در اکثر موارد می‌توان نوع عیب را هم تشخیص داد. در این بخش علائم مختلفی که از انواع گوناگون عیوب دریافت می‌شود تحت بررسی قرار می‌گیرد.

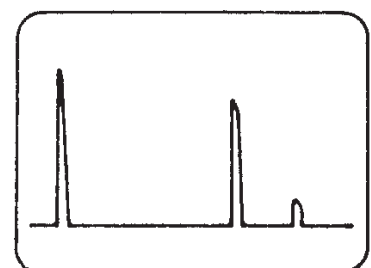
(الف) عیب عمود بر امتداد پرتو: وقتی که عیبی وجود نداشته باشد باید یک علامت پژواک از سطح مقابل دریافت شود. وجود یک عیب کوچک باید پژواک کوچکی ایجاد کند و شدت پژواک سطح مقابل کاهش یابد. اگر اندازه عیب از قطر پروب بیشتر باشد پژواک عیب بزرگتر شده و پژواک



(الف)



(ب)



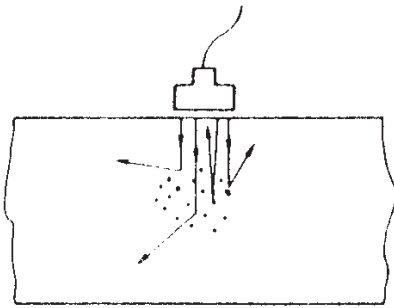
(پ)

تأثیر اندازه عیب در نمایش تصویر اسیلوسکوپ: (الف) بدون عیب، فقط پالس اولیه و پژواک سطح مقابل؛ (ب) پژواک عیب کوچک اما پژواک سطح مقابل بزرگ؛ (پ) پژواک عیب بزرگ با پژواک سطح مقابل کوچک.

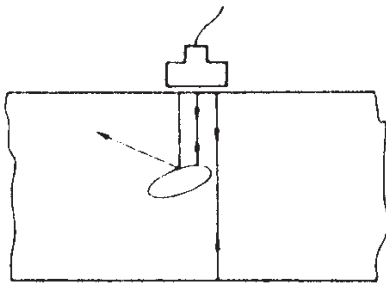
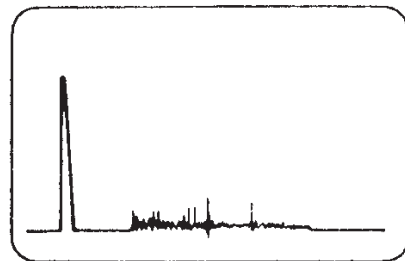
سطح مقابل ممکن است با توجه به عمق عیب در رابطه پراکندگی امواج در منطقه دور دریافت نشود.

(ب) عیب‌هایی غیر از عیب‌های صفحه‌ای: مناطقی که دارای حفره‌های میکروسکوپی هستند موجب پراکندگی معمول امواج شده و روی صفحه اسیلوسکوپ یک رد چمنی شکل بدون پژواک سطح مقابل نمایان می‌کند.

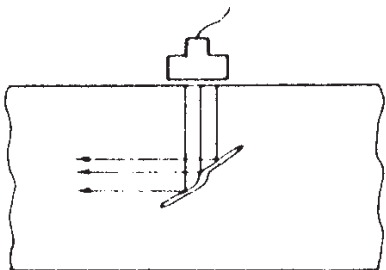
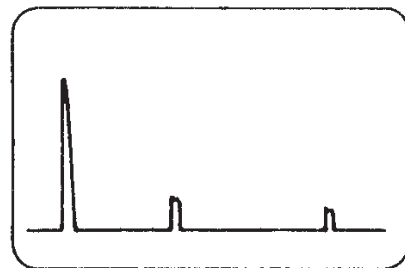
ناخالصی‌ها یا حفره‌های بزرگ کروی یا بیضوی پژواک کوچکی نمایان می‌سازند که به همراه پژواک کوچکی از سطح مقابل است، در حالی که یک رد ساده که هیچ‌گونه پژواکی را نشان نمی‌دهد ممکن است مربوط به یک عیب صفحه‌ای با زاویه غیرقائم نسبت به امتداد پرتو باشد.



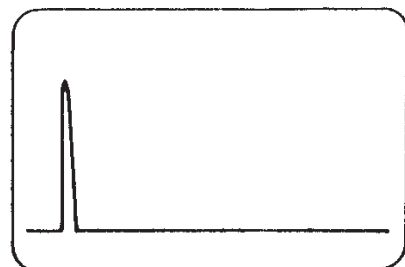
(الف)



(ب)



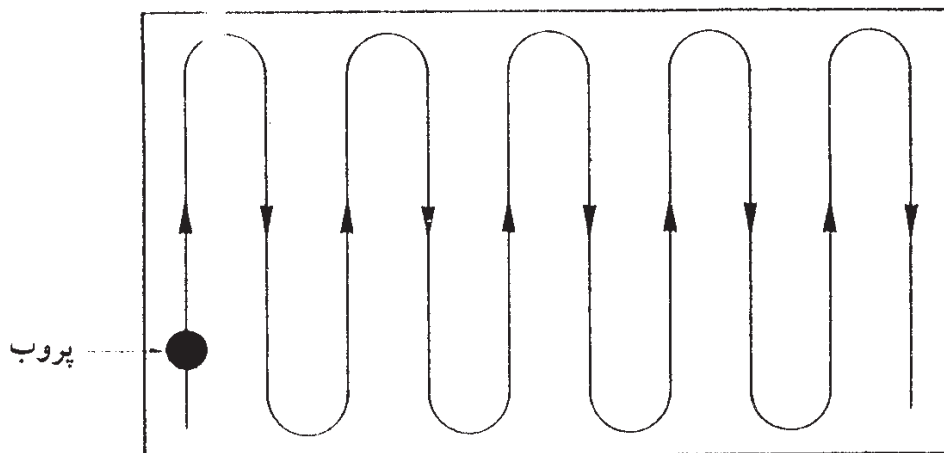
(پ)



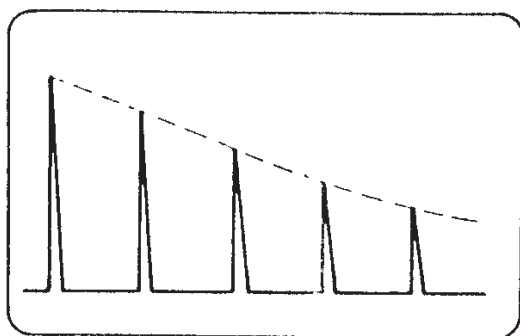
(الف) حفره‌های میکروسکوپی؛ (ب) عیب بیضوی؛ (پ) عیب زاویه‌دار.

(پ) تورق در صفحه ضخیم: صفحه باید کاملاً به روشی که در شکل زیر نموده شده است رویش گردد. علایم تورق از فواصل نزدیک پژواک‌ها و افت سریع ارتفاع علامت‌های پژواک مشخص

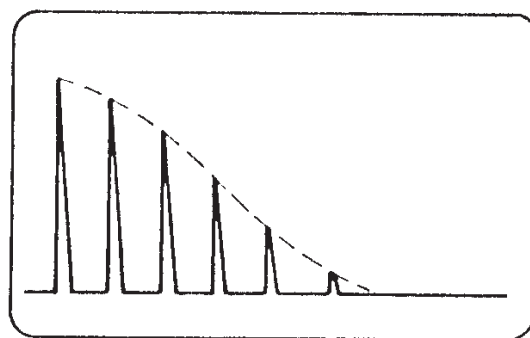
می‌شود. هر دو یا یکی از این علائم دلیلی بر وجود تورق خواهند بود.



روش روبش سطوح بزرگ.



(الف)

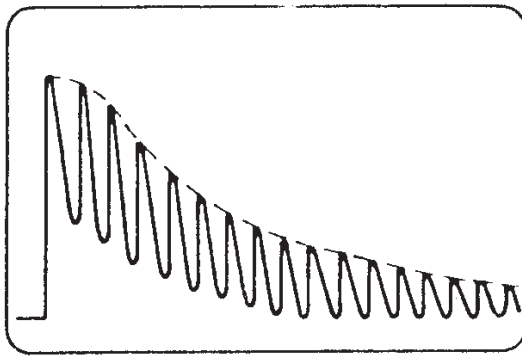


(ب)

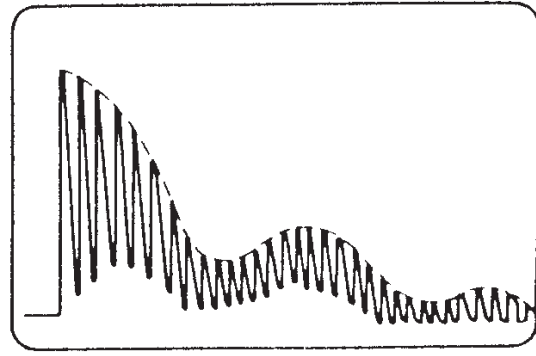
(الف) یک صفحه بدون عیب؛ (ب) صفحه تورق یافته.

(ت) تورق در صفحه نازک: صفحه نازک ممکن است به صفحه‌ای گفته شود که ضخامت آن کمتر از منطقه مرده پروب باشد. یک صفحه سالم یک سری پژواک‌های منظم که به تدریج دامنه آنها کم می‌شود نشان می‌دهد. اما یک ناحیه تورق یافته پژواک‌های بهم فشردگی را نشان می‌دهد که دامنه آنها بسیار سریعتر کاهش می‌یابد. حتی ممکن است پژواک‌ها از وضعیت منظم به صورت نامنظم دربیایند. نامنظم شدن شکل در اغلب موارد نشانه خوبی از تورق‌های داخلی در صفحات نازک است (شکل صفحه بعد).

(ث) عیوب جوشکاری: آزمون فراصوتی با استفاده از پروب‌های زاویه‌ای از نوع بازتابی یا عبوری روش مطمئنی برای آشکارسازی عیوب جوشکاری‌های لب‌به‌لب و تعیین موقعیت دقیق آنهاست. اما تعیین دقیق ماهیت عیب نسبتاً مشکل است و بیشتر به مهارت و تجربه اپراتور بستگی دارد. اگر



(الف)

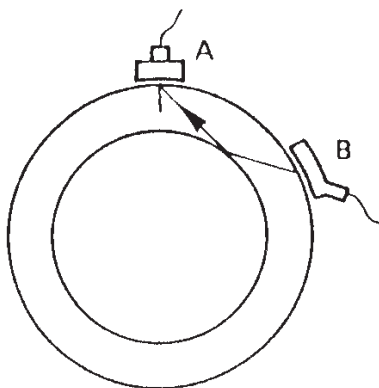


(ب)

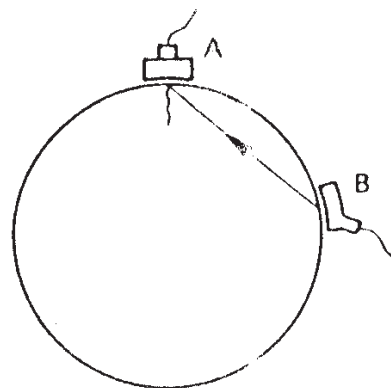
علائم تورق در صفحه نازک: (الف) یک صفحه خوب؛ (ب) یک صفحه تورق یافته.

پس از بازرسی فراصوتی در ذهن اپراتور در مورد کیفیت جوش شکی وجود داشته باشد عاقلانه است که از محل مظنون رادیوگرافی شود.

(ج) عیوب شعاعی در لوله‌های استوانه‌ای و محورها: عیب شعاعی در قطعات استوانه‌ای معمولاً با بازرسی پروب عمودی قابل آشکارسازی نیست، زیرا این عیب، موازی پرتو فراصوتی خواهد بود. در این‌گونه موارد استفاده از یک پروب زاویه‌ای با روش بازتابی به روشنی وجود عیب را مشخص خواهد ساخت.



(الف)



(ب)

آشکارسازی عیوب شعاعی در: (الف) لوله‌ها؛ (ب) میله توپر - یک پروب عمودی در موقعیت A عیب را آشکار نخواهد کرد ولی پروب زاویه‌ای B آشکار خواهد کرد.

۸-۵-۵ آزمایش جریان گردابی^{۲۴}

آزمایش جریان گردابی (یا جریان القایی): جریان الکتریکی که در داخل یک جسم فلزی بر اثر قرار

گرفتن آن در داخل یک میدان مغناطیسی القاء 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 اختلاط گل جوشکاری، ترک و ذوب ناقص فلز جوش را ظاهر می‌سازد.

۸-۵-۶ آزمایش نشت^{۲۵}

آزمایش جوش در مقابل نشت یا تراوش مایعات با کاربرد فشار باد یا فشار هیدرولیکی انجام می‌شود. بار وارد شده برابر یا بزرگتر از مقدار بار مورد انتظار وارد بر سازه در شرایط بهره‌برداری است. اگر آزمایش فقط برای تعیین نشتی انجام می‌شود، اعمال باری بیش از بار 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 به کار می‌رود. اگر آزمایش از نوع مخرب باشد، فشار تا حد ترکیدن (گسیختگی) قطعه مورد نظر وارد می‌شود (شکل ۸-۵).

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

۸-۵-۷ آزمایش سختی^{۲۶}

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 به شیوه غیرمخرب وجود دارد که انتخاب هر نوع بستگی به نوع مصالح مورد آزمایش دارد. آزمایش‌های رایج عبارتند: برینل^{۲۷}، راکول^{۲۸}، ویکر^{۲۹}، و اسکروسکوپ^{۳۰}.

25 – leak test

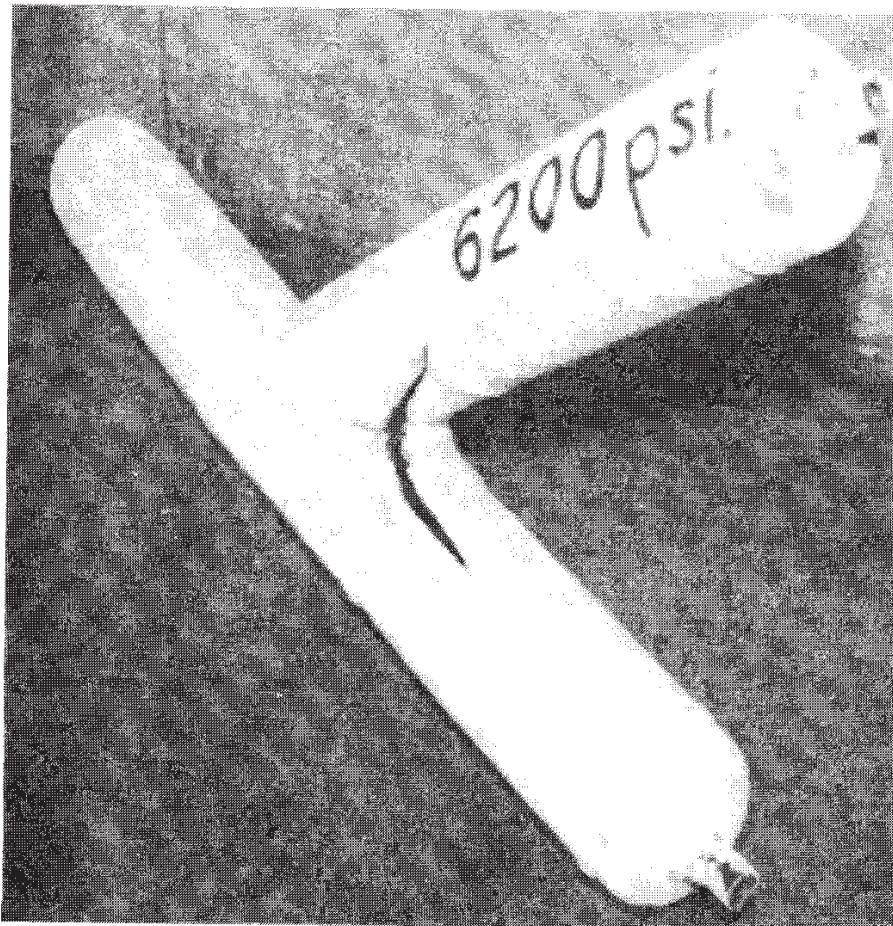
26 – hardness test

27 – Brinell

28 – Rockwell

29 – Vicker

30 – shore scleroscope



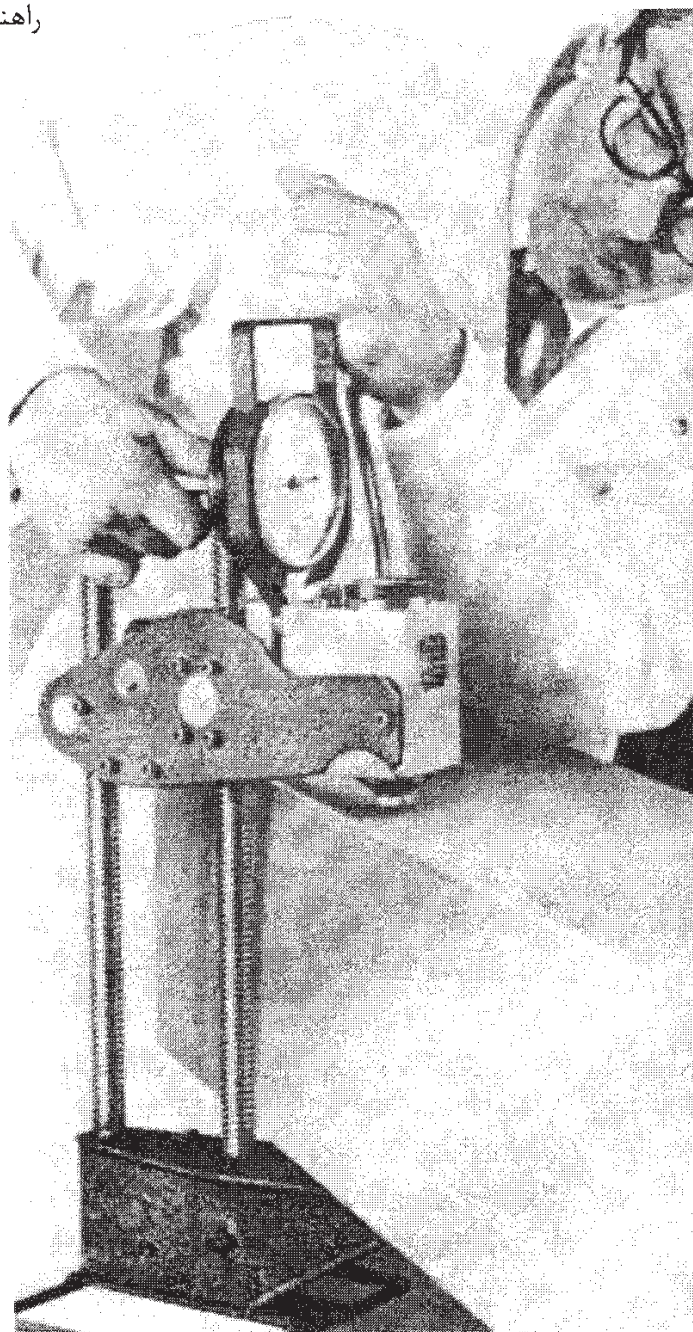
شکل ۸ - ۵ - یک واحد لوله که تحت آزمایش نشت با فشار هیدرولیکی قرار گرفته است. جوش تحت فشاری معادل 435 kg/cm^2 گسیخته است.

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 می باشد (شکل ۸ - ۶). قطر اثر گلوله روی قطعه اندازه گیری می شود و براساس این قطر یک عدد برینل از جدول مربوطه استخراج می شود. 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، به کار می رود.

راکول

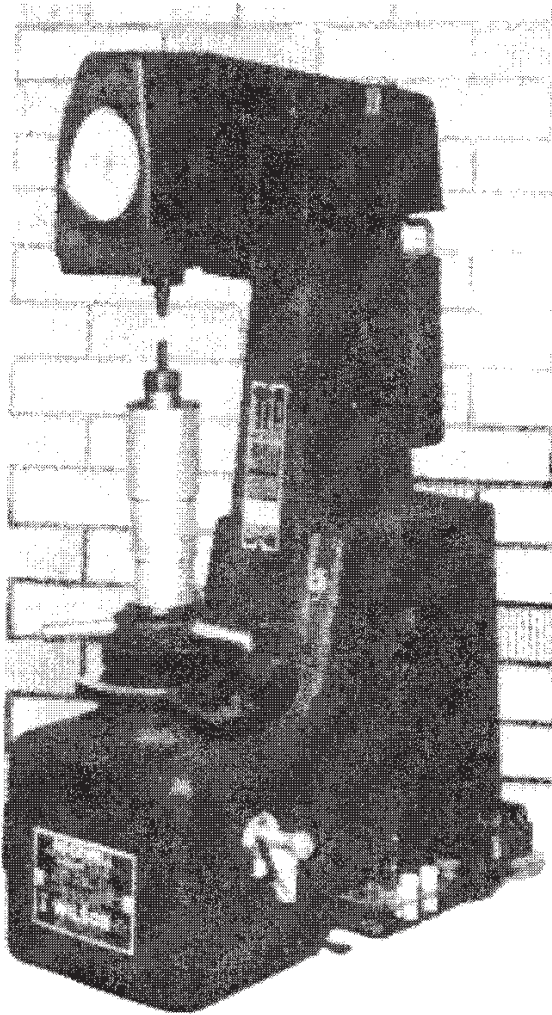
سیستم آزمایش راکول مشابه آزمایش برینل می باشد با این تفاوت که در این روش قرائت از روی یک صفحه مدرج انجام می شود (شکل ۸ - ۷). دستگاه آزمایش راکول، عمق نفوذ (گودی) به جای مانده از یک گلوله فولادی سخت کوچک یا یک مخروط الماسه را اندازه می گیرد.



شکل ۸-۶ - یک دستگاه آزمایش سختی برینل.

ویکر

آزمایش سختی ویکر شامل اثرگذاری یک مته الماسه^{۳۱} بر روی سطح نمونه، تحت اثر یک بار تعریف شده می‌باشد. عدد ویکر عبارت است از نسبت بار اعمال شده به سطح اثر مته بر روی نمونه. به خاطر الماسه بودن تیغه نفوذی دستگاه ویکر، این آزمایش برای مصالح خیلی سخت قابل استفاده است. سطح زخمی توسط دستگاه آزمایش ویکر و راکول نسبت به دستگاه برینل کوچکتر است.



شکل ۸-۷ - دستگاه آزمایش سختی راکول.

اسکلروسکوپ

این دستگاه یک وسیله قابل حمل شامل یک لوله شیشه‌ای قائم در داخل یک سیلندر کوچک با انتهای الماسه می‌باشد که انتهای مت‌الماسه در مقابل غلتش آزاد است. سیلندر، بر روی نمونه مورد آزمایش سقوط کرده سپس به محل اولیه خود باز می‌گردد (جهش می‌کند). مدت زمان جهش این سیلندر براساس یک مقیاس بر روی لوله شیشه‌ای اندازه‌گیری شده که همان قرائت سختی می‌باشد. این زمان قرائت شده با مراجعه به جداول مربوطه میزان سختی را مشخص می‌کند. این روش آزمایش برای مصالح سخت بسیار مناسب بوده ولی برای مصالح نسبتاً نرم قابل کاربرد نیست.

قسمت پ: آزمایش های مخرب

۶-۸ آزمایش مخرب^{۳۲}

آزمایش مخرب عبارت است از آزمایش مکانیکی نمونه جوش شده جهت تعیین مقاومت و سایر خواص مکانیکی. روش های آزمایش از این نوع نسبتاً ارزان قیمت و بسیار کاربردی هستند، به همین جهت در سطح وسیعی جهت ارزیابی و تأیید دستورالعمل جوشکاری و صلاحیت جوشکار به کار می روند. آزمایش مخرب معمولاً بر روی نمونه اخذ شده از ورق یا لوله جوش شده انجام می شود که در حقیقت نمونه ای از مصالح و دستورالعمل جوشکاری به کار رفته در کارگاه یا کارخانه می باشند.

۱-۶-۸ ضوابط عمومی

مطالبی که در این قسمت ارائه می شوند، اطلاعات لازم برای فهم مشخصات فنی وضع شده برای روش های آزمایش، و آماده سازی نمونه های آزمایشی را در اختیار خواننده قرار می دهند. به طور کلی در همه آیین نامه ها، ضوابط مربوط به ارزیابی دستورالعمل های جوشکاری ورق ها و لوله ها یکسان است و هر وضعیت جوشکاری، هر نوع درز اتصال و هر نوع جوشکاری یک شماره مشخصه طراحی دارد. در جدول ۸-۱ وضعیت های مختلف جوش نمونه آزمایشی و وضعیت های ارزیابی شده مربوط به آن ارائه شده است (به اشکال صفحات ۲۱۰ و ۲۱۱ نیز توجه فرمایید). عموماً، نمونه های آزمایشی خمش رویه، خمش ریشه، و خمش جانبی برای جوش های شیاری در ورق ها و لوله ها لازم است و آزمایش شکست گونیا و آزمایش حک برای جوش گوشه در ورق ها مورد نیاز می باشد. تعداد و نوع آزمایش های لازم بسته به میزان ضخامت مصالح (ورق یا لوله) متفاوت است.

در اکثر آیین نامه ها، نتایج ارزیابی ها به صورت نامحدود معتبر هستند، مگر اینکه:

- جوشکار بر روی نوع جوشی که برای آن مورد ارزیابی قرار گرفته، بیش از ۶ ماه فعالیت نداشته باشد. ارزیابی مجدد فقط برای ورق با ضخامت ۱۰ میلی متر لازم است.
- دلیلی مبنی بر عدم صلاحیت جوشکار وجود داشته باشد.

جدول ۸-۱ - شرایط عمومی ارزیابی جوشکاران ورق و لوله*

مصالح	نوع جوش	وضعیت نمونه آزمایش ^۱	شماره وضعیت ^۱	وضعیت ارزیابی ^۲	
				شیرازی	گوشه
ورق	شیرازی	تخت	1G	F	F,H
		افقی	2G	F,H	F,H
		قائم	3G	F,H,V	F,H,V
		سقفی	4G	F,OH	F,H,OV
		قائم و سقفی	3G,4G	-	همه
	گوشه	تخت	1F	-	F
		افقی	2F	-	F,H
		قائم	3F	-	F,H,V
		سقفی	4F	-	F,H,OII
		قائم و سقفی	3F,4F	-	همه
لوله	شیرازی	افقی دورانی	1G	F, (دورانی)	F,H ^۳
		قائم ثابت	2G	F,H	F,H
		افقی ثابت	5G	F,V,OH	F,V,OH
		مورب ۴۵ درجه ثابت	6G	همه	همه
		افقی و قائم ثابت	2G,5G	همه	همه

۱ - وضعیت و شماره وضعیت که جوشکار تحت آن آزمایش می‌شود.

۲ - وضعیت تأیید شده برای جوشکار

۳ - فقط جوشکاری ورق‌ها

F = تخت ؛ H = افقی ؛

V = قائم (سربالا) ؛ OV = سقفی (بالای سر)

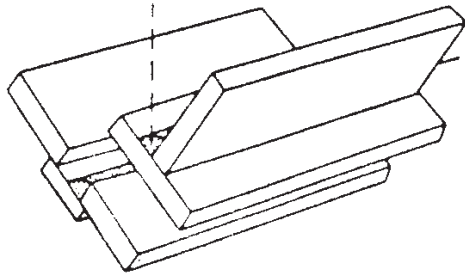
* به اشکال صفحات ۲۱۰ و ۲۱۱ نیز توجه شود.

در صورتی که جوشکار در آزمون تعیین صلاحیت مردود شود، به‌روشنی زیر تحت آزمون مجدد قرار می‌گیرد:

امتحان مجدد فوری، شامل دو آزمایش از هر یک از مواردی که در آنها جوشکار مردود شده است. کلیه نمونه‌های آزمایشی در این گروه باید مورد پذیرش قرار گیرد.

● یک امتحان مجدد کامل بعد از اینکه جوشکار تحت آموزش و تمرین مجدد قرار گرفت.

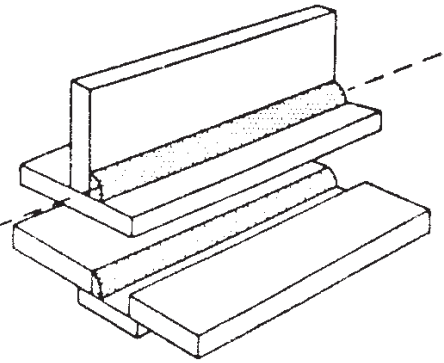
گلولی جوش عمودی است



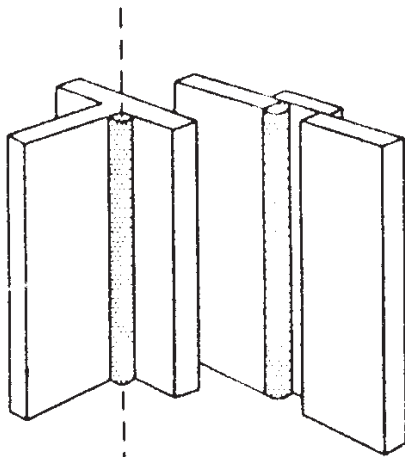
(الف) وضعیت تخت (1F)

محور جوش

محور جوش

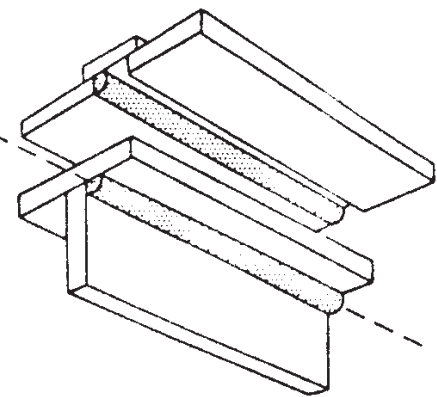


(ب) وضعیت افقی (2F)



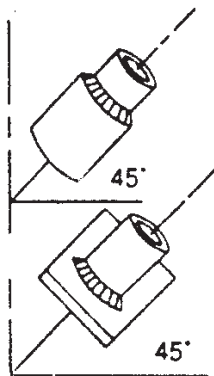
(پ) وضعیت قائم (سربالا) (3F)

محور جوش



(ت) سقفی (4F) (ورق‌ها)

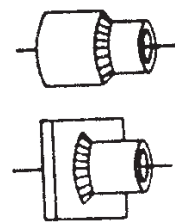
وضعیت ورق‌های آزمایشی برای جوش گوشه



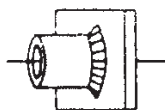
(الف) وضعیت تخت دوار (1F)



(ب) وضعیت افقی ثابت (2F)



(پ) وضعیت افقی دوار (2F)



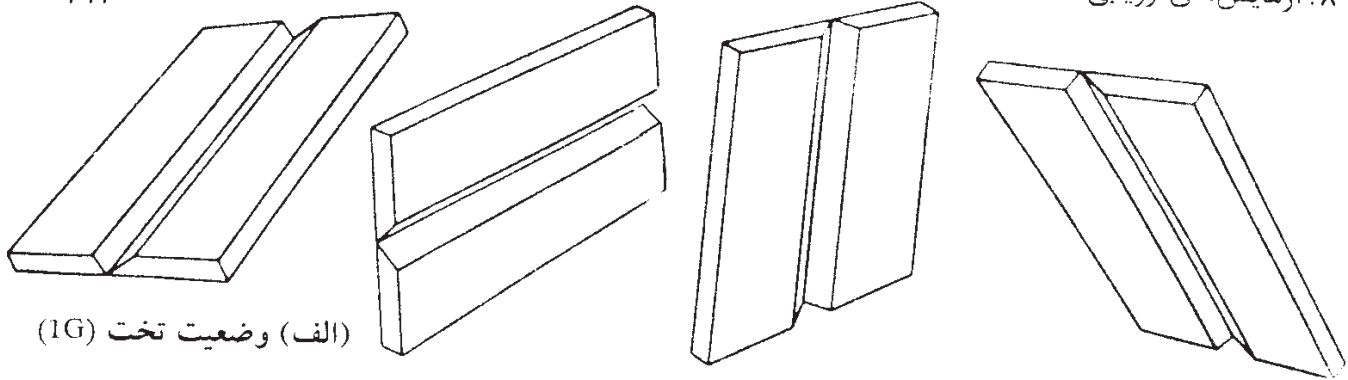
(ت) وضعیت سقفی ثابت (4F)



(ث) وضعیت مختلط ثابت (5F)



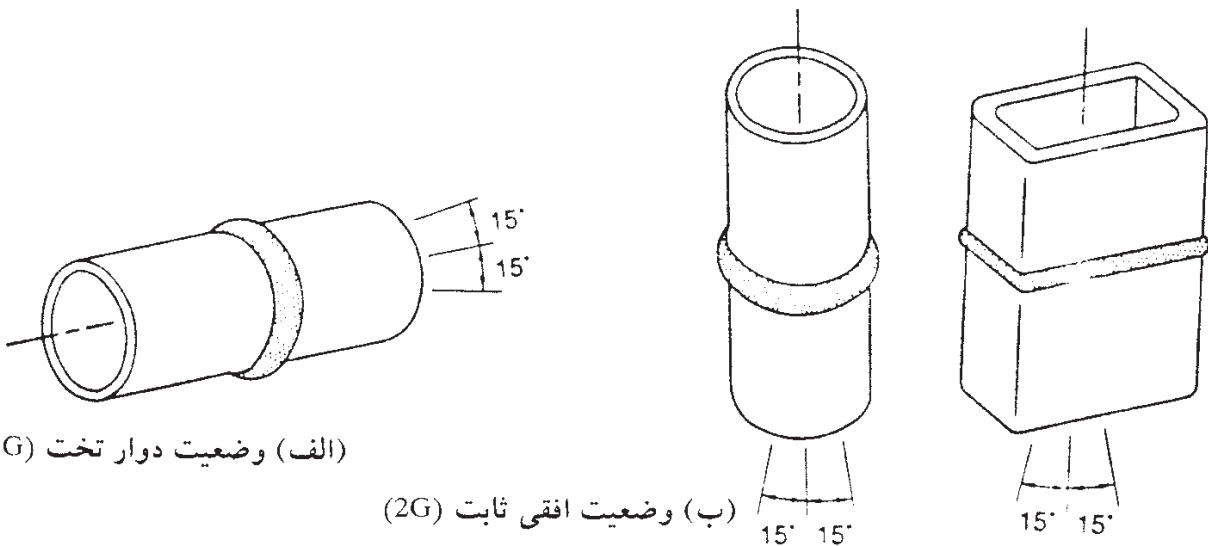
وضعیت لوله‌های آزمایشی برای جوش گوشه



(الف) وضعیت تخت (1G)

(ب) وضعیت افقی (2G) (پ) وضعیت سربالا (3G) (ت) وضعیت سقفی (4G)

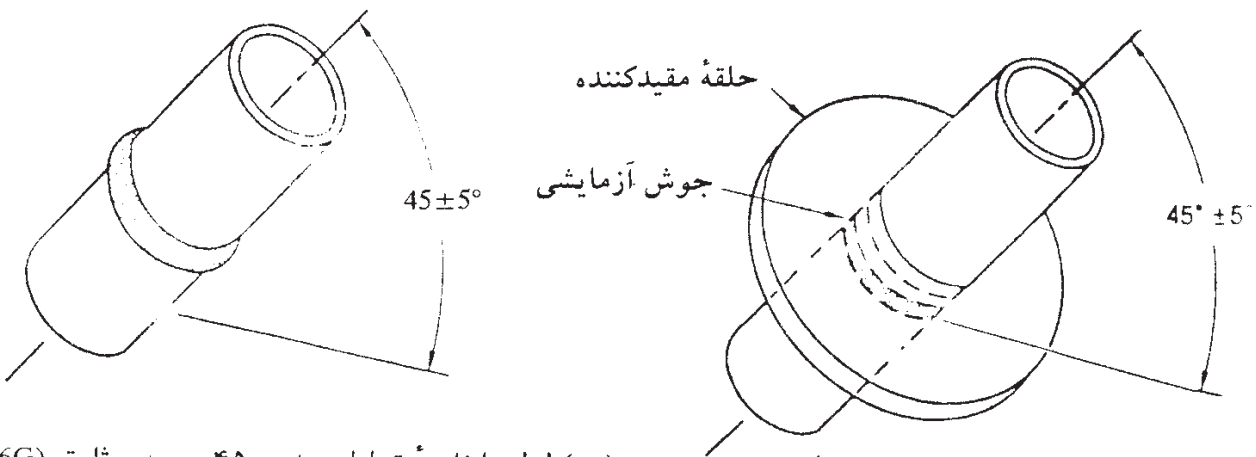
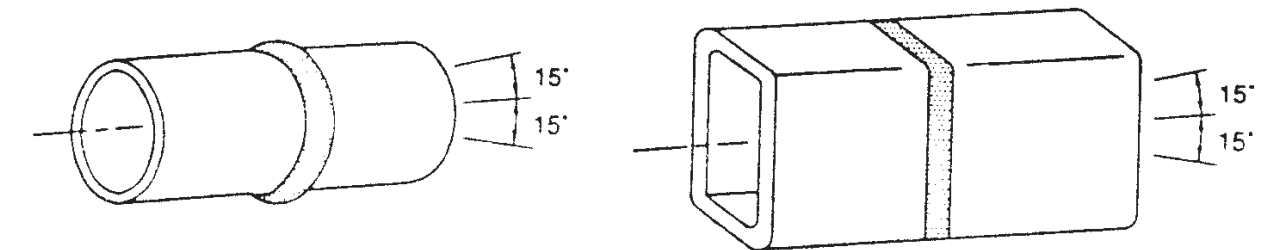
وضعیت‌های جوشکاری برای جوش شیاری ورق‌ها



(الف) وضعیت دوار تخت (1G)

(ب) وضعیت افقی ثابت (2G)

(پ) محور لوله افقی و لوله ثابت (5G)



(ت) لوله با زاویه تمایل حدود ۴۵ درجه و ثابت (6G)

(ث) وضعیت 6GR (اتصال Y، T و K)

وضعیت‌های جوشکاری برای جوش شیاری لوله‌ها

آیین‌نامه AWS سه رده پذیرش با اسامی اختصاری AR-1، AR-2، AR-3، برای جوشکاری لوله‌ها به رسمیت می‌شناسد:

- AR-1 برای بالاترین کیفیت جوشکاری نظیر جوشکاری تجهیزات لوله‌ای نیروگاه اتمی و تجهیزات اکتشافات فضایی و همچنین در ساخت سیستم شیمیایی و گازی تحت فشار و دمای زیاد.
- AR-2 برای جوشکاری‌های با کیفیت زیاد نظیر سیستم‌های خط لوله و لوله‌های تحت فشار.
- AR-3 برای جوش‌های با کیفیت اسمی نظیر تأسیسات منازل (تأسیسات آبی و حرارتی).

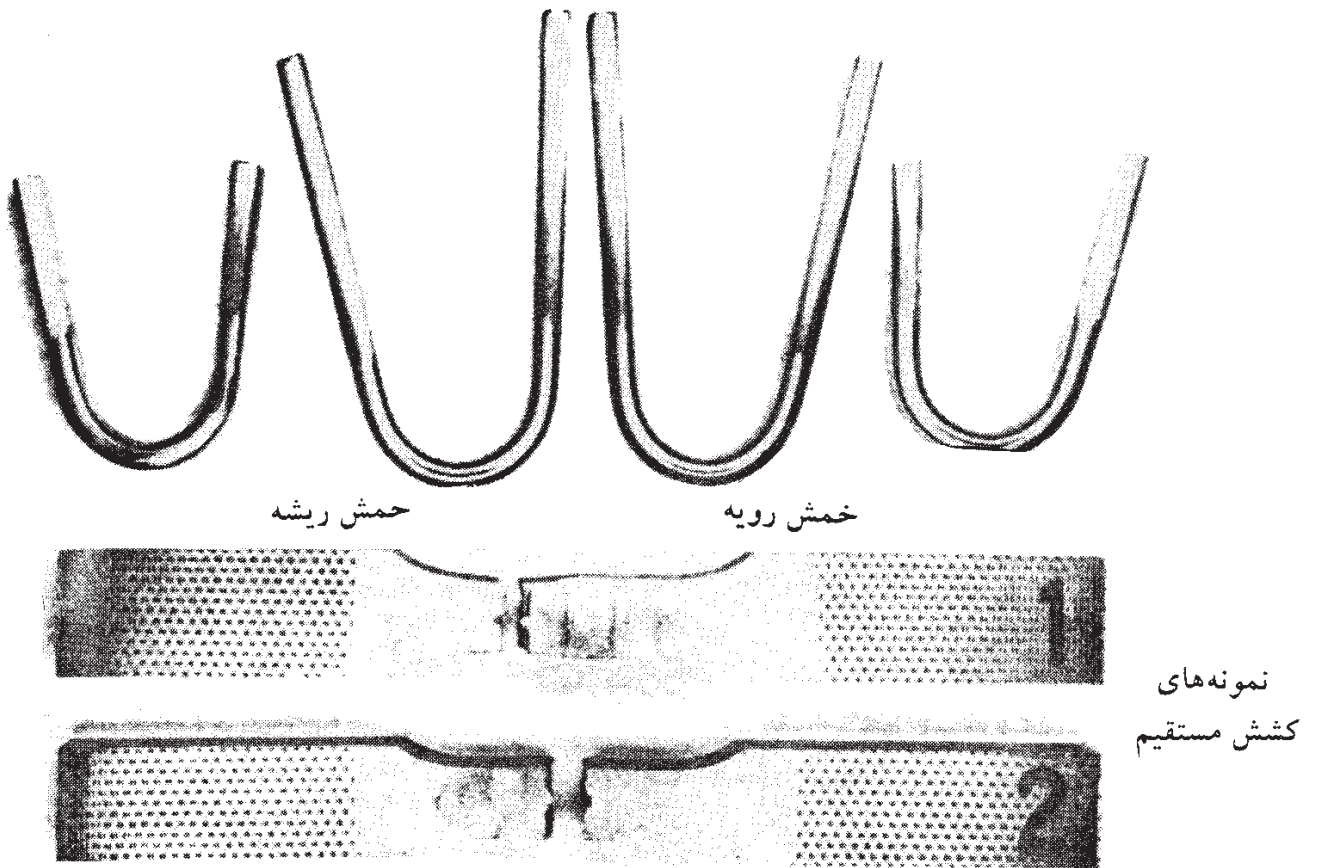
۸-۶-۲ آزمایش‌های ارزیابی دستورالعمل جوشکاری

این آزمایش‌ها جهت تعیین صحت روش جوشکاری مورد استفاده در یک پروژه خاص انجام می‌گیرد. آزمایش ارزیابی دستورالعمل جوشکاری باید کلیه موارد نظیر مشخصات فلز پایه و فلز پرکننده، نحوه آماده‌سازی درز اتصال، وضعیت جوشکاری، روش و تکنولوژی جوشکاری، و سایر مشخصه‌های جوشکاری را پوشش دهد. آزمایش باید شامل تنظیم شدت جریان، اندازه و کاربری الکتروود، درجه حرارت پیش‌گرمایش، درجه حرارت پاس‌های میانی و درجه حرارت پس‌گرمایش باشد. در ادامه ضوابط ارزیابی دستورالعمل جوشکاری برای انواع جوش‌ها ارائه می‌شود:

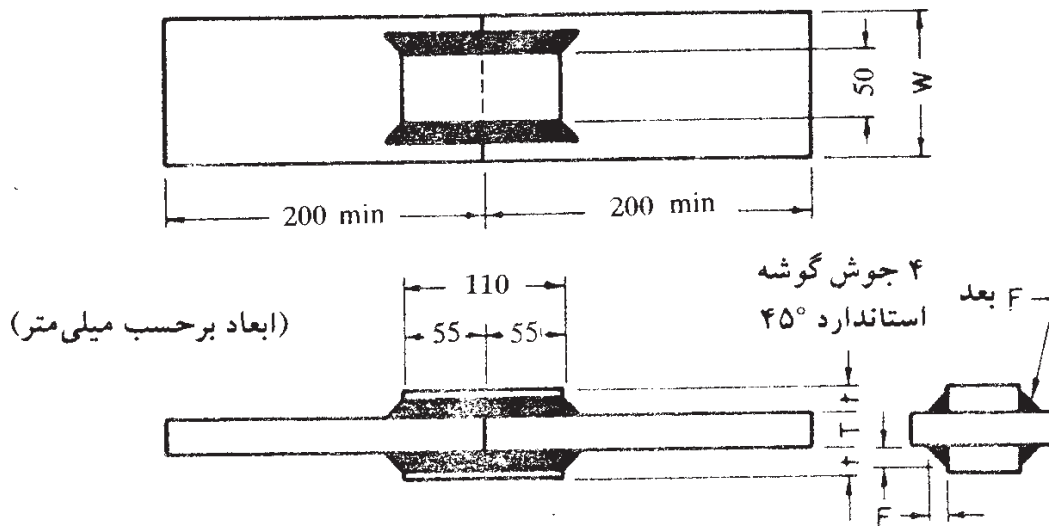
جوش‌های شیاری: نمونه‌های لازم برای ارزیابی جوش شیاری در ورق‌های با ضخامت کمتر از ۲۰ میلی‌متر، شامل دو نمونه آزمایش کششی، دو نمونه آزمایش خمش رویه، و دو نمونه آزمایش خمش ریشه جوش می‌باشد. برای ورق‌های با ضخامت مساوی و یا بزرگتر از ۲۰ میلی‌متر، دو نمونه آزمایش کشش و چهار نمونه آزمایش خمش جانبی مورد نیاز است (شکل ۸-۸). در اکثر حالات، آزمایش‌های انجام شده برای ارزیابی جوش شیاری، هر دو نوع جوش شیاری و گوشه را در محدوده ضخامت‌های آزمایشی مورد ارزیابی و تأیید قرار می‌دهد.

جوش گوشه: در این مورد نمونه‌های آزمایش برش طولی مطابق شکل ۸-۹ جوش داده شده و مطابق شکل ۸-۱۰ جهت انجام آزمایش آماده می‌شوند. نمونه‌های آزمایش برش عرضی مطابق شکل ۸-۱۱ ساخته می‌شوند.

قطعه آزمایشی جهت انجام آزمایش خمش آزاد و آزمایش سلامت مطابق شکل ۸-۱۲ انجام می‌شود. از این قطعه، دو نمونه برای انجام آزمایش خمش آزاد اخذ شده و مطابق شکل ۸-۱۳ برای ورق‌ها و مطابق شکل ۸-۱۴ برای لوله‌ها آماده‌سازی می‌شود. به علاوه از قطعه جوش شده، دو نمونه آزمایشی برای انجام آزمایش سلامت جوش گوشه مطابق شکل ۸-۱۵ اخذ شده و

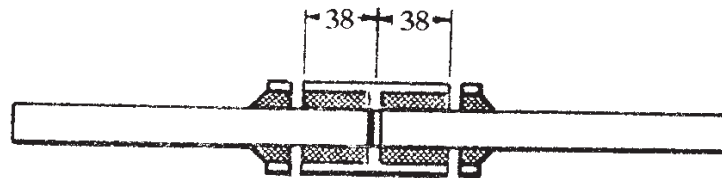
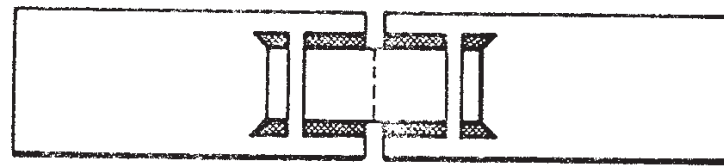


شکل ۸ - ۸ - نمونه آزمایشی ارزیابی دستوراتعمل جوشکاری به روش ASME: دو نمونه کششی، دو نمونه خمش رویه و دو نمونه خمش ریشه جوش. نمونه‌های کششی تا حد شکست کشیده می‌شوند.



ابعاد				
بعد جوش	3	6	10	12
ضخامت (l) (میلی‌متر)	10	12	20	25
ضخامت (T) (میلی‌متر)	10	10	25	32
عرض (W) (میلی‌متر)	75	75	75	90

شکل ۸ - ۹ - نمونه آزمایش برش طولی جوش گوشه.

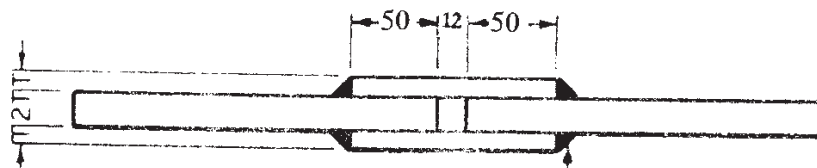
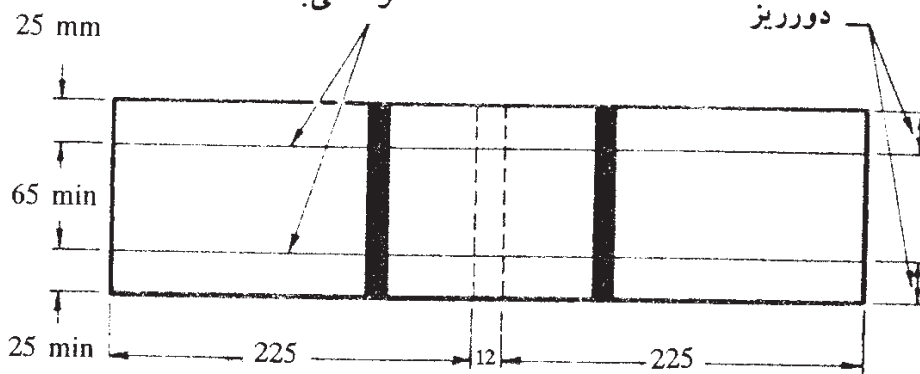


برای ابعاد دیگر شکل قبل را ببینید.

شکل ۸-۱۰ - نمونه آزمایش برش طولی جوش گوشه که برای آزمایش آماده‌سازی شده است.

برش ماشینی در طول این

خطوط می باشد



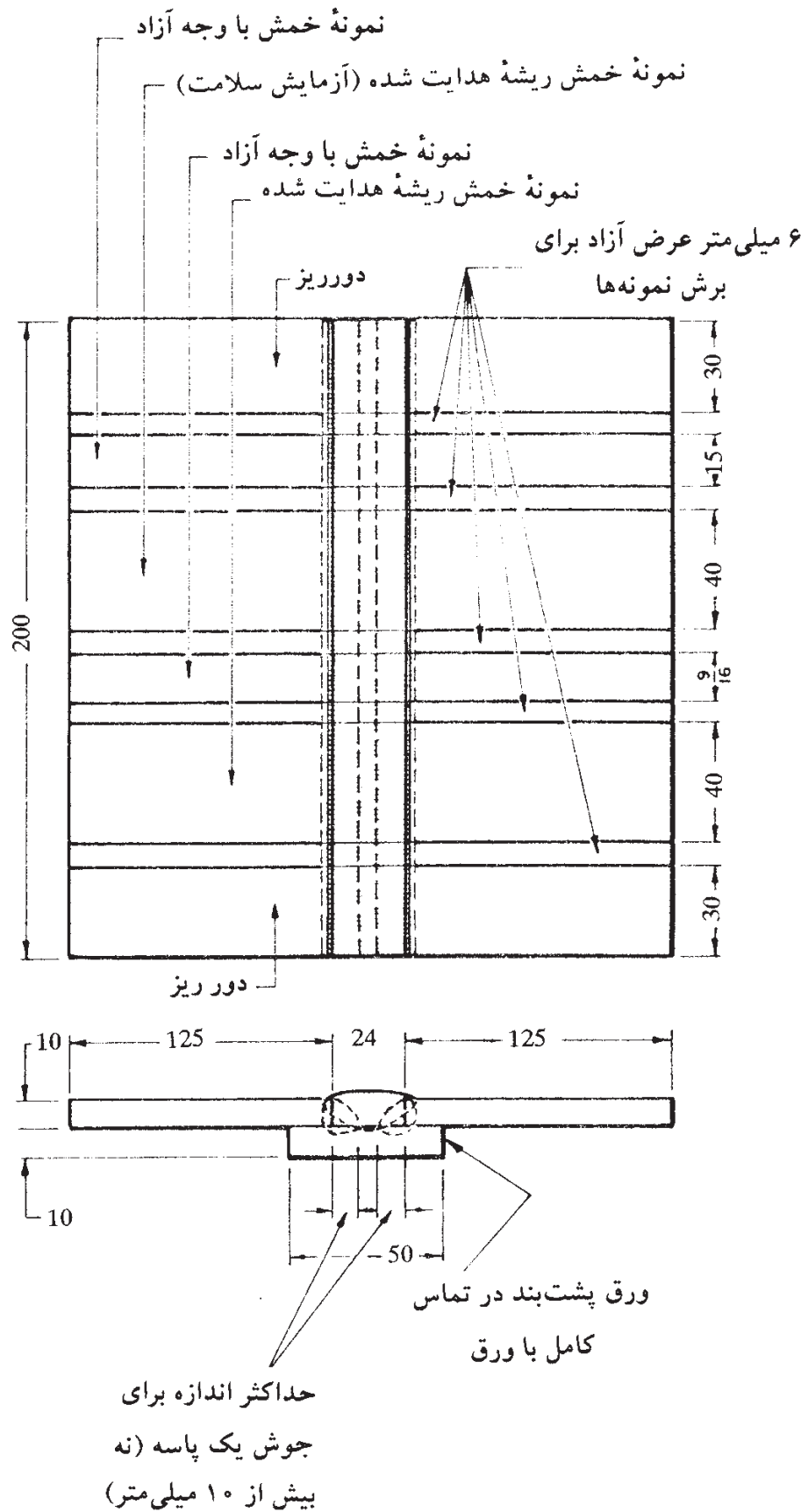
بعد جوش گوشه به علاوه T-
حد اقل ۳ میلی متر

۴ جوش گوشه
استاندارد ۴۵°

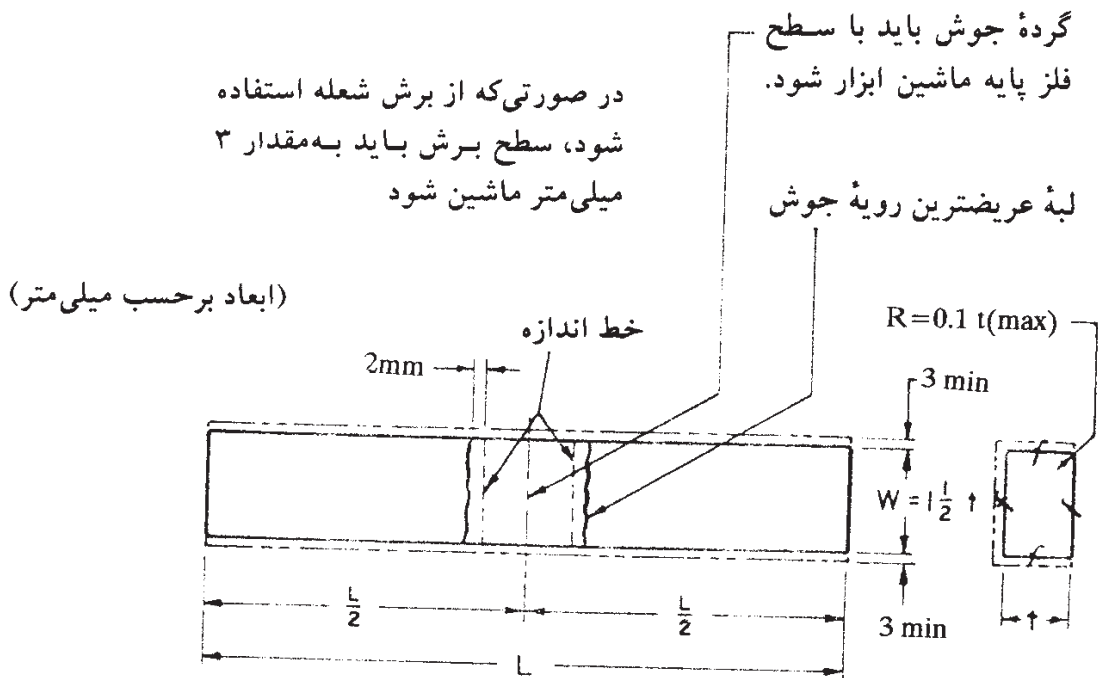
(ابعاد بر حسب میلی متر)

شکل ۸-۱۱ - نمونه آزمایش برش عرضی جوش گوشه.

آماده‌سازی می شود. یک شکل دیگر از آزمایش جوش گوشه که طبق آیین‌نامه ASME جهت ارزیابی دستورالعمل جوشکاری مورد نیاز است، در شکل ۸-۱۶ نشان داده شده است. نمونه مورد نظر طبق شکل بریده شده و مورد آزمایش حک قرار می گیرد.

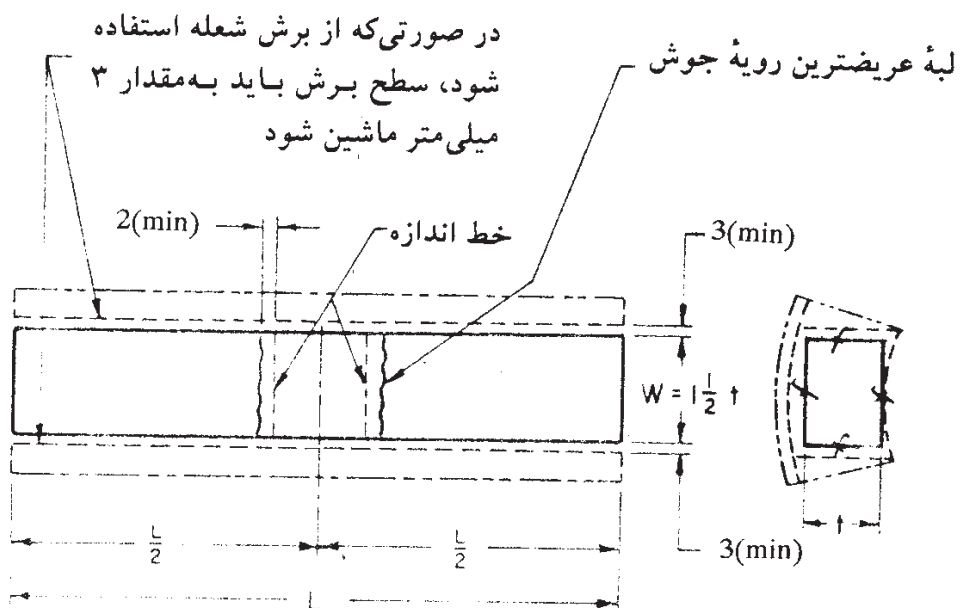


شکل ۸-۱۲ - قطعه آزمایشی برای آزمون خمش آزاد و آزمون سلامت جوش در جوش گوشه.



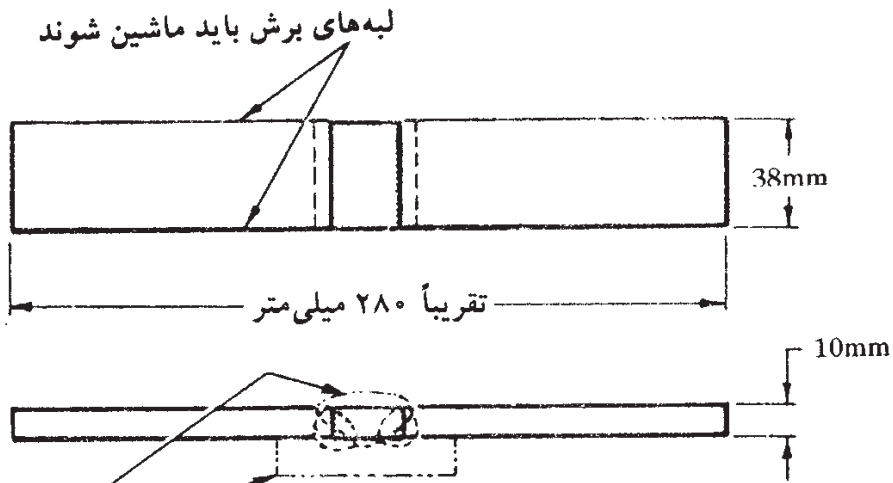
t, (mm)	6	10	12	15	18	25	30	36	50	62
W, (mm)	10	14	18	24	28	36	48	56	75	94
L min, (mm)	15	175	225	250	280	300	340	375	450	525
B*min(mm)	30	30	30	50	50	50	50	50	50	75

شکل ۸-۱۳ - نمونه آزمایش خمش آزاد (ورق).



توجه: برای ابعاد دیگر شکل قبل را ببینید.

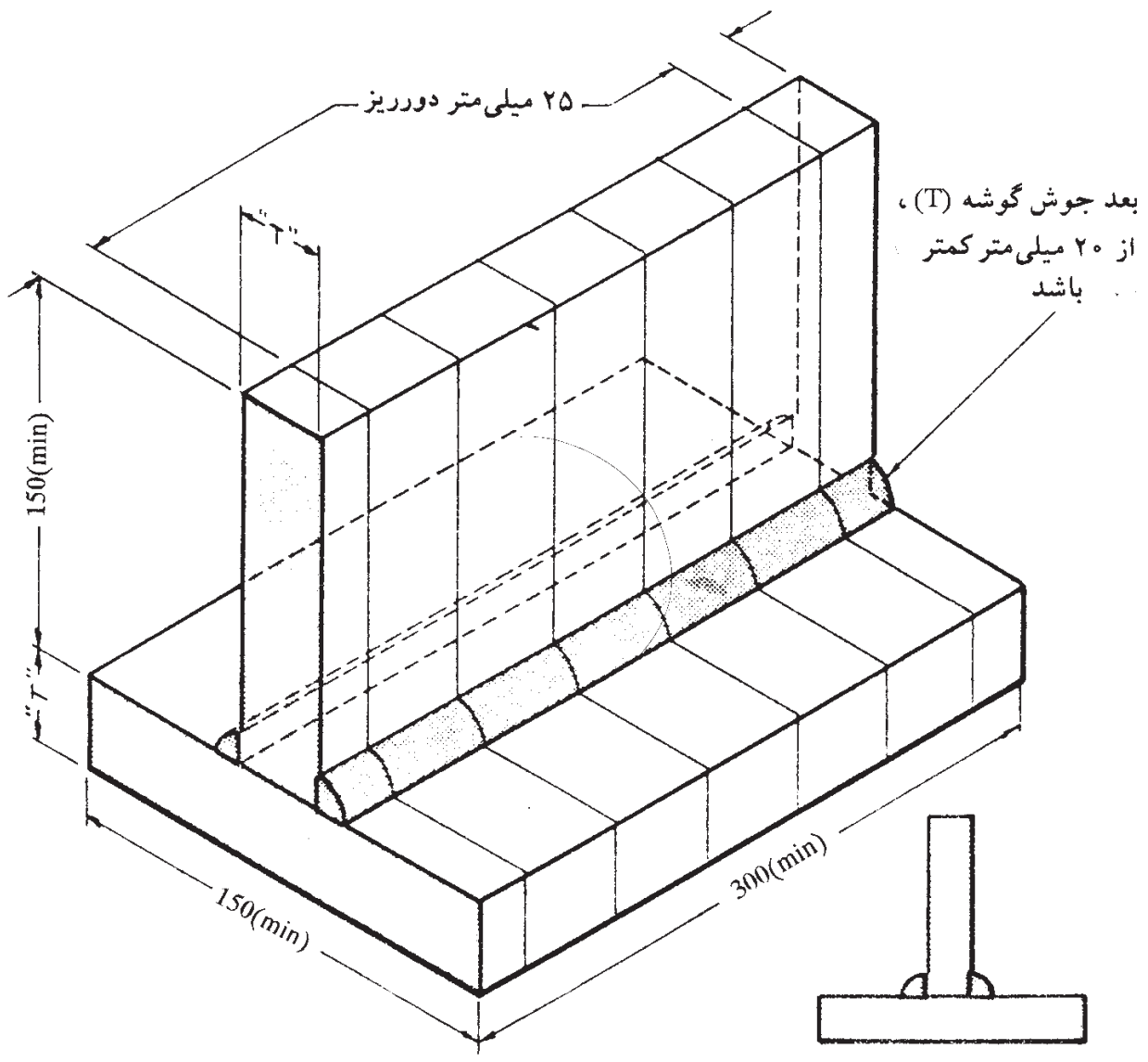
شکل ۸-۱۴ - نمونه آزمایش خمش آزاد (لوله).



شکل ۸-۱۵ - نمونه آزمایشی آزمون سلامت جوش گوشه.

لبه‌های برش باید ماشین شوند

گرده جوش و ورق پشت بند ماشین می‌شود



مقطع برای آزمایش حک اسید

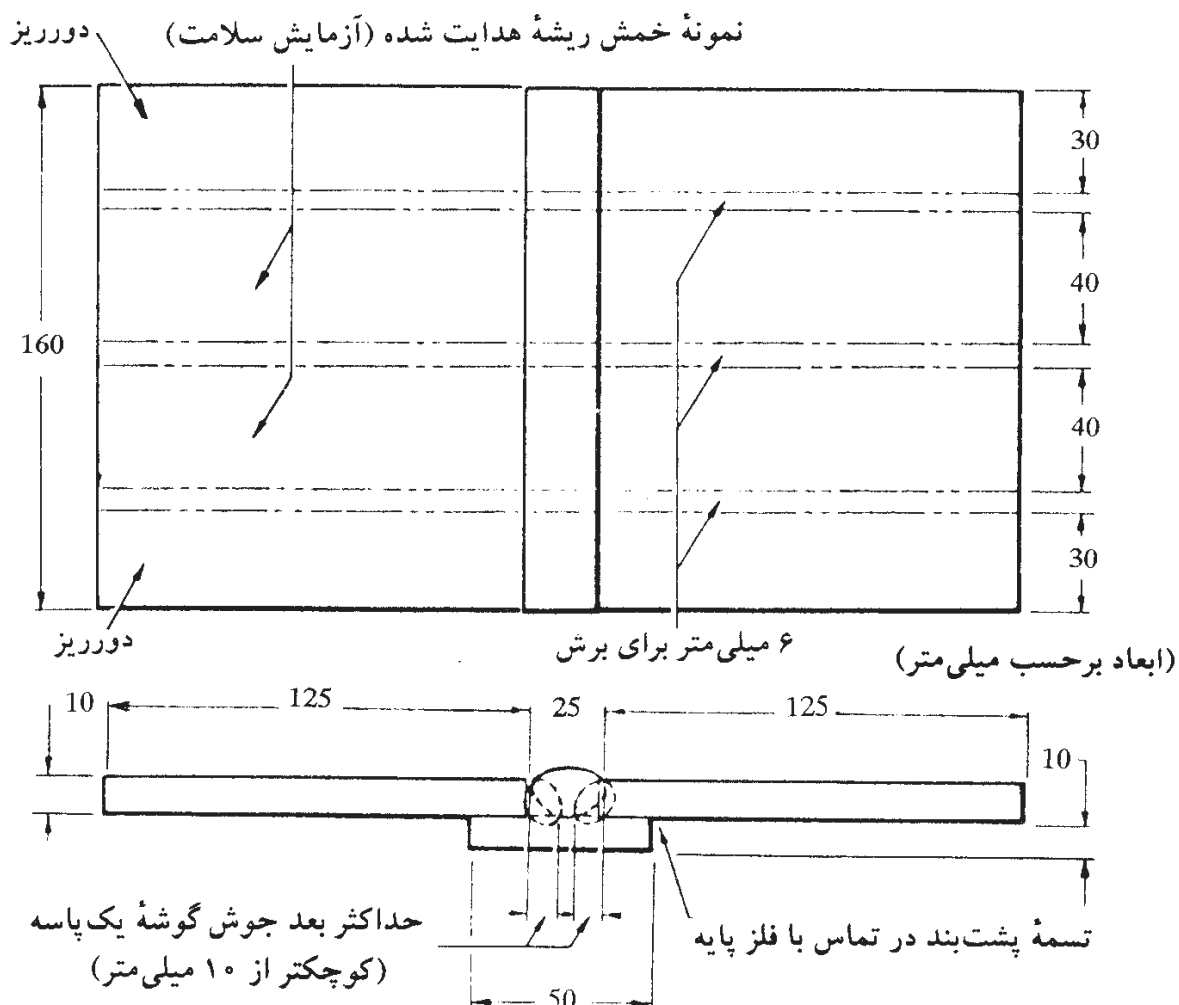
شکل ۸-۱۶ - نمونه آزمایشی آزمون سلامت جوش گوشه برای ارزیابی دستورالعمل جوشکاری.

۸-۶-۳ آزمایش‌های ارزیابی جوشکاران و اپراتورهای جوشکاری

این آزمایش‌ها که آزمایش کیفیت اجرا نیز خوانده می‌شود، مشخص می‌نماید که آیا اپراتور دانش و مهارت انجام جوش سالم طبق دستورالعمل جوشکاری را داراست یا خیر. اغلب نمونه‌ها مشابه نمونه‌های ارزیابی دستورالعمل جوشکاری است ولی تعدادشان کمتر است. تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای ارزیابی صلاحیت جوشکار برای انواع مختلف جوش‌ها به شرح زیر است:

جوش شیاری: برای ورق‌های با ضخامت کمتر از ۲۰ میلی‌متر، یک نمونه آزمایش خمش رویه و یک نمونه آزمایش خمش ریشه جوش مورد نیاز است. برای مصالح (ورق یا لوله) با ضخامت ۲۰ میلی‌متر و بیشتر، دو نمونه آزمایش خمش جانبی مورد نیاز می‌باشد (آزمایش‌های خمش رویه و خمش ریشه نیز ممکن است جانشین آزمایش خمش جانبی گردند).

جوش گوشه: سه نوع روش مختلف برای آزمایش جوش گوشه در برآوردن مقاصد مختلف وجود دارد. بسیاری از شرکت‌ها دستورالعمل آزمایشی نشان داده شده در شکل ۸-۱۷ را به کار می‌برند.

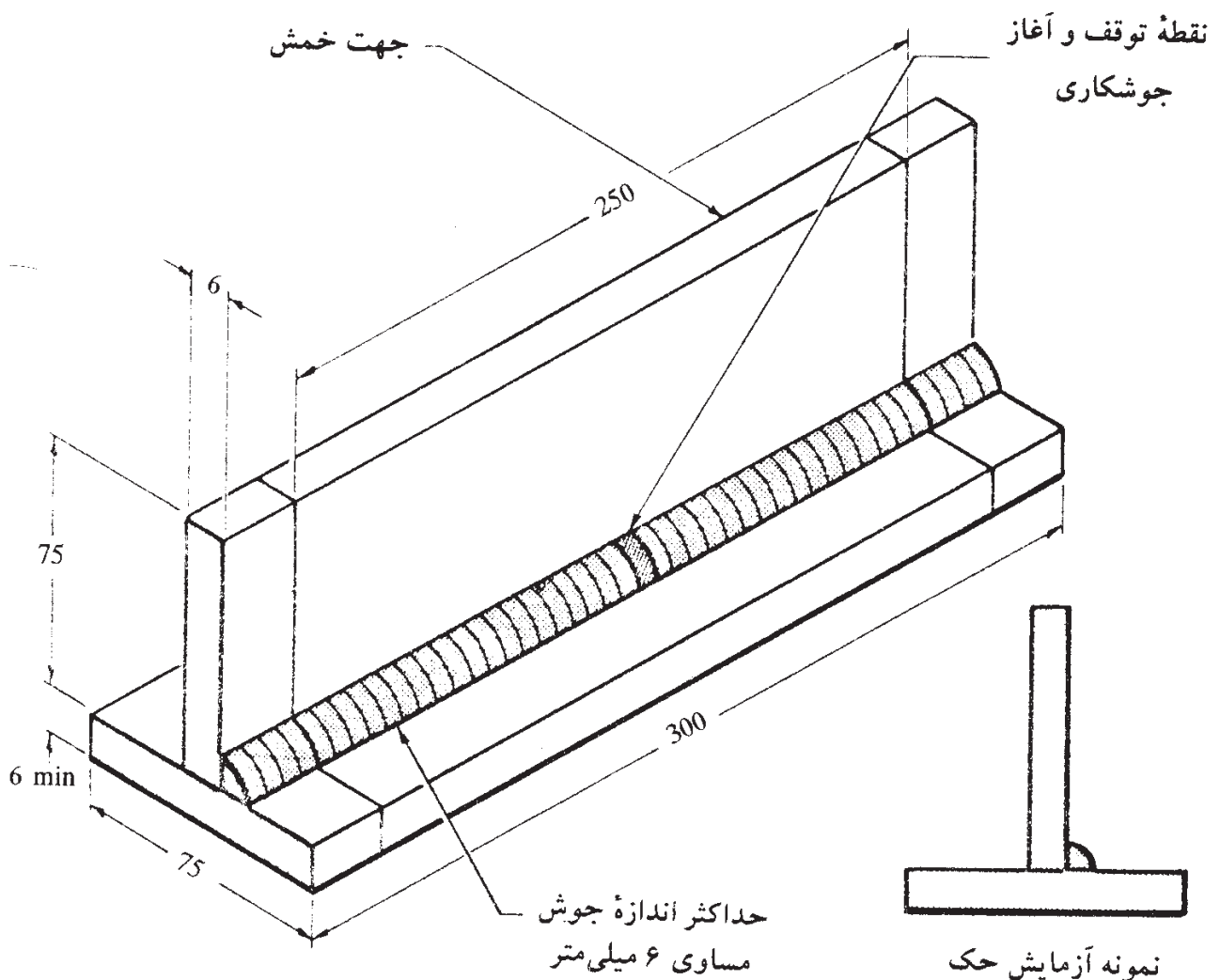


شکل ۸-۱۷ - آزمایش سلامت جوش گوشه برای ارزیابی جوشکاران و اپراتورهای جوشکاری.

جوش‌ها در وضعیت موردنظر توسط جوشکار مورد آزمایش قرار می‌گیرد و دو نمونه آزمایش خمش ریشه جوش تهیه می‌شود.

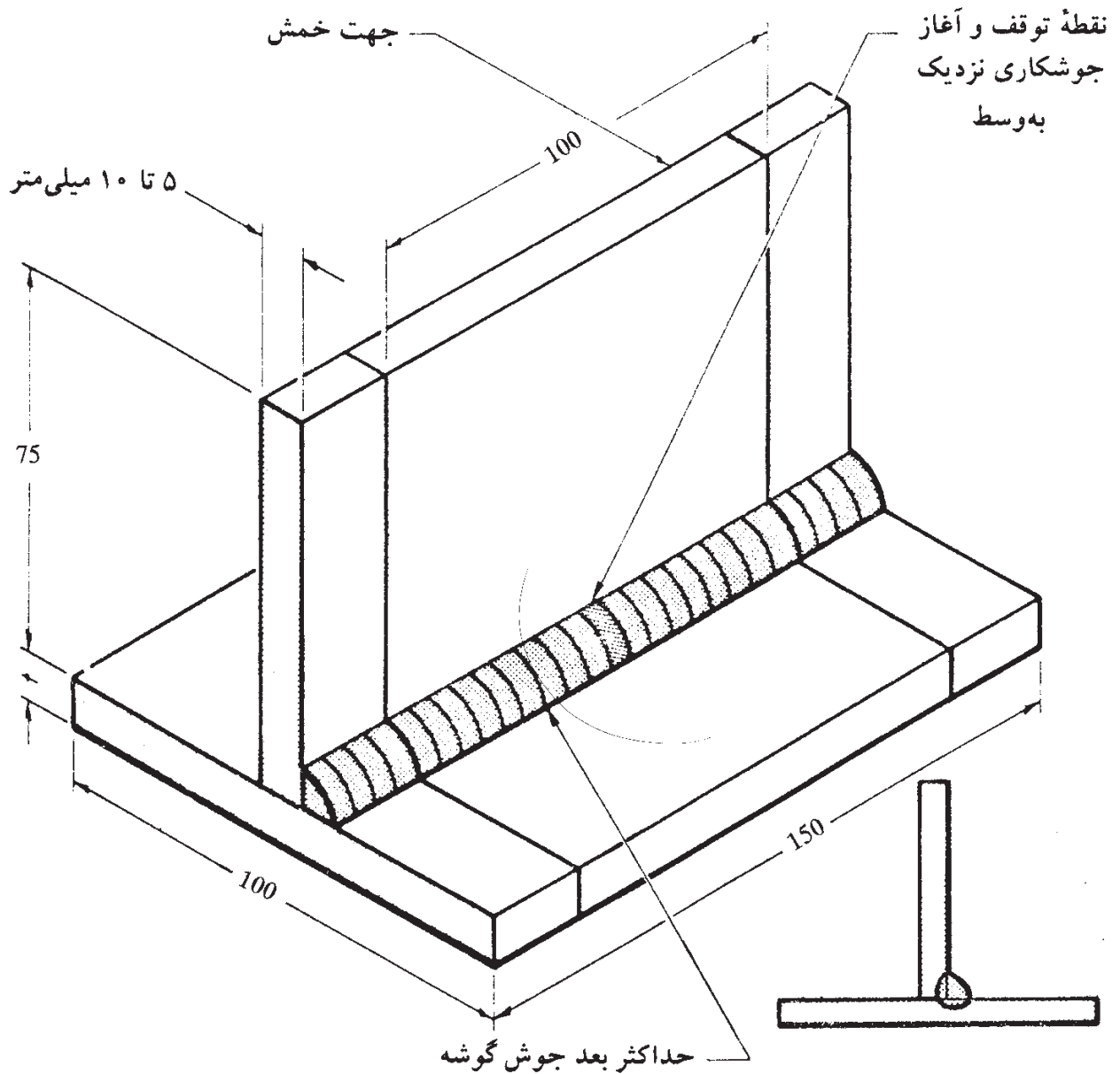
شکل دیگری از آزمایش جوش گوشه که از آن می‌توان برای ارزیابی جوشکار استفاده نمود، براساس آیین‌نامه ASME مطابق شکل‌های ۸-۱۸ و ۸-۱۹ می‌باشد. نمونه‌های به‌دست آمده تحت آزمایش شکست و حک قرار می‌گیرند.

هنگامی که تعیین میزان آگاهی و توانایی جوشکار در مورد جوشکاری‌های معمولی و غیرمهم



آزمایش شکست: حداکثر معایب مجاز همانند تداخل گِل و عدم امتزاج و سایر موارد مساوی ۲۰ درصد یا ۵۰ میلی‌متر می‌باشد. وجود ترک زمینه‌ای برای مردود کردن جوش است. آزمایش حک: جوش گوشه باید دارای امتزاج کامل در ریشه بوده ولی لزومی ندارد فراتر از آن نفوذ نماید. تقعر و یا تحدب جوش نباید از ۱/۵ میلی‌متر بیشتر شود. هر دو ساق جوش گوشه باید با دقت حدود ۱/۵ میلی‌متر با یکدیگر مساوی باشند.

شکل ۸-۱۸ - نمونه جوش گوشه برای ارزیابی جوشکاران و اپراتورهای جوشکاری.

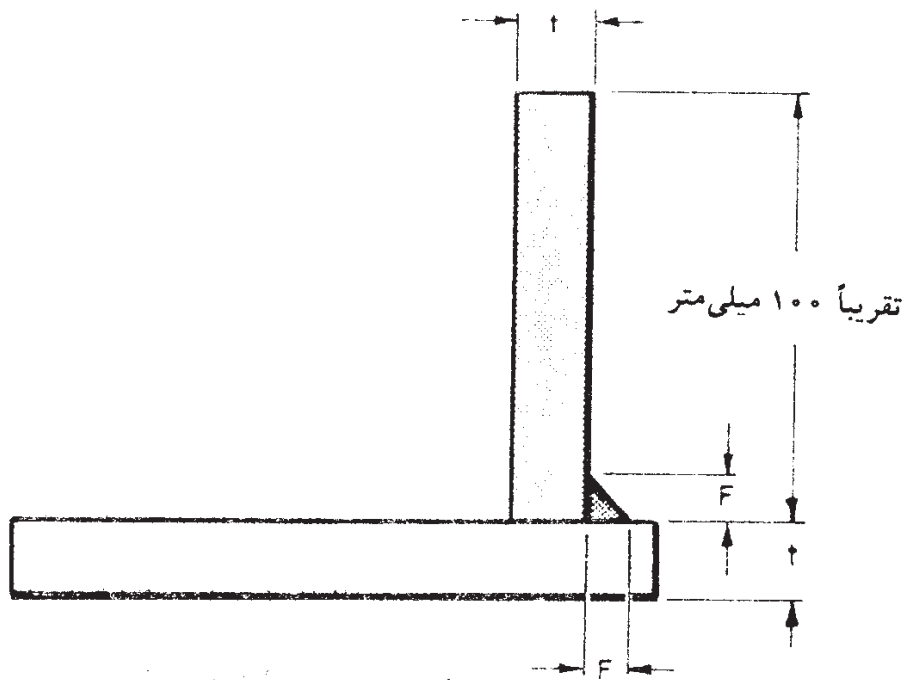
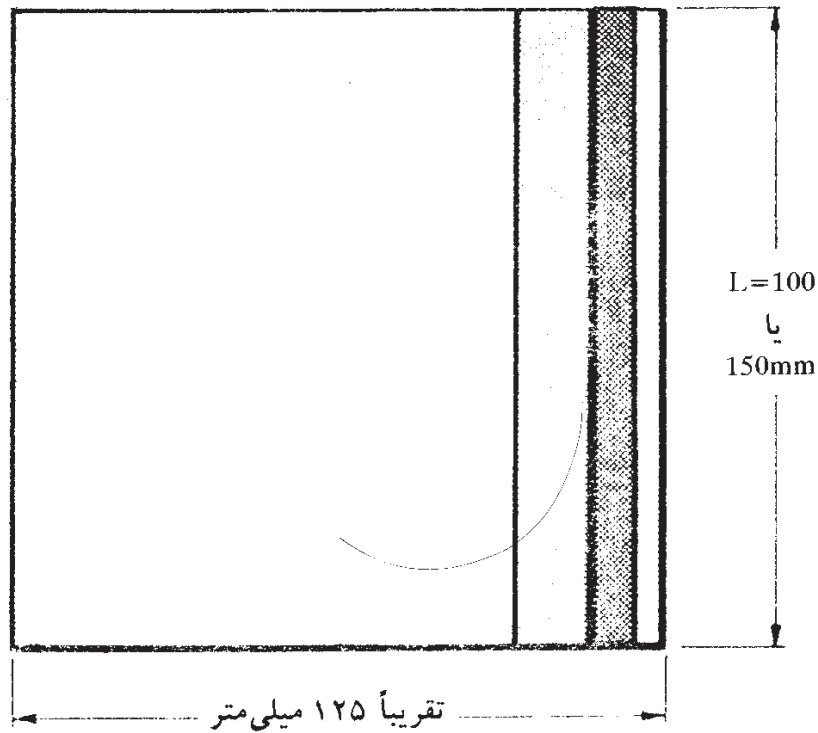


شکل ۸-۱۹ - نمونه آزمایشی جوش گوشه در آزمون صلاحیت جوشکار.

مورد نظر باشد، آزمایش جوش گوشه مطابق شکل ۸-۲۰ مورد استفاده قرار می‌گیرد. جوش انجام شده مطابق شکل ۸-۲۱ گسیخته می‌شود.

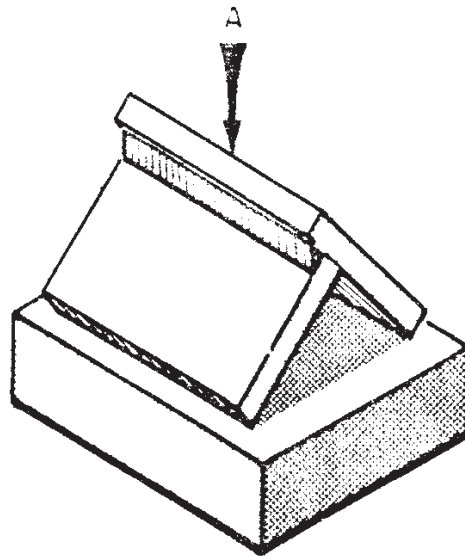
۸-۶-۴ آماده‌سازی^{۳۳} نمونه‌های آزمایشی

مطالبی که در پی می‌آیند، آگاهی‌های لازم برای فهم طبیعت نمونه‌های مختلف آزمایشی، آماده‌سازی و کاربرد آنها، روش آزمایش، و نتایج لازم جهت پذیرش را ارائه می‌دهند. نکته قابل



شکل ۸ - ۲۰ - نمونه آزمایش شکست جوش گوشه.

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



شکل ۸-۲۱ - روش شکستن نمونه آزمایش شکست جوش گوشه.

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

جوشکاری ورق‌ها. انتخاب صحیح الکتروود اولین قدم در تولید یک 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، به همین جهت باید از طبقه E6010، E6011، E6017 یا E6018 باشند. از الکتروود 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 پذیرش آزمایش مجاز نیست. این امر باعث گرم شدن تدریجی ورق شده و باعث می‌گردد ورق بعد از تکمیل عملیات جوشکاری به ملایمت سرد شود. جوشکار تحت هیچ شرایطی مجاز نیست که قطعه جوش‌شده 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^{۳۴}. توجه کافی به پرداخت سطحی نمونه آزمایش ضروری است و عدم دقت در انجام آن می‌تواند باعث مردود شدن جوش سالم شود. پس از پایان جوش، عملیات تراشکاری و سنگزنی قطعه باید در امتداد طولی بر روی نمونه انجام شود. انجام این عمل در جهات دیگر موجب اثراتی خواهد شد که به شکست قطعه منجر می‌شود. هر قدر در عملیات پرداخت، سطح صافتری ایجاد گردد، شانس پذیرش نمونه آزمایشی بیشتر است. حتی یک شکاف عرضی باریک ممکن است تحت شرایط سخت تنشی آزمایش باز شود. در صورتی که میزان نفوذ فلز مذاب در درز اتصال به میزان قابل توجهی ناقص نباشد، (که در این صورت جوش انجام شده غیر قابل قبول است) نوار جوش باید با سنگزنی یا ماشین ابزار صاف شود تا سطح خمشی تمیز و بدون ناهمواری به وجود آید.

هرگونه گرده جوش^{۳۵} (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 قرار گرفت، سطح محدب نمونه باید از لحاظ ترک، شکست و دیگر معایب کنترل شود. هر نمونه‌ای که ترک و دیگر معایب (باز شدنی) 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.

۸-۶-۵ آزمایش‌های سلامت جوش شیاری

(الف) آزمایش کشش مقطع کاهش یافته

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

اندازه و شکل نمونه‌های آزمایشی. هندسه و شکل نمونه‌ها در اشکال ۸-۲۲ تا ۸-۲۴ ارائه

شده است.

انجام می‌شود. قبل از انجام آزمایش کمترین عرض و ضخامت ورق در محل کاهش مقطع برحسب میلی‌متر یا اینچ اندازه‌گیری می‌شود.

نمونه آزمایشی تحت اثر بار کششی گسیخته شده و حداکثر بار وارده در لحظهٔ گسیختگی برحسب kN یا تن تعیین می‌گردد.

سطح مقطع عرضی طبق رابطهٔ 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 به دست می‌آید.

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

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

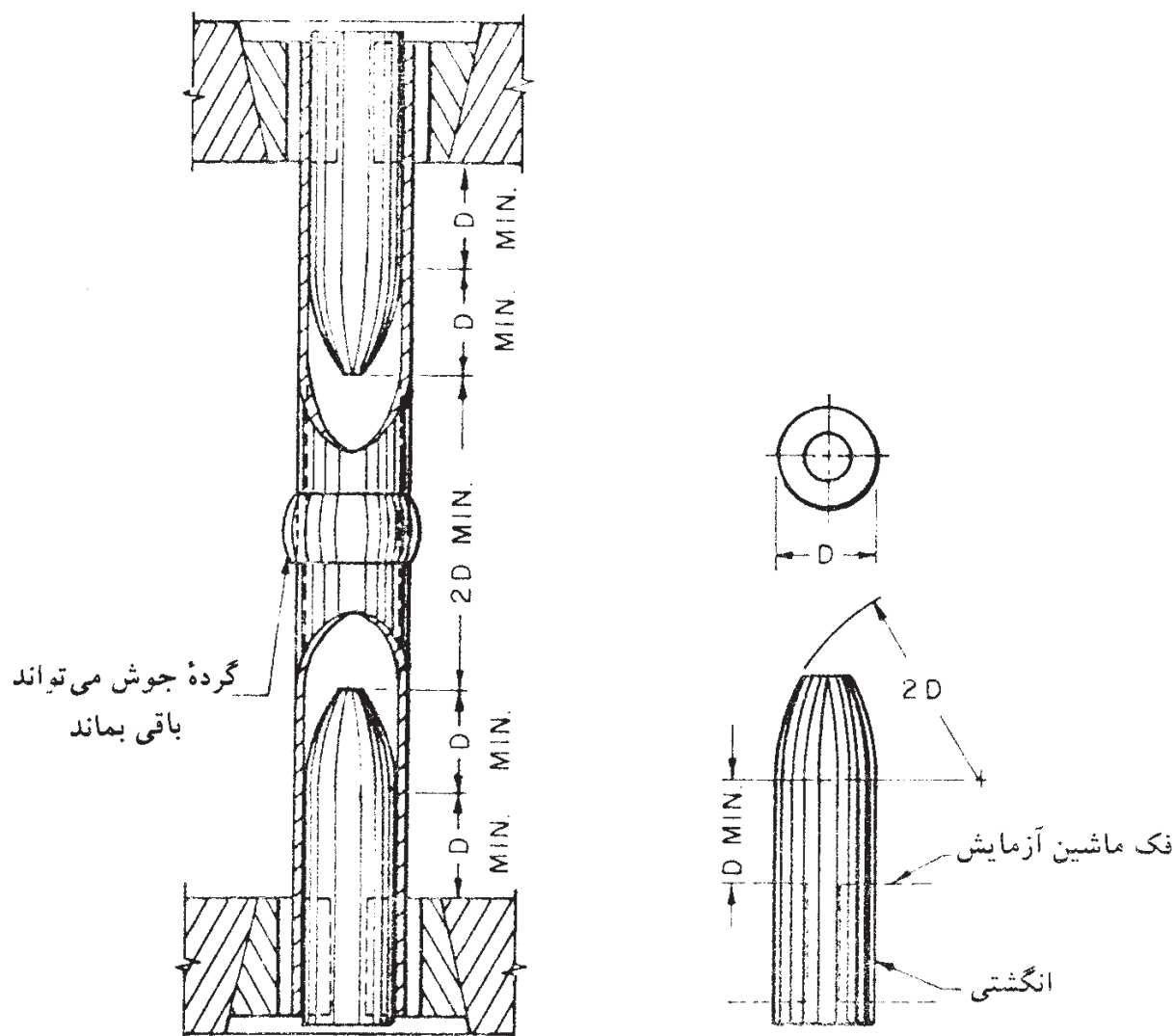
- حداقل مقاومت کششی فلز پایه؛
- پایین‌ترین مقاومت کششی از میان مصالح غیر هم‌جنس؛
- مقاومت کششی فلز جوش، اگر مقاومت فلز جوش کمتر از مقاومت فلز پایه باشد؛
- ۵ درصد کمتر از حداقل مقاومت کششی فلز پایه در صورتی که در هنگام آزمایش، نمونه در قسمت فلز پایه و خارج از قسمت جوش شکسته شده باشد.

(ب) آزمایش خمش آزاد^{۳۶}

آزمایش‌های خمش آزاد با هدف تعیین شکل‌پذیری فلز جوش به کار می‌روند. این آزمایش‌ها تنها برای ارزیابی دستورالعمل جوشکاری مورد استفاده قرار گرفته و بر روی جوش‌های شیاری در اتصال لب‌به‌لب ورق‌ها و لوله‌ها انجام می‌شود.

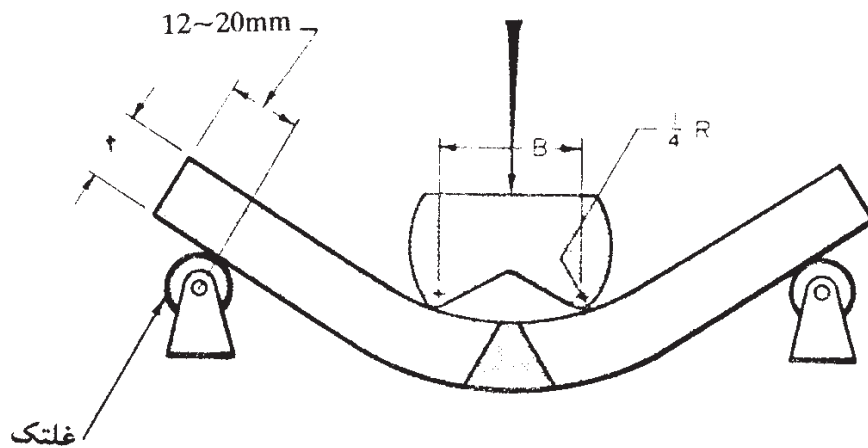
اندازه و شکل نمونه‌های آزمایش. هندسه نمونهٔ آزمایش مطابق اشکال ۸-۱۳ و ۸-۱۴ می‌باشد.

روش آزمایش. دو خط مقیاس مطابق اشکال ۸-۱۳ و ۸-۱۴ به آرامی بر سطح رویهٔ جوش حک می‌شود.



شکل ۸-۲۴ - نمونه آزمایش کشش (لوله) با قطر کمتر از ۵۰ میلی متر

فاصله بین این دو خط که به نام فاصله مقیاس خوانده می شود در حدود ۳ میلی متر کمتر از عرض رویه جوش انتخاب می شود. این فاصله برحسب میلی متر و با دقت ۰/۱ اندازه گیری می شود. در جوش شیاری یک طرفه، خطوط مقیاس بر روی رویه جوش هستند. در جوش شیاری دو طرفه، که دو رویه جوش وجود دارد، دو خط مقیاس در یک طرف نمونه بر رویه جوش، و دو خط مقیاس در طرف دیگر نمونه و بر روی لایه جوش مخالف انتخاب می شوند. هر نمونه در ابتدا تحت اثر خمش اولیه هدایت شده در شرایط شکل ۸-۲۵ قرار می گیرد. سطح نمونه که شامل خطوط مقیاس می باشد محدب پیدا کرده به گونه ای که رویه جوش در قسمت پایینی و در وجه بیرونی سطح محدب قرار می گیرد. پس از اعمال خمش اولیه، نمونه در داخل گیره یا دستگاه فشار و ماشین آزمایش قرار می گیرد. خمش نمونه تا زمان ایجاد ترک و یا شکافی بزرگتر از ۱/۵ میلی متر و در هر جهت دلخواه که بر سطح محدب نمونه ظاهر گردد، ادامه می یابد. اگر هیچ



شکل ۸-۲۵ - خمش اولیه برای نمونه آزمایش خمش آزاد.

ترکی بر سطح نمونه ظاهر نگردد، خمش وارده دو برابر می‌شود. ترک‌های با طول کمتر از $1/5$ میلی‌متر که در خلال آزمایش در گوشه‌های نمونه به وجود می‌آیند، مورد توجه قرار نمی‌گیرند. استفاده از ترتیباتی مطابق شکل ۸-۲۶ در انجام این آزمایش توصیه می‌شود. این وسیله مانع لغزش در انتهای نمونه در هنگام خمش می‌گردد. لغزش نمونه در حین آزمایش می‌تواند موجب صدمات جانی و مالی گردد. کمترین فاصله میان خطوط مقیاس در طول سطح محدب نمونه با دقت $0/1$ اندازه‌گیری شده و با کسر فاصله اولیه خطوط مقیاس از آن، مقدار افزایش طول نمونه تعیین می‌شود. درصد افزایش طول از تقسیم میزان افزایش طول بر طول اولیه و حاصل ضرب نتیجه آن در عدد 100 به دست می‌آید. اندازه‌گیری این مقادیر می‌تواند با یک طول‌سنج انعطاف‌پذیر مدرج و با دقت دهم میلی‌متر انجام شود.

نتایج مورد نیاز. افزایش طول نسبی برای جوش‌های تنش‌زدایی شده^{۳۷} نباید کمتر از 30 درصد و برای جوش‌های تنش‌زدایی نشده نباید کمتر از 25 درصد باشد. در کارها با کلاس پایین‌تر، افزایش طول‌های کوچکتر نیز ممکن است مورد پذیرش قرار گیرد.

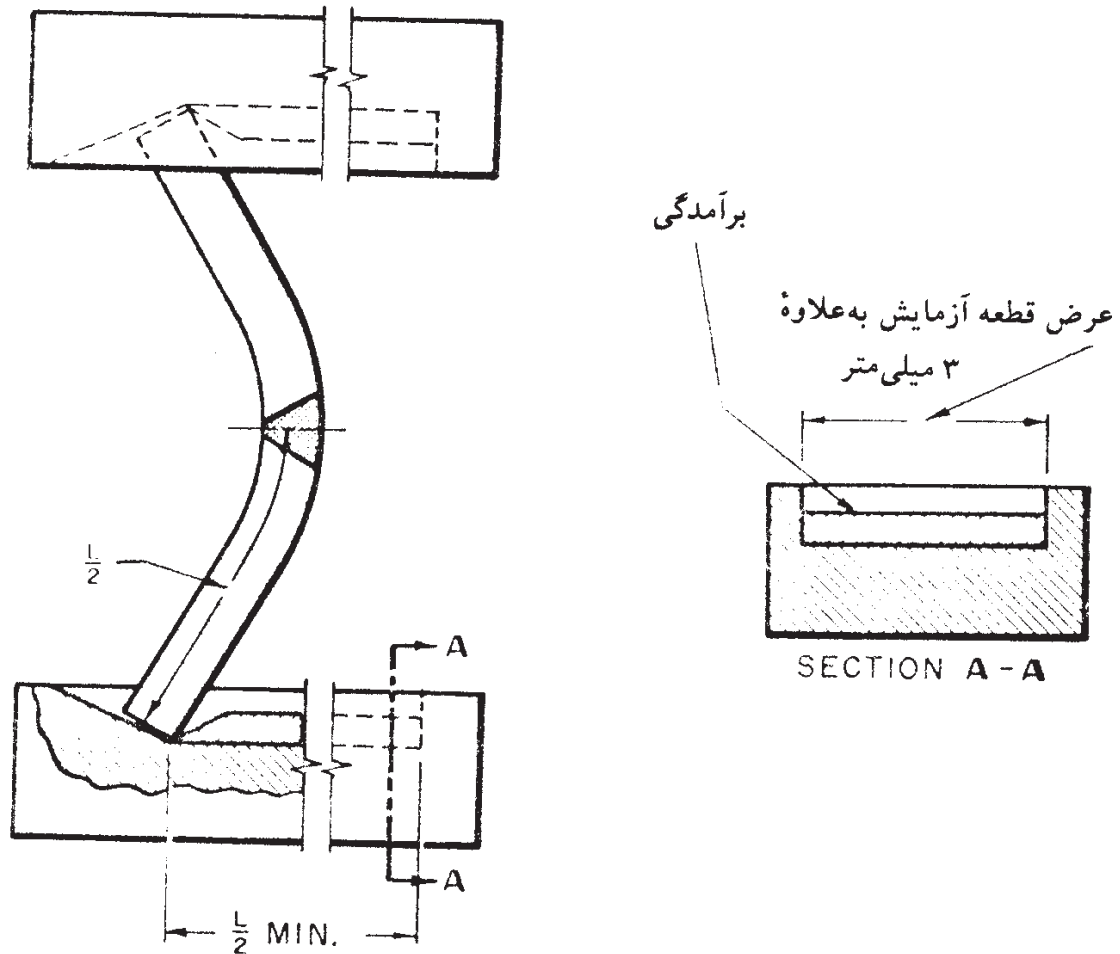
(پ) آزمایش خمش هدایت شده

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

این آزمایش‌ها با هدف آشکارسازی عدم سلامت جوش، عدم نفوذ و امتزاج فلز جوش انجام

* 37 – stress-relieved

* وقتی تنش‌های پسماند به وسیله طراحی مناسب قابل کاهش نباشد می‌توان آنها را با عملیات تنش‌گیری در کوره‌های بزرگ برطرف کرد.



شکل ۸-۲۶ - دستگاه توصیه شده برای اعمال خمش نهایی بر نمونه آزمایش خمش آزاد.

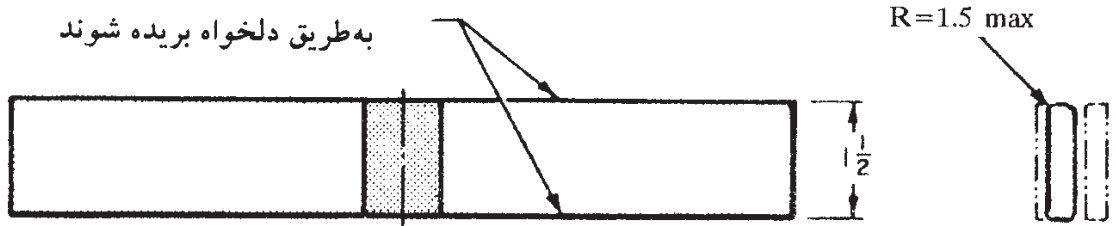
می شود و برای ارزیابی دستورالعمل جوشکاری و صلاحیت جوشکاران مورد استفاده قرار می گیرد. این آزمایش در مورد جوش های شیاری در ورق ها و لوله اعمال می شود. آزمایش خمش رویه (خمش سطحی) کیفیت امتزاج فلز جوش در دیواره ها و سطح درز اتصال، تخلخل، تداخل گِل و حفره های گازی و دیگر معایب احتمالی را کنترل می کند. این آزمایش همچنین میزان شکل پذیری جوش را اندازه می گیرد. آزمایش خمش ریشه میزان نفوذ و امتزاج فلز جوش را در داخل ریشه درز اتصال کنترل می کند. آزمایش خمش جانبی به منظور کنترل سلامت و میزان ذوب فلز جوش می باشد.

اندازه و شکل نمونه های آزمایش. هندسه نمونه های آزمایشی مطابق اشکال ۸-۲۷ و ۸-۲۹

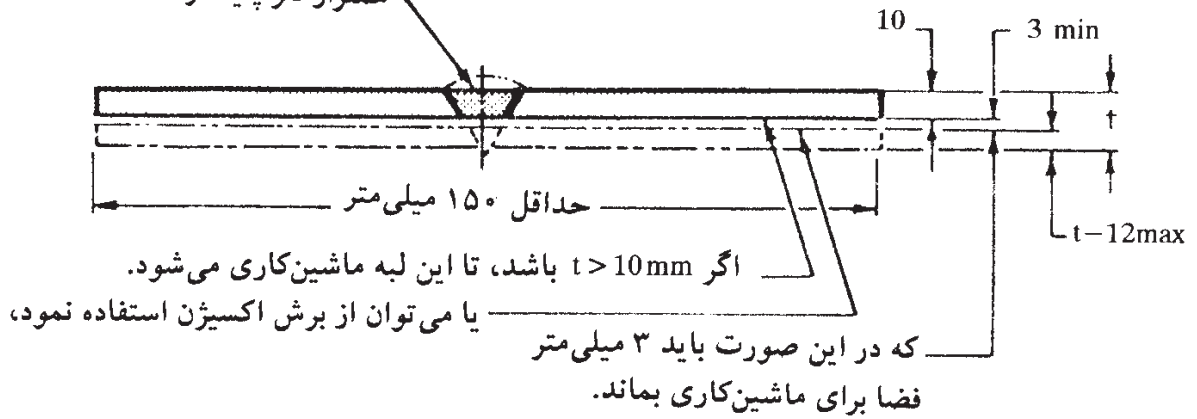
می باشد.

روش آزمایش. نمونه در داخل گیره ای با مشخصات نشان داده شده در شکل ۸-۳۰ قرار گرفته و با اعمال فشار سنبه، خمیده می شود. توجه کنید که برای ورق و لوله یک اندازه وجود دارد. از هر

این لبه‌ها می‌تواند با برش شعله یا ماشین‌کاری یا به طریق دلخواه بریده شوند

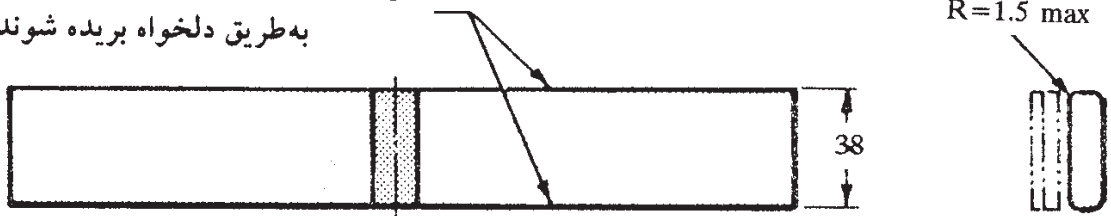


گرده جوش ماشین‌کاری می‌شود تا همتراز فلز پایه گردد.

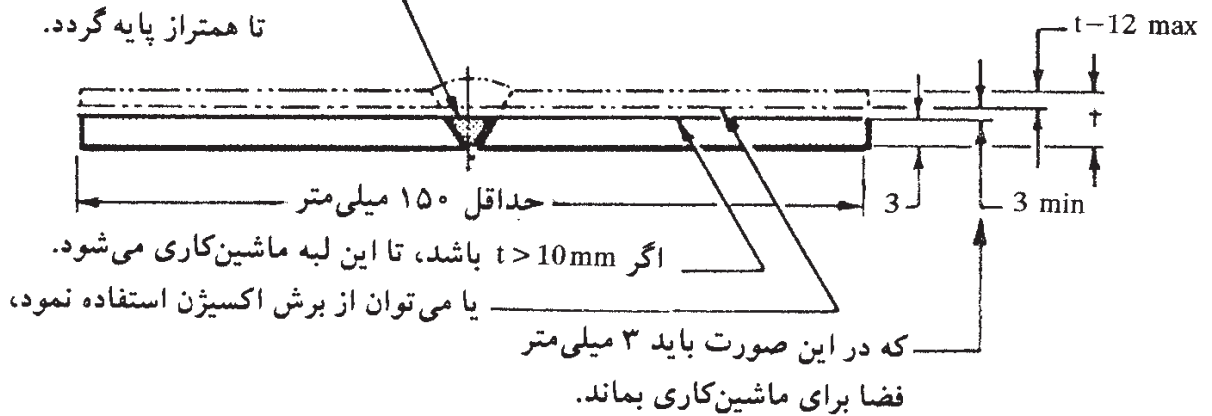


نمونه آزمایش خمش رویه

این لبه‌ها می‌تواند با برش شعله یا ماشین‌کاری یا به طریق دلخواه بریده شوند



اگر $t=10$ ، گرده جوش ماشین‌کاری می‌شود تا همتراز پایه گردد.



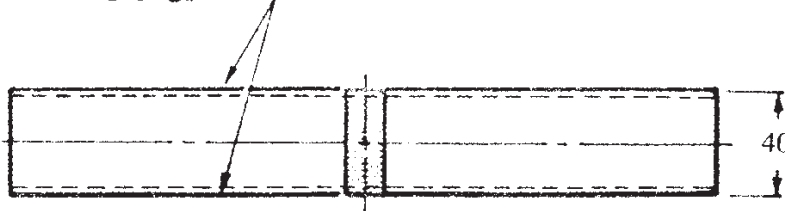
نمونه آزمایش خمش ریشه

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

شکل ۸ - ۲۷ - نمونه‌های آزمایش خمش رویه و خمش ریشه (ورق).

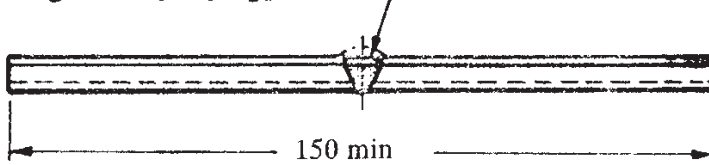
این لبه‌ها می‌تواند به کمک برش شعله و یا

ماشین برش داده شود.



گرده جوش تا سطح فلز پایه با

ماشین ابزار برداشته می‌شود.

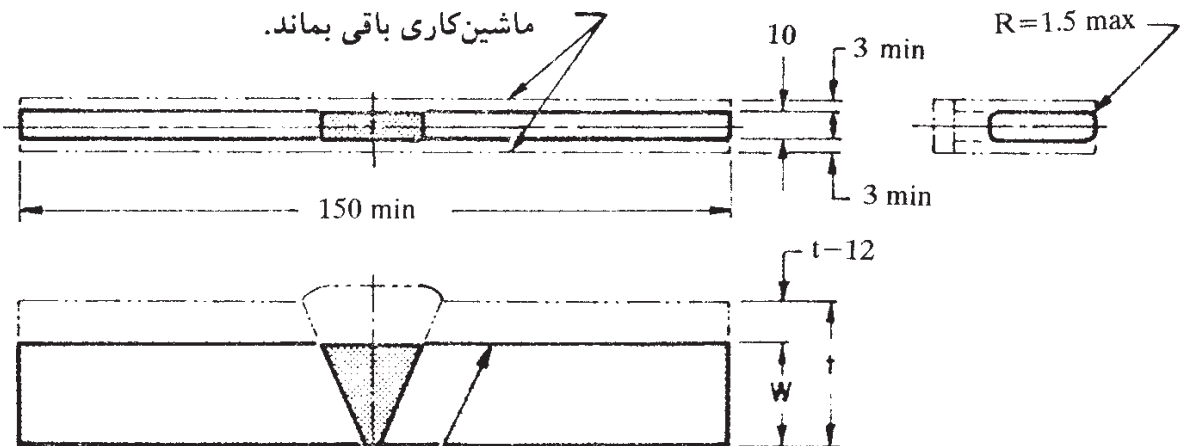


(ابعاد بر حسب میلی‌متر)

شکل ۸ - ۲۸ - نمونه آزمایش خمش رویه و خمش ریشه جوش (لوله).

در صورت برش با شعله، باید ۳ میلی‌متر فضا برای

ماشین‌کاری باقی بماند.



اگر $t > 40$ باشد، برش در این خط انجام می‌شود،

لبه‌ها را می‌توان به کمک شعله برش داد و یا

ماشین‌کاری نمود.

t (mm)	W (mm)
12-40	t
> 40	40

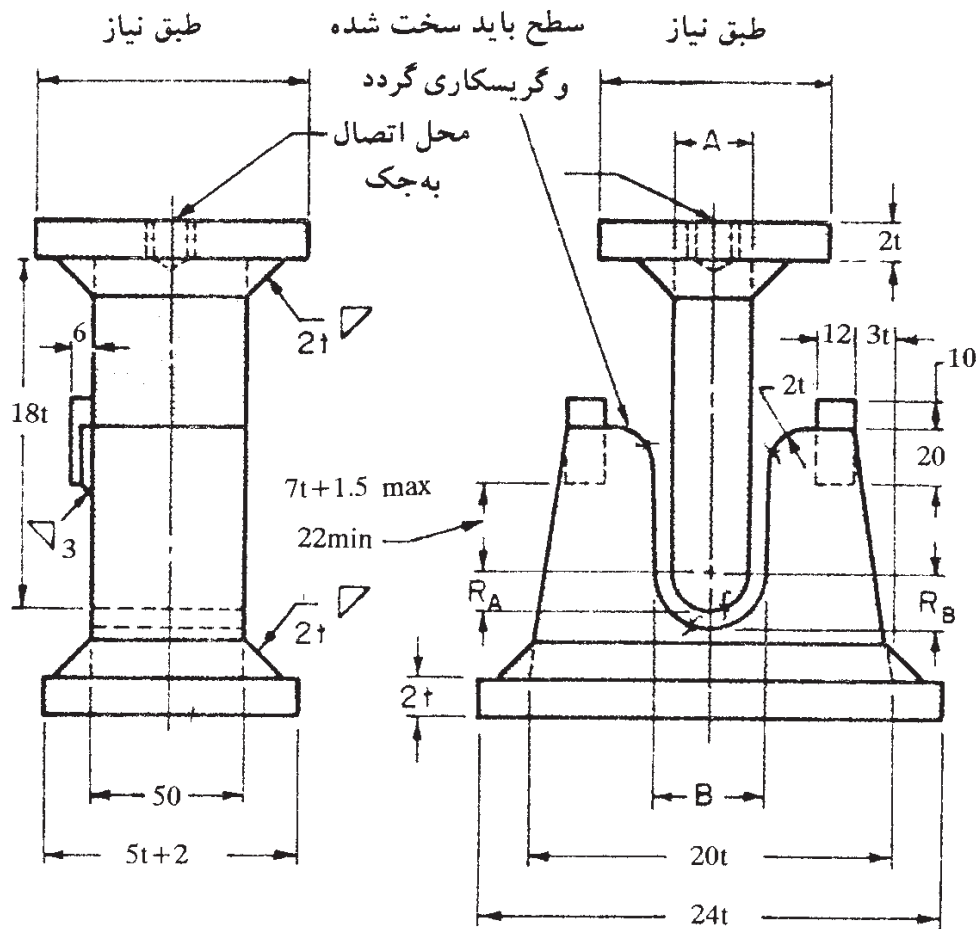
شکل ۸ - ۲۹ - نمونه آزمایش خمش جانبی.

وسیله‌ای، اعم از دستی، مکانیکی، الکتریکی، و یا هیدرولیکی می‌توان برای رانش سنبه به‌داخل

گیره استفاده نمود (شکل ۸ - ۳۱).

نمونه آزمایشی بر روی شکاف گیره طوری قرار داده می‌شود که جوش در وسط دهانه قرار

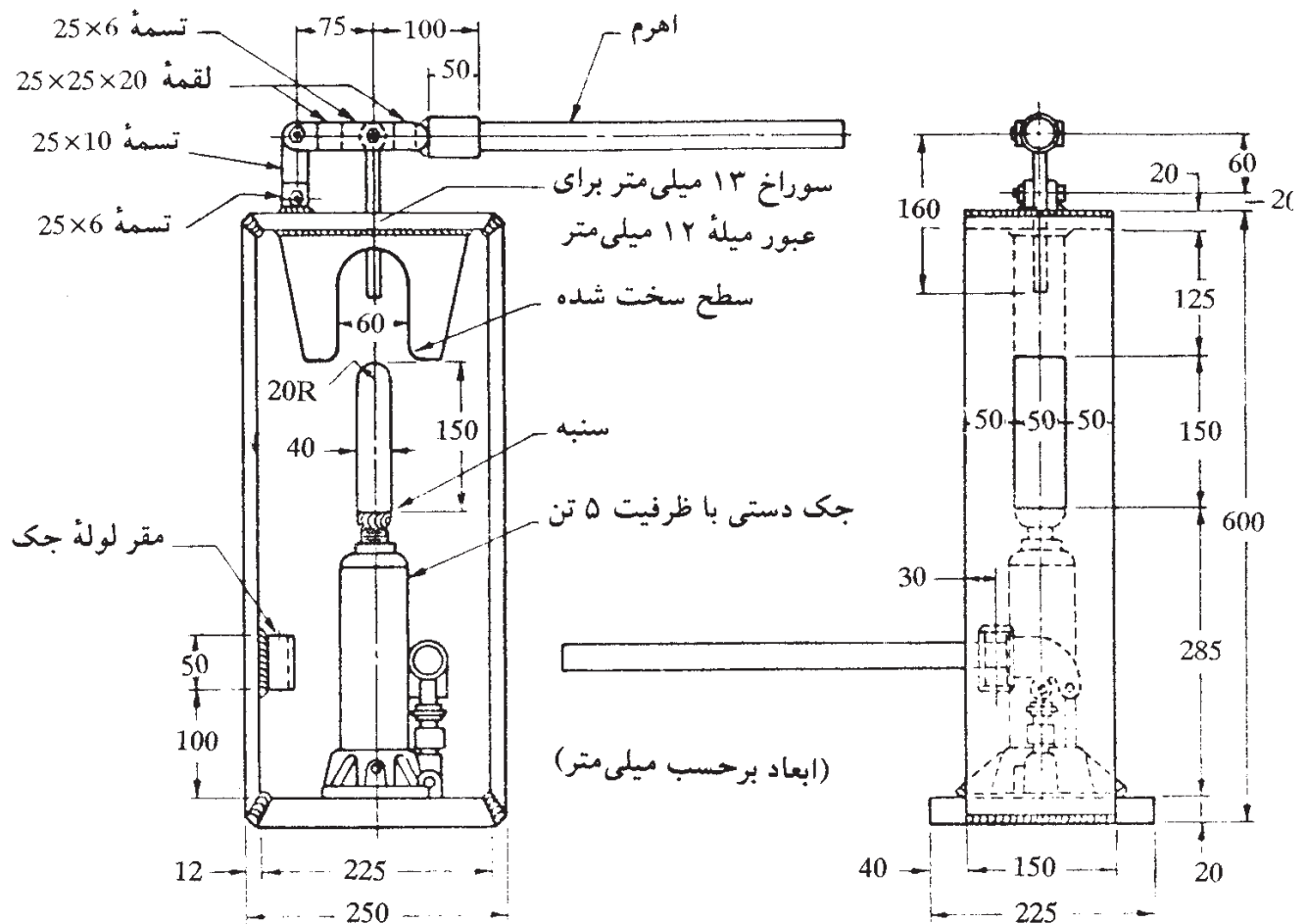
گیرد. نمونه‌های آزمایش خمش رویه طوری قرار می‌گیرند که سطح جوش به سمت شکاف، و



شکل ۸ - ۳۰ - گیره مورد استفاده در آزمایش خمش هدایت شده که برای ارزیابی صلاحیت جوشکاران در جوشکاری طبق ضوابط آیین‌نامه AWS و API به کار می‌رود. این دستگاه می‌تواند در کارگاه‌های جوشکاری نیز ساخته شده و مورد استفاده قرار گیرد.

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 ۰/۸ میلی‌متر، از میان فضای انحنای تحتانی گیره و نمونه آزمایشی عبور نکند. سپس نمونه آزمایشی از داخل گیره خارج می‌شود.

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 ایجاد شده بر سطح آن پس از اعمال خمش در هر جهت دلخواه بیش از ۱/۵ تا ۳ میلی‌متر اندازه‌گیری شود، مردود اعلام می‌شود. ترک‌های ایجاد شده در کنج نمونه مشمول محدودیت فوق نیستند مگر اینکه طول



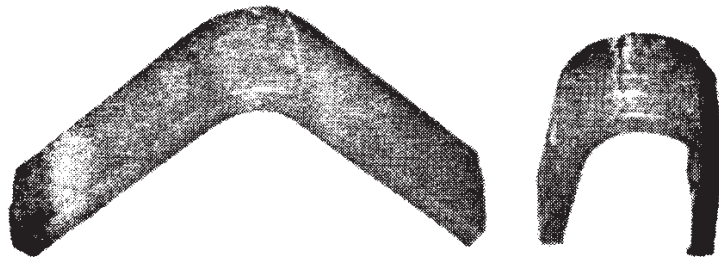
شکل ۸-۳۱ - دستگاه آزمایش خمش هدایت شده با جک دستی قابل تهیه در کارگاه‌های جوشکاری و آموزشگاه‌های جوشکاری.

ترک بیش از ۳ میلی متر تا ۶ میلی متر باشد و مدرکی دال بر اختلاط سرباره یا معایب داخلی وجود داشته باشد.

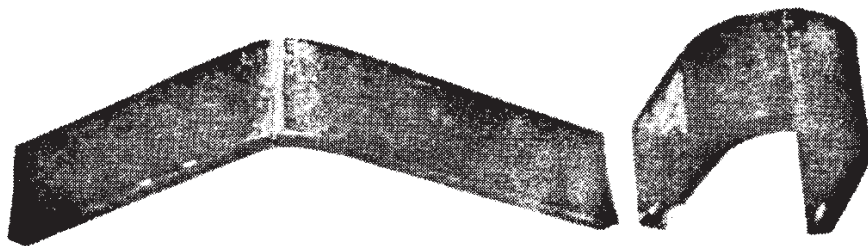
شکل‌های ۸-۳۲ و ۸-۳۳ را برای تطابق و مقایسه نمونه‌های مناسب و معیوب مطالعه کنید.

(ت) آزمایش شکست نمونه زخم‌دار^{۳۸}

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 شکسته شده جوش را داشته باشند. بنابراین این آزمایش به‌رغم دیگر آزمایش‌ها چندان قابل اطمینان نیست.



شکل ۸-۳۲ - نمونه‌های آزمایش خمش رویه. نمونه سمت راست به‌طور رضایتبخشی در آزمایش مقاومت کرد در حالی‌که نمونه سمت چپ قبل از خمش کامل ترک خورد و شکست.



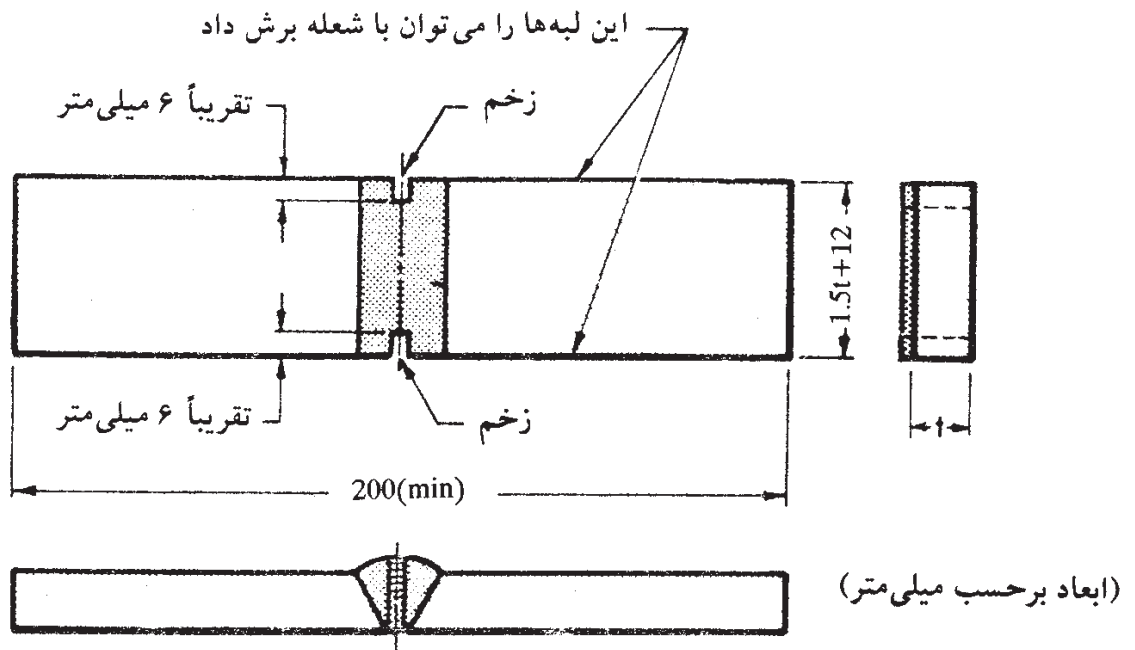
شکل ۸-۳۳ - نمونه آزمایش خمش ریشه. نمونه سمت راست به‌طور رضایتبخشی در آزمایش مقاومت کرده در حالی‌که نمونه سمت چپ قبل از خمش کامل ترک خورده و شکسته شده است. به‌نقوذ کامل جوش در نمونه مورد قبول توجه کنید.

اندازه و شکل نمونه‌ها. مطابق اشکال ۸-۳۴ و ۸-۳۵ می‌باشد.

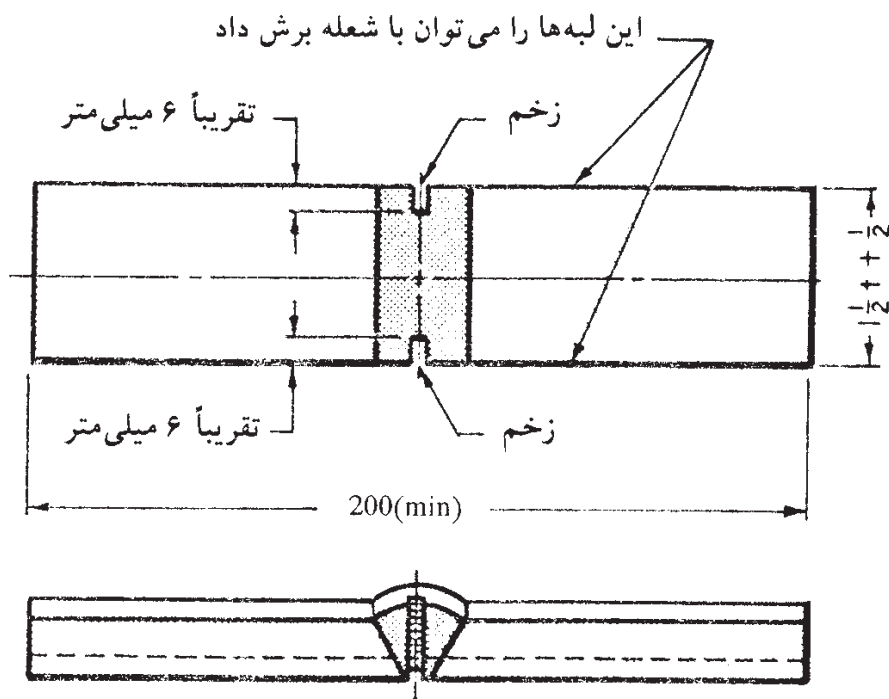
روش انجام آزمایش. گرده جوش (پاس تقویتی) از روی نمونه مورد آزمایش برداشته نمی‌شود. شیاری در هر دو وجه نمونه به کمک اره ایجاد می‌گردد. سپس نمونه بر روی دو تکیه‌گاه ثابت قرار گرفته و با استفاده از چکش ضربه‌ای سریع و تیز مطابق شکل ۸-۳۶ به آن وارد می‌شود. این عمل باعث ایجاد شکست در قسمت زخم‌دار نمونه می‌گردد. فلز جوش از لحاظ معایبی نظیر اختلاط سرباره (گیل) و اکسید، حفره‌های گازی و امتزاج ناقص فلز جوش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (شکل ۸-۳۷).

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 هر یک از حفره‌های فوق در هر امتداد نباید بزرگتر از $1/5$ میلی‌متر باشد. همچنین مطالعه سطح شکسته باید امتزاج کامل فلز جوش و عاری بودن آن از اختلاط سرباره را نشان‌دهد.

* معادل شش حفره گازی در هر اینچ مربع



شکل ۸-۳۴ - نمونه آزمایش شکست نمونه زخم‌دار (ورق).

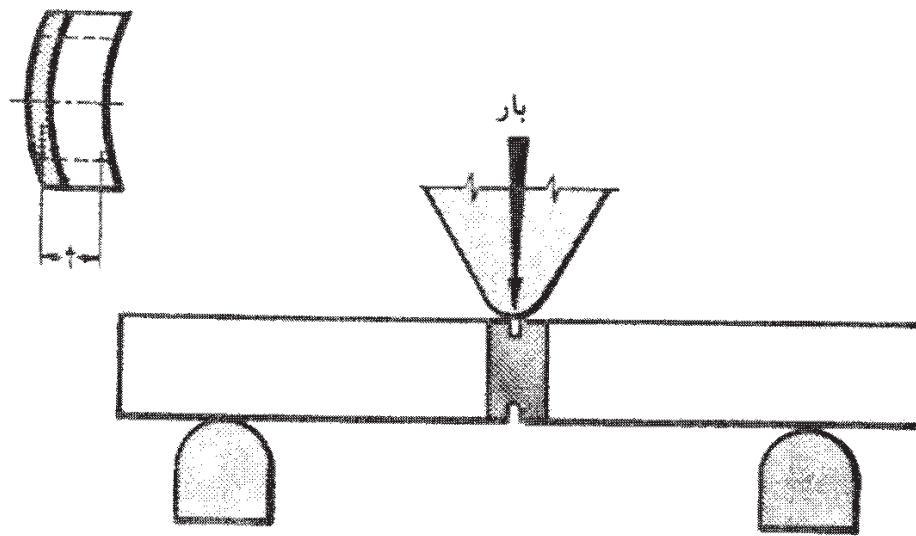


شکل ۸-۳۵ - نمونه آزمایش شکست نمونه زخم‌دار (لوله).

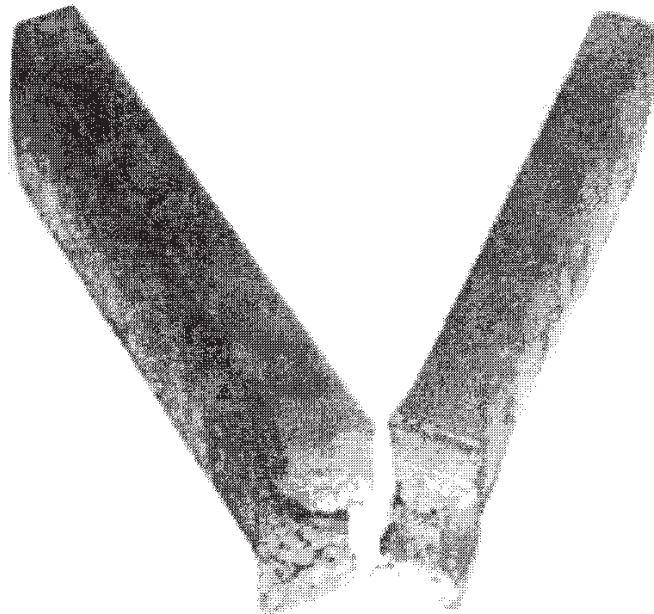
۸-۶-۶ آزمایش‌های سلامت جوش گوشه

(الف) آزمایش‌های برش طولی و عرضی

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



شکل ۸-۳۶ - روش شکستن نمونه زخم‌دار.



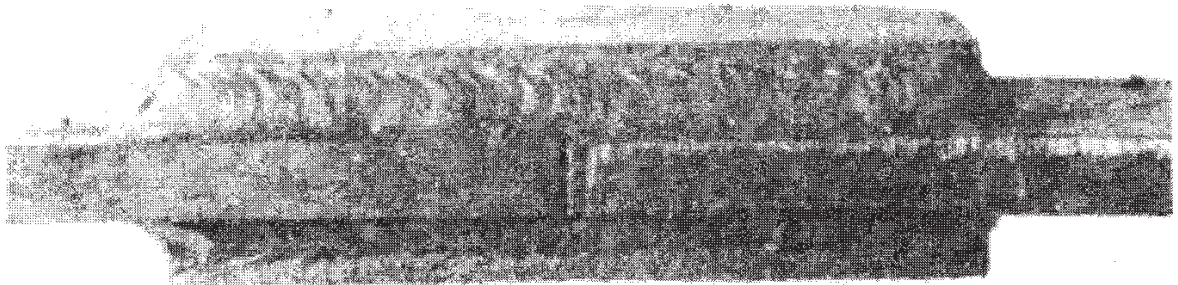
شکل ۸-۳۷ - نمونه زخم‌دار بعد از شکست. مطالعه نشان می‌دهد جوش سالم و عاری از سرباره و اختلاط اکسید و سرباره و حفره‌های گازی بوده و میزان ذوب نیز کامل است.

اندازه و شکل نمونه‌های آزمایشی. هندسه نمونه‌ها مطابق اشکال ۸-۹، ۸-۱۰ و ۸-۱۱ می‌باشد. در اشکال ۸-۳۸ و ۸-۳۹ نمونه‌های آماده شده برای آزمایش برش طولی نشان داده شده‌اند.

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



شکل ۸ - ۳۸ - وجه فوقانی یک نمونه در آزمایش برش طولی جوش گوشه.



شکل ۸ - ۳۹ - نمای جانبی یک نمونه در آزمایش برش طولی جوش گوشه.

(الف) جوش عرضی.^{۳۹} مقاومت برشی جوش برحسب kg/cm یا N/mm با استفاده از رابطه زیر تعیین می شود:

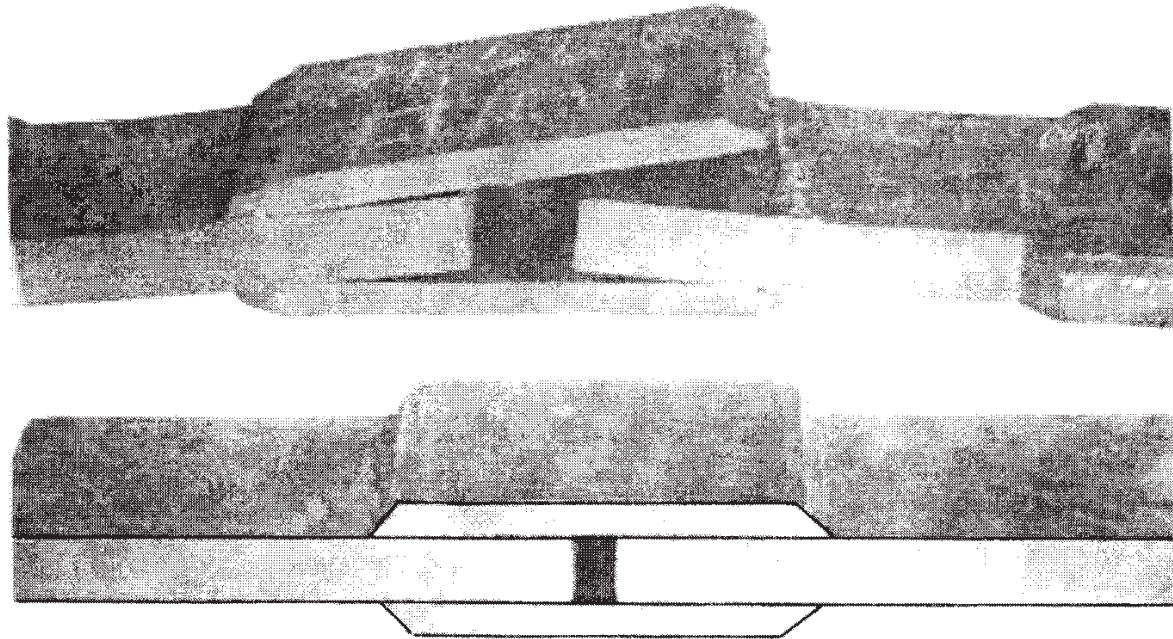
$$\text{مقاومت برشی جوش} = \frac{\text{حداکثر بار}}{۲ \times \text{عرض نمونه}} \quad (۱-۸)$$

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

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

(ب) جوش طولی.^{۴۰} ظرفیت برشی جوش برحسب kg/cm یا N/mm از رابطه زیر به دست می آید:

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



شکل ۸ - ۴۰ - تصویر پایینی یک نمونه آزمایش جوش گوشه عرضی را نشان می‌دهد. تصویر بالا نمونه شکسته شده تحت اثر کشش را نشان می‌دهد. نمونه تا نیروی کششی معادل ۳۶ تن مقاومت کرده است.

پذیرش نتایج. برای نمونه‌های آزمایش برش طولی، مقدار ظرفیت برشی جوش طولی برحسب نیرو بر واحد سطح نباید کمتر از $\frac{2}{3}$ حداقل مقاومت نهایی کششی فلز پایه باشد. برای نمونه‌های آزمایش برش عرضی، مقاومت برشی جوش برحسب نیرو بر واحد سطح نباید کمتر از $\frac{7}{8}$ حداقل مقاومت مشخصه کششی فلز پایه باشد.

(ب) آزمایش خمش هدایت شده^{۴۱} جوش گوشه

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

اندازه و شکل نمونه‌های آزمایش. هندسه نمونه مطابق شکل ۸ - ۱۵ می‌باشد.

روش آزمایش. هر نمونه در قالبی که دارای سنبه و دیگر ملحقات نشان داده شده در شکل

۸ - ۳۰ می‌باشد، خمیده می‌شود. از هر وسیله مناسبی می‌توان جهت رانش سنبه به داخل قالب

استفاده نمود. نمونه آزمایشی به گونه‌ای در روی دهانه قالب قرار می‌گیرد که جوش در وسط دهانه

باشد. نمونه در جهتی قرار می‌گیرد که ریشه جوش رو به شکاف دستگاه باشد. پس از اعمال خمش،

نمونه از داخل گیره خارج می‌شود.

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

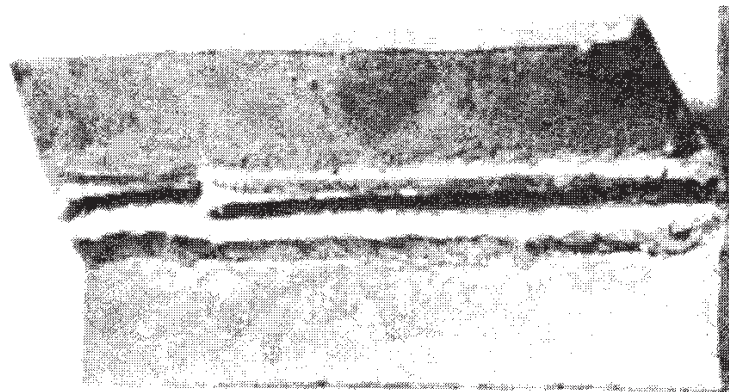
(پ) آزمایش شکست^{۲۲} جوش گوشه

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 ۸-۲۰ و جهت ارزیابی دستورالعمل جوشکاری طبق آیین‌نامه ASME در شکل ۸-۱۶ و جهت ارزیابی جوشکار بر روی فلزات آهن‌دار در شکل ۸-۱۸ و برای فلزات غیرآهنی در شکل ۸-۱۹ نشان داده شده است.

روش آزمایش (طبق آیین‌نامه AWS، شکل ۸-۲۰). نمونه آزمایشی با اتصال یک ورق به ورق دیگر (تحت زاویه قائمه) توسط جوش گوشه ساخته می‌شود. سپس مطابق شکل ۸-۲۱ 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 ۸-۲۱).

فلز جوش شکسته از لحاظ معیبه نظیر اختلاط 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 ۸-۴۱ باید در ناحیه گلو گسیخته شود. جوش انجام شده باید دارای نفوذ کامل در ریشه بوده و فاقد اثر اختلاط یا غوطه‌وری سرباره باشد.



شکل ۸-۴۱ - یک نمونه گسیخته شده در آزمایش شکست جوش گوشه. ملاحظه کنید که جوش در قسمت مرکزی شکسته است. این نفوذ و توزیع یکنواخت فلز جوش را نشان می‌دهد.

تعداد حفره‌های هوا در هر سانتی متر مربع نباید بیش از یک عدد باشد.

روش آزمایش (طبق *ASME*، شکل‌های ۸-۱۶ و ۱۸ و ۱۹)

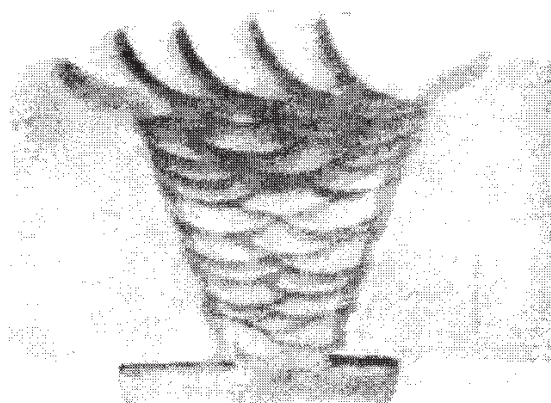
(الف) آزمایش شکست. مطابق شکل ۸-۲۱ نمونه به رو خوابانده شده و نیروی طوری اعمال می‌شود که ریشه جوش در کشش باشد. این خمش تا افقی شدن دو ورق یا شکست آنها ادامه می‌یابد. (ب) آزمایش حک‌کاری درشت. مقطعی از فلز جوش آزمایشی تهیه شده و سپس حک‌کاری می‌شود، به گونه‌ای که ساختار بلورین آن به‌طور درشت ظاهر شود (شکل ۸-۴۲). سپس این نمونه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پذیرش نتایج

(الف) آزمایش شکست. نمونه شکسته باید عاری از ترک و امتزاج ناقص فلز جوش در قسمت ریشه باشد. مجموع طول اختلاط سرباره و حفره‌های هوا نباید بیش از ۲۰ درصد یا ۵۰ میلی متر باشند. در مورد فلزات غیر آهنی میزان اختلاط سرباره نباید بیش از ۲۰ میلی متر اندازه‌گیری شود. (ب) آزمایش حک‌کاری درشت. سطح حک‌کاری شده با دقت بازرسی می‌شود. هر نمونه‌ای که ترک یا امتزاج ناقص و یا عدم نفوذ در ریشه جوش در آن مشاهده شود، مردود است. میزان تقعر یا تحدب سطح جوش گوشه نباید بیش از ۱/۵ میلی متر نسبت به سطح تخت باشد. در ارزیابی جوشکار، اندازه دو ساق باید با اختلاف حداکثر ۱/۵ میلی متر و در ارزیابی دستورالعمل جوشکاری اندازه دو ساق باید با اختلاف حداکثر ۳ میلی متر با هم مساوی باشند.

۸-۷ آزمایش‌های دیگر

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



شکل ۸-۴۲ - نمونه حک‌کاری شده فولاد کرم‌دار که جوش شیاری چندپاسه را در یک اتصال جناغی یکطرفه

نشان می‌دهد.

۸-۷-۱ آزمایش حک^{۴۳}

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 ۸-۴۲). 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
- تعیین محل و تعداد پاس‌های عبوری جوش
- بررسی متالورژی ناحیه تحت نفوذ حرارت^{۴۴} (ناحیه تفتیده)

یک 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 لاک الکل محافظت شود. در این صورت بازبینی سطح با استفاده از میکروسکوپ نور قطبی بررسی شده یا با دوربین‌های مخصوص^{۴۵} از ساختار داخلی آن عکس تهیه کرد.

در این روش، یک مقطع عرضی از اتصال جوش شده 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 زیر آغشته می‌گردد:

ید و یدور پتاسیم. این محلول از اختلاط یک واحد وزنی پودر جامد ید و ۱۲ واحد وزنی از محلول یدور پتاسیم به‌دست می‌آید. این مخلوط با استفاده از برس بر روی جوش پرداخت شده در دمای اتاق کشیده می‌شود.

اسید نیتریک. این محلول از اختلاط ۱ واحد اسید نیتریک غلیظ و ۳ واحد حجمی آب به‌دست

43- etching

44- heat- affected zone

45- metallograph

* سنباده‌های مورد استفاده همان پوسته آب مورد استفاده در نقاشی اتومبیل هستند و سنباده‌زنی باید از شماره ۱۰۰ شروع شده و تا سنباده ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ ادامه یابد.

می‌آید. در هنگام استفاده از اسید نیتریک دقت کنید زیرا موجب سوختگی شدید خواهد شد. همیشه اسید نیتریک را با مخلوط کردن در آب رقیق کنید.

اسید نیتریک تهیه شده 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 حک‌کاری شده 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 لاک الکل محافظت شود.

اسید هیدروکلریک. این محلول حک‌کاری شامل سهم‌های حجمی مساوی از اسید هیدروکلریک غلیظ (که به آن اسید سوراتیک نیز می‌گویند) و آب می‌باشد. نمونه آزمایشی در دمایی نزدیک به نقطه جوش، در داخل این محلول غوطه‌ور می‌شود. هر دو سطح پرداخت شده و پرداخت نشده تحت تأثیر اسید قرار می‌گیرند. این محلول معمولاً ناخالصی‌های سرباره را در خود حل می‌کند، بنابراین حفره‌های بزرگی به جای می‌ماند. شما باید در هنگام استفاده از هر نوع اسید دقت کنید، زیرا اسیدها باعث لکه و سوختگی شدید می‌شوند. همیشه با استفاده از اختلاط اسید با آب آن را رقیق کنید.

پرسولفات آمونیوم. این محلول از اختلاط ۱ سهم وزنی پرسولفات آمونیوم جامد و ۹ سهم آب به دست می‌آید. سطح پرداخت‌شده جوش توسط یک پارچه نخی که توسط این محلول آغشته شده است، در دمای معمولی اتاق شدیداً مالش داده می‌شود.

۸-۷-۲ آزمایش ضربه

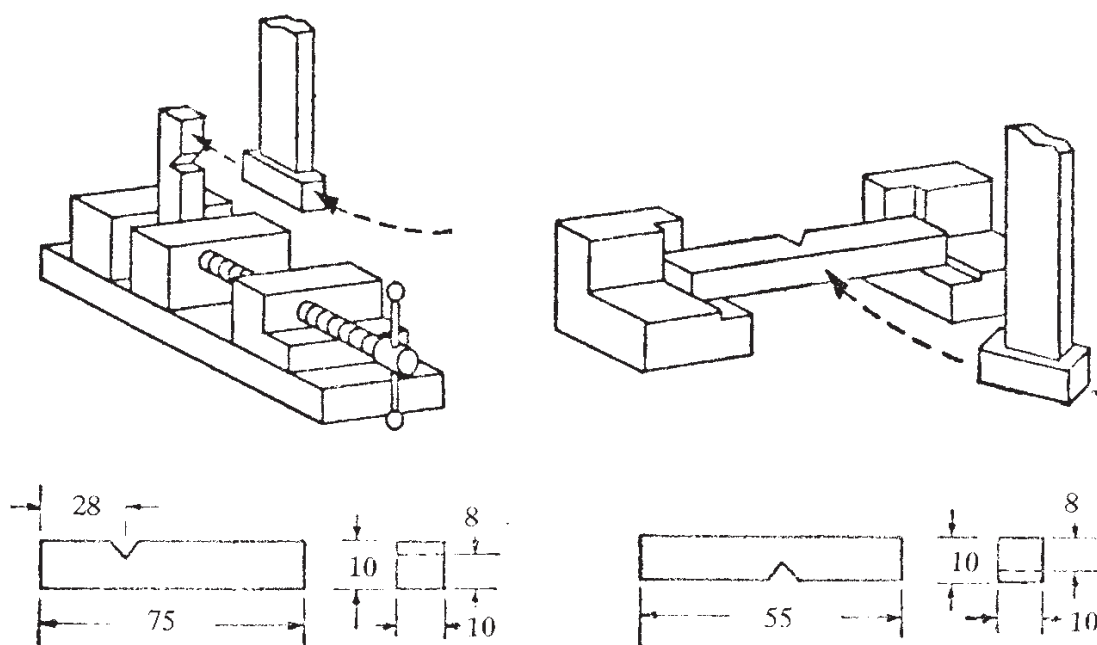
هدف از انجام آزمایش ضربه، تعیین مقاومت ضربه‌ای جوش و فلز پایه در یک سازه جوش شده می‌باشد. منظور از مقاومت ضربه‌ای، طاقت فلز در مقابل ضربه ناگهانی و سریع می‌باشد. این آزمایش اطلاعات لازم در مورد مقایسه طاقت ضربه‌ای فلز جوش و فلز پایه را فراهم می‌کند. یک جوش یا فلز ممکن است مقاومت کششی زیادی داشته و شکل‌پذیری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

آزمون‌های شاریپی^{۴۶} و ایزود^{۴۷}

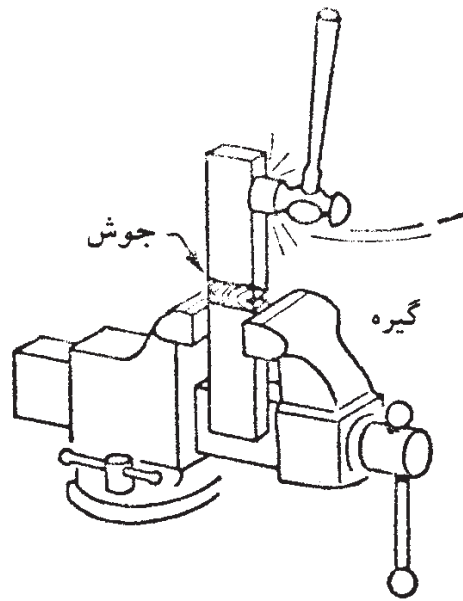
دو روش استاندارد برای آزمایش ضربه‌ای وجود دارد: آزمایش ایزود و آزمایش شاریپی. در این روش‌ها نمونه آزمایشی با یک ضربه می‌شکند و مقاومت ضربه‌ای نمونه برحسب واحد نیرو - طول که واحد کار و انرژی است، سنجیده می‌شود. (در فیزیک کار به صورت حاصل ضرب نیرو و در جابه‌جایی نقطه اثر نیرو تعریف می‌شود). دو نوع نمونه آزمایشی مورد استفاده در این روش‌ها و در ضمن شیوه اعمال بار در مورد آنها در شکل ۸ - ۴۳ نشان داده شده است.

آزمایش شکست نمونه زخم‌دار

یک جوشکار یا بازرس می‌تواند طاقت فلز جوش یا فلز پایه را در کارگاه و بدون دسترسی به تجهیزات کامل و گران‌قیمت آزمایش کند. این روش آزمایش نمونه زخم‌دار نامیده می‌شود. یک شیار با استفاده از اهر یا وسیله بُرنده در نمونه جوش یا ورق فولادی ایجاد شده و سپس نمونه طبق شکل ۸ - ۴۴ در فک گیره قرار می‌گیرد. با استفاده از چکش ضربه‌ای به سمت شیاردار نمونه وارد می‌شود. میزان مقاومت ضربه‌ای براساس نیروی لازم برای شکستن نمونه، مقدار لنگر ایجاد شده در هنگام شکست و براساس کیفیت ظاهر سطح شکسته شده تعیین می‌شود.



شکل ۸ - ۴۳ - نمونه آزمایشی آزمون ضربه ایزود (چپ) و آزمون ضربه شاریپی (راست) و روش اعمال بار در هر روش. نمونه‌های زخم‌دار (شیار V) مطابق شکل دارای زاویه پخی ۴۵° و شعاع کف معادل ۰/۲۵ میلی‌متر در محل شیار می‌باشند.



شکل ۸-۴۴ - روش انجام آزمایش ساده نمونه زخم‌دار.

۸-۷-۳ آزمایش خستگی

آزمایش خستگی به منظور تعیین مقاومت یک جوش در مقابل تنش‌های تکراری و مقایسه آن با مقاومت خستگی فلز پایه انجام می‌شود.

۸-۸ بازرسی عینی^{۴۹}

بازرسی عینی احتمالاً 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.

یک ارزیابی دقیق از کیفیت ظاهری جوش می‌تواند مناسب بودن جوش را برای یک مورد مشخص کند.

استفاده از بازرسی عینی معمولاً در کارهای غیرآیین‌نامه‌ای که بحرانی نیستند و همچنین در مواقعی که آگاهی از کیفیت داخلی جوش مهم نیست، مناسب است (مثل ساختمان‌های مسکونی کوچک).

قسمت ت: عیوب جوشکاری

۸-۹ معایب اصلی جوش

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

معایبی که در زیر می‌آیند، عموماً در درزهای جوش یافت می‌شوند:

● نفوذ ناقص (incomplete penetration)

● امتزاج ناقص (lack of fusion)

● بریدگی کناره نوار جوش (undercutting)

● اختلاط سرباره یا گِل (slag inclusion)

● تخلخل (porosity)

● ترک (cracking)

● معایب ابعادی جوش

● شکنندگی جوش

۸-۹-۱ نفوذ ناقص

این عبارت جهت توصیف امتزاج ناقص فلز پرکننده و فلز پایه با یکدیگر در ریشه اتصال به کار می‌رود. پدیده پل زدن^۵ در جوش‌های شیاری زمانی اتفاق می‌افتد که فلز جوش و فلز پایه در ریشه اتصال کاملاً با یکدیگر ممزوج نشده‌اند. شکلی از درز اتصال که در آن پدیده نفوذ ناقص به کرات اتفاق بیفتد، مناسب جوشکاری ساختمانی نیست. هنگامی که جوش شیاری تنها از یک سمت (یک دیواره) انجام می‌شود، نفوذ ناقص تحت شرایط زیر اتفاق می‌افتد:

– ضخامت پیشانی ریشه بیش از نیاز دهانه ریشه است.

– دهانه ریشه خیلی کوچک است.

– زاویه پخی شیاری V شکل خیلی کوچک است.

قسمت ت: عیوب جوشکاری

۸-۹ معایب اصلی جوش

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

معایبی که در زیر می‌آیند، عموماً در درزهای جوش یافت می‌شوند:

● نفوذ ناقص (incomplete penetration)

● امتزاج ناقص (lack of fusion)

● بریدگی کناره نوار جوش (undercutting)

● اختلاط سرباره یا گِل (slag inclusion)

● تخلخل (porosity)

● ترک (cracking)

● معایب ابعادی جوش

● شکنندگی جوش

۸-۹-۱ نفوذ ناقص

این عبارت جهت توصیف امتزاج ناقص فلز پرکننده و فلز پایه با یکدیگر در ریشه اتصال به کار می‌رود. پدیده پل زدن^{۵۰} در جوش‌های شیاری زمانی اتفاق می‌افتد که فلز جوش و فلز پایه در ریشه اتصال کاملاً با یکدیگر ممزوج نشده‌اند. شکلی از درز اتصال که در آن پدیده نفوذ ناقص به کرات اتفاق بیفتد، مناسب جوشکاری ساختمانی نیست. هنگامی که جوش شیاری تنها از یک سمت (یک دیواره) انجام می‌شود، نفوذ ناقص تحت شرایط زیر اتفاق می‌افتد:

– ضخامت پیشانی ریشه بیش از نیاز دهانه ریشه است.

– دهانه ریشه خیلی کوچک است.

– زاویه پخی شیاری V شکل خیلی کوچک است.

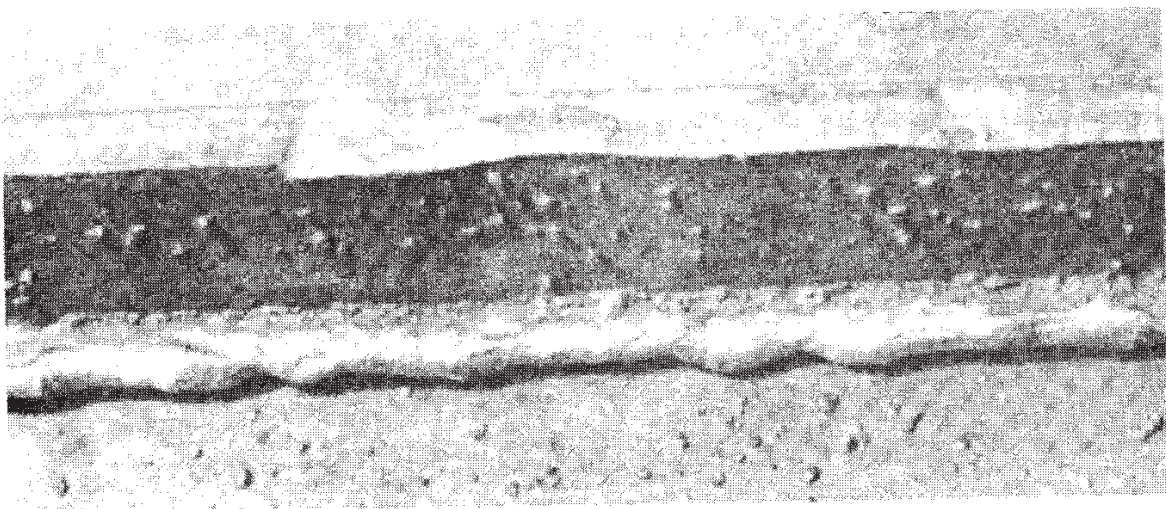
- اندازه الکتروود خیلی بزرگ است.
- سرعت حرکت الکتروود خیلی زیاد است.
- شدت جریان جوشکاری خیلی پایین است.

۸-۹-۲ امتزاج ناقص

این پدیده، نقص در امتزاج لایه‌های مختلف فلز جوش یا لایه‌های فلز جوش و فلز پایه در حین جوشکاری می‌باشد (شکل ۸-۴۵). در شکل ۸-۴۵ توجه کنید که فلز جوش بر روی سطح ورق غلتیده است و به‌طور کامل گداز نشده است، این پدیده اغلب به‌نام سرفتگی^{۵۱} یا لوچه نامیده می‌شود.

دلایل امتزاج ناقص به شرح زیر است:

- افزایش ناقص درجه حرارت جهت رسیدن به‌دمای ذوب فلز پایه یا فلز جوش از جوشکاری مرحله قبل.
- گدازش نادرست، که مانع از محلول شدن کامل اکسید فلز و دیگر ترکیبات از لایه‌ای می‌گردد که باید با فلز جوش ممزوج گردد.
- سطح آلوده ورق.
- نوع یا اندازه نامناسب الکتروود.
- تنظیم نادرست جریان جوشکاری



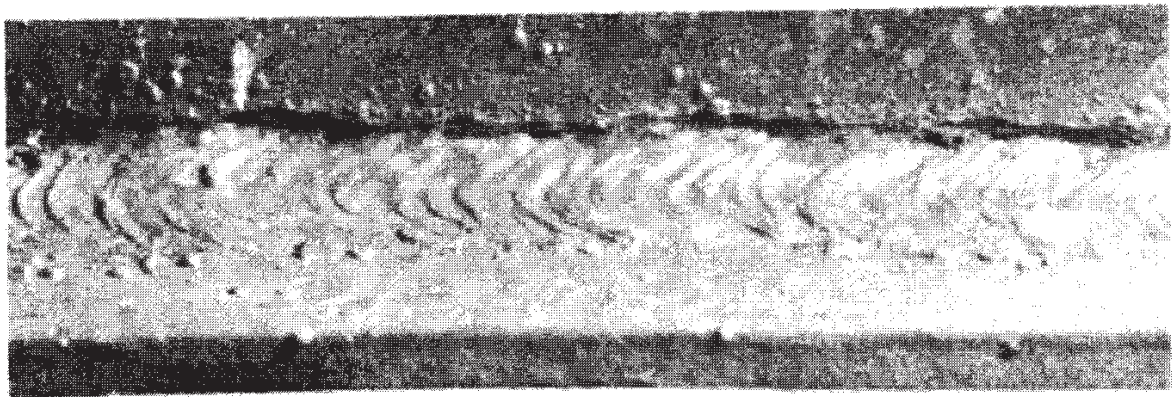
شکل ۸-۴۵ - جوش گوشه با امتزاج ناقص. توجه کنید که فلز جوش بر روی سطح صفحه فلزی غلتیده است. این پدیده را سرفتن یا لوچه می‌نامند.

۸-۹-۳ بریدگی کناره جوش^{۵۲}

بریدگی، ذوب فلز پایه در قسمت پنجه جوش است. شکل ۸-۴۶ یک نوع بریدگی شدید را در صفحه قائم از یک درز T شکل نشان می‌دهد.

این پدیده به علل زیر اتفاق می‌افتد:

- شدت جریان زیاد.
- طول قوس که همان طول جرقه قوس می‌باشد، خیلی بلند است که موجب قطع قوس می‌گردد. به همین جهت این پدیده اغلب در محل‌های تعویض الکتروود اتفاق می‌افتد.
- نقص در پر کردن کامل چاله جوش با فلز جوش.



شکل ۸-۴۶ - جوش گوشه‌ای که بریدگی شدیدی در طول لبه فوقانی آن اتفاق افتاده است.

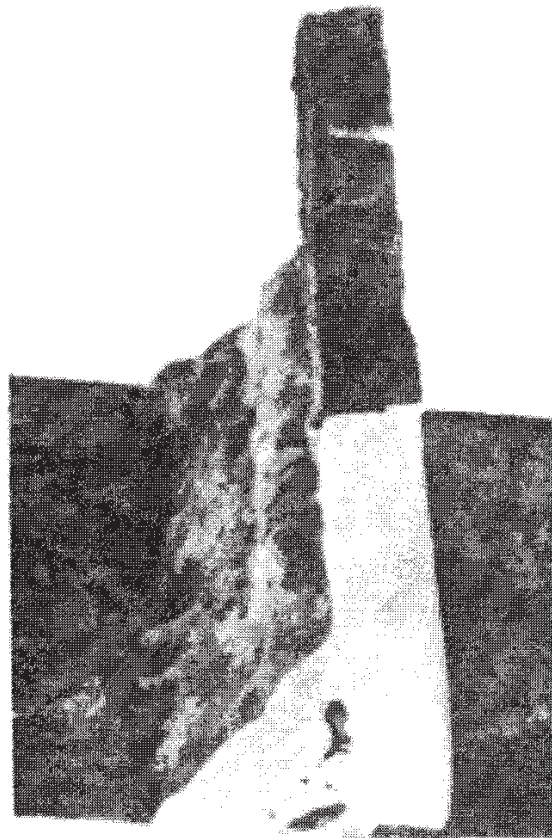
۸-۹-۴ اختلاط سرباره

ناخالصی‌های موجود در سرباره، حفره‌های طولی و یا گلوله‌ای هستند که با اکسیدهای فلزی و یا دیگر ترکیبات جامد پر شده‌اند. اختلاط سرباره با این ناخالصی‌ها، موجب ایجاد تخلخل در جوش خواهد شد (شکل ۸-۴۷).

در جوشکاری قوسی، این ناخالصی‌ها عموماً ناشی از ترکیبات روکش الکتروود و یا گداز‌آورها می‌باشند. در جوشکاری‌های چندلایه، عدم دقت کافی در پاک کردن سرباره حاصل از جوشکاری در حد فاصل دو لایه، موجب شکل‌گیری عیب اختلاط سرباره خواهد شد.

این پدیده می‌تواند با اعمال موارد زیر جلوگیری شود:

- آماده‌سازی صحیح شیار و جوش در حین جوشکاری قبل از آنکه هر خط جوش رسوب نماید.



شکل ۸-۴۷ - مقطع عرضی جوش گوشه، معایب داخلی دیده شده، ناشی از اختلاط سرباره در فلز جوش می‌باشند. این حفره‌ها خصوصیات مقاومتی فلز جوش را کاهش می‌دهند.

- پاک کردن کامل سرباره.
- اطمینان از ورآمدن سرباره از سطح حوضچه جوشکاری.
- اجتناب از حالت‌هایی که نفوذ کامل توسط قوس الکتریکی به دشواری صورت می‌گیرد.

۸-۹-۵ تخلخل

تخلخل، ظهور فضاهایی می‌باشد که محتوی مواد جامد نیست. این پدیده متفاوت از اختلاط سرباره می‌باشد، چرا که در پدیده تخلخل فضاهای ایجاد شده حاوی هوا و در اختلاط سرباره حاوی ناخالصی می‌باشند. این حفره‌های گازی تحت شرایط زیر شکل می‌گیرند:

- در هنگام سرد شدن فلز جوش گاز آزاد می‌شود که این به خاطر کاهش قابلیت انحلال آن با افت درجه حرارت می‌باشد؛
- گازهایی که توسط واکنش‌های شیمیایی در جوش تشکیل می‌شود.
- از بروز تخلخل با توجه به موارد زیر می‌توان به خوبی جلوگیری کرد:
- عدم بیش‌گرمایش و زیرگرمایش فلز جوش.

- استفاده از شدت جریان زیاد در جوشکاری.
- استفاده از قوس بلند.

۸-۹-۶ ترک در جوش

ترک‌ها، گسیختگی‌های طولی فلز تحت اثر تنش می‌باشند. هنگامی که بزرگ باشند، به‌آسانی دیده می‌شوند، اما اغلب به‌صورت شکاف‌های باریکی هستند. ترک ممکن است در فلز جوش، و یا در ناحیه تفتیده از فلز پایه اتفاق بیفتد. ترک‌های عمومی در فلز جوش و فلز پایه در شکل ۸-۴۸ نشان داده شده‌اند.

ترک خوردگی فلزات به سه رده اصلی تقسیم می‌شوند: ترک خوردگی گرم^{۵۳}، ترک خوردگی سرد^{۵۴}، و ترک‌های مویی^{۵۵}.

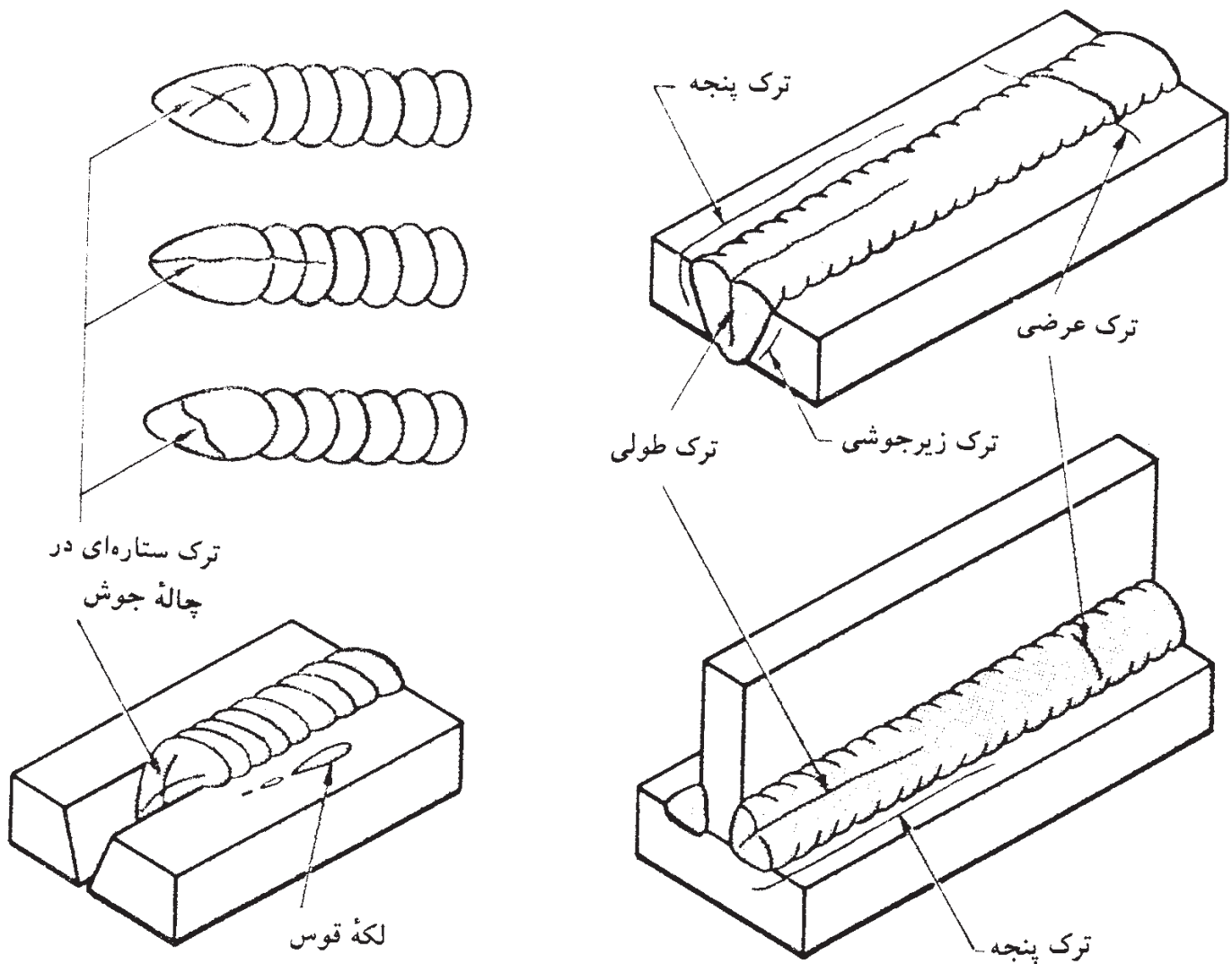
● **ترک خوردگی گرم** در درجه حرارت زیاد و در خلال سرد شدن ناگهانی جوش پس از آنکه فلز جوش رسوب و شروع به انجماد نماید، اتفاق می‌افتد. اکثر ترک‌های جوشکاری، ترک خوردگی گرم هستند.

● **ترک خوردگی سرد** به ترک‌هایی اطلاق می‌شود که در دمای معمولی اتاق 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 غیر مسلح 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.

ترک خوردگی فلز جوش

سه نوع ترک مختلف در فلز جوش اتفاق می‌افتد: ترک‌های عرضی، ترک‌های طولی، ترک‌های عمقی (شکل ۸-۴۸).



شکل ۸ - ۴۸ - انواع ترک در اتصالات جوش شده.

ترک خوردگی فلز پایه

دستورالعمل نادرست جوشکاری موجب وقوع ترک خوردگی در فلز پایه خواهد شد.

لکه قوس^{۵۶} (لکه‌هایی که از برخورد تصادفی الکتروود با سطح کار به وجود می‌آید و حالتی آبله‌گونه 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 باشند، یک ترک در طول لبه جوش در قسمت پنجه اتفاق خواهد افتاد. ترک‌ها ممکن است در نتیجه پدیده بریدگی جوش نیز اتفاق بیفتد.

۸-۹-۷ خطای ابعاد جوش

خطاهای ابعادی شامل انقباض طولی، انقباض عرضی، تابیدگی^{۵۷} و پیچش^{۵۸} قطعاً می‌باشد. این معایب در نتیجه دستورالعمل جوشکاری نادرست و (یا) استفاده از تکنیک نامناسب جوشکاری اتفاق می‌افتند. استفاده از وسایل کنترلی و تنظیمی نظیر گیره‌های جوشکاری، انتخاب صحیح توالی پاس‌های جوش، اعمال دستورالعمل صحیح جوشکاری، شکل درز اتصال مناسب و کاربرد فرآیندهای پیش‌گرمایش و پس‌گرمایش، از تغییر شکل‌های پیچشی یا اعوجاج قطعه جوشکاری جلوگیری کرده و یا آن را در یک حداقل مشخصی نگاه می‌دارد.

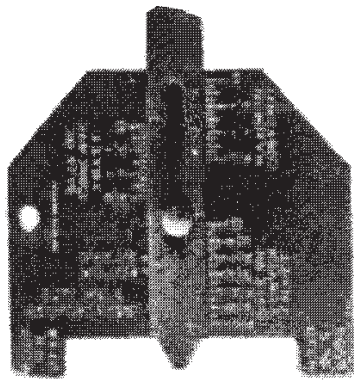
۸-۹-۸ جوش‌های تردشکن^{۵۹}

یک جوش تردشکن افزایش نسبی طول کمی داشته و دارای نقطه تسلیم پایین، شکل‌پذیری کم و مقاومت کمی در مقابل تنش و کرنش می‌باشد. جوش‌های تردشکن آمادگی خیلی زیادی برای گسیختگی داشته و شکست آنها اغلب به‌طور ناگهانی و بدون هشدارهای قبلی می‌باشد. یکی از دلایل اصلی ایجاد یک جوش تردشکن، استفاده از درجه حرارت زیاد (اضافه بر مقدار مورد نیاز) در جوشکاری است که موجب سوختن فلز جوش یا فلز پایه می‌گردد.

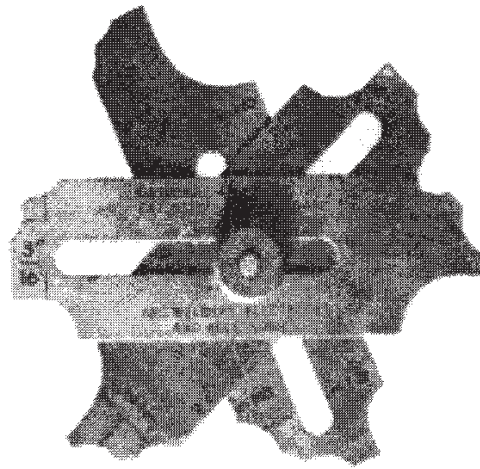
۸-۱۰ اندازه‌گیری جوش

اندازه نادرست جوش و طرح انجام شده، معایبی هستند که با بازرسی‌های عینی و به‌کمک وسایل اندازه‌گیری جوش، آشکار می‌شوند. وسایل اندازه‌گیری جوش ابزاری هستند که جوشکار توسط آنها می‌تواند از قرارگیری ابعاد جوش تکمیل شده در محدوده مشخص طرح مهندسی، اطمینان حاصل کند. شکل ۸-۴۹ سه نوع از این وسایل را نشان می‌دهد: (الف) دستگاه ترکیبی اندازه‌گیری جوش گوشه و یا شیاری؛ (ب) دستگاه اندازه‌گیری جوش گوشه؛ و (پ) نوع دومی از دستگاه اندازه‌گیری جوش گوشه که در کارگاه ساخته می‌شود.

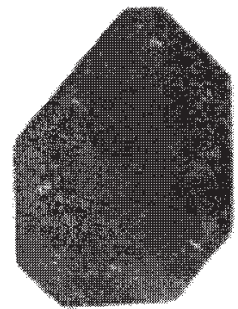
شکل‌های ۸-۵۰ و ۸-۵۱ روش کاربرد دستگاه اندازه‌گیری جوش گوشه را که در شکل ۸-۴۹ ب، معرفی شد، شرح می‌دهند. شکل ۸-۵۲ روش کاربرد دستگاه کارگاهی اندازه‌گیری جوش گوشه معرفی شده در شکل ۸-۴۹ پ را شرح می‌دهد.



(الف)

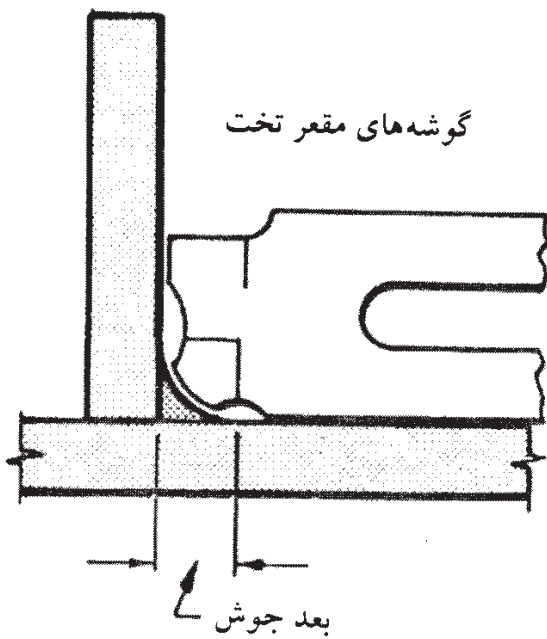


(ب)

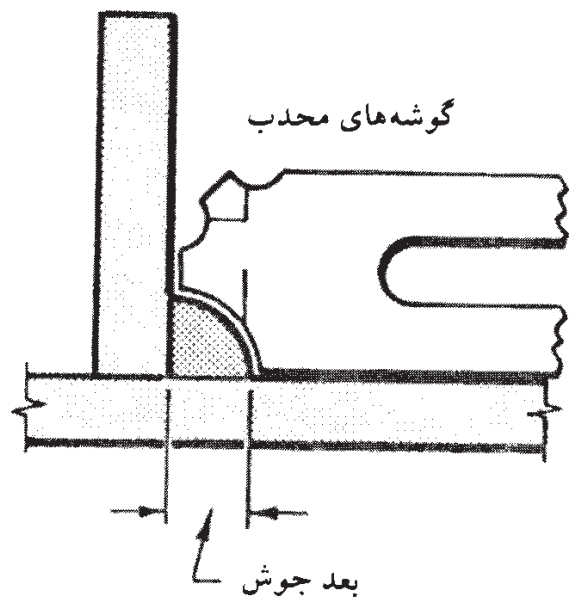


(پ)

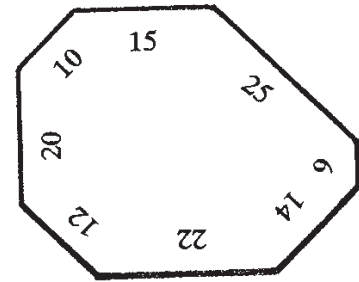
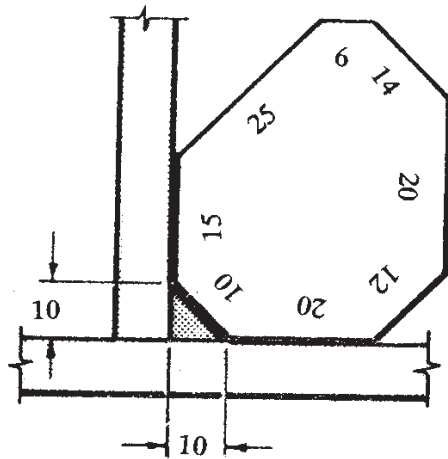
شکل ۸ - ۴۹ - سه نوع از وسایل اندازه‌گیری جوش که عموماً توسط جوشکاران و بازرسی‌کنان برای تعیین اندازه جوش به کار می‌روند.



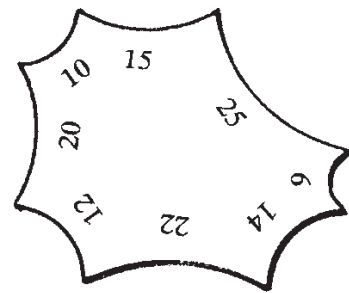
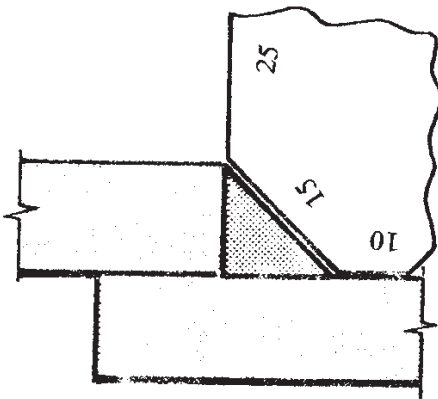
شکل ۸ - ۵۰ - روش کاربرد ابزار اندازه‌گیری جوش گوشه جهت تعیین بعد جوش گوشه تخت و مقعر.



شکل ۸ - ۵۱ - روش کاربرد ابزار اندازه‌گیری جوش گوشه جهت تعیین بعد جوش گوشه محدب.



(الف) مناسب برای رویه تخت



(ب) مناسب برای رویه محدب

شکل ۸ - ۵۲ - روش کاربرد دستگاه اندازه گیری کارگاهی جوش گوشه

آزمایش های مناسب در عمل

جوشکاری نیازمند بازرسی های عینی به طور پیوسته در خلال پیشرفت کار می باشد. جوش تکمیل شده باید از لحاظ صحت ابعاد و طرح جوش، معایب سطحی و تابیدگی و اعوجاج قطعه جوش شده مورد آزمایش و اندازه گیری دقیق قرار گیرد. توجه خاصی باید بر روی چاله های پرنشده جوش (نیمه)، شروع و توقف ناقص جوشکاری، ترک های عمقی و ترک های موجود در لبه (کنج) جوش اعمال شود. جدول های ۸-۲ و ۸-۳ روش های مناسب بازرسی و آزمایش های تعیین معایب فلز جوش و پایه را توصیه می کنند.

جدول ۸-۲ - 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
گودافتادگی	عینی	عینی
ترک	ذرات مغناطیسی نفوذ ماده رنگی عینی مخرب ^۲	ذرات مغناطیسی نفوذ ماده رنگی عینی فراصوتی پرتونگاری ^۳
نفوذ ناقص	مخرب فراصوتی	پرتونگاری فراصوتی
اختلاط سرباره	مخرب فراصوتی	پرتونگاری 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 آزمایشی را آشکار خواهد ساخت.

قسمت ث: ضوابط پذیرش

۸-۱۱ ضوابط پذیرش

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

جدول ۸ - ۳ - 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 ناخالصی در سرباره امتزاج ناقص ترک خوردگی گودافتادگی 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، پخت روغن، فراصوتی بازرسی عینی، آزمایش خمش، پرتونگاری، فراصوتی بازرسی عینی پرتونگاری، شکست، میکروسکوپی، ماکروسکوپی، فراصوتی
معایب مکانیکی مقاومت کشش کم مقاومت تسلیم کم شکل‌پذیری سختی نامناسب شکست ضربه‌ای ترکیب ساختمانی نامناسب مقاومت خوردگی کم	کلیه آزمایش‌های کشش فلز جوش، کشش عرضی، برش جوش گوشه، کشش فلز پایه کلیه آزمایش‌های کشش فلز جوش، کشش عرضی، کشش فلز پایه کلیه آزمایش‌های کشش فلز جوش، آزمایش خمش آزاد، خمش هدایت شده، کشش فلز پایه آزمایش سختی آزمایش ضربه تجزیه شیمیایی آزمایش خوردگی

پذیرفت. آیین‌نامه AWS پذیرش جوش‌ها را در دو مرحله مقرر می‌دارد:

۱- بازرسی عینی

۲- بازرسی با آزمایش‌های غیرمخرب نظیر پرتونگاری، فراصوتی، ذرات مغناطیسی، و رنگ نافذ. جوشی تحت آزمایش‌های غیرمخرب قرار می‌گیرد که در بازرسی عینی مورد پذیرش قرار گرفته باشد. شرایط پذیرش AWS به شرح زیر می‌باشد:

۸-۱۱-۱ بازرسی‌های عینی

تمام جوش‌ها باید مورد بازرسی عینی قرار گیرند و در صورتی که شرایط زیر اقناع‌گردد، می‌توانند مورد پذیرش قرار گیرند:

۱- جوش باید فاقد هرگونه 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 پر شوند. این حوضچه‌ها می‌توانند حاوی ترک‌های ستاره‌ای باشند؛

۴- مقطع جوش باید مطابق شکل ۸-۵۳ باشد؛

۵- برای مصالحي با ضخامت ۲۵۴ 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 سوزنی^{۶۰} 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 متصل‌کننده بال به جان، در طولی معادل دو برابر عرض بال از انتهای تیر، هیچ‌گونه کمبود اندازه^{۶۱} 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 سوزنی قابل ملاحظه باشد. در سایر موارد جوش‌های شیاری، مجموع قطر تخلخل‌های سوزنی با قطر ۱ میلی‌متر و بزرگتر، نباید از ۲۰ 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 پرمقاومت با تنش تسلیم بزرگتر از ۶۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع، بازرسی‌های عینی باید ۴۸ ساعت بعد از تکمیل جوش انجام شود.

۸-۱۱-۲ بازرسی‌های غیرمخرب

تمام روش‌های آزمایش‌های غیرمخرب شامل مشخصات دستگاه‌ها، ارزیابی دستگاه و اپراتور، و روش‌های انجام آزمایش باید منطبق بر قسمت‌های قبلی این فصل باشد. شرایط پذیرش طبق مفاد بخش حاضر است. جوش‌هایی تحت آزمایش‌های غیرمخرب قرار می‌گیرند که طبق بخش ۸-۱۱-۱ از نظر بازرسی‌های عینی مورد پذیرش قرار گرفته باشند.

۸-۱۱-۳ بازرسی‌های پرتونگاری

در عکس‌های پرتونگاری، جوش نباید حاوی ترک باشد. شرایط پذیرش سایر ناپیوستگی‌ها^{۶۲} (حفرات) بستگی به هندسه حفره دارد که آیا سوزنی^{۶۳} است یا گرد^{۶۴}. حفره سوزنی آن است که نسبت طول به عرضش بزرگتر از ۳ باشد. در حفره گرد، نسبت طول به عرض آن مساوی و یا کوچکتر از ۳ باشد و از لحاظ شکل می‌تواند به صورت گرد یا نامنظم دم‌دار باشد. در صورتی که ابعاد حفرات آشکار شده در عکس‌های پرتونگاری بزرگتر از محدودیت‌های زیر باشد، غیرقابل پذیرش خواهند بود ($E =$ اندازه جوش).

(۱) حفره سوزنی که اندازه آن بزرگتر از اندازه نشان داده شده در شکل ۸-۵۴ باشد.

(۲) حفراتی که فاصله آنها کوچکتر از حداقل فاصله نشان داده شده در شکل ۸-۵۴ باشد.

(۳) حفرات گرد با اندازه بزرگتر از $E/3$ یا ۶ میلی متر. در صورتی که ضخامت قطعه بزرگتر از ۵۰ میلی متر باشد، محدودیت ۶ میلی متر می‌تواند به ۱۰ میلی متر افزایش یابد. حداقل فاصله آزاد این نوع حفره با بعد بزرگتر از ۲ میلی متر، تا یک حفره سوزنی و یا گرد قابل پذیرش و یا تا لبه جوش تقاطعی، سه برابر بزرگترین بعد حفره مورد نظر است.

(۴) خوشه حفرات^{۶۵} گرد که مجموع بزرگترین بعد آنها، بزرگتر از اندازه مجاز حفره تک طبق شکل ۸-۵۴ است. فاصله حداقل هر خوشه تا خوشه یا حفره تک بعدی یا انتها و یا لبه جوش متقاطع، مساوی مقدار C در شکل ۸-۵۴ می‌باشد.

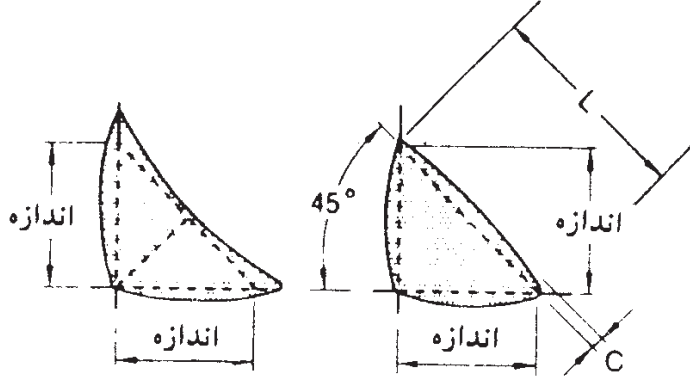
(۵) مجموع بعد حفرات تک با بعد حداکثر ۲ میلی متر، در هر ۲۵ میلی متر طول جوش، نباید از

62 – discontinuity

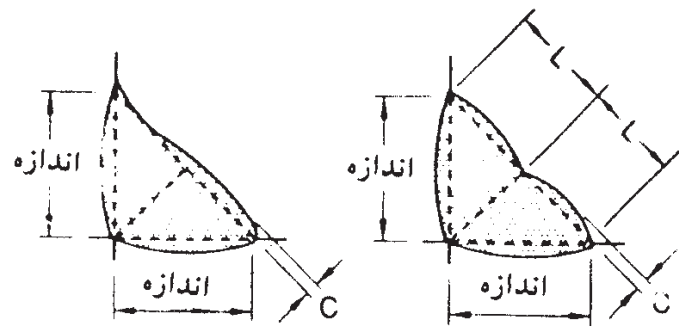
63 – rounded

64 – elongated

65 – cluster of rounded indications



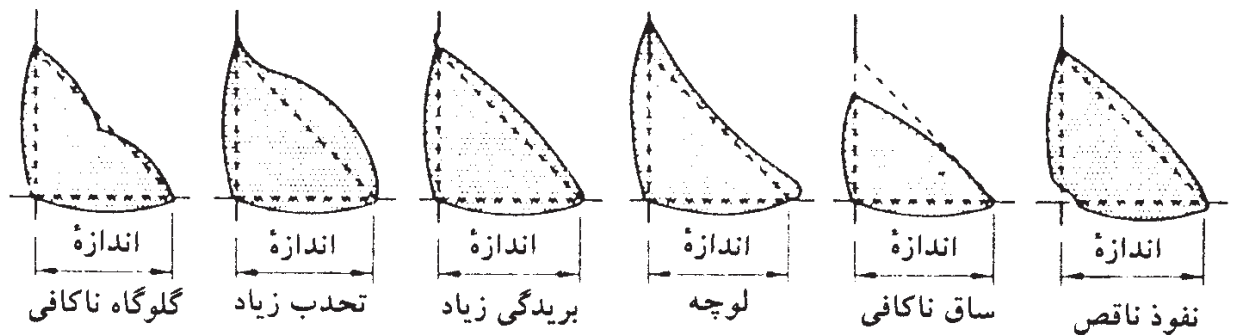
(الف) مقطع مورد نظر برای جوش گوشه



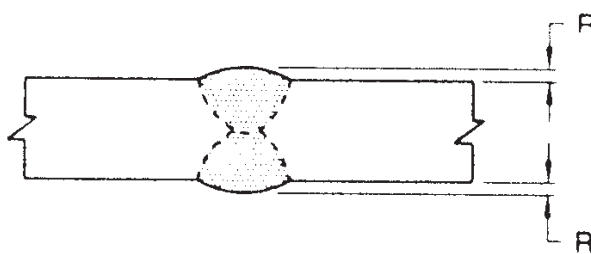
(ب) مقطع قابل پذیرش جوش گوشه

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

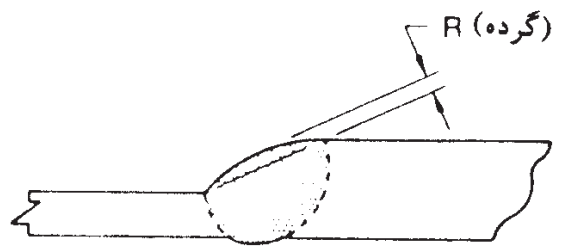
اندازه وتر (L)	حداکثر تحدب (mm)
$L \geq 8 \text{ mm}$	1.5 mm
$8 \text{ mm} < L < 25 \text{ mm}$	3 mm
$L > 25 \text{ mm}$	5 mm



(پ) مقاطع غیر قابل پذیرش جوش گوشه



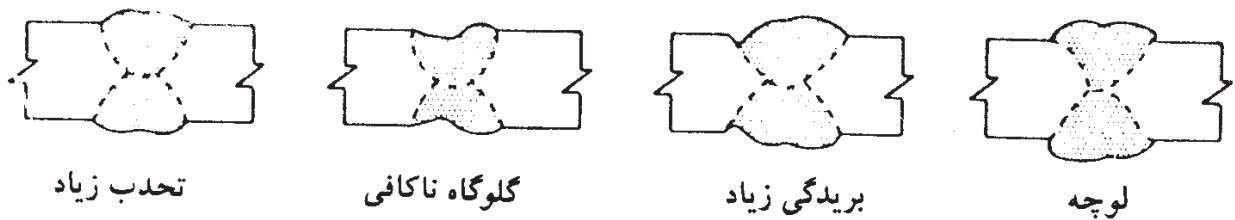
درز لبه لب (ورق با ضخامت یکسان)



درز لب لب (دو ورق غیر هم ضخامت)

توجه: میزان گرده جوش نباید بیش از ۳ میلی متر باشد

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

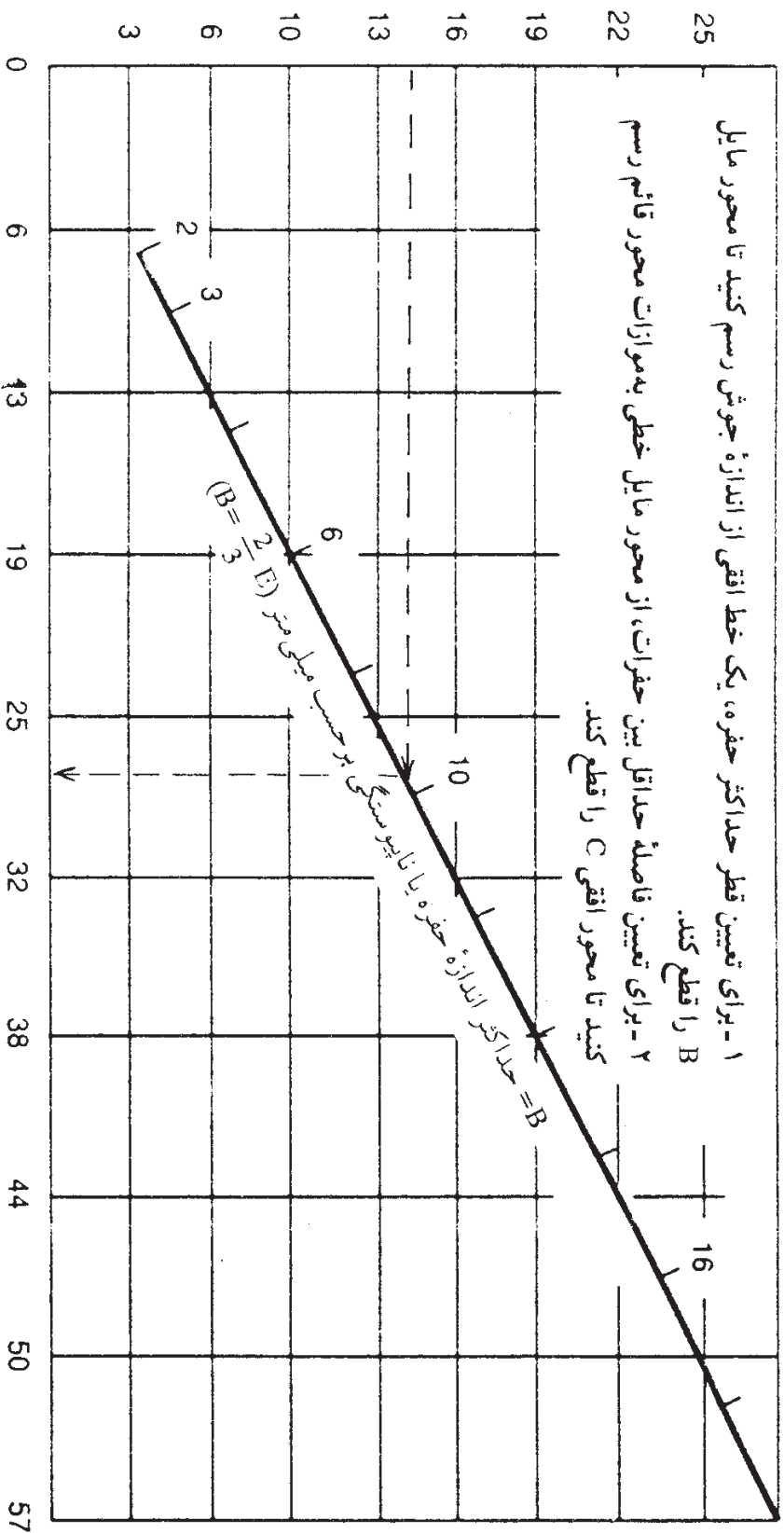


(ث) مقاطع غیر قابل پذیرش جوش شیاری در درزهای لب لب

۲۰ میلی متر و بزرگتر

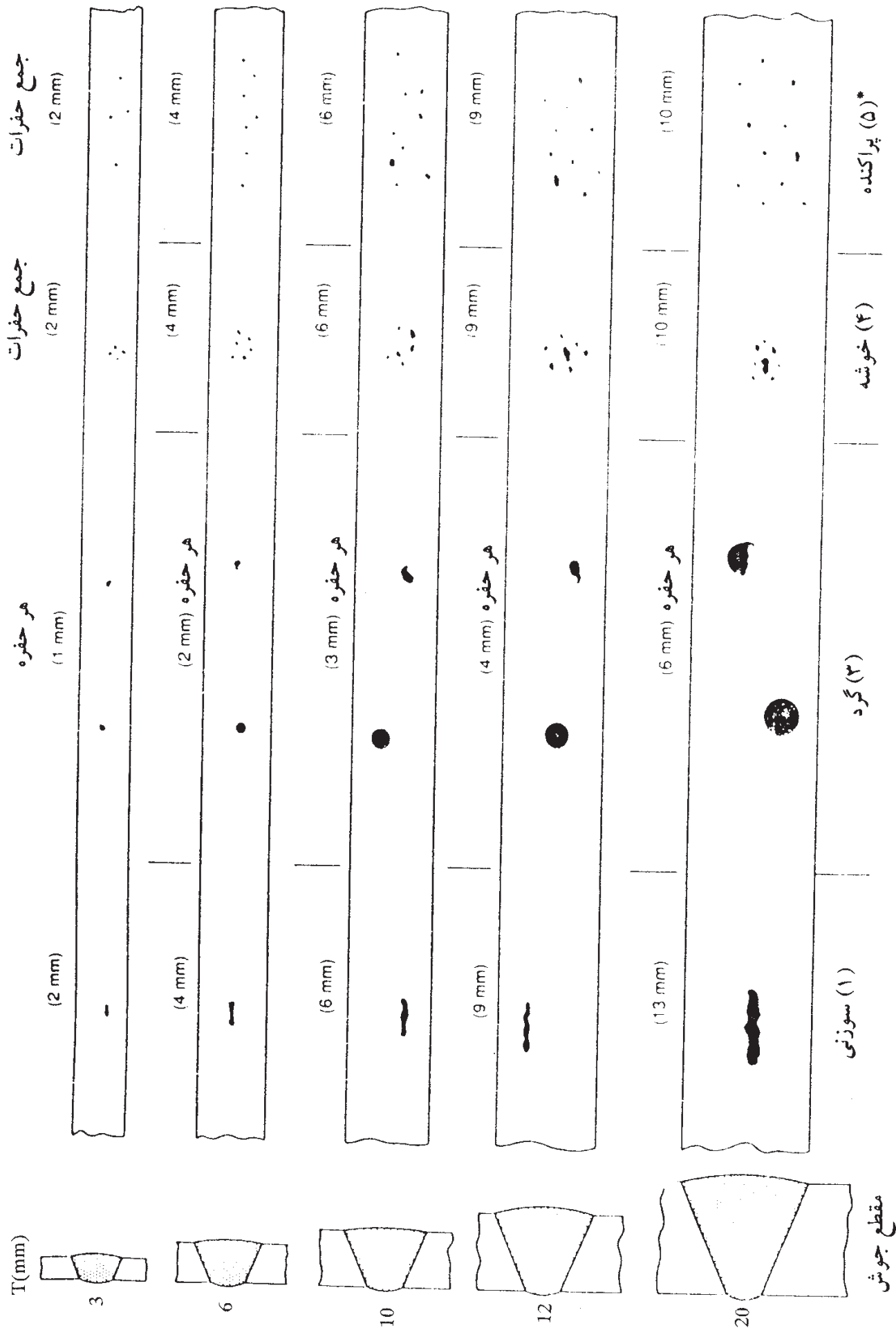
حداکثر ۲۰ میلی متر

اندازه جوش یا گلوی مؤثر E (میلی متر)



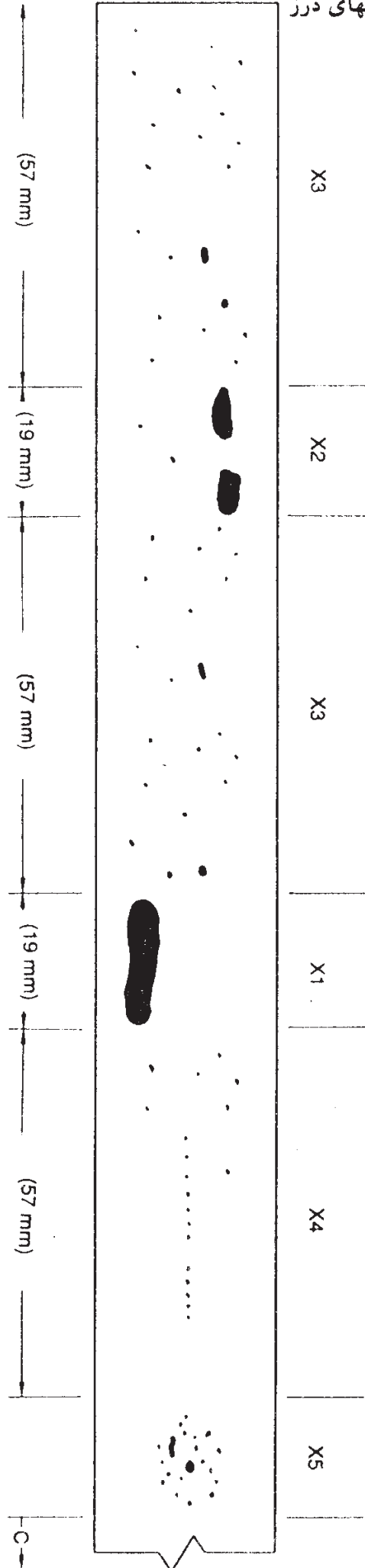
C = حداقل فاصله آزاد لبه دو ناپوستگی در امتداد طولی

شکل ۸ - ۵۴ - شرایط پذیرش ناپوستگی ها با حفرات سموزنی آشکار شده در عکس های پرتو نگاری برای جوش ها تحت بار استاتیکی.



* (۵) پراکنده
(۵) مستقل از ۱ و ۳
(۵) می‌تواند در ترکیب با ۱ و ۳ باشد.

شکل ۸ - ۵۵ - ضوابط پذیرش نتایج بازرسی پرتوگاری.



شکل ۸ - ۵۶ - ضوابط پذیرش نتایج بازرسی پرتونگاری.

۲E/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 بعد 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 اشکال ۸-۵۵ و ۸-۵۶ کاربرد بند ۸-۱۱-۳ به صورت تصویری نشان داده شده است.

۸-۱۱-۴ بازرسی فراصوت

جوش‌های قابل پذیرش در بازرسی عینی، وقتی در بازرسی فراصوت قابل پذیرش هستند که احتیاجات جدول ۸-۴ را برآورده نمایند.

جدول ۸-۴ - ضوابط پذیرش بازرسی فراصوت

رده شدت ناپیوستگی و حفرات*	ضخامت جوش برحسب میلی‌متر و زاویه پروب**										
	تا ۸		بزرگتر از ۳۸ تا ۶۴			بزرگتر از ۶۴ تا ۱۰۰			بزرگتر از ۱۰۰ تا ۲۰۰		
	تا ۲۰	۲۰ تا ۳۸	۷۰°	۶۰°	۴۵°	۷۰°	۶۰°	۴۵°	۷۰°	۶۰°	۴۵°
رده A	+5 و کمتر	+2 و کمتر	-2 و کمتر	+1 و کمتر	+3 و کمتر	-5 و کمتر	-2 و کمتر	0 و کمتر	-7 و کمتر	-4 و کمتر	-1 و کمتر
رده B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1
رده C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 تا +2	+1 +2	+3 +4	-4 تا +2	-1 تا +2	+2 +3
رده D	+8 و بیشتر	+5 و بیشتر	+3 و بیشتر	+6 و بیشتر	+8 و بیشتر	+3 و بیشتر	+3 و بیشتر	+5 و بیشتر	+3 و بیشتر	+3 و بیشتر	+4 و بیشتر

* برای دیدن رده شدت ناپیوستگی به جدول ۸-۵ و ۸-۶ مراجعه شود.

** ضخامت جوش، ضخامت قطعه نازکتر است.

۱- ناپیوستگی‌های A، B، C باید به اندازه 2L از یکدیگر فاصله داشته باشند. L طول بزرگترین ناپیوستگی است.

۲- ناپیوستگی‌های A، B، C باید به اندازه 2L از لبه فاصله داشته باشند. L طول ناپیوستگی است.

۳- ناپیوستگی‌هایی که در تراز رویه جوش در جوش‌های شیاری تمام نفوذی دو طرفه شناسایی می‌شوند، باید با حساسیت ۴ دسی‌بل بیشتر از حساسیت بند ۸-۵-۴ مورد جست‌وجو قرار گیرند.

جدول ۸-۵ - رده شدت ناپیوستگی و حفرات

A	ناپیوستگی های وسیع ^{۶۶}	هر نشانه ای در این رده مردود است (بدون توجه به طول)
B	ناپیوستگی های متوسط ^{۶۷}	هر نشانه ای در این رده با طول بزرگتر از ۲۰ میلی متر مردود است
C	ناپیوستگی های کوچک ^{۶۸}	هر نشانه ای در این رده با طول بزرگتر از ۵۰ میلی متر مردود است
D	ناپیوستگی های ریز ^{۶۹}	هر نشانه ای در این رده بدون توجه به طول یا محل قابل پذیرش است

جدول ۸-۶ - تراز روبش^{۷۰}

* مسیر تابش ^{۷۱} (میلی متر)	بالای تراز مرجع (dB)
تا ۶۰	14
۶۰ تا ۱۲۵	19
۱۲۵ تا ۲۵۰	29
۲۵۰ تا ۳۸۰	39

* این ستون طول مسیر تابش است نه ضخامت قطعه

۸-۱۱-۵ آزمایش بارنگ نافذ^{۷۲} و ذرات مغناطیسی^{۷۳}

ضوابط پذیرش در آزمایش بارنگ نافذ و ذرات مغناطیسی مطابق ضوابط پذیرش بازرسی عینی است.

۸-۱۱-۶

به غیر از جوشکاری ورقها با تنش تسلیم F_y بزرگتر از ۶۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع، تمام بازرسی های جوشکاری مورد اشاره در بندهای ۸-۱۱-۲، ۸-۱۱-۳، و ۸-۱۱-۴، و ۸-۱۱-۵ را می توان بلافاصله بعد از خنک شدن جوش انجام داد.

در مورد جوشکاری فولادهای خیلی پرمقاومت ($F_y > 6000 \text{ kg/cm}^2$)، بازرسی ها ۴۸ ساعت بعد از خنک شدن جوش آغاز می شود.

66- large

67- medium

68- small

69- minor

70- scanning level

71- sound path

72- liquid penetrant

73- magnetic particle

جوشکاری در کارگاه

اسکلت فولادی مجموعه‌ای است از نیمرخ‌های فولادی، ورق، و نیمرخ‌های ورقی که باید به کمک اتصالات و وسایل اتصال مناسب نظیر جوش، پیچ، و 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^۱ با توجه به نقشه‌های محاسباتی
 - ۲- عملیات برشکاری و سوراخکاری
 - ۳- عملیات ساخت اعضا
 - ۴- تمیزکاری و رنگ
 - ۵- حمل
 - ۶- عملیات پیش‌مونتاز و مونتاز در پای کار
 - ۷- عملیات واداشتن و نصب و خال‌جوش و اتصالات موقت
 - ۸- تنظیم نهایی، شاقولی کردن ستون‌ها و هم‌محور کردن تیرها و تکمیل اتصالات
 - ۹- بازرسی و تأیید نهایی
 - ۱۰- رنگ‌آمیزی نهایی و لکه‌گیری
- در ادامه موارد فوق مورد بحث قرار می‌گیرند.

۹-۲ تهیه نقشه‌های ساخت

قبل از شروع عملیات اجرایی، نقشه‌های محاسباتی که توسط مهندس طراح ارائه شده، به وسیله مهندسین دفتر فنی و تکنسین‌های اجرایی پیمانکار مورد مطالعه دقیق قرار گرفته و پس از سیاست‌گذاری عملیات ساخت و اجرا و گرفتن تأییدیه‌های لازم از طراح، اسکلت فولادی به اجزای ریزتر تقسیم شده و پس از تعیین هندسه هر جزء، ابعاد ورق‌ها، محل سوراخ‌ها، نحوه برش لبه‌ها، محل و اندازه جوش‌ها، در مقیاس مناسب رسم می‌گردد. در شکل ۹-۱ نمونه‌ای از نقشه ساخت یک قطعه فلزی نشان داده شده است.

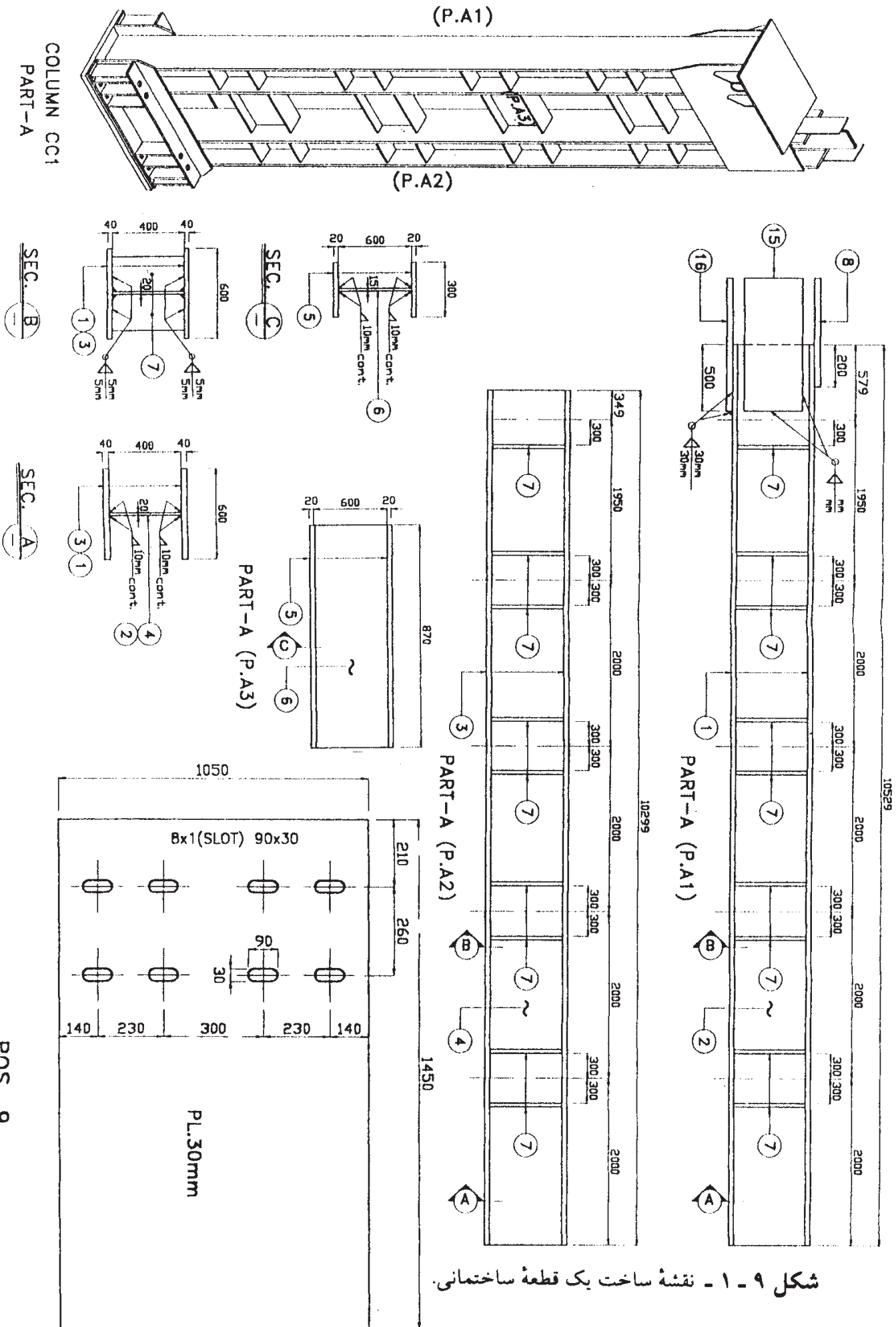
۹-۳ عملیات برشکاری و آماده‌سازی لبه‌ها

عملیات برشکاری برحسب ضخامت ورق می‌تواند به کمک برش حرارتی و یا برش گیوتینی انجام پذیرد.

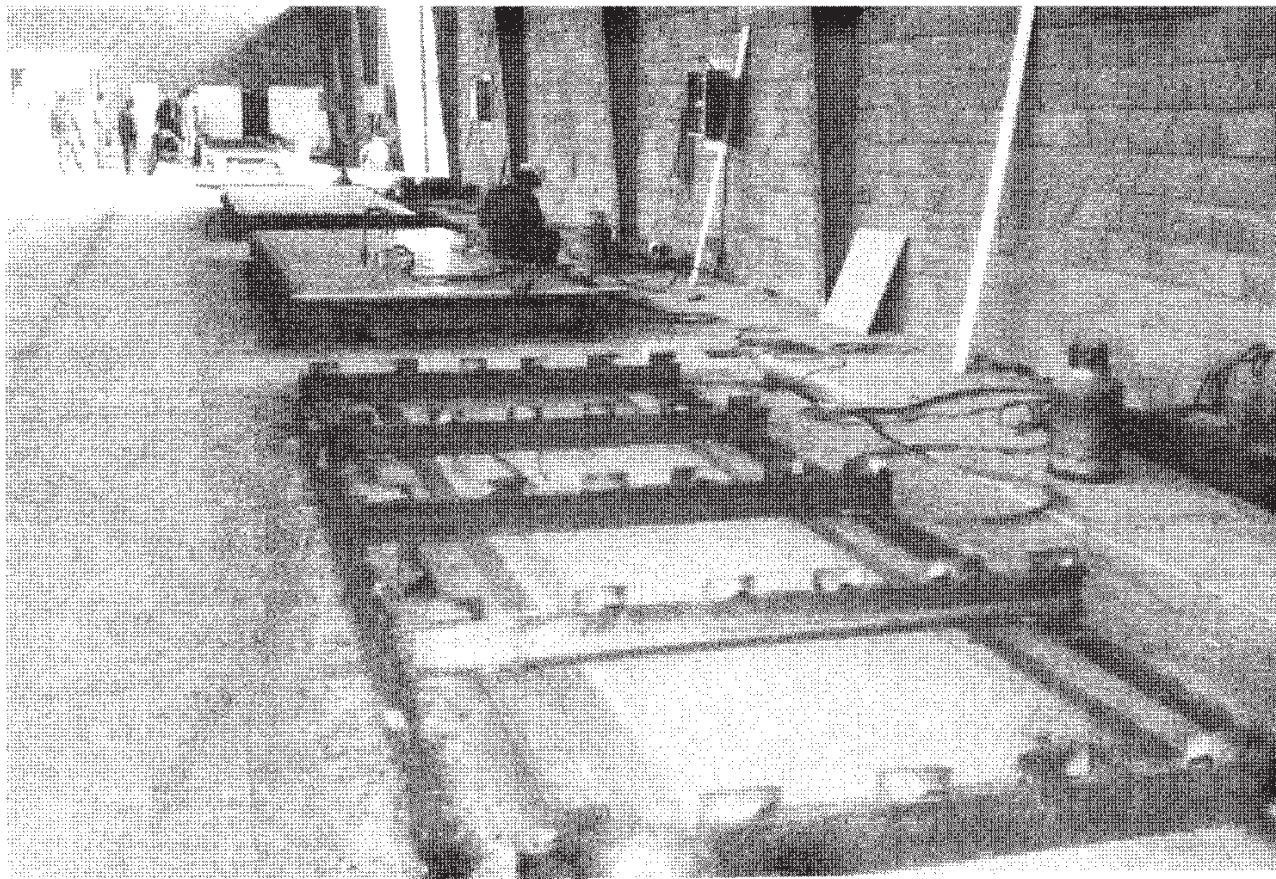
برای انجام عملیات برشکاری به روش حرارتی ابتدا شاسی‌های مناسبی که ورق یا پروفیل را در وضعیت تخت و تراز قرار می‌دهند، ساخته می‌شوند. در شکل ۹-۲ تصویری از شاسی‌های برش نشان داده شده است.

بعد از استقرار ورق در روی شاسی و خط‌کشی آن، ریل‌گذاری شده و دستگاه برش اتوماتیک 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 اتوماتیک 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.

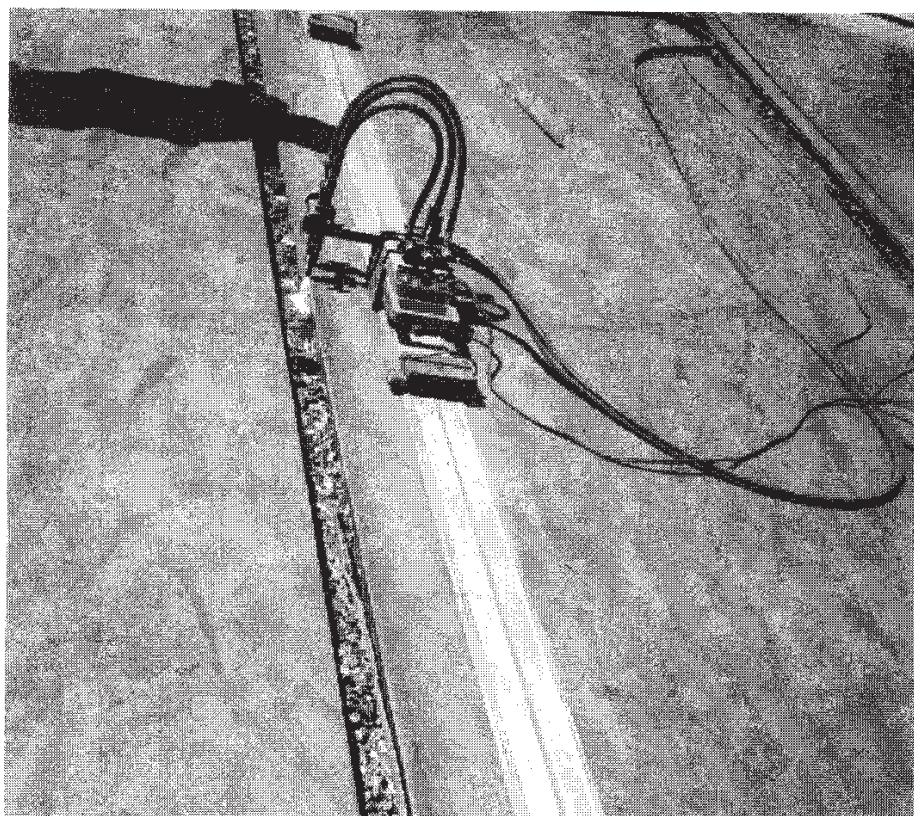


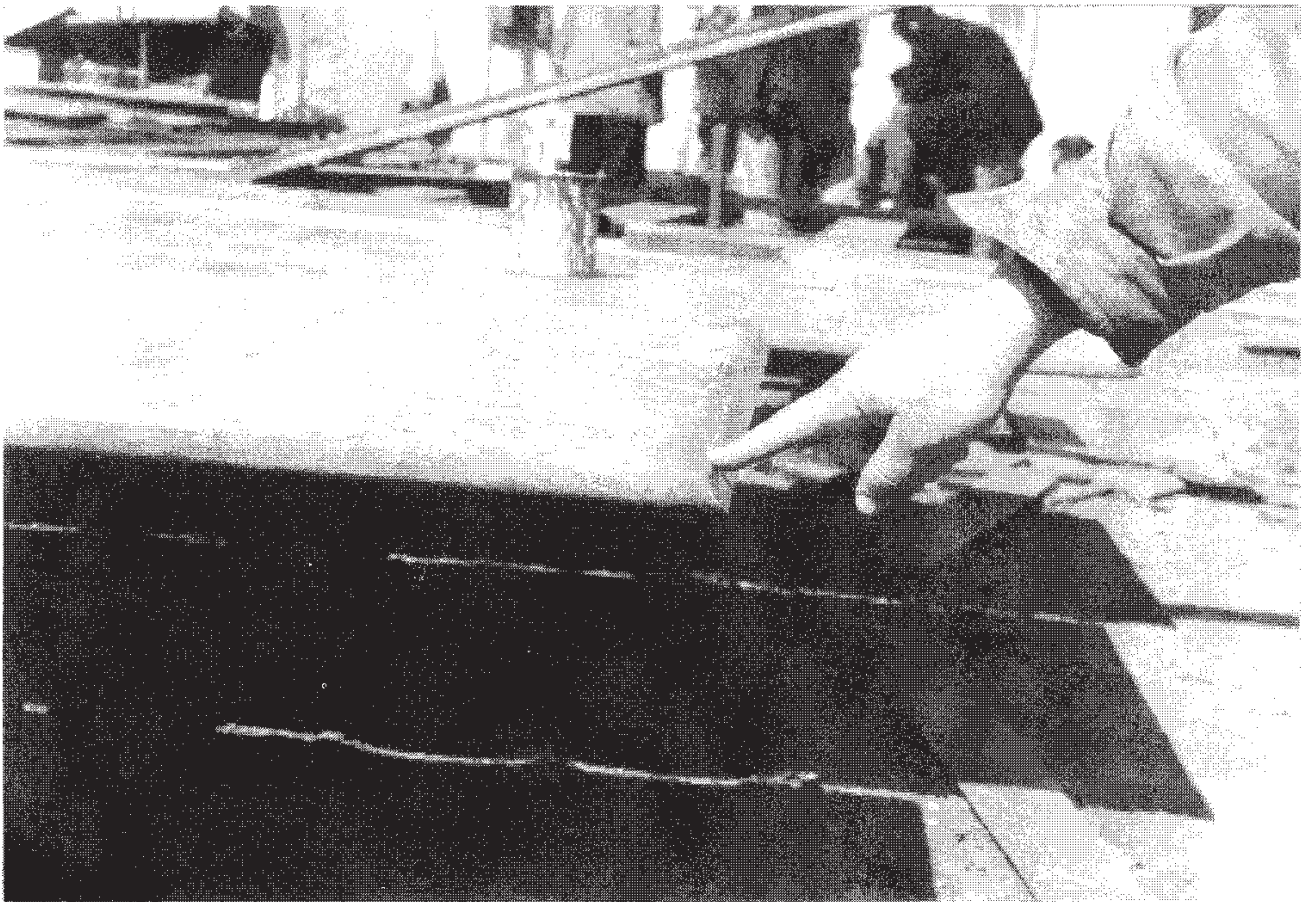
شکل ۹-۱ - نقشه ساخت یک قطعه ساختمانی.



شکل ۹-۲ - شاسی‌کشی برای برشکاری.

شکل ۹-۳ - عملیات برشکاری با دستگاه برش اتوماتیک. برشکاری باید در هر دو لبه انجام شود، وگرنه باعث شمشیری شدن ورق بریده شده می‌شود.





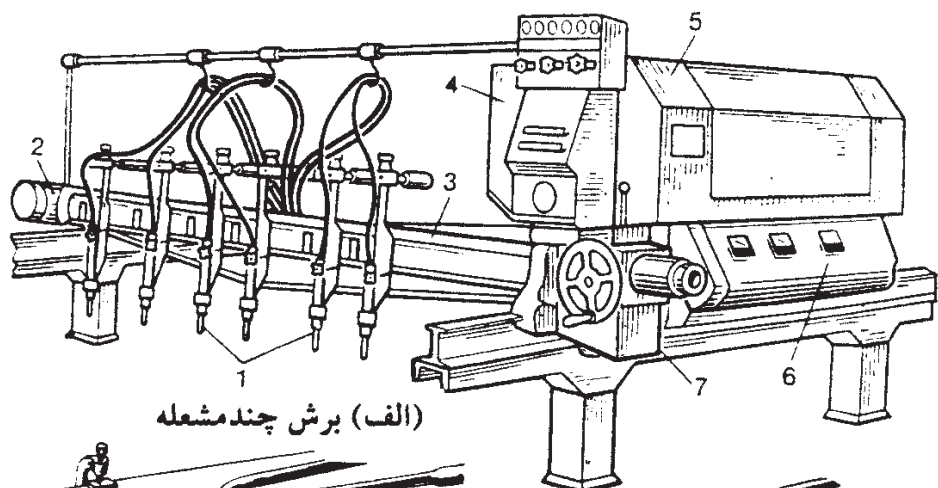
شکل ۹-۴ - آماده‌سازی لبه‌ها.

ورق‌های بال ممکن است به صورت تسمه‌هایی با عرض و ضخامت مشخص تهیه شوند که در این صورت جز بریدن آنها در طول مشخص و گونیا کردن و پخ‌زدن انتهایشان به آماده‌سازی بیشتری نیاز نیست. برخی از سازندگان، ورق‌های بال را از ورق‌های عریض به وسیله برش هوا، برش می‌دهند (شکل ۹-۳). به علت وجود مقداری انقباض که در نتیجه برش هوا رخ می‌دهد، بال تیرورق در صورتی که تنها از یک طرف بریده شود، به صورت خمیده درمی‌آید. به همین دلیل باید هر دو سمت ورق‌بال به صورت همزمان برش داده شوند. عملیات با یک دستگاه برش که دارای چندین مشعل می‌باشد، به طور همزمان صورت می‌گیرد (شکل ۹-۵).

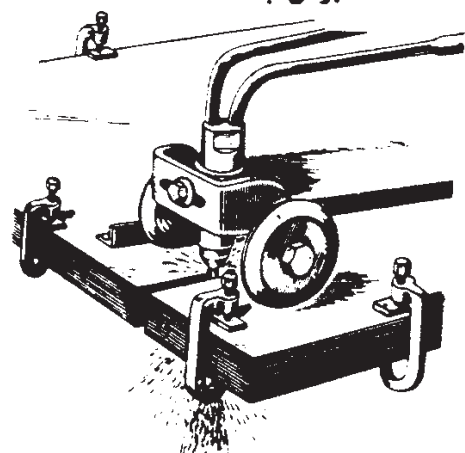
در مورد تیرها و شاهتیرهایی که دارای انحنای افقی می‌باشند، ورق‌های بال با انحنای مشخصی به وسیله برش هوا بریده می‌شود.

عملیات سوراخکاری

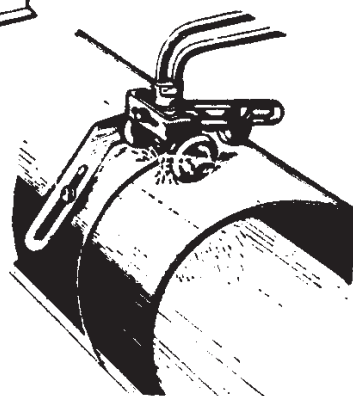
پس از عملیات برش، در صورت نیاز عملیات سوراخکاری انجام می‌شود. انجام عملیات



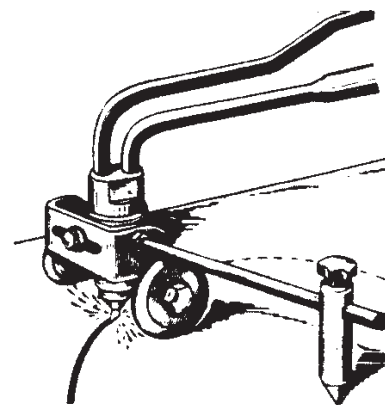
(الف) برش چندمشعله



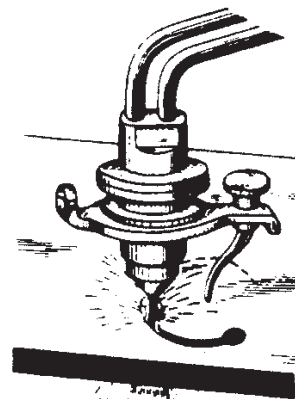
(پ) برش ریلی



(ت) برش ریلی دور لوله



(ب) برش پرگار شعاع بزرگ



(ث) برش پرگار با شعاع کوچک

شکل ۹ - ۵ - وسایل مختلف برش.

سوراخکاری به دو روش ممکن است:

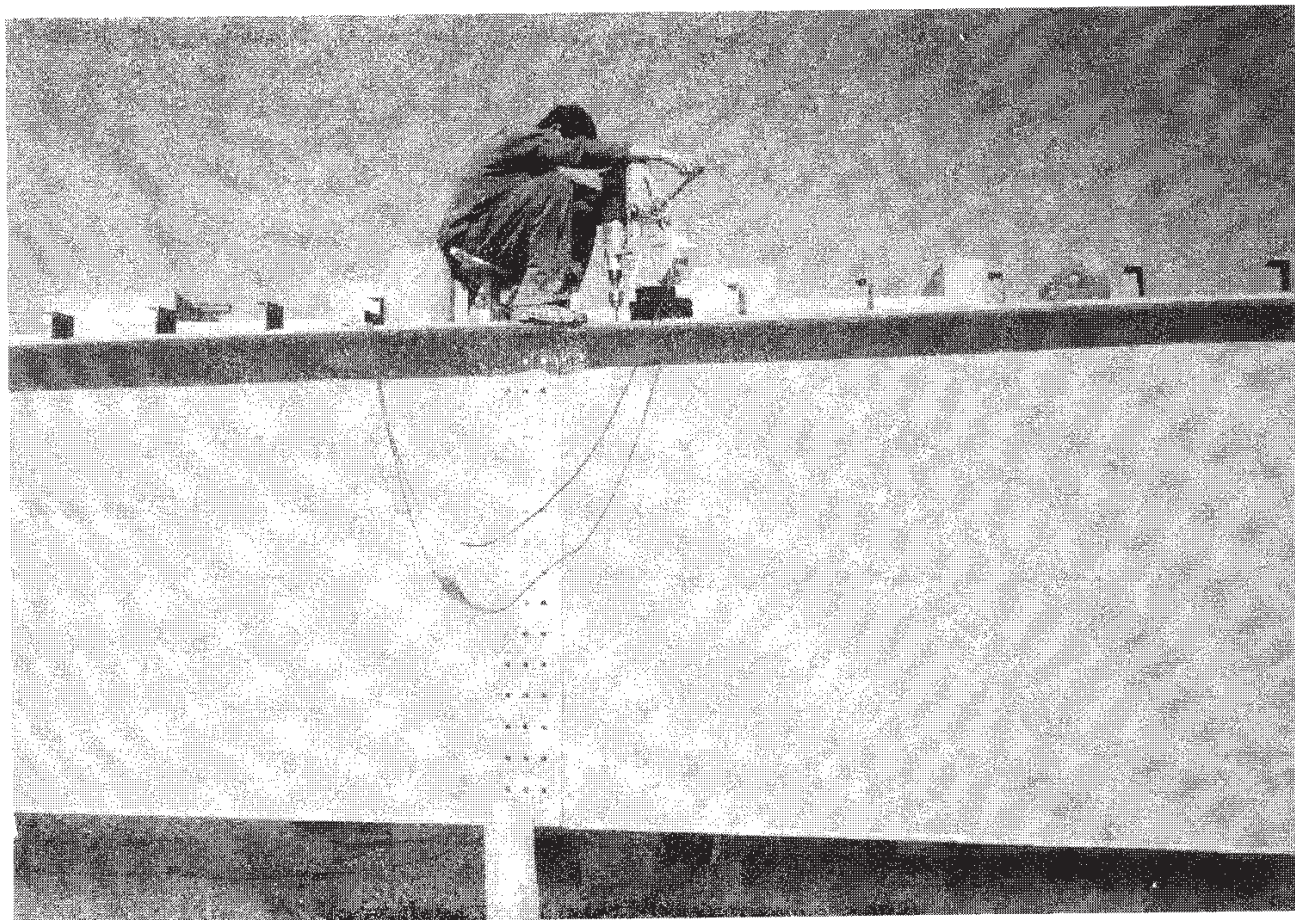
۱ - دستگاه پانچ (سوراخزن)

۲ - مته

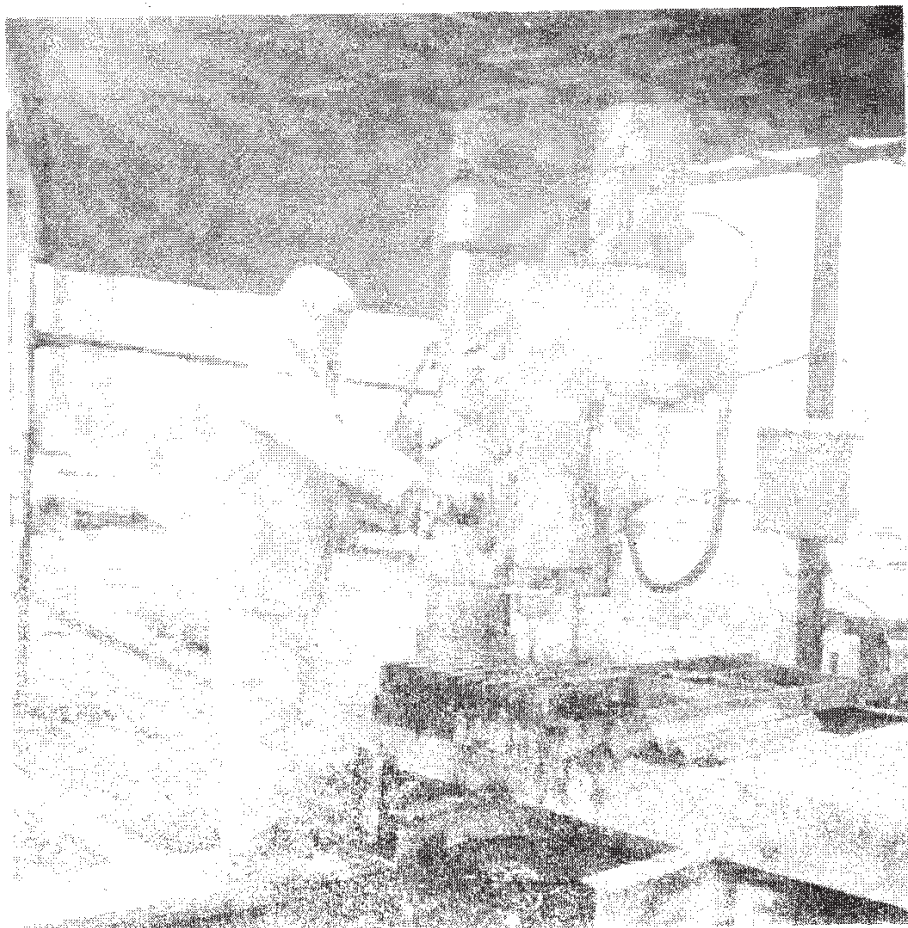
سوراخ ایجاد شده توسط مته از کیفیت بسیار خوبی برخوردار است ولی عملیات مربوطه پرهزینه می باشد. عملیات مته کاری معمولاً توسط مته های رادیال انجام می شود (شکل ۹ - ۷) که دارای بازده خوبی می باشد. در صورتی که ضخامت ورق در حد کم یا متوسط (تا حدود ۱۵ میلی متر) باشد، انجام سوراخ ها توسط دستگاه سوراخزن انجام می شود. آزمایشات نشان می دهند که در پیرامون سوراخ های ایجاد شده توسط دستگاه سوراخزن، ترک های میکروسکوپی وجود دارد که در محاسبات تأثیر این ترک ها 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 سوراخزن ایجاد شود و سپس توسط مته کاری گشاد شده و به قطر مورد نظر افزایش یابد.

۹-۴ ساخت اعضا

ساخت اعضا برحسب اینکه از ورق ساخته شوند و یا پروفیل، متفاوت خواهد بود. در صورتی که



شکل ۹-۶ - متنه مغناطیسی.



شکل ۹-۷ - متنه رادیال.

اعضا از ورق ساخته شوند، مراحل کار به صورت زیر است:

- ۱ - قطعه سازی یعنی یکسره کردن ورق ها و انجام جوش درزهای آنها در روی شاسی؛
- ۲ - مونتاژ بال و جان و خال جوش کردن آن در داخل قالب (گیج و فیکسچر)؛
- ۳ - تکمیل جوشکاری بال و جان؛
- ۴ - عملیات بازرسی و تأیید.

در مواقعی تقدم و تأخر ردیف های ۱ و ۲ عوض می شود. یعنی ابتدا ورق های بال و جان مونتاژ می شوند، و سپس جوش درزها انجام می شود. این کار هر چند که ممکن است از نظر کنترل تغییر شکل ها مفید باشد، لیکن دو عیب عمده دارد:

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

۲ - عدم موفقیت در اجرای درز جوش ها به صورت پیوسته و بی عیب.

به عنوان مثال اگر مونتاژ بال به جان قبل از اجرای جوش های شیاری قطعات بال انجام شود، امکان شیارزنی جوش از پشت ممکن نبوده و در نتیجه جوش به صورت نفوذی کامل در نمی آید. در صورتی که اعضا از نیمرخ های نورد شده ساخته شوند، معمولاً عملیات ردیف ۱ تا ۳ وجود نخواهد داشت و ممکن است به جای آن عملیاتی نظیر برشکاری لانه زنبوری، جفت کردن نیمرخ ها جهت ساخت نیمرخ های دوبل، تقویت نیمرخ با ورق و موارد مشابه داشته باشیم. این عملیات نیز در روی شاسی و قالب های مناسب انجام می شود.

۹-۴-۱ قطعه سازی

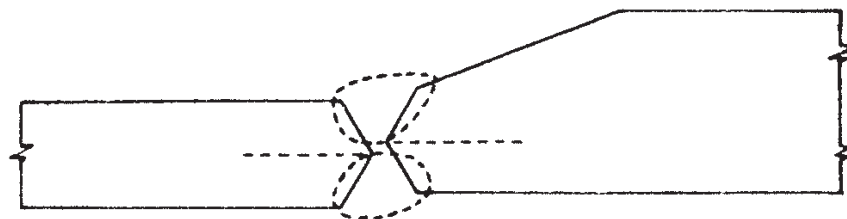
۹-۴-۱-۱ درزهای لب به لب^۲

برحسب نوع آماده سازی لبه ها و درز حاصل، انواع مختلفی از جوش لب به لب به وجود می آید. درزهای لاله ای و نیم لاله ای (U, J) کمترین مقدار فلز جوش را لازم دارند، اما در عین حال عملیات سنگزنی و تراش برای آماده سازی لبه ها پرکار و پرهزینه است و امکان انجام آن در هر کارخانه ای وجود ندارد. وجود این مشکلات، طراح را به استفاده از درزهای جناغی (V) محدود می کند. در درز V ، با کاهش زاویه درز، مصرف فلز جوش کاهش می یابد. لیکن با کاهش این زاویه، دهانه ریشه باید به منظور دستیابی الکتروود به داخل 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 به وجود آید.

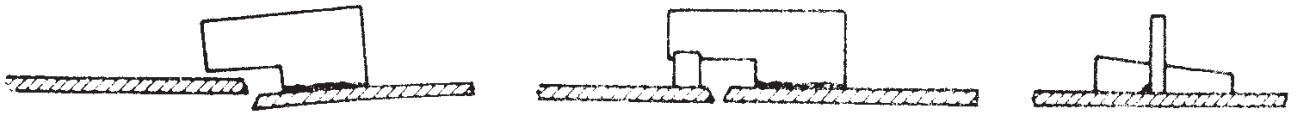
در ورق‌های ضخیم‌تر، درز با زاویه کوچکتر و ریشه بزرگتر، کمترین مقدار فلز جوش را لازم دارد. چنانچه تسمه پشت‌بند مورد استفاده قرار گیرد، دست طراح در انتخاب دهانه ریشه باز خواهد بود، لیکن جوشکاری باید در یک سمت انجام گیرد، به عبارت دیگر یک درز V تنها خواهیم داشت. اما اگر تسمه پشت‌بند مورد استفاده قرار نگیرد، دهانه ریشه باید در حدود ۳ میلی‌متر باز نگه داشته شود. در این صورت جوش روی دهانه پل زده و پایین نمی‌ریزد. درز جناغی ممکن است به صورت یکطرفه (V) یا دوطرفه (X) باشد. در هر دو صورت، ریشه باید از سمت دیگر سنگ خورده و یک عبور جوش انجام شود. این امر سلامت درز جوش را تضمین می‌کند. در ورق‌های نازک، استفاده از جوش جناغی یکطرفه (I) کافی است، لیکن با افزایش ضخامت ورق، استفاده از درز جناغی دوطرفه رجحان دارد. به خاطر داشته باشید که در یک درز V، تغییر شکل زاویه‌ای بیشتر است و با افزایش ضخامت ورق، به سرعت افزایش می‌یابد.

۹-۴-۱-۲ هم‌راستا کردن ورق‌ها

هم‌راستا کردن ورق‌ها جهت افزایش و بهبود عملیات جوشکاری ضروری است. قرارگیری درزهای لب‌به‌لب جان و بال در یک صفحه، تا حد زیادی هم‌راستا کردن ورق بال و جان را ساده می‌نماید. شکل ۹-۸ یک درز لب‌به‌لب X غیرهم‌راستا را در بال یک شاهتیر، 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 غیرهم‌راستایی قرار گیرد. کج شدن ناگهانی بال‌ها در خلال ساخت، عدم دقت در جابه‌جایی به محل اجرا، یا حتی یک اختلاف در هلالی شدن در بال می‌تواند چنین شرایطی را ایجاد کند. مشکل هلالی شدن^۳، با اندازه جوش گوشه جان به بال، افزایش پیدا کرده و با زیاد شدن ضخامت بال تیر کاهش می‌یابد. روش‌های مختلفی برای تصحیح این شرایط وجود دارد که شکل ۹-۹ یکی از این روش‌ها را



شکل ۹-۸



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 به زیر گیره رانده می‌شود.

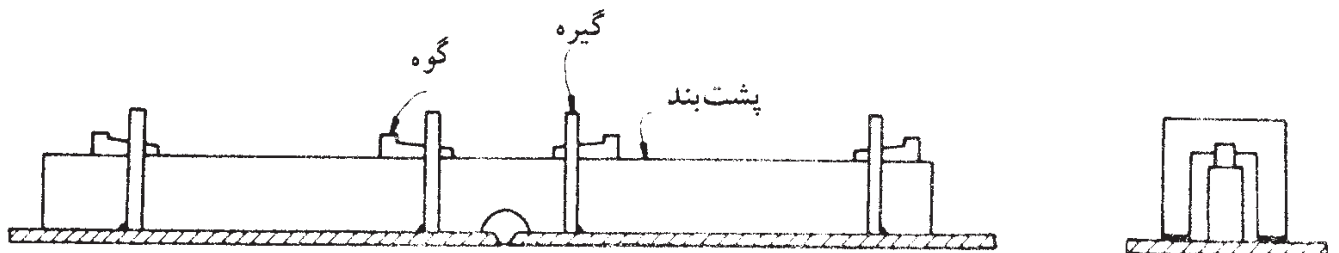
نشان می‌دهد. زمانی که ورق‌ها زیاد ضخیم نیستند، می‌توان گیره‌های کوچکی به ازای یکی از ورق‌ها جوش داد. راندن یک گوه فولادی بین هر گیره و ورق دیگر، لبه‌ها را هم‌راستا می‌نماید. جوش دادن گیره‌ها در یک سمت، تا حد زیادی برداشتن آنها را تسهیل می‌کند.

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

۹-۴-۱-۳ ریزش انتهای جوش

به علت ریزش مواد مذاب جوش، انتهای جوش درزهای لب‌به‌لب به صورت تمام ضخامت در نمی‌آید (شکل ۹-۱۱).

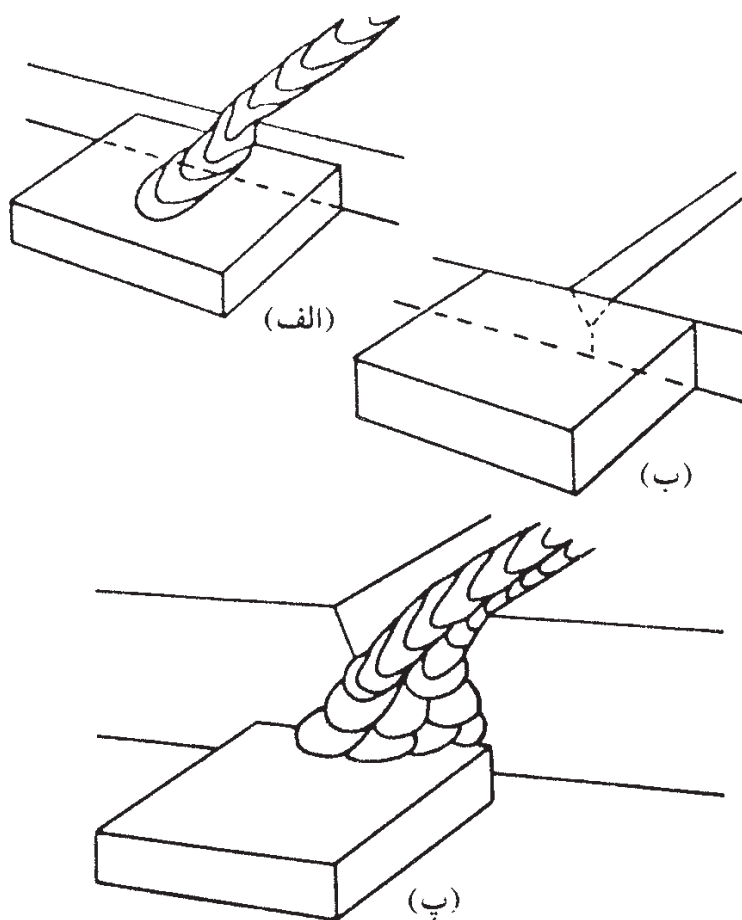
برای رفع این عیب، غالباً در انتهای درز، به کمک تسمه اضافه طولی برای درز ایجاد می‌شود که بعد از اتمام عملیات جوشکاری، این قطعه سنگ‌زده می‌شود (شکل ۹-۱۲). تعبیه این جزئیات در درزهای بال بسیار مهمتر می‌باشد. به این اضافه طول ناودان گویند.



استفاده از پشت‌بند و گیره و گوه برای هم‌راستایی ورق‌ها



استفاده از پشت‌بند و پیچ و مهره برای هم‌راستایی ورق‌ها



شکل ۹-۱۱ - نصب ناودان در ابتدا و انتهای درز.

در اشکال ۹-۱۳ و ۹-۱۴ تصاویری از اجرای درزهای لب به لب نشان داده شده است.

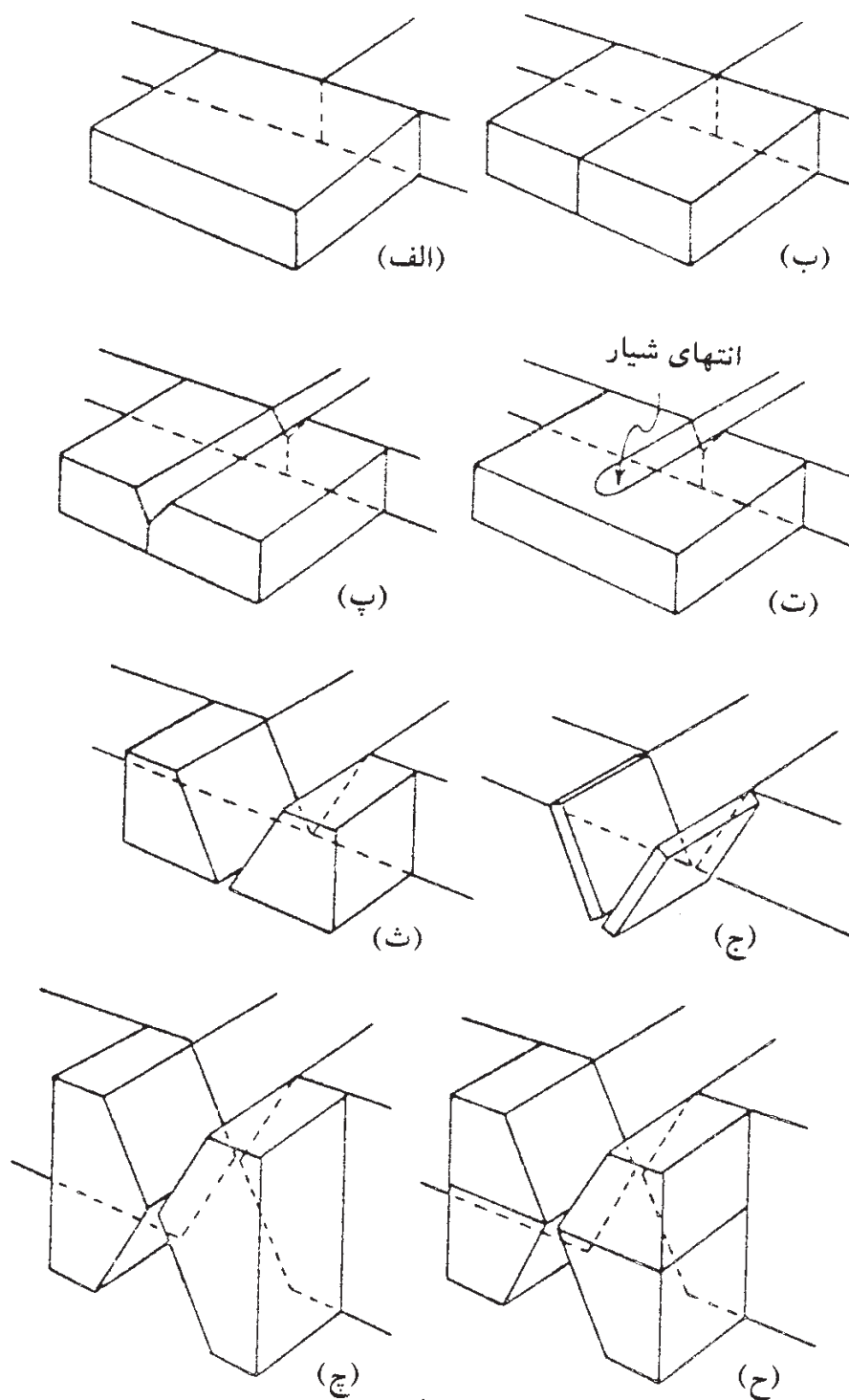
۹-۴-۲ مونتاژ ورق‌های بال و جان^۴

در ساخت تمام اتوماتیک، ابتدا ورق بال و جان با خال جوش به هم متصل شده و سپس توسط جوش زیرپودری^۵ نوار جوش کامل می‌شود. 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 گیچ علامت زده می‌شود. در این حالت گیره‌های قائم کوچکی در فواصل مشخصی نسبت به یکدیگر در طول بال، در نزدیکی خط میانی آن جوش می‌شوند (شکل ۹-۱۵). سپس جان تیرورق به صورت قائم بر روی بال قرار گرفته و به طور موقت با میلگردهایی که بین جان و بال جوش شده‌اند، نگه‌داشته می‌شود. گیره‌ها در طول بال، موقعیت جان را در طول خط میانی بال حفظ می‌کنند. حال می‌توان ورق بال

4- fit-up and assembly

5- submerged-arc-welding

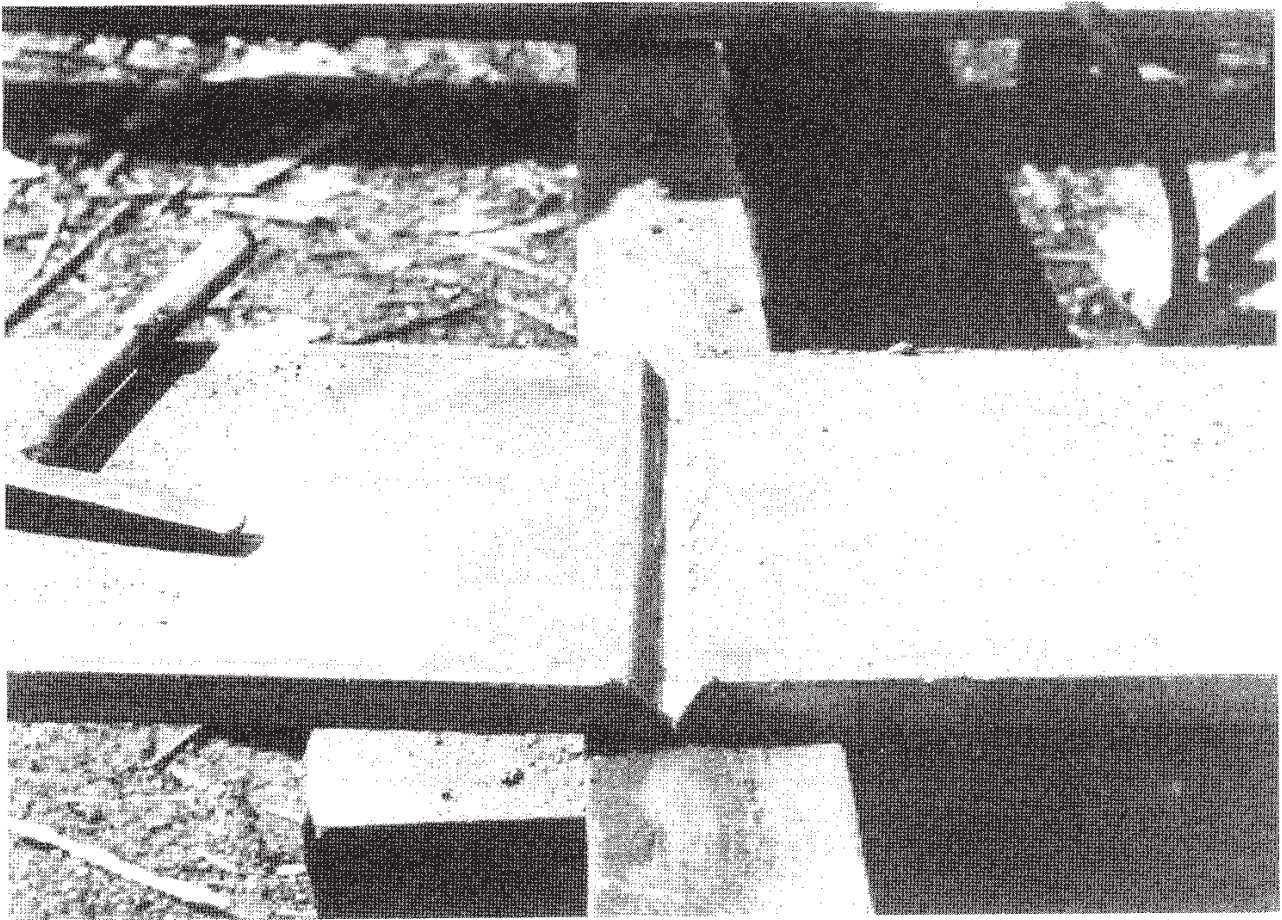


شکل ۹-۱۲ - تعبیه ناودان

فوقانی را در بالای جان نصب و خال جوش کرد. این روش در مورد تیرهای مستقیم با ارتفاع کم و متوسط، به کار می رود.

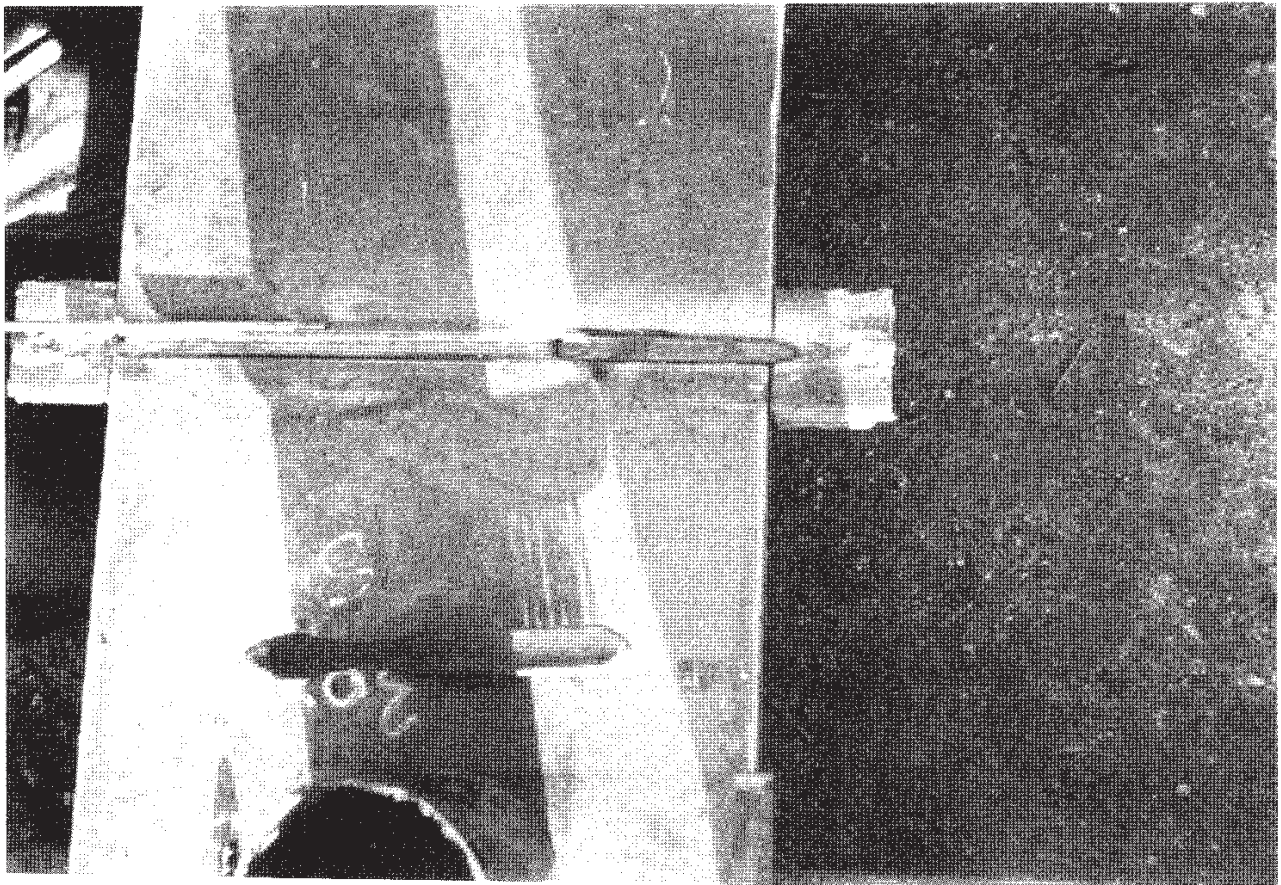
می توان تیرورق را با خواباندن ورق جان بر روی قالب در موقعیت افقی مونتاژ نمود

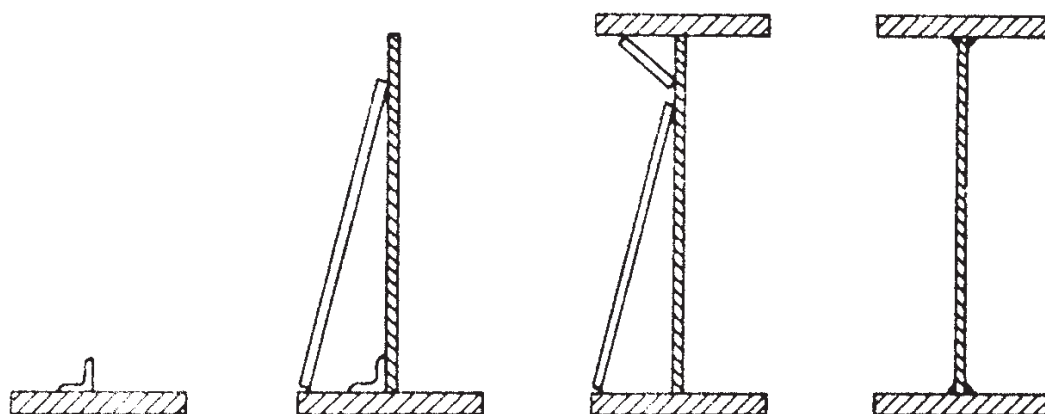
(شکل ۹-۱۶).



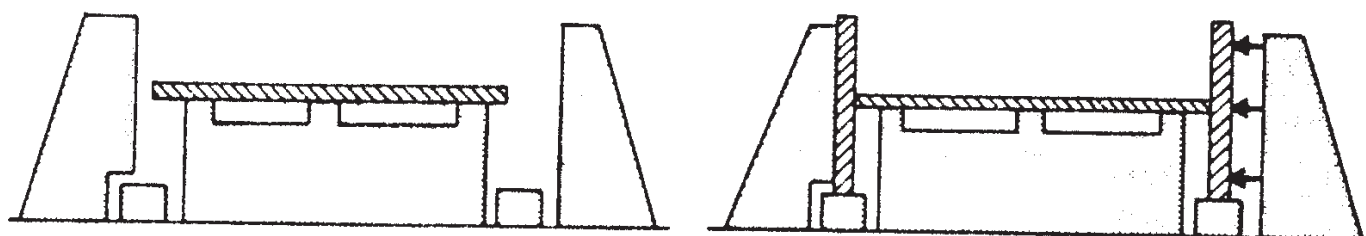
شکل ۹-۱۳ - سرهم کردن ورق‌ها و انجام پاس ریشه.

شکل ۹-۱۴ - تکمیل جوش شیاری و ناودان انتهایی.





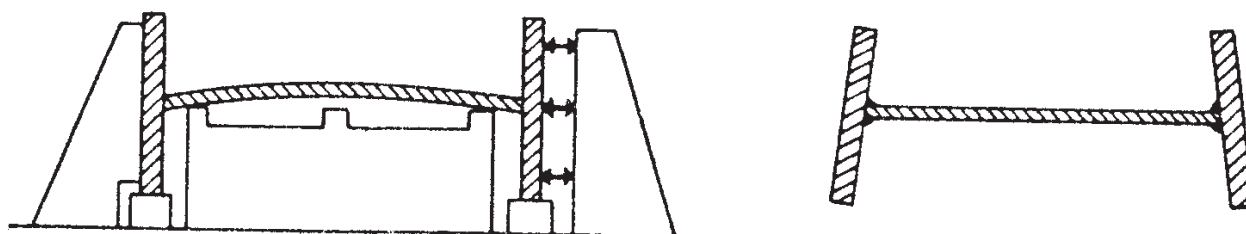
شکل ۹ - ۱۵ - مراحل مونتاژ و جوشکاری ورق جان و بال تیوروق.



شکل ۹ - ۱۶ - جوشکاری تیوروق در گیره و قالب.

در این روش بعد از خواباندن جان بر روی قالب، ورق‌های بال در موقعیت خودشان قرار گرفته و با وسایلی نظیر گوه^۶، پیچ^۷، جک^۸، و یا در بعضی شرایط هوای فشرده، به دو لبه جان محکم می‌شوند.

قالب به صورت اتوماتیک، بال را در موقعیت مشخص به صورت قائم نگه می‌دارد. اگر جان لاغر و یا عمیق (با ارتفاع زیاد) باشد، باید احتیاط کرد که فشار زیادی بر روی بال‌ها وارد نشود، چراکه می‌تواند باعث کمانه کردن جان به سمت بالا شود (شکل ۹ - ۱۷). از آنجایی که



شکل ۹ - ۱۷

6- wedges

7- screws

8- jacks

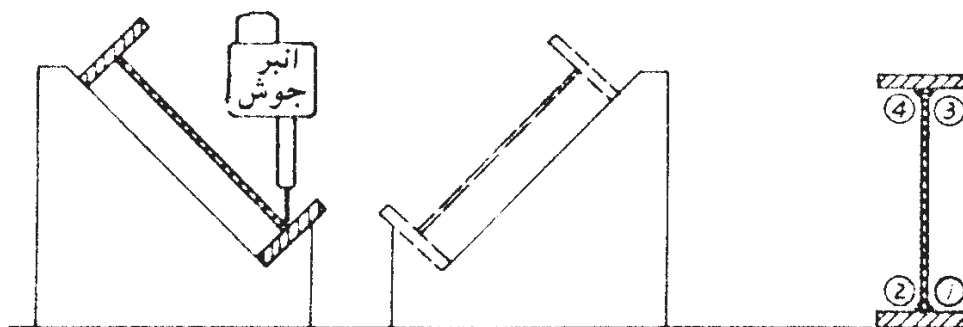
می تواند بدون تأثیر عمده ای در تغییر شکل متفاوت باشد.

در بیشتر حالات، توالی و ترتیب جوشکاری تابعی از نوع قالب به کار رفته و روش حرکت تیر از یک موقعیت جوشکاری به موقعیت دیگر در کارگاه می باشد.

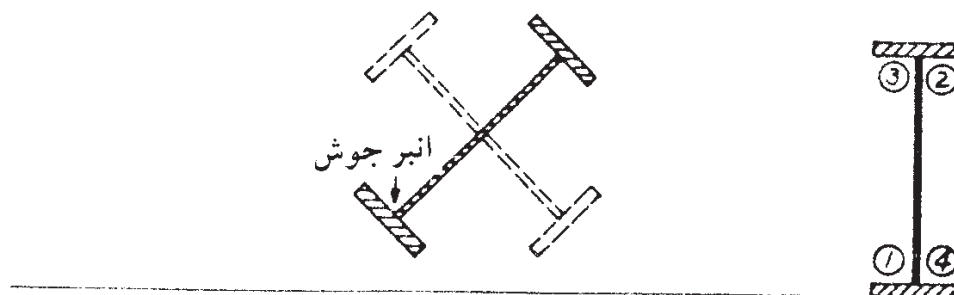
در شکل ۹ - ۲۰، دستگاه مونتاژ دارای دو پایه برای حفظ ورق های مونتاژ شده تحت زاویه دلخواه می باشد. وضعیت قرارگیری طوری است که جوش بال به جان در وضعیت تخت انجام می شود و از آنجایی که برگرداندن کامل تیر، بسیار مشکل است، لذا توالی و ترتیب جوش ها باید به گونه ای طراحی شود که زمان انجام آن تا حد امکان کاهش یابد.

در شکل ۹ - ۲۰، مجموع تیر مونتاژ شده، نخست بر روی پایه چپ قرار گرفته و جوش ① اجرا می شود. ساده ترین گام بعدی برداشتن تیر با جرثقیل قلاب شده به بال فوقانی و خواباندن آن بر روی پایه سمت راست می باشد. در این مرحله جوش ② بر روی همان بال اما در سمت دیگر جان انجام می شود. حالا تیر برداشته شده و بر روی زمین قرار گرفته و پس از سر و ته شدن، برای اجرای جوش ③ در موقعیت تخت، بر روی یکی از پایه ها قرار داده می شود. بالاخره تیر برداشته شده و برای آنکه جوش ④ انجام شود بر روی پایه دیگر خوابانده می شود.

در شکل ۹ - ۲۱ از یک قالب چرخان برای اجرای جوش بال به جان استفاده شده است. بعد از اینکه جوش ① کامل شد، تیر کاملاً سر و ته شده و جوش ② انجام می شود. حال باید سر



شکل ۹ - ۲۰



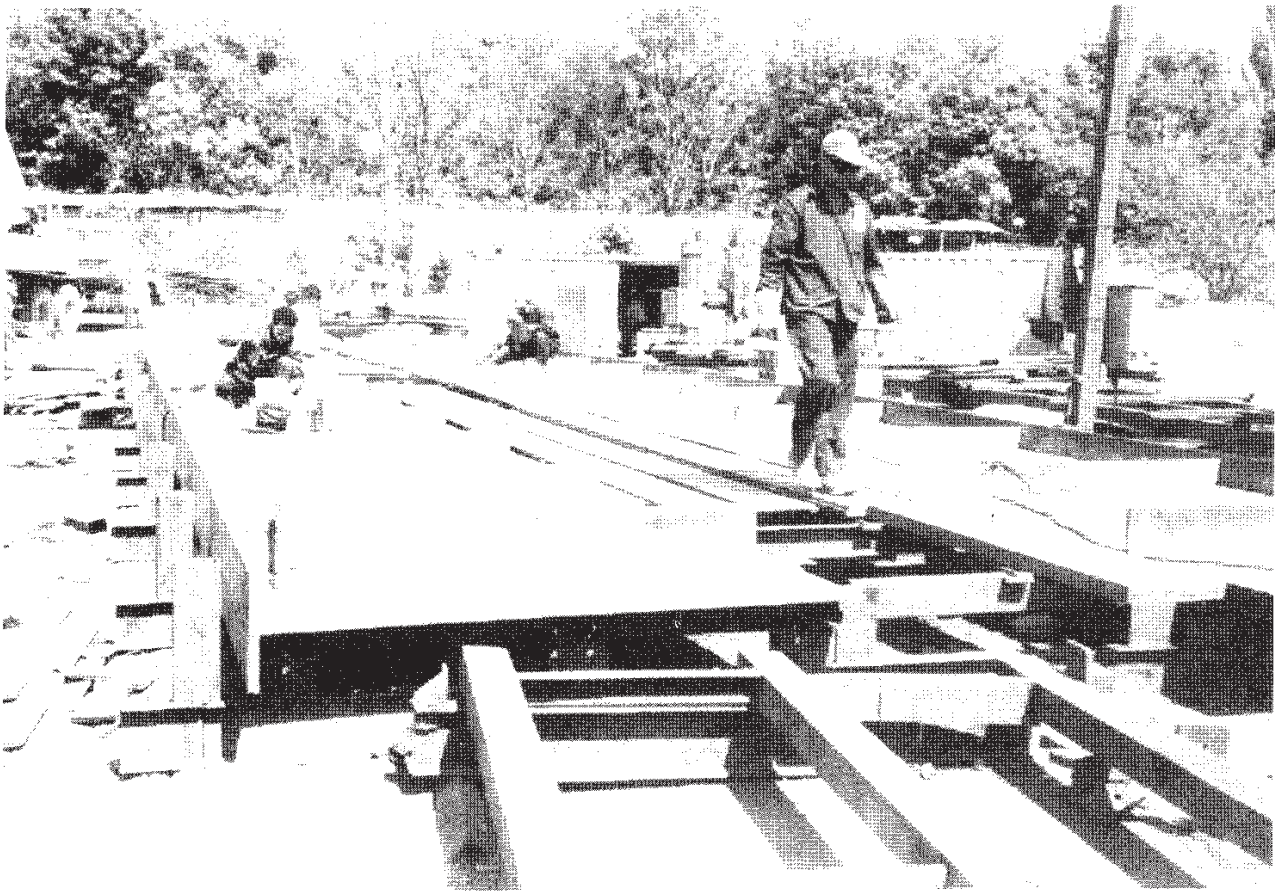
شکل ۹ - ۲۱

دستگاه جوش به عقب و به سمت دیگر جان تیر برگشته و جوش (۳) را اجرا کند، در نهایت دوباره تیر کاملاً سر و ته شده و جوش (۴) انجام می‌گردد. ترتیب‌های مختلف عبور جوش که در بالا بیان شد، بستگی کامل به قالب و روش به کار رفته و ترجیحاً مقدار تأثیر آن بر تغییر شکل دارد.

۹-۴-۴ تحذب بال و سخت‌کننده‌های عرضی^{۱۲}

معمولاً بعد از تکمیل نوارهای جوش بال به جان، سخت‌کننده‌های عرضی مونتاژ شده و به تیر جوش می‌شوند (شکل ۹-۲۲).

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



شکل ۹-۲۲

رابطه زیر، مقدار تحدب بال‌ها را به صورت تخمینی نشان می‌دهد (شکل ۹ - ۲۳).

$$\Delta = \frac{0.5wD}{t^2} \quad (۹ - ۱)$$

$$D = 0.38\omega^{1.3}$$

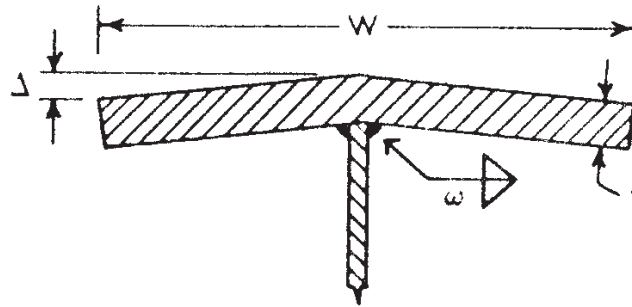
که در آن:

ω = اندازه ساق جوش برحسب میلی‌متر

w = عرض ورق به میلی‌متر

t = ضخامت بال به میلی‌متر

Δ = انحراف نوک بال از وضعیت اولیه به میلی‌متر



شکل ۹ - ۲۳

آیین‌نامه‌ها، به خصوص آیین‌نامه‌های طراحی پل، اجازه جوش سخت‌کننده به بال کششی را نمی‌دهند. از طرفی فاصله بین سخت‌کننده و بال کششی، می‌تواند نقطه‌ای برای شروع خوردگی در فولاد باشد. لذا باید به طریقی سخت‌کننده به بال کششی جفت شود. برای رسیدن به این هدف، روش زیر می‌تواند به کار گرفته شود:

۱ - لزومی ندارد که سخت‌کننده به صورت کاملاً جذب بریده شود و می‌تواند مقداری لقی در حد فاصل دو بال داشته باشد؛

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

۳ - سخت‌کننده را به جان تیر جوش دهید؛

۴ - در نهایت سخت‌کننده را به بال فشاری جوش دهید.

در صورت عدم نگرانی از خوردگی، لزومی به جفت کردن محکم سخت‌کننده‌ها به بال کششی نمی‌باشد. بلکه سخت‌کننده در حدود ۲/۵ سانتی‌متر، کوتاهتر بریده شده و با فشار به بال فشاری، به جان جوش داده می‌شود. در حالتی که فقط یک سخت‌کننده در یک طرف جان به کار می‌رود، لازم

است سخت‌کننده به بال فشاری هم جوش شود.

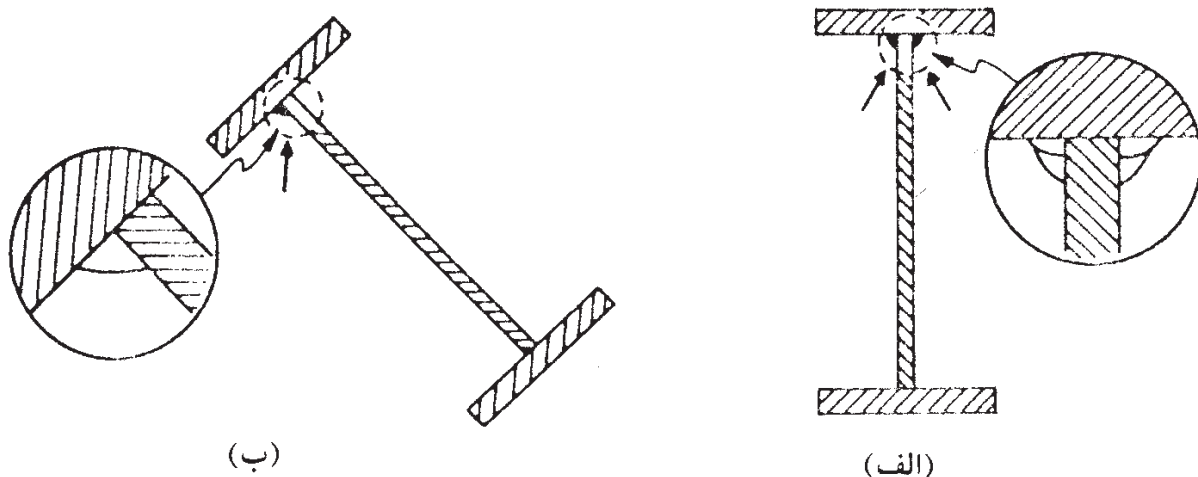
در صورت عدم استفاده از جوش اتوماتیک، سخت‌کننده‌های عرضی را قبل از جوشکاری بال به جان، در جای خود قرار می‌دهند. از آنجایی که بال‌های جوش نشده کاملاً مسطح هستند، (تغییر شکل نداده‌اند)، این عمل به راحتی انجام می‌شود. در این حالت جوش بال و جان در حد فاصل دو سخت‌کننده به روش دستی یا نیمه‌اتوماتیک انجام می‌شود. گوشه‌های سخت‌کننده‌ها جهت پیوستگی نوار جوش بال به جان، به صورت ۴۵ درجه بریده می‌شوند. تقریباً در اغلب موارد همه این جوش‌ها، در سطح یک چشمه^{۱۳} قبل از حرکت به چشمه بعدی کامل می‌شوند، سپس تیر برگردانده شده و جوش‌ها در سمت دیگر کامل می‌گردند.

۹-۴-۵ موقعیت جوشکاری

می‌توان تیرها را در موقعیتی که جان آنها زاویه‌ای بین ۳۰ تا ۴۵ درجه با افق می‌سازد، جهت اجرای جوش‌ها در یک موقعیت تخت، قرار داد. این موقعیت به خاطر آنکه جوشکاری ساده‌تر و کمی سریع‌تر انجام می‌شود، مطلوب می‌باشد. به علاوه این طرز قرارگیری امکان کنترل و بازرسی بهتر از شکل نوار جوش و انجام جوش‌های بزرگتر در یکبار عبور را در مواقع ضروری فراهم می‌کند. به عنوان مثال بزرگترین نوار جوش در یکبار عبور که در موقعیت افقی اجرا می‌شود، در حدود ۸ میلی‌متر است. حال آنکه در موقعیت تخت، این اندازه می‌تواند تا ۲۰ میلی‌متر افزایش یابد.

برای یک نوار جوش ۶ تا ۸ میلی‌متری، موقعیت اجرای جوش (به صورت افقی یا تخت)، اختلاف زیادی ایجاد نمی‌کند. اگر یک نوار جوش ۱۰ میلی‌متری 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 - ۲۴ - الف). حال اگر سازنده دارای دو انبر جوش باشد، این دو نوار جوش ممکن است به طور 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.

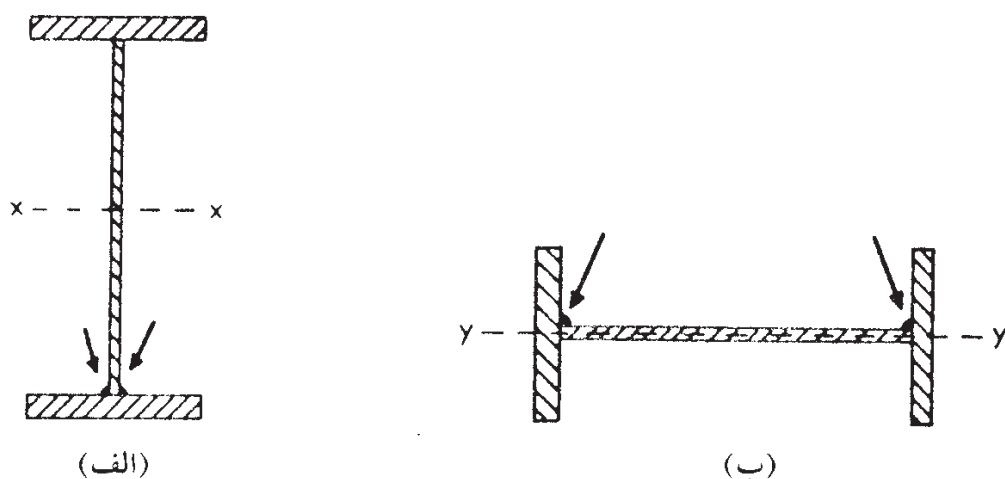
با کج کردن تیر در یک زاویه، می‌توان جوش با اندازه بزرگتر را فقط با یکبار عبور اجرا کرد. ولی در عین حال باید توجه کرد که فقط یک نوار جوش نیز در هر زمان می‌تواند صورت گیرد (شکل ۹ - ۲۴ - ب)، و لازم است که تیر برای اجرای هر کدام از جوش‌ها بچرخد که این، زمان جابه‌جا کردن را افزایش می‌دهد.



شکل ۹-۲۴

در یک کارگاه ساخت با دو انبر جوش اتوماتیک، 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 ۹-۲۵ نشان داده شده است، یکی را انتخاب کرد.

ممکن است مطرح شود که روش (الف) نسبت به حالت (ب) بهتر می‌باشد، چراکه تیر نسبت به محور $x-x$ دارای صلبیت بیشتری است و بنابراین، در نتیجه اجرای دو جوش اول بر روی بال تحتانی، تمایل کمتری به انحنای طولی وجود دارد.



شکل ۹-۲۵

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 یک نوار جوش با اندازه کافی جهت القای حرارت جوشکاری کافی برای ورق بال مطرح می‌شود. در این صورت روش (الف) به خاطر تهیه دوبرابر 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.

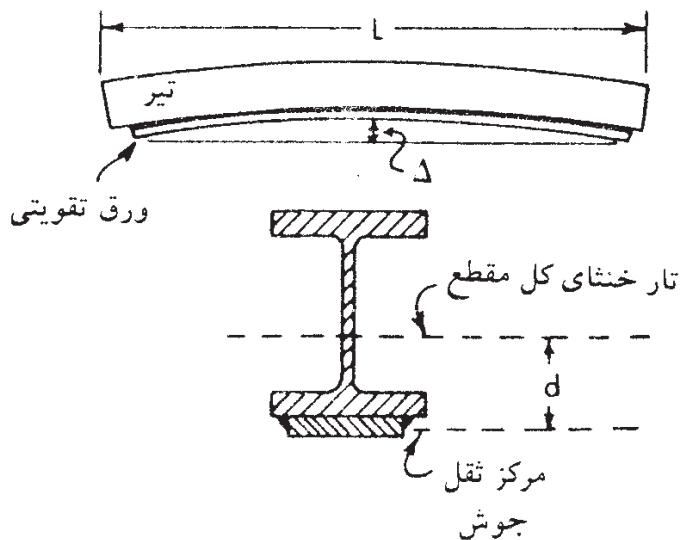
۹-۴-۶ ورق‌های تقویتی بال تیر

بسیاری از اوقات، جهت افزایش ظرفیت خمشی تیرهای نوردشده، ورق‌های تقویتی به بال‌های آنها اضافه می‌شود. معمولاً دو ورق تقویتی به گونه‌ای 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، به صورت 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 به کار رود، انقباض نامتعادل باعث می‌شود که تیر به صورت خمیده یا منحنی درآید.

انحنای ناشی از جوش نامتعادل را می‌توان با استفاده از رابطه ذیل تخمین زد (شکل ۹-۲۶).

$$\Delta = \frac{0.005 AdL^2}{I} \quad (۹-۲)$$



شکل ۹-۲۶

که در آن:

$$A = \text{سطح کلی مقطع عرضی جوش (cm}^2\text{)}$$

$$d = \text{فاصله از مرکز ثقل جوش تا محور خنثای مقطع (cm)}$$

$$L = \text{طول تیر (cm)}$$

$$I = \text{ممان اینرسی مقطع (cm}^4\text{)}$$

انحنای فوق می تواند از خیز اولیه مورد نیاز بزرگتر و یا کوچکتر باشد.

اگر انحنای ناشی از جوشکاری، بیش از حد معمول گردد، تیر باید طوری تکیه داده شود که افتادگی ناشی از وزن در خلاف جهت انحنای جوش باشد و چنانچه انحنای ناشی از جوشکاری کافی نباشد، باید تیر طوری تکیه داده شود که افتادگی آن به علت وزن، هم جهت 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 می دهد.

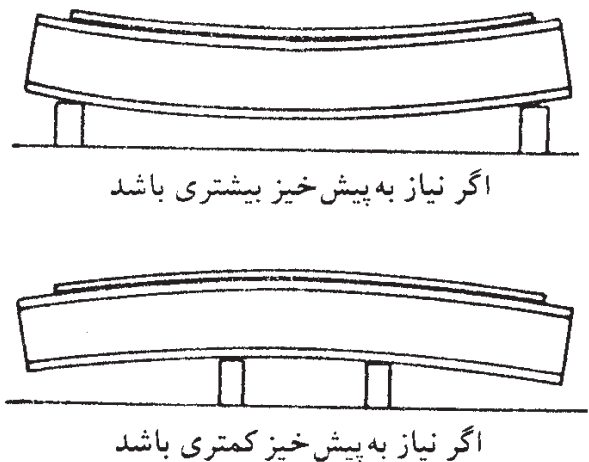
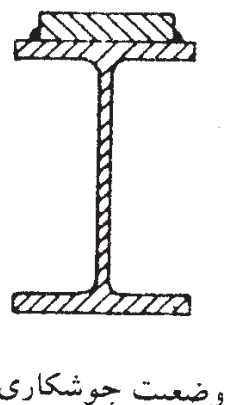
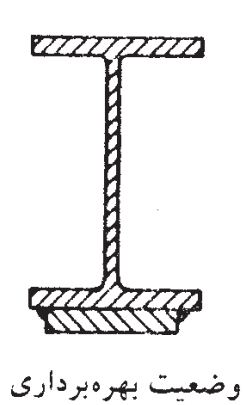
اگر عرض ورق تقویتی کوچکتر از عرض بال تیر باشد، باید به طور معکوس به بال جوش گردد (شکل ۹ - ۲۷ - الف). اتکای این تیر در نزدیکی نقاط انتهایی آن، خمیدگی نهایی را افزایش و حال آنکه اتکای تیر در نزدیکی نقطه میانی این کمیت را کاهش می دهد. اما در صورتی که عرض ورق تقویتی بیشتر از بال تحتانی باشد باید در موقعیت مستقیم جوش شود که تکنیک قرارگیری تکیه گاهها مطابق با شکل ۹ - ۲۷ - ب باشد.

چنانچه ورق تقویتی از بال تیر عریضتر باشد، جوش اتصال به بال باید در انتها قطع شده و به صورت قلاب در نیاید (شکل ۹ - ۲۸).

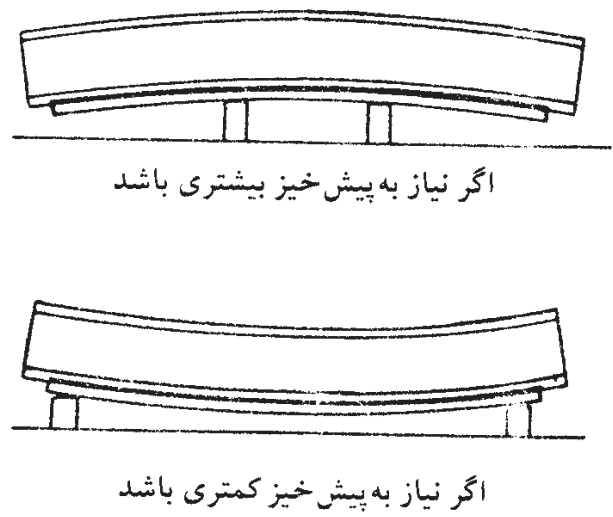
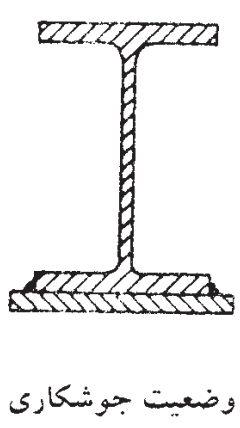
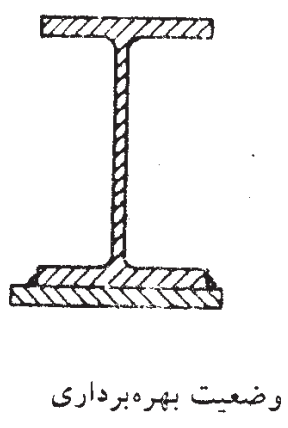
در اشکال ۹ - ۲۹ الی ۹ - ۳۳ تصاویری از عملیات مونتاژ و ساخت اعضا ارائه شده است.

۹-۴-۷ وصله کارخانه‌ای

وصله‌های کارخانه‌ای در ورق‌های بال و جان، باید قبل از مونتاژ قطعات بال و جان به یکدیگر صورت گیرند. محل درز بال و جان بهتر است در یک صفحه واقع نشوند. محدودیت‌های موجود در طول ورق، حمل و نقل، تبدیل ورق نازکتر به ضخیمتر، تبدیل عرض و موارد مشابه، از جمله نقاط درز اجباری می باشند. در شکل ۹ - ۳۴ انواع مختلف جوش درز با هزینه مربوطه نشان داده شده است. در کارخانه، ورق‌های بال به منظور انجام جوش پشت درز، برگردانده میشوند، بنابراین در ورق‌های ضخیمتر، می توان از درزهای X استفاده نمود. این گونه درزها، کمترین مقدار فلز جوش را مصرف می کنند و از آنجایی که جوش دارای تعادل است، لذا در این حالت هیچ گونه تغییر شکل

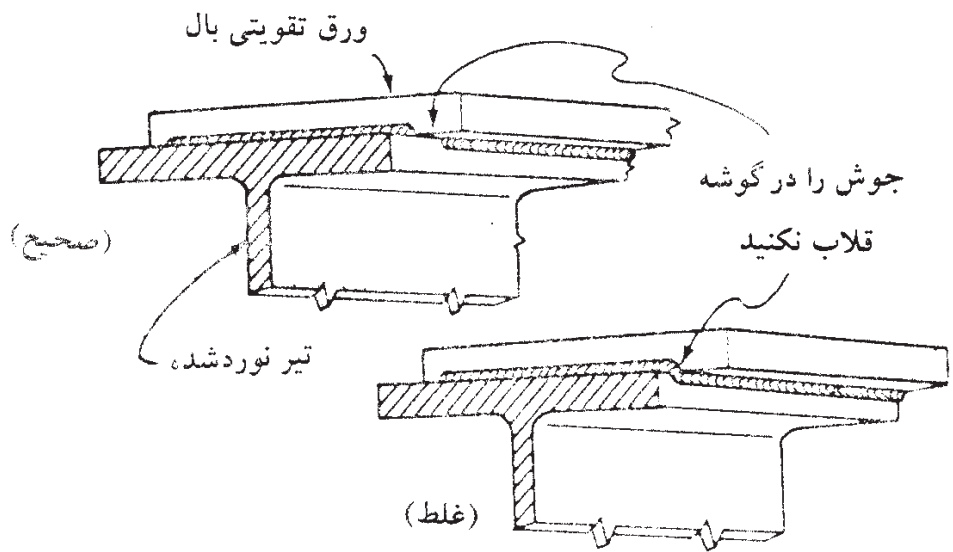


(الف) وقتی که عرض ورق تقویتی کوچکتر از عرض بال است

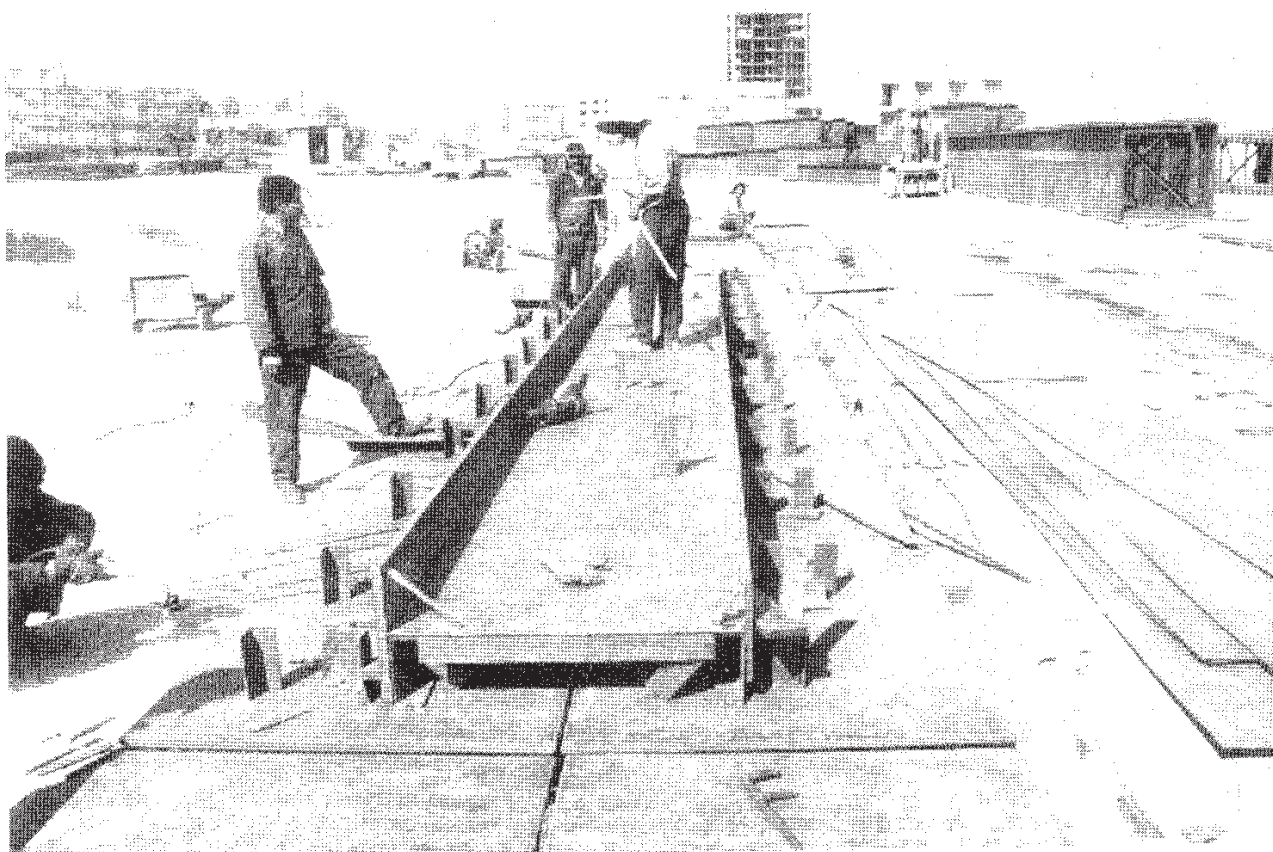


(ب) وقتی که عرض ورق تقویتی بزرگتر از عرض بال است

شکل ۹-۲۷

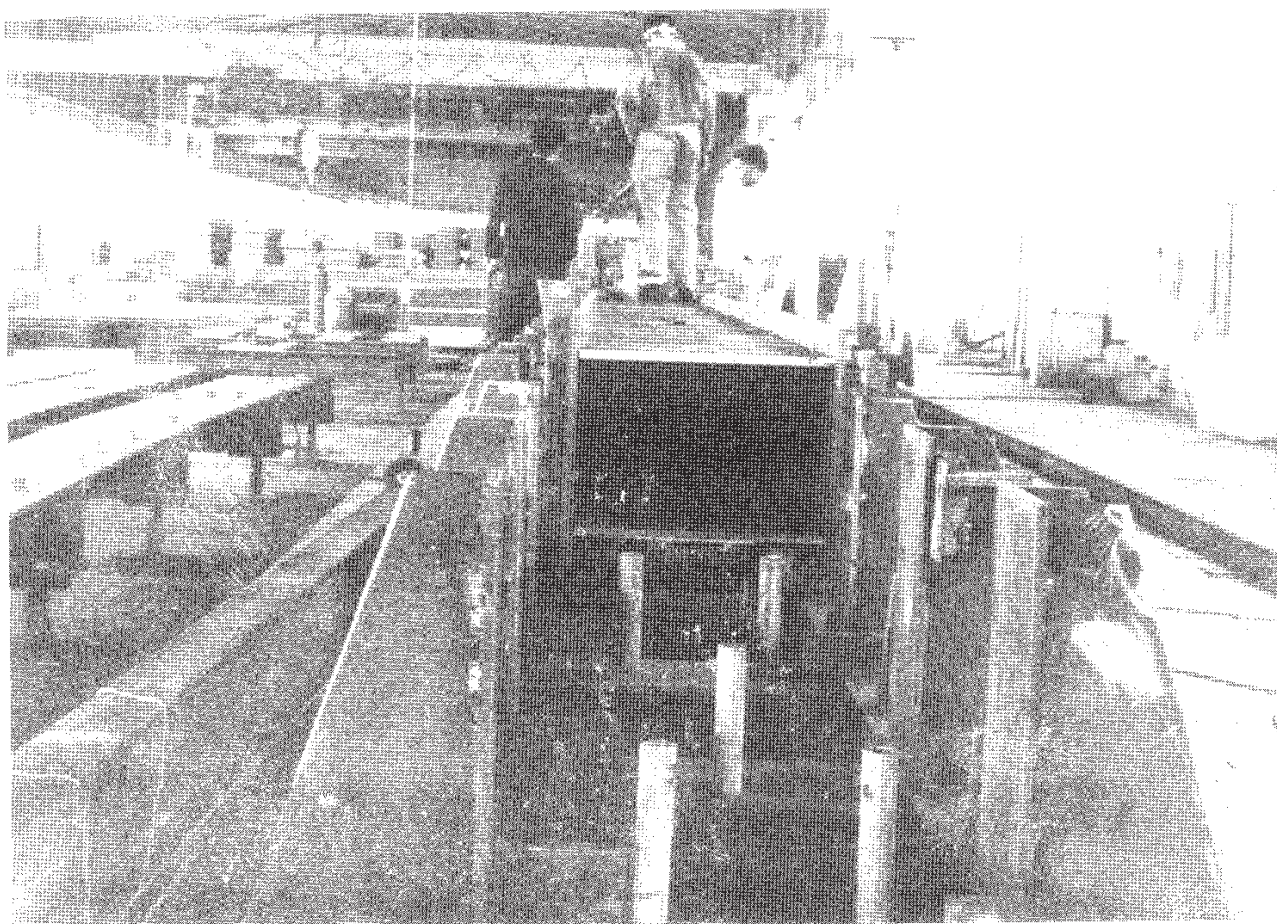


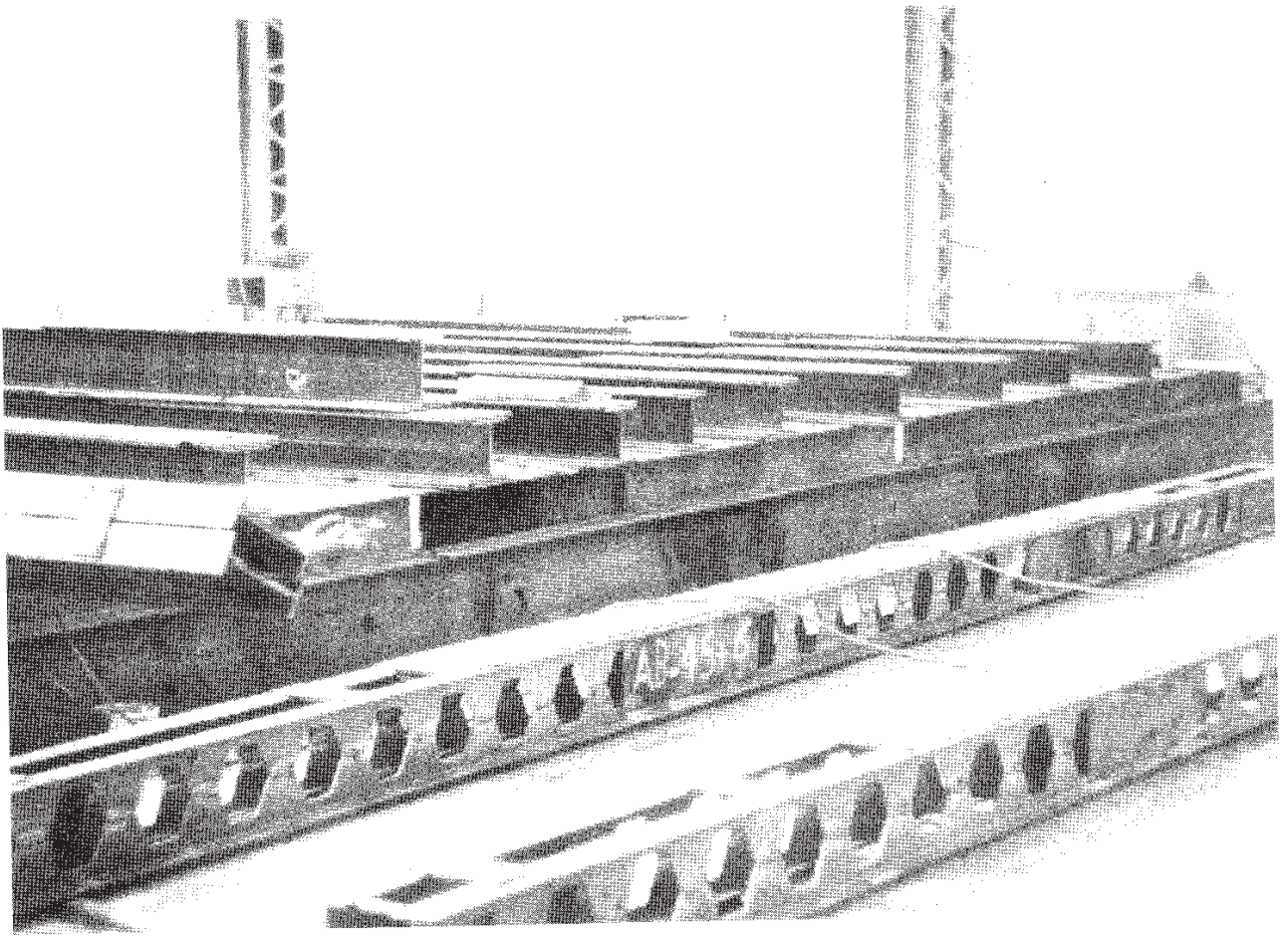
شکل ۹-۲۸



شکل ۹ - ۲۹ - مونتاژ بال و جان در تیرورق‌های آ.

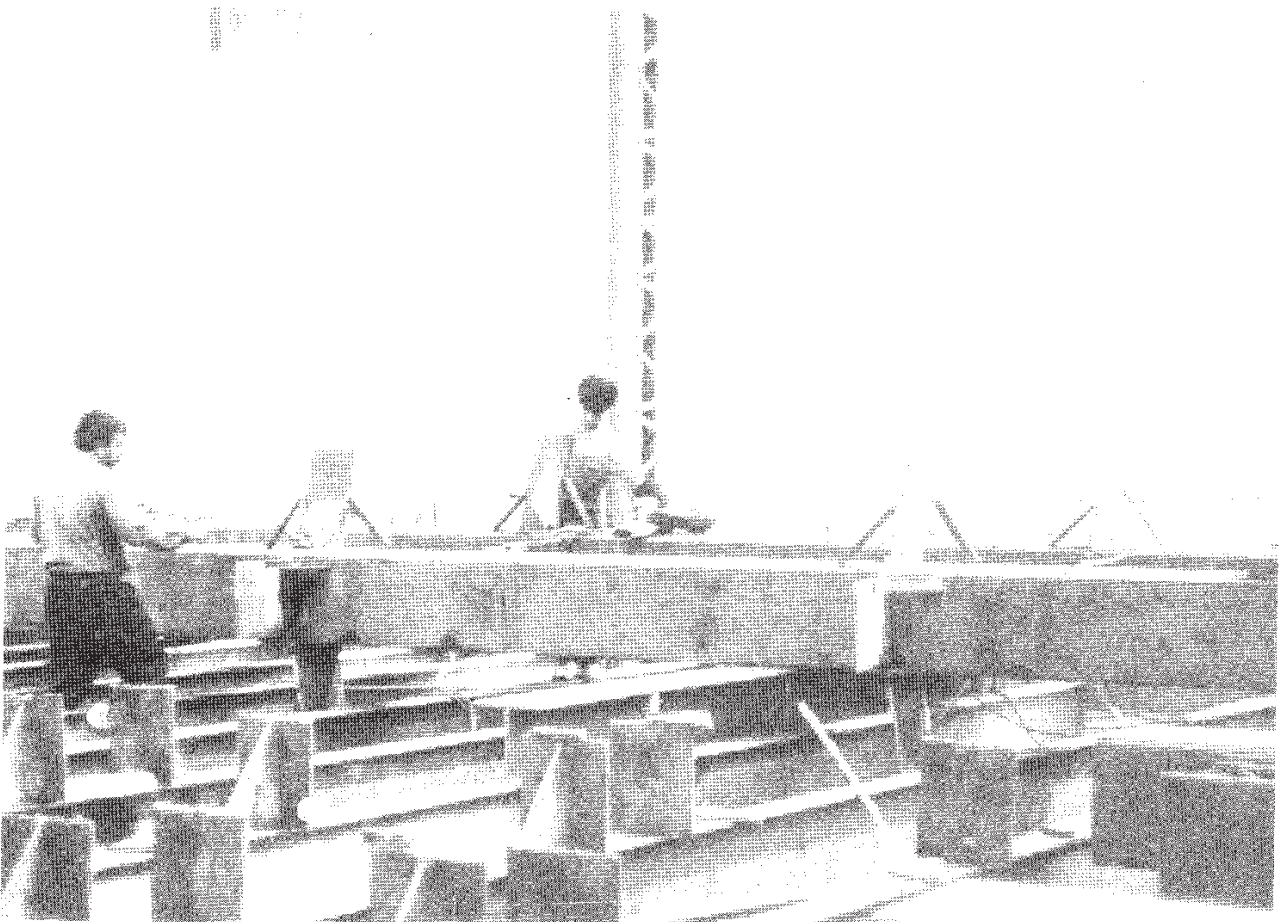
شکل ۹ - ۳۰ - مونتاژ بال و جان ستون جعبه‌ای.

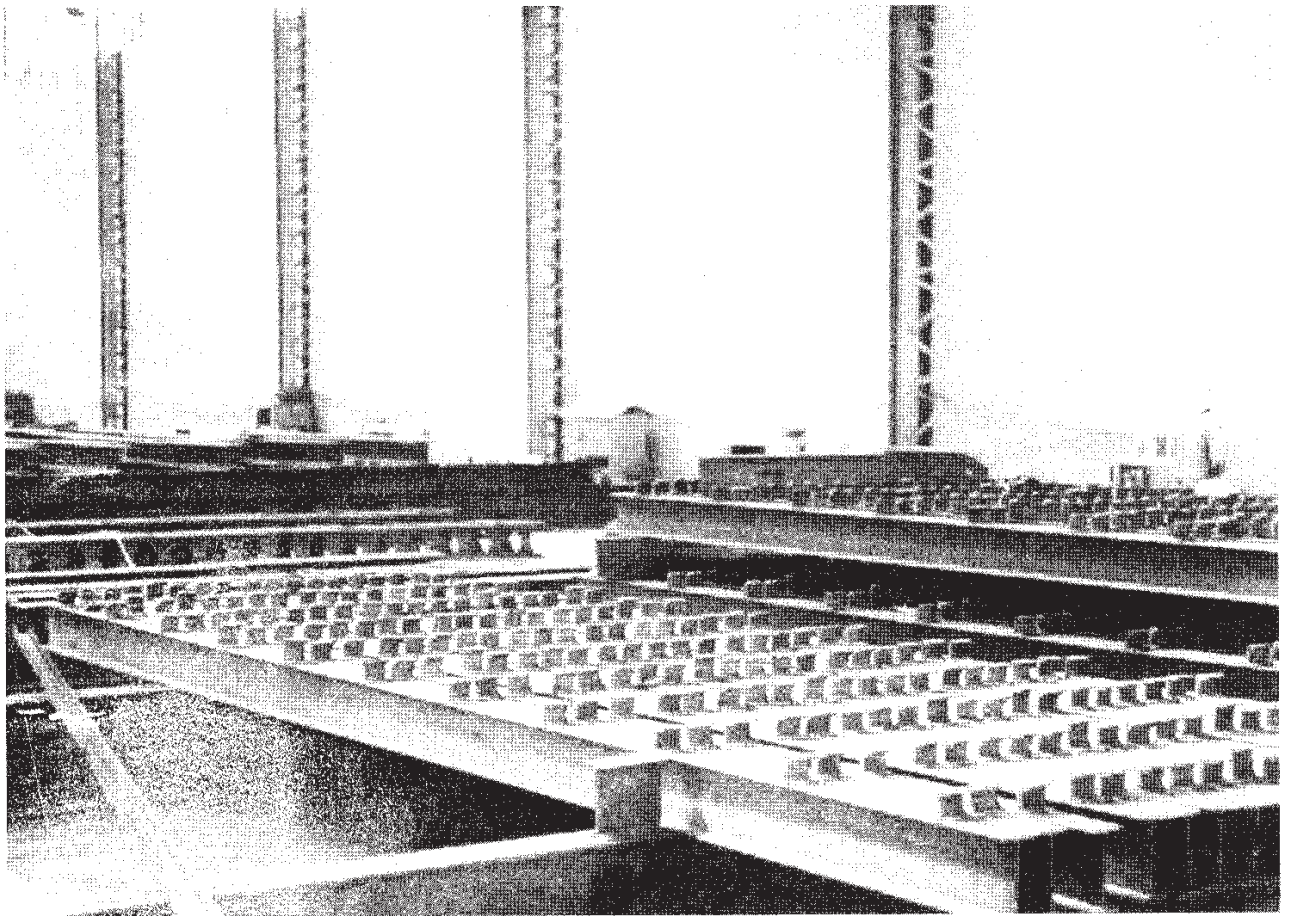




شکل ۹ - ۳۱ - تولید تیرهای لانه زنبوری.

شکل ۹ - ۳۲ - اتصال ورق‌های اتصال به ستون ساخته شده از ورق.





شکل ۹-۳۳ - اتصال برشگیر به بال تیر.

زاویه‌ای به وجود نخواهد آمد. در ورق‌های عریضتر، حدود ۶۰ الی ۹۰ سانتی‌متر، اغلب وسایل جوش قوس الکتریکی زیرپودری تمام اتوماتیک یا نیمه اتوماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۹-۴-۸ وصله کاری کارگاهی^{۱۴}

وصله‌های کارگاهی معمولاً در یک صفحه تنها واقع می‌شوند. پس و پیش کردن جوش‌های لب‌به‌لب بال‌ها و جان‌ها، کیفیت اجرای تیر را افزایش نمی‌دهد. آماده کردن درزها به وسیله برش و یخ زدن آنها زمانی که همه آنها در یک صفحه قرار دارند، بسیار ساده‌تر می‌باشد (شکل ۹-۳۵). ممتد بودن جوش گوشه اتصال دهنده بال به جان، یک مزیت است، در این حالت وقتی که بال‌ها به‌طور موقت برای مونتاژ سازه به یکدیگر تکیه داده می‌شود، تکیه‌گاه بهتری فراهم می‌گردد. متداولترین روش به کار رفته در وصله کاری کارگاهی تیرها، جوش یک‌درمیان بال و جان به صورت زیر است (شکل ۹-۳۶).

<p>دستی - تخت</p> <p>36.40/ft.</p>	<p>دستی - تخت</p> <p>27.80/ft.</p>	<p>دستی - تخت</p> <p>21.20/ft.</p>
<p>دستی - تخت</p> <p>18.10/ft.</p>	<p>دستی - تخت</p> <p>42.60/ft.</p>	<p>دستی - تخت</p> <p>19.40/ft.</p>
<p>دستی - تخت</p> <p>30.25/ft.</p>	<p>اتوماتیک - تخت</p> <p>13.25/ft.</p>	<p>اتوماتیک - تخت دستی - تخت</p> <p>13.42/ft.</p>

شکل ۹ - ۳۴ - هزینه نسبی جوش های لب به لب بال.

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

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

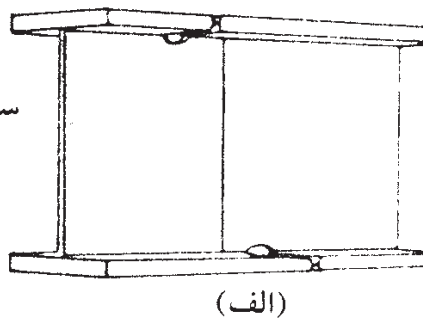
۳ - جوشکاری بال ها کامل می شود.

۴ - در نهایت جوشکاری جان نیز تکمیل می گردد.

در مورد جان های مرتفع، گاهی اوقات جوش های قائم به دو یا سه قسمت تقسیم شده و روش گام به عقب مورد استفاده قرار می گیرد (شکل ۹ - ۳۷). این عمل انقباض یکنواخت تری را در درز نتیجه خواهد داد.

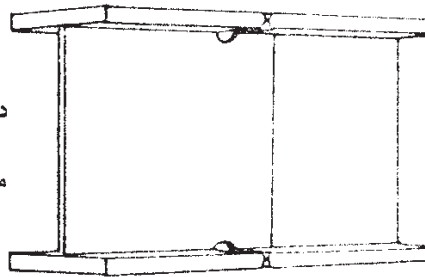
بیشترین درزهای لب به لب به کار رفته در وصله های کارگاهی از نوع جناغی یک طرفه (V) می باشند. در مورد جان های ضخیمتر، حدود ۱۲ میلی متر، به منظور کاهش مقدار جوشکاری مورد نیاز و تعادل جوش در هر دو طرف و حذف تغییر شکل زاویه ای، از درز جناغی دو طرفه استفاده می شود.

سه درز در سه مقطع مختلف قرار دارند



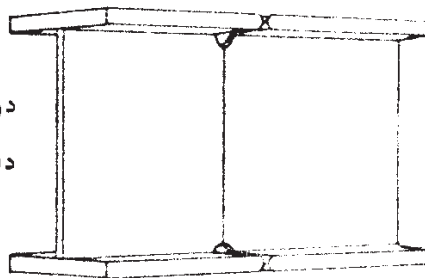
(الف)

درزهای بال‌ها در یک مقطع درزجان در
مقطع دیگری قرار دارد



(ب)

درزهای بال و جان در یک مقطع قرار
دارند

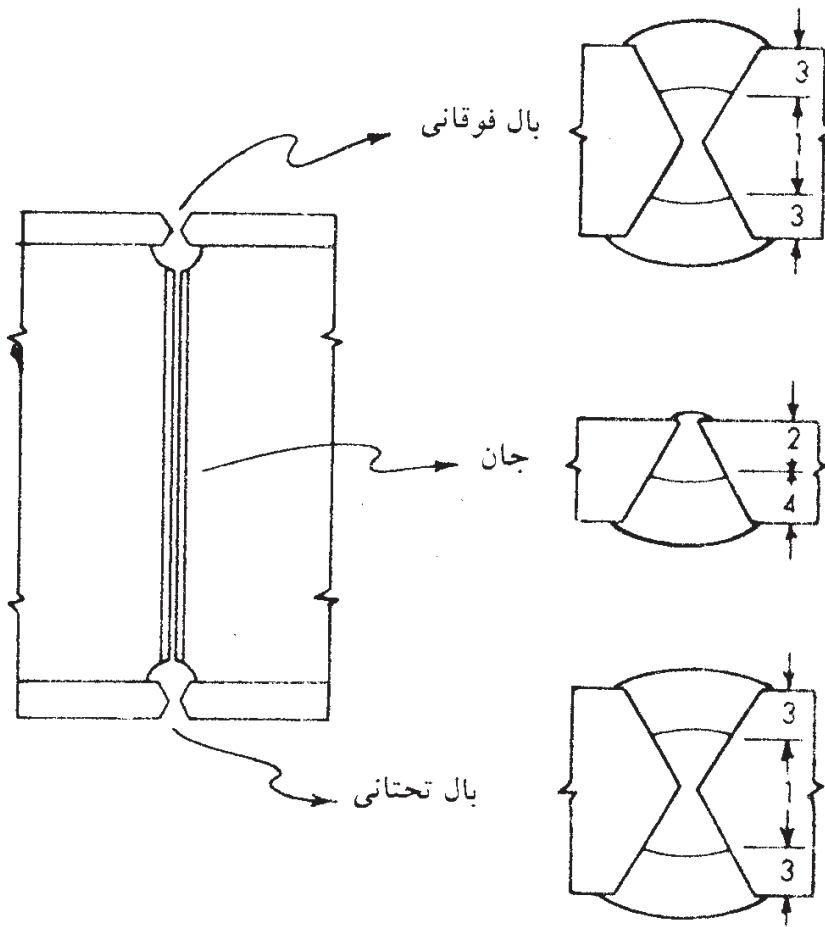


(پ)

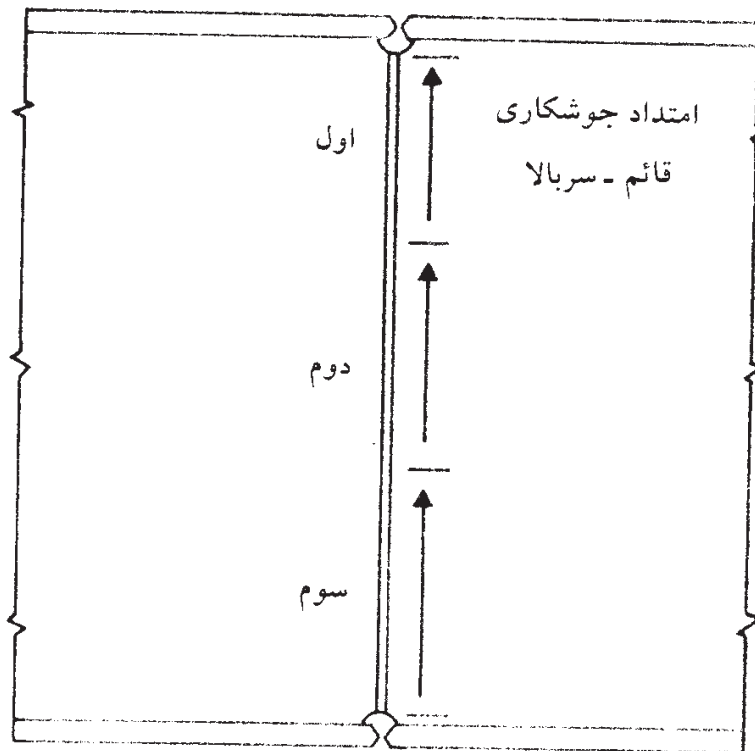
شکل ۹ - ۳۵ - سه روش آماده‌سازی لبه‌های تیرها برای جوشکاری کارگاهی. قرار دادن سه جوش در سه صفحه متفاوت، جفت شدن ورق‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. قرارگیری هر سه جوش لب به لب در یک صفحه ساده‌تر است. واقع شدن درز بال در یک صفحه و پس و پیش کردن درز جان سهولت خوبی در مونتاژ وصله ایجاد می‌نماید.

بیشتر درزهای لب به لب کارگاهی 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.

باید در نظر داشت که یک 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 تغییر شکل‌ها بهتر خواهد بود، اما در اجرای این نوع درز، مقداری از عملیات جوشکاری در وضعیت سقفی خواهد بود. به همین دلیل AWS در



شکل ۹ - ۳۶ - جوش یکدرمیان بال و جان.



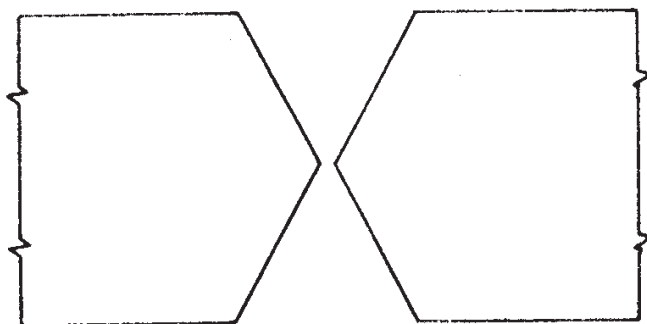
شکل ۹ - ۳۷ - برای جان‌های عمیق، توالی گام عقب به کار می‌رود.

درزهای استاندارد خود، درز X نامتقارن را نیز پیشنهاد می‌نماید (شکل ۹ - ۳۸). این حالت تا حدی مصرف فلز جوش را کاهش داده و از حجم عملیات جوشکاری سقفی نیز کم می‌کند.

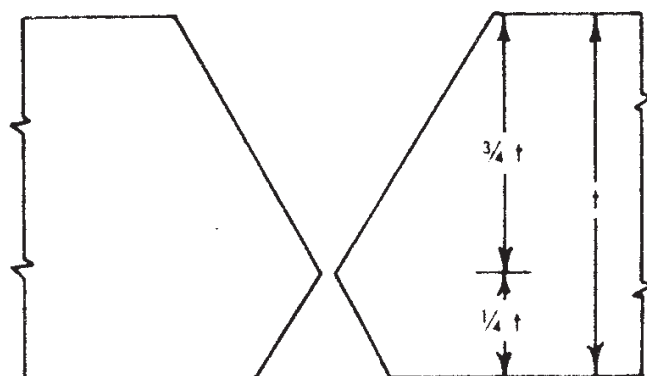
در درزهای X ، گاهی ابتدا عبور اول جوش تحتانی در وضعیت سقفی انجام می‌شود. ریشه این جوش در وضعیت تخت، سنگ‌خورده و اجرای عبور بعدی در موقعیت تخت انجام می‌شود. این روش عملیات سنگ‌زنی از پشت را در وضعیت سقفی، حذف می‌نماید.



(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. جز آنکه ورق برگردانده شود، جوشکاری در موقعیت سقفی، لازم خواهد بود.

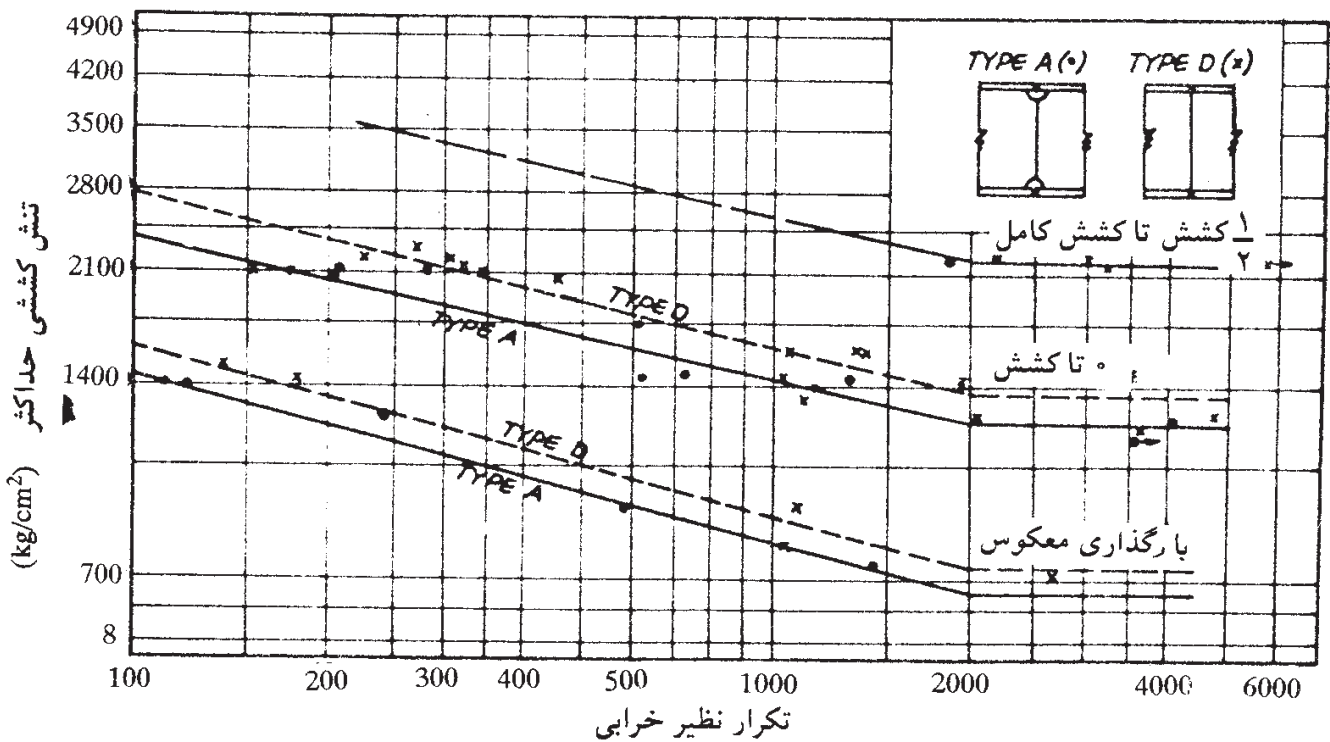


(پ) زمانی که ورق‌ها نمی‌توانند برگردانده شوند، مقدار جوش سقفی می‌تواند با ادامه دادن بخش بالایی درز X تا حداکثر $\frac{3}{4}t$ ضخامت ورق، کاهش یابد (جناغی دوطرفه نامتقارن)

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

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

آزمایشات انجام شده بر روی تیرهایی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در دانشگاه ایلی‌نویز*، نشان می‌دهد که در حالت سوراخ در جان، مقاومت خستگی در حدود ۸۴ درصد در ۱۰۰۰۰۰۰ سیکل بارگذاری، و حدود ۹۰ درصد در ۲۰۰۰۰۰۰۰ سیکل بارگذاری نسبت به حالت بدون سوراخ می‌باشد (شکل ۹-۳۹).



شکل ۹-۳۹ - آزمایش خستگی در 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 بر عیشان می‌چربد. با افزایش ارتفاع تیروزق، 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 به صورت نورد گرم تولید شده است، لایه‌ای از اکسید تشکیل می‌شود که چسبندگی دائمی با آن ندارد و به مرور زمان طبله کرده و جدا می‌شود. به این لایه فلس^{۱۶} گویند. علاوه بر آن، به مرور زمان سطح فولاد زنگ می‌زند و لایه‌ای از زنگ روی آن تشکیل می‌شود که آن نیز چسبندگی دائمی نداشته و به مرور 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، 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 می‌ماند.

۳- برای قطعاتی که به صورت نما و در معرض مستقیم هوا و حملات خوردگی قرار می‌گیرند، تمیزکاری به وسیله ماسه‌پاشی (سند بلاست^{۱۷}) انجام می‌شود. در این روش سطح قطعه فولادی از هرگونه مواد اضافی پاک می‌شود و کاملاً به صورت نقره‌ای درمی‌آید. ماسه‌پاشی عبارت است از پاشیدن دانه‌های ریز کوارتز به کمک هوای فشرده (شکل ۹ - ۴۰). این کار با گرد و غبار زیادی همراه است. در صورت مضر بودن گرد و غبار، استفاده از مس‌باره مفید خواهد بود. مس‌باره لایه بالازده در کوره‌های مس‌گذاری است که آسیا شده و به صورت دانه‌های ریز درمی‌آیند.

بعد از عملیات تمیزکاری، نوبت به رنگ‌آمیزی می‌رسد. سیستم‌های رنگ در حالت کلی به رنگ‌های آلی^{۱۸} و غیرآلی^{۱۹} طبقه‌بندی می‌شوند. این نامگذاری به واسطه آلی و یا غیرآلی بودن مواد چسباننده^{۲۰} است.

مواد تشکیل‌دهنده رنگ عبارتند از: رنگدانه^{۲۱}، رنگ مایه و حلال^{۲۲}.

16- mill scale

17- sand blast

18- organic

19- inorganic

20- binder or vehicle

21- pigment

22- solvent



شکل ۹ - ۴۰ - عملیات ماسه پاشی.

رنگدانه‌ها مواد جامد رنگ هستند و رنگ، قوام و پایایی رنگ از آن است. رنگ‌مایه شامل روغن‌ها، رزین‌ها، ترکیبات غیر آلی و سایر مواد مشابه هستند که همانند مواد سیمانی فضای بین رنگ دانه‌ها را پر کرده و لایه رنگ را به وجود می‌آورند. سیالیت رنگ ناشی از رنگ‌مایه است.

حلال‌ها یا تینرها، 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 رنگ‌مایه است.

رنگ را می‌توان به بتن تشبیه نمود که رنگدانه‌های آن نقش سنگدانه‌ها را بازی می‌کنند، رنگ‌مایه 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 رنگ‌مایه و رنگدانه‌هاست. اما گیرش رنگ‌های اپوکسی به واسطه تشکیل بلور در رنگ‌مایه می‌باشد و در نتیجه این نوع رنگ‌ها بسیار سخت هستند و به خوبی به فلز پایه می‌چسبند.

طبق تجارب نگارنده در کارهای معمولی در مناطق معتدل که خوردگی ناشی از شرایط جوی خیلی شدید نیست، کاربرد سه لایه رنگ به ترتیب یک لایه سرنج، یک لایه آستر روغنی و یک لایه رویه روغنی با ضخامت هر لایه در حدود ۲۵ میکرون و ضخامت کل ۷۵ میکرون، برای حفاظت اسکلت فولادی کافی است. در شرایط محیطی سخت استفاده از رنگ‌های اپوکسی قابل توصیه هستند. در جدول ۹-۱ توصیه‌های آیین‌نامه آشتو برای رنگ‌آمیزی شاهتیرهای پل‌ها ارائه شده است.

جدول ۹-۱ - توصیه‌های آیین‌نامه آشتو برای رنگ‌آمیزی اجزای پل‌های فولادی

شرایط محیطی			لایه
شرایط معتدل	شرایط سخت	شرایط محیطی بسیار سخت و ساحلی	
سرنج یا ضدزنگ روغنی (۵۰ میکرون)*	زینک آلی (۷۵ میکرون)	زینک غیرآلی (۷۵ میکرون)	پرایمر
روغنی یا آلکیدی (۵۰ میکرون)*	اپوکسی (۵۰ میکرون) پرایمر وینیل‌واش (۸ تا ۱۲ میکرون)	اپوکسی (۵۰ میکرون) پرایمر وینیل‌واش (۸ تا ۱۲ میکرون)	آستر
روغنی یا آلکیدی (۵۰ میکرون)*	اپوکسی، وینیل، یا اورتان (۵۰ میکرون)	اپوکسی، وینیل یا اورتان (۵۰ میکرون)	رویه
۱۵۰ میکرون	۱۳۰ تا ۱۷۵ میکرون	۱۳۰ تا ۱۷۵ میکرون	ضخامت کل

* این اعداد طبق آیین‌نامه آشتو می‌باشند. طبق نظر نگارنده یک لایه رنگ روغنی در ایران بیشتر از ضخامت ۳۰ میکرون قوام نداشته و شره می‌کند.

۶-۹ 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 تولید شده 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:

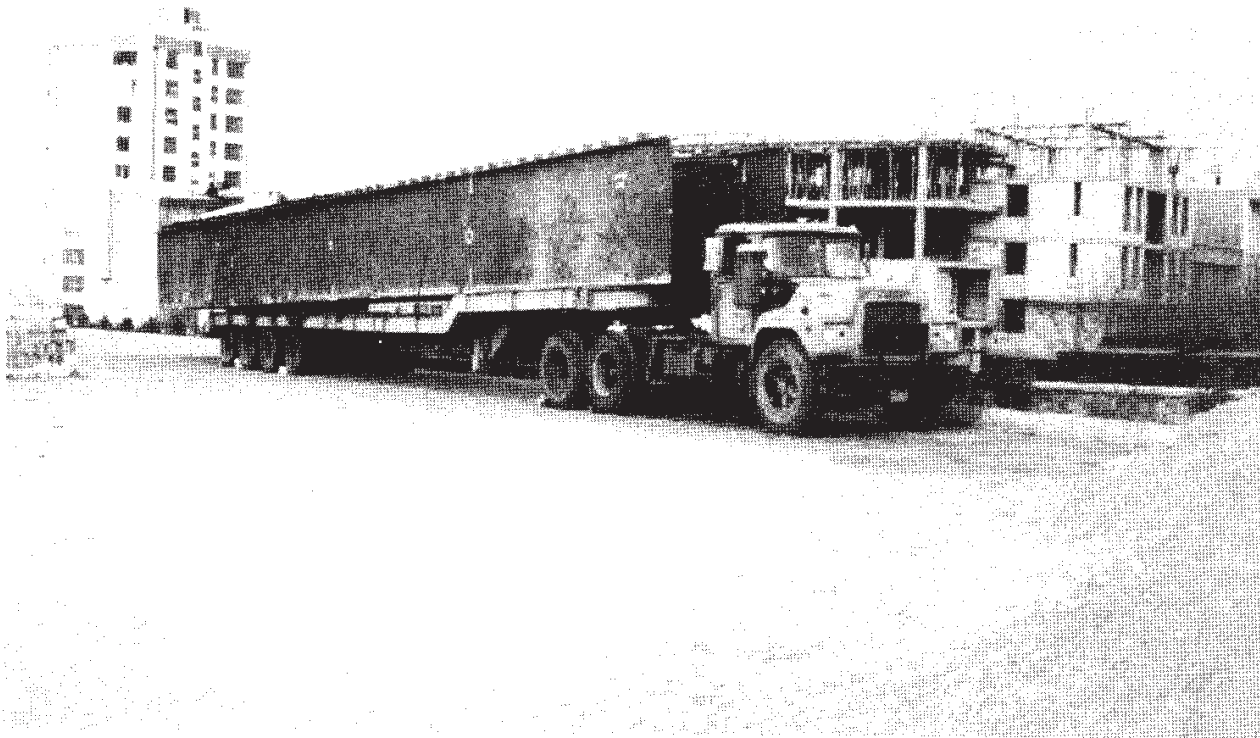
الف: داشتن عرض بیشتر از عرض تریلی (حدود ۲/۸۰ متر)

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 گران قیمت می باشند و باید تا حد امکان از آن اجتناب نمود. در شکل ۹-۴۱ حمل یک قطعه سنگین توسط تریلی نشان داده شده است.



شکل ۹-۴۱ - حمل یک قطعه سنگین.

۹-۷ عملیات پیش مونتاژ و مونتاژ در پای کار

همان طور که در قسمت حمل عنوان شد، در اکثر موارد امکان ساخت عضو با طول کامل در کارخانه وجود ندارد و لازم است عضو در قطعات کوتاهتر ساخته شده و به کارگاه حمل گردد. بنابراین قبل از نصب لازم است قطعات در پای کار به صورت یک سره درآمده و سپس نصب شوند. به این عملیات مونتاژ و یا پیش مونتاژ گفته می شود. برای انجام کار ابتدا در پای کار شاسی های مخصوص عملیات پیش مونتاژ آماده می گردد. سپس قطعات در مجاورت یکدیگر قرار گرفته و پس از ریسمان کشی و هم محور کردن آنها، قطعات به یکدیگر جوش و یا پیچ می شوند. گاهی مواقع امکان نصب یک مرتبه عضو کامل وجود ندارد. لذا در چنین موارد مجدداً بعضی از وصله های عضو باز می شوند و عملیات نصب به صورت قطعه قطعه انجام می شوند. در این حالت از آنجا که قبلاً قطعات در پای کار

به یکدیگر به صورت آزمایشی متصل شده‌اند، اتصال مجدد آنها در جبهه کار بسیار ساده خواهد بود. در صورتی که اتصال قطعات به یکدیگر دائمی باشد، عملیات را مونتاژ و در صورتی که به صورت آزمایشی و موقت باشد، پیش مونتاژ نامند. بسیاری از پیمانکاران ترجیح می‌دهند انجام بعضی سوراخکاری‌ها را در مرحله مونتاژ و یا پیش مونتاژ 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 پیش مونتاژ، 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.

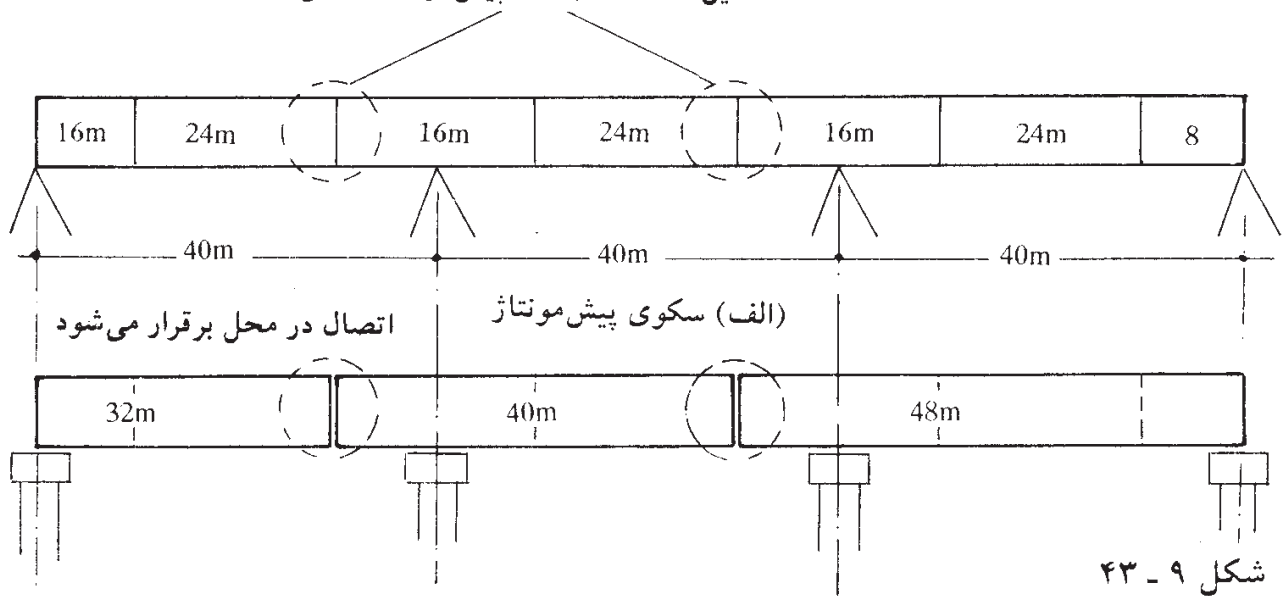
این سوراخ‌ها در هنگام پیش مونتاژ انجام می‌شود



شکل ۹ - ۴۲ - روش سوراخ کردن ورق‌های اتصال.

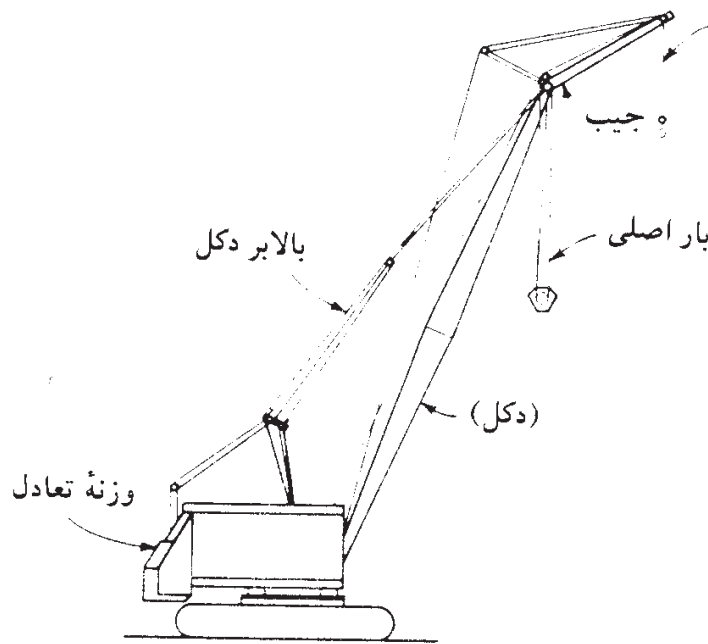
به عنوان مثال نمونه، در عملیات نصب شاهتیرهای یکسره پلی به طول کل ۱۲۰ متر در سه دهانه ۴۰ متری، شاهتیر در طول‌های ۸، ۱۶ و ۲۴ متری به کارگاه حمل گردید. در کارگاه کل ۱۲۰ متر در پای کار به یکدیگر مونتاژ گردید. سپس بعضی اتصالات مجدداً باز شدند، و عملیات نصب در طول‌های ۴۸، ۴۰ و ۳۲ متر انجام شد (شکل ۹ - ۴۳).

این اتصالات بعد از پیش مونتاژ باز می‌شوند



شکل ۹ - ۴۳

(ب) تیر در روی پایه‌ها



شکل ۹-۴۴ - جرثقیل نصب.

۸-۹ عملیات واداشتن، نصب، خال جوش، و اتصالات موقت

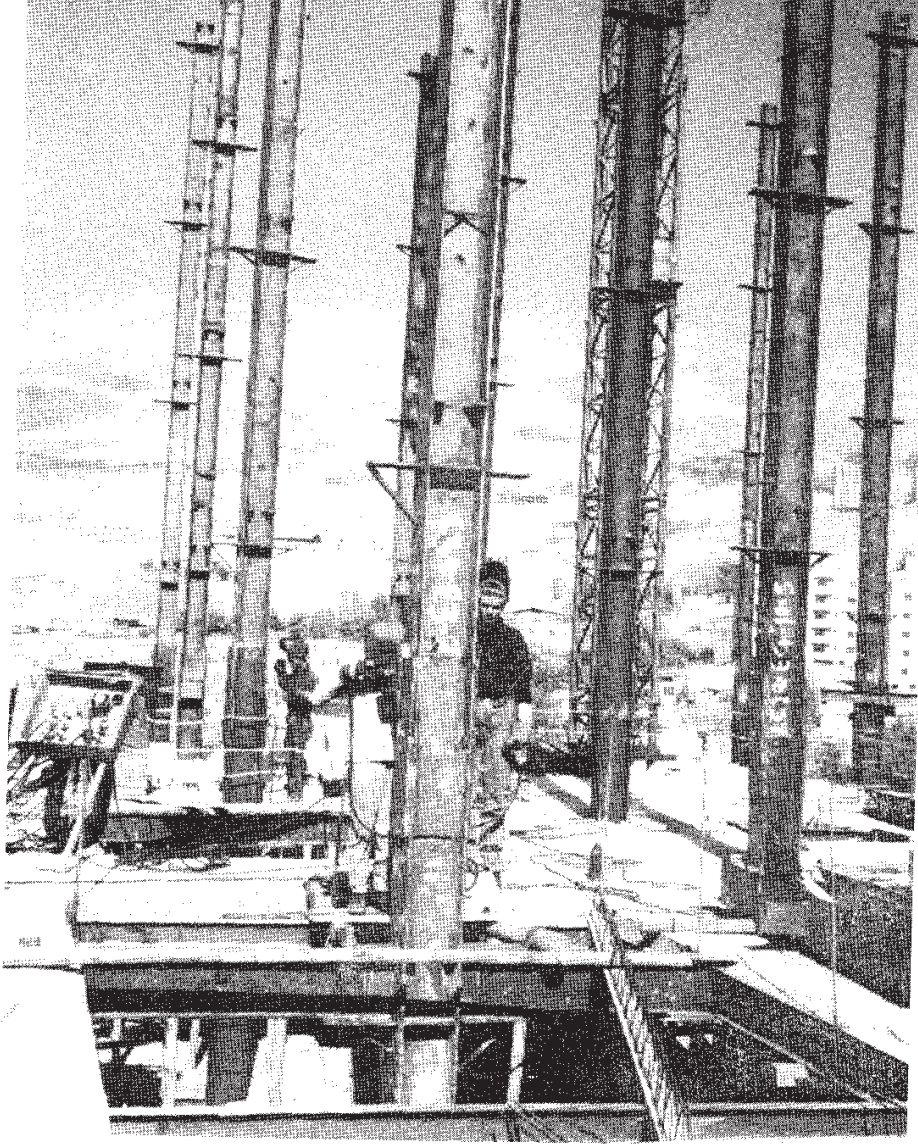
عملیات نصب توسط جرثقیل‌های متحرک و یا جرثقیل‌های برجی انجام می‌شود. در شکل ۹-۴۴ یک نمونه از جرثقیل متحرک نشان داده شده است. جرثقیل‌های متحرک می‌توانند از نوع بوم خشک و یا بوم هیدرولیکی باشند. جرثقیل‌ها علاوه بر بوم اصلی، دارای یک اضافه بوم می‌باشند که به آن جیب می‌گویند و از آن می‌توان برای نصب قطعات سبک در ارتفاع بالا استفاده نمود. در اشکال ۹-۴۵ تا ۹-۴۸ تصاویری از عملیات واداشتن و اجرای اتصالات موقت نشان داده شده است.

۹-۹ شاقولی کردن ستون‌ها، هم‌محور کردن تیرها و تکمیل اتصالات

در آخرین مرحله، به کمک مهارهای ضربداری موقت و تجهیزات ایجاد کشش مثل تینور، ستون‌ها در وضعیت شاقول قرار گرفته و با خال زدن اتصالات و یا سنت کردن پیچ‌های مونتاز، تیرها و ستون‌ها در وضعیت نهایی قرار می‌گیرند. در اشکال ۹-۴۷ تا ۹-۵۲ تصاویری از مراحل تنظیم نهایی و تکمیل اتصالات ارائه شده است.

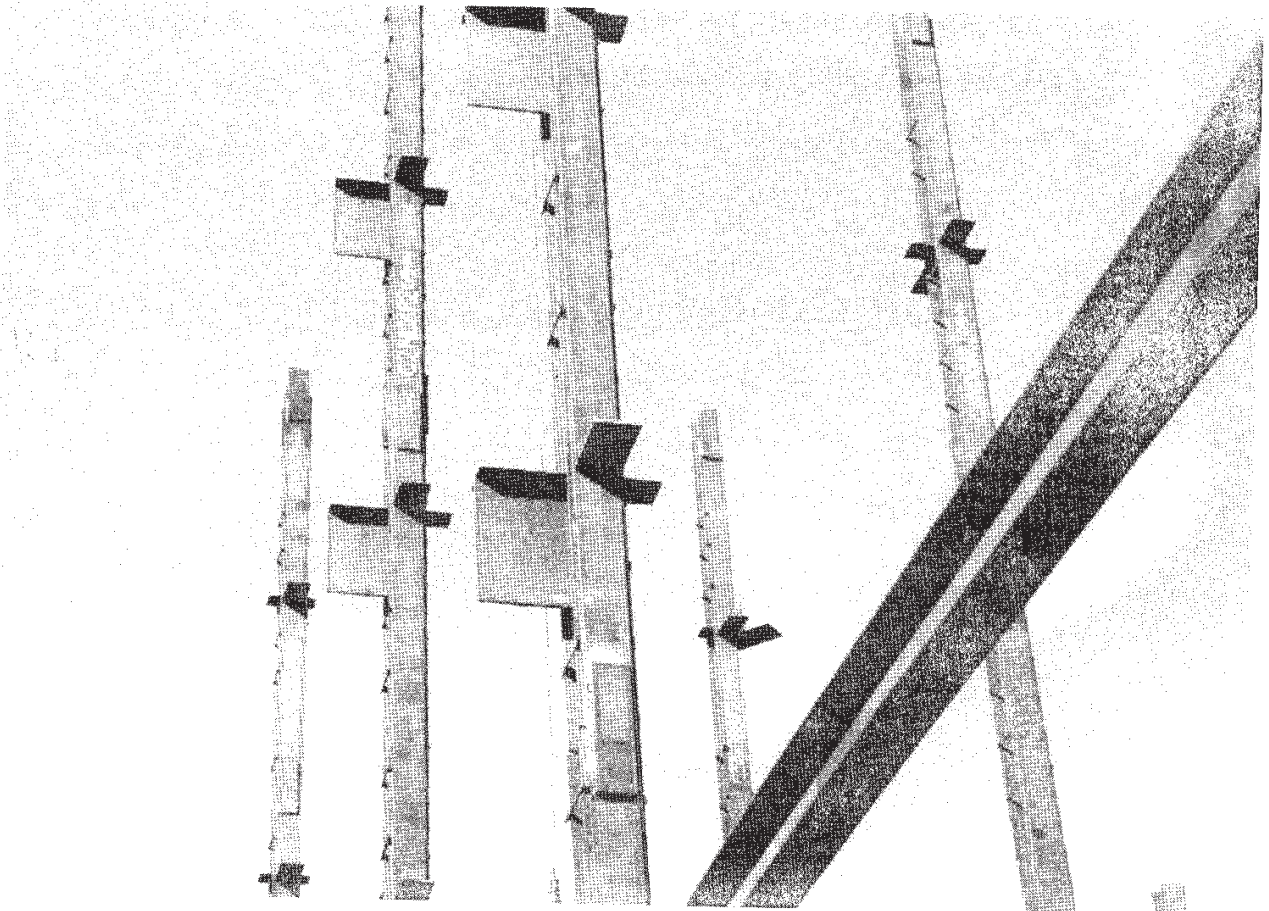
۱۰-۹ نصب کف ستون

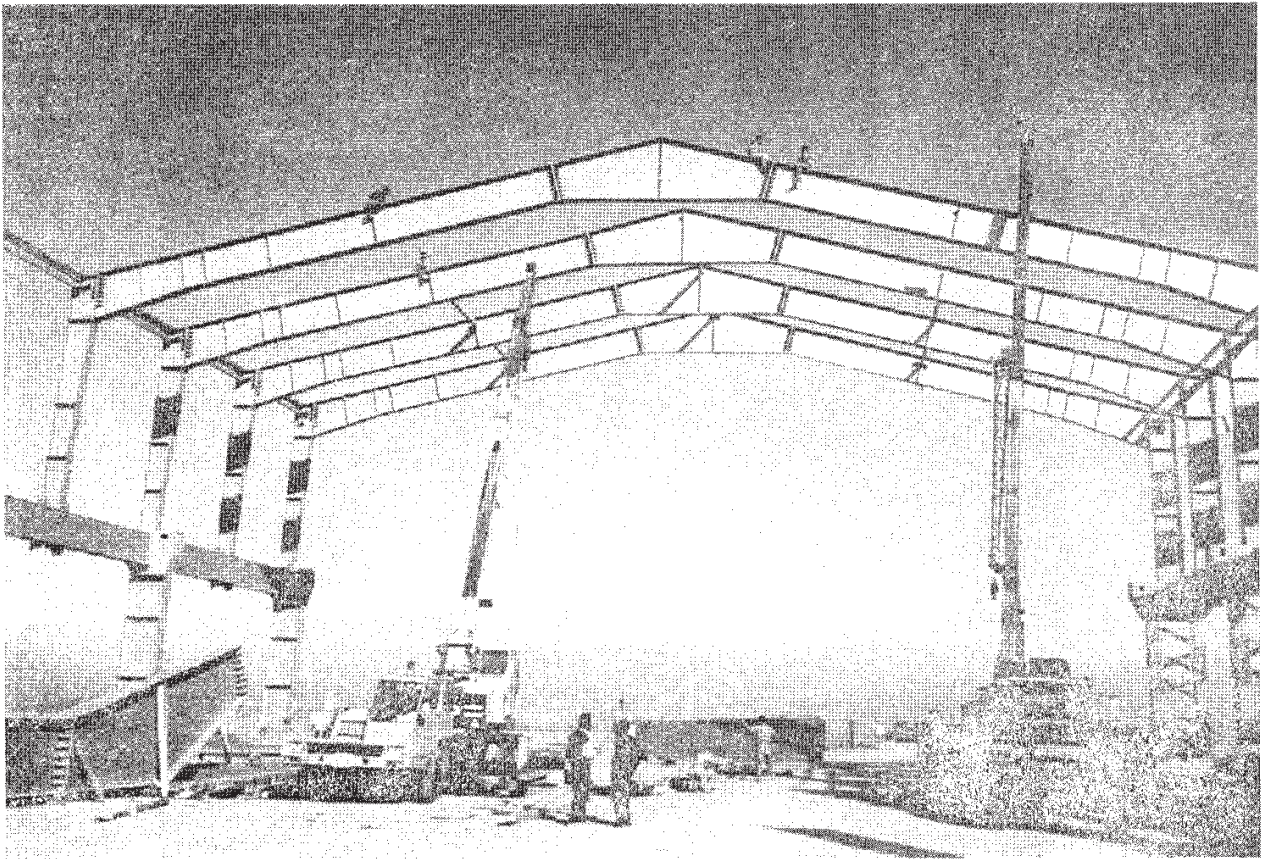
در انجام عملیات نصب اسکلت، دو روش عمومی برای نصب کف ستون بر روی فونداسیون



شکل ۹-۴۵ - نصب ستون‌ها و اجرای وصله‌ها

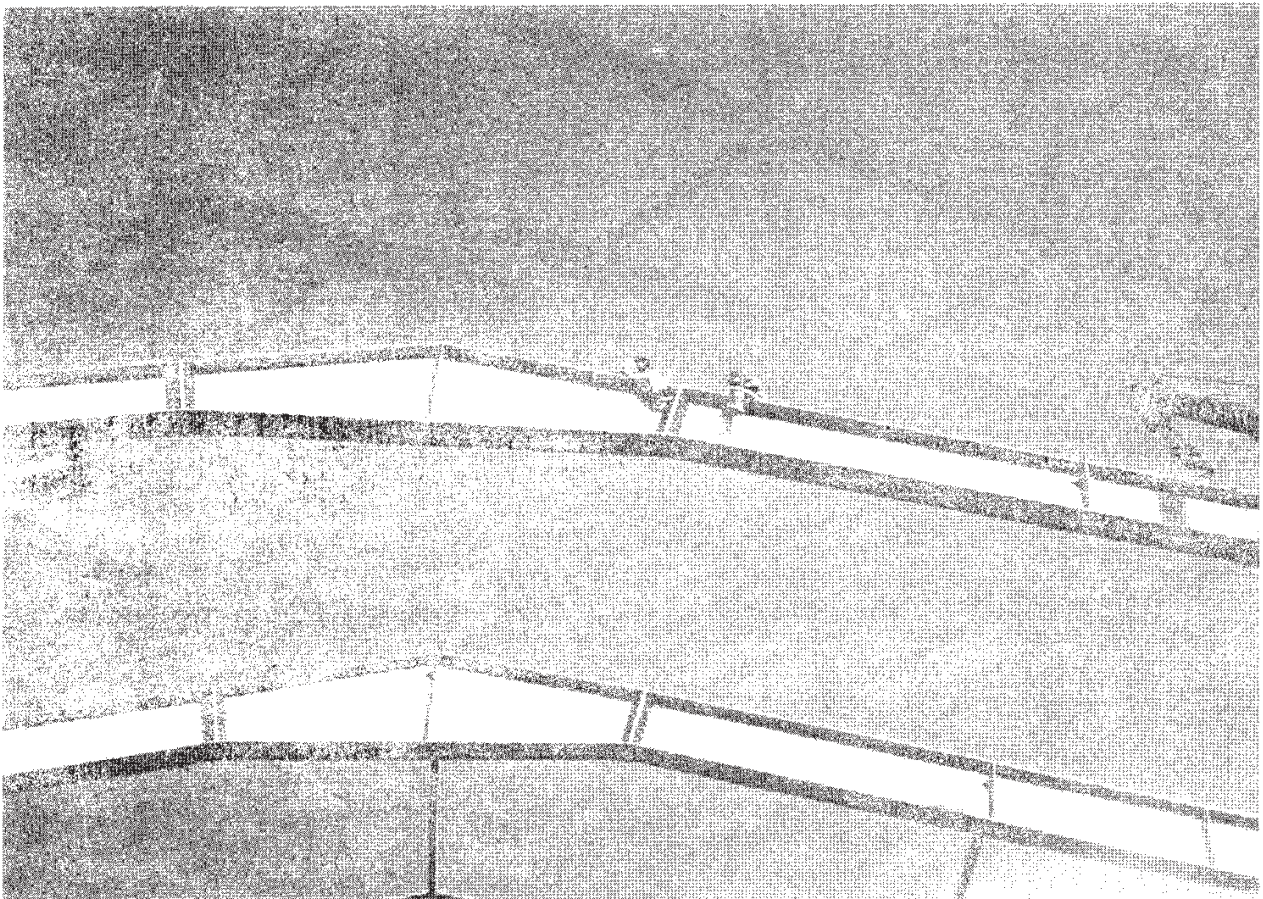
شکل ۹-۴۶ - نصب و واداشتن ستون‌ها.

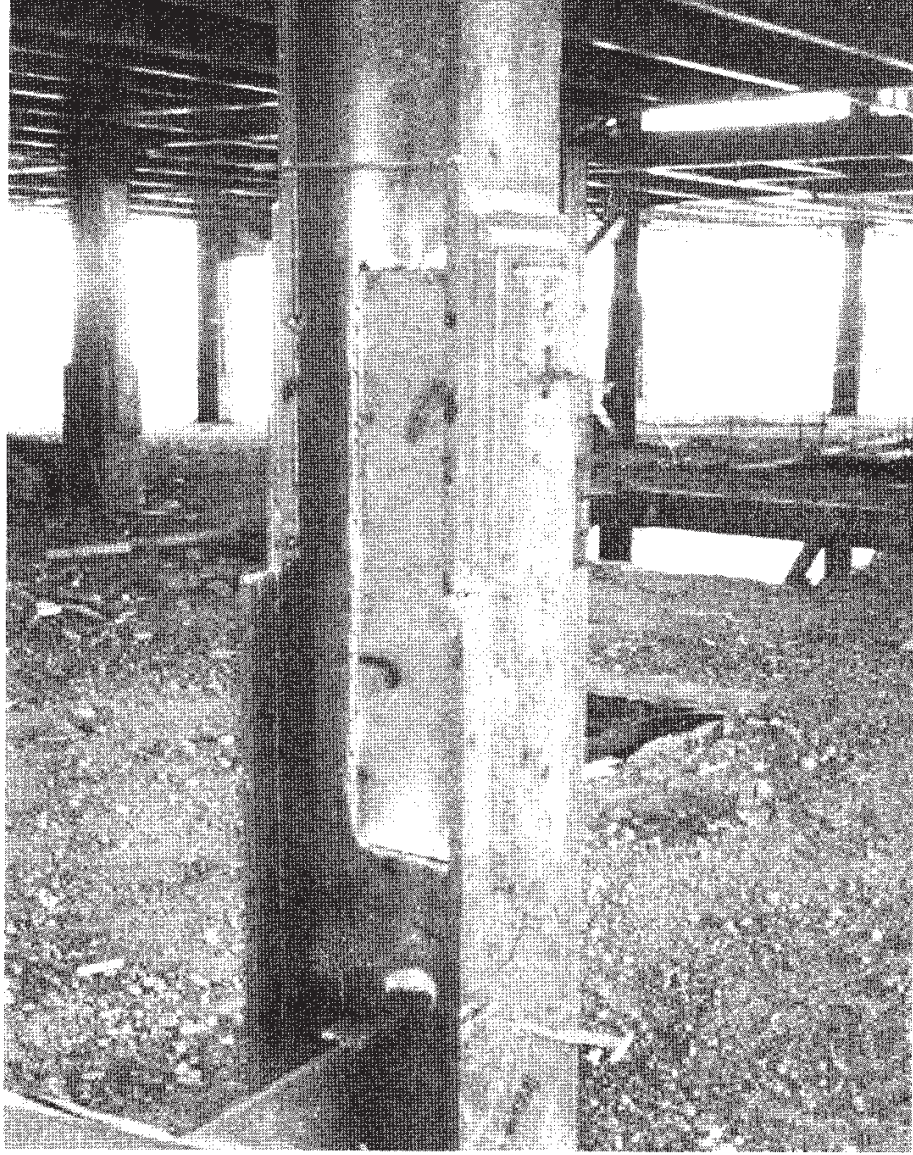




شکل ۹ - ۴۷ - نصب قاب‌های ساختمان‌های صنعتی.

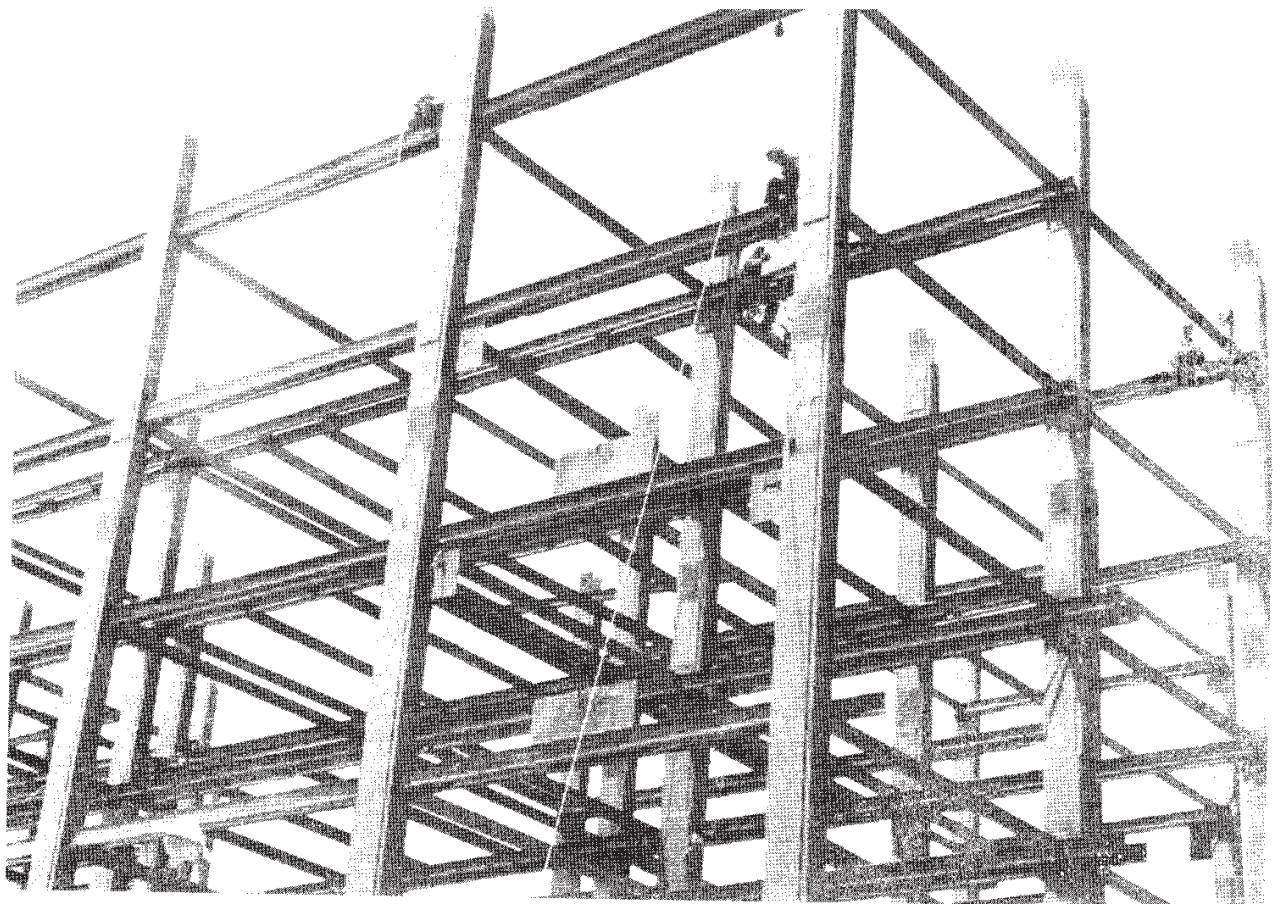
شکل ۹ - ۴۸ - نصب پیچ‌ها در قاب واداشته شده.

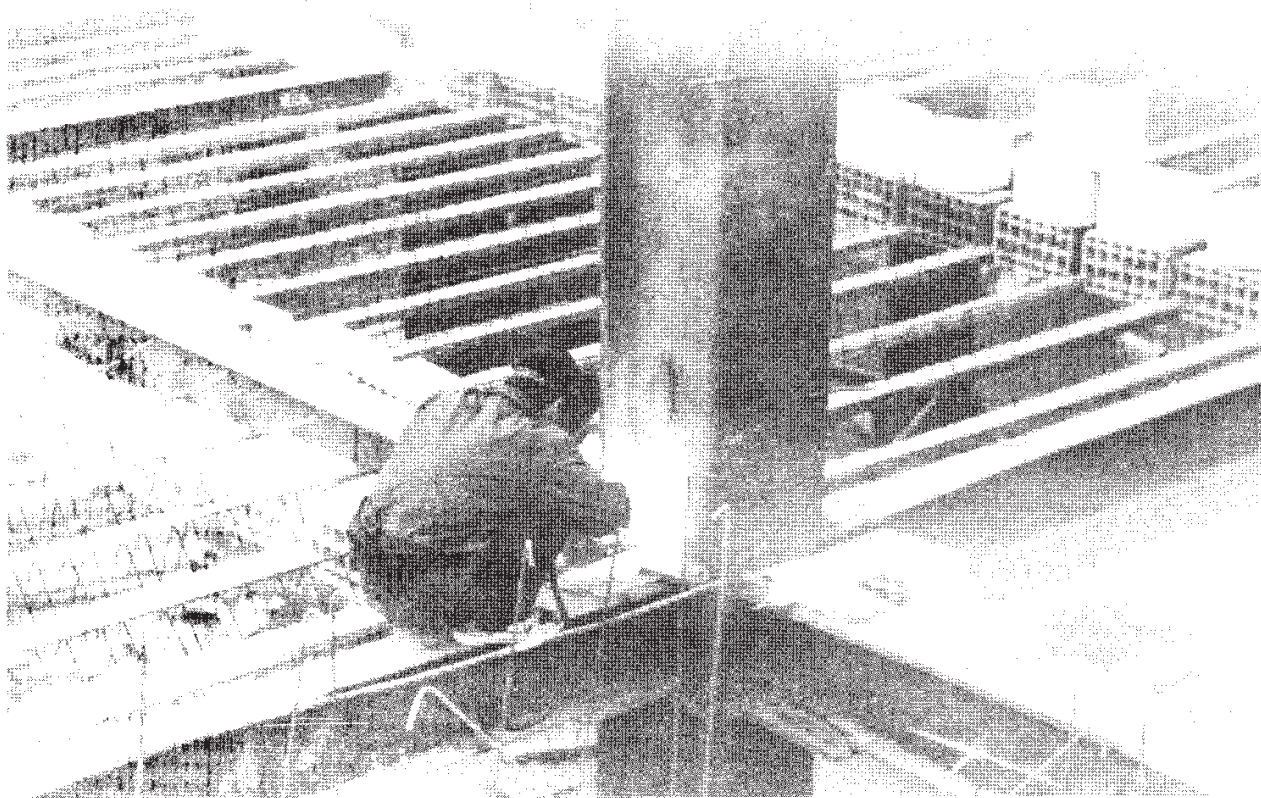




شکل ۹-۴۹

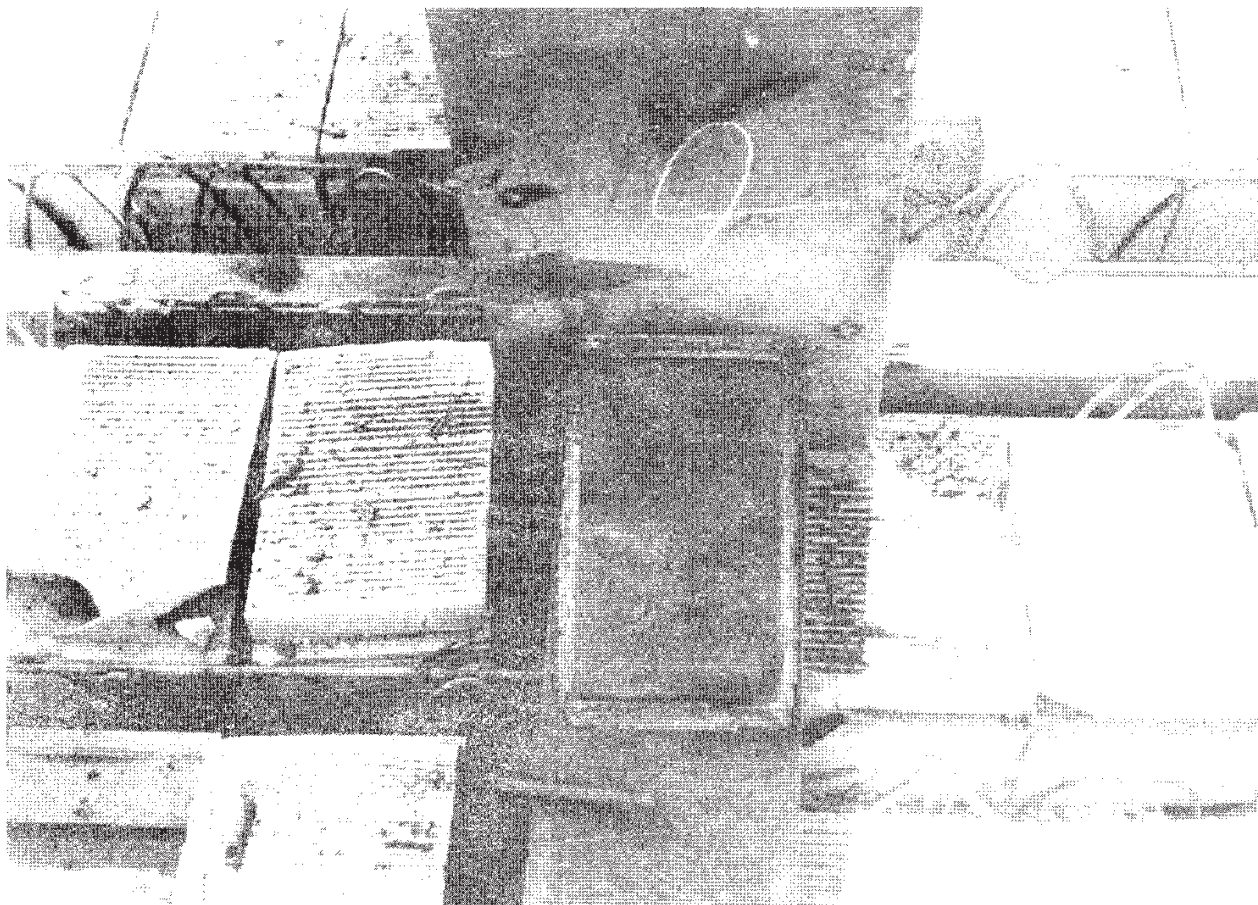
شکل ۹-۵۰ - شاقولی کردن ستون‌ها و هم‌محور کردن تیرها.





شکل ۹ - ۵۱ - تکمیل اتصال تیر به ستون.

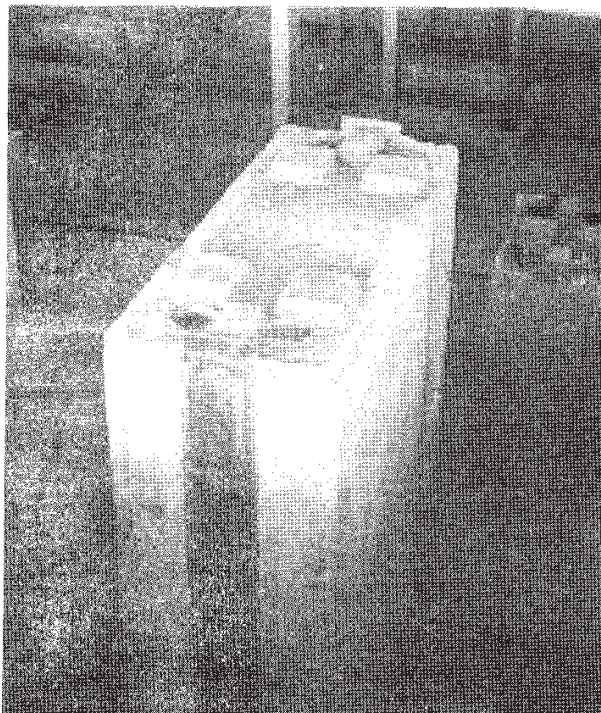
شکل ۹ - ۵۲ - اتصال تکمیل شده.



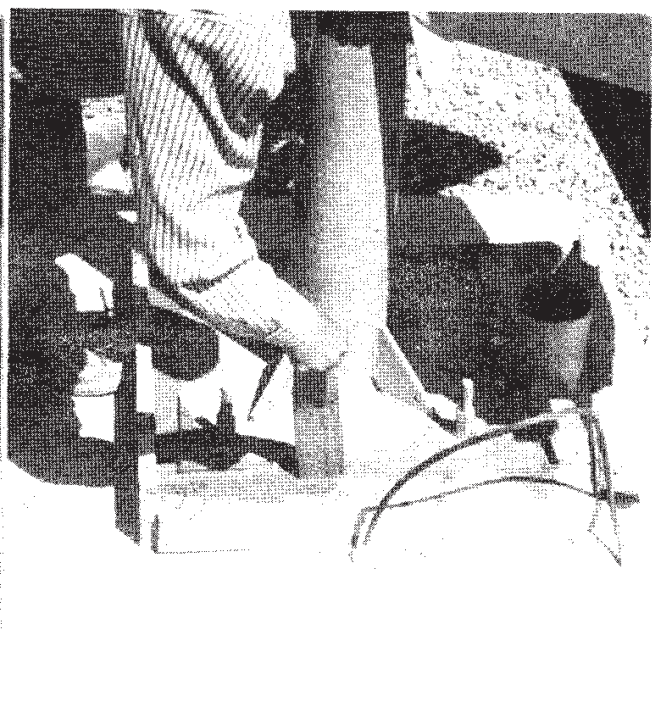
وجود دارد:

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. حدفاصل 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 میله‌مهارها 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 $۱۰۰ \times ۱۰۰ \times ۴$ 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 درمی‌آید و مهره‌های میله‌مهار سفت می‌شود. در مرحله آخر دور ورق کف ستون قالب‌بندی شده و فضاها خالی زیر کف ستون به کمک ملات خیلی روان ضدانقباض پر می‌شود.



شکل ۹ - ۵۳ - پدگذاری.



شکل ۹ - ۵۴ - گروت‌ریزی.

طراحی جوش

۱۰-۱ مقدمه

جوش بیش از حد لازم، یکی از عوامل اصلی افزایش هزینه جوشکاری است. تعیین اندازه صحیح جوش اولین گام در کسب یک 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 یک اتصال تمام قدرت، یک جوش شیاری با نفوذ کامل باید در تمام درزهای ورق اجرا شود. از آنجایی که جوش شیاری نفوذی اگر به‌طور کامل و صحیح 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^۱

در مبحث دهم سطح مؤثر گلوی جوش گوشه به صورت زیر تعریف شده است:

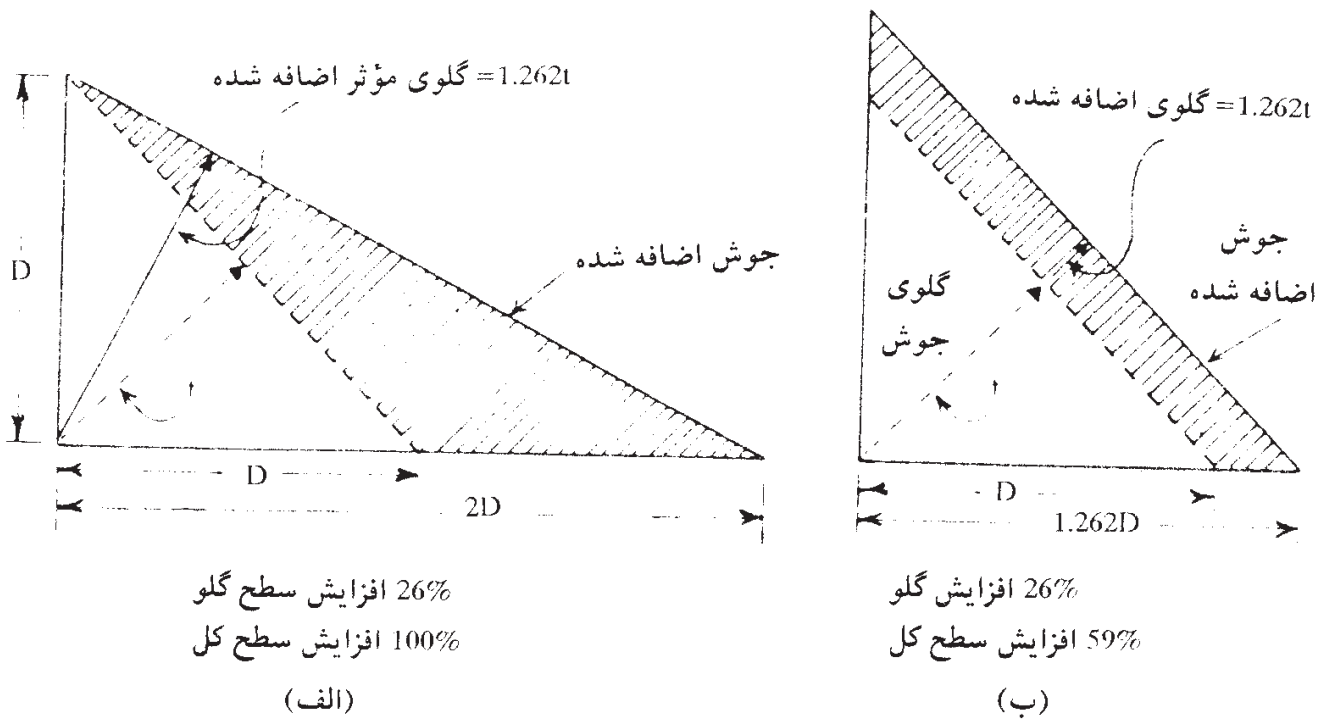
سطح مؤثر گلوی جوش گوشه برابر است با ارتفاع مؤثر گلو ضربدر طول جوش، که ارتفاع مؤثر گلوی جوش برابر است با کوچکترین فاصله بین ریشه جوش تا سطح جوش.

طبق تعریف، اندازه ساق یک جوش گوشه به وسیله بزرگترین مثلث قائم‌الزاویه که در داخل

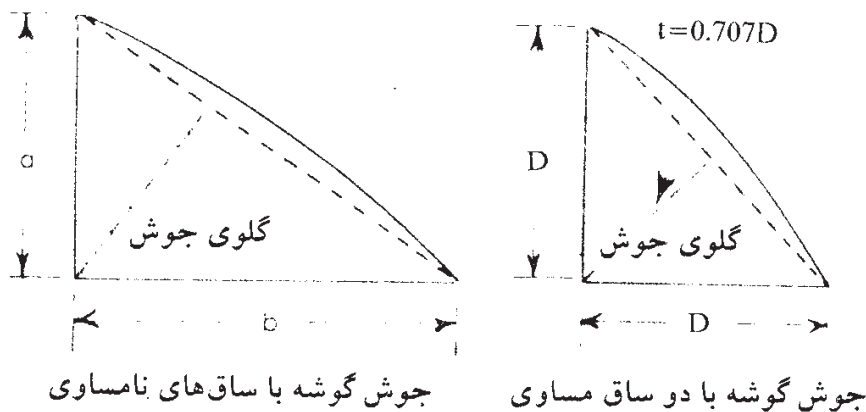
جوش محاط می شود، اندازه گیری می شود. تعریف بالا یک جوش با دو ساق نامساوی را مجاز می داند (شکل ۱۰-۱-الف).

طبق تعریف دیگری، آیین نامه تصریح می کند که بزرگترین مثلث قائم الزاویه متساوی الساقین، نشان دهنده اندازه ساق جوش خواهد بود. پس این تعریف، جوش گوشه را فقط با ساق های مساوی محدود می کند (شکل ۱۰-۱-ب).

جوش های با ساق نامساوی موقعی به کار می رود که هدف، افزایش سطح گروی جوش باشد و امکان اینکه اندازه هر دو ساق زیاد شود، نمی باشد. به همین علت مجبور می شویم که فقط اندازه یکی از دو ساق را افزایش دهیم. البته اگر امکان افزایش اندازه هر دو ساق باشد، باید از به کار بردن



شکل ۱۰-۱



شکل ۱۰-۲

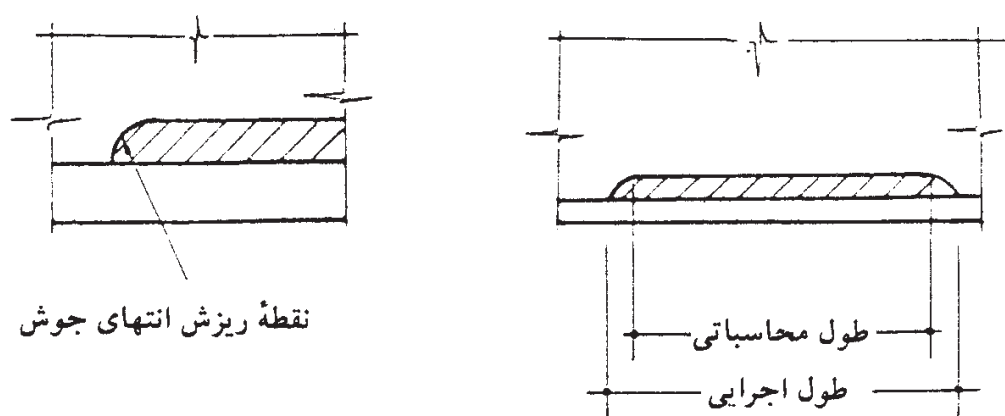
ساق‌های نامساوی پرهیز کرد، چراکه یک عمل غیراقتصادی خواهد بود.

طول مؤثر جوش گوشه

طول مؤثر جوش، طولی از جوش است که در سرتاسر آن، گلوی جوش کوچکتر از گلوی مؤثر نباشد.

طبق مفاد مبحث دهم، انتهای جوش‌های گوشه که معمولاً به شکل ریزش می‌باشند باید تا سطح مقطع کامل محاسباتی جوش، پر شوند (شکل ۱۰ - ۳). در جوش‌های پیوسته عمل پُر کردن انتهای جوش مشکل نخواهد بود، زیرا در این حالت جوشکار در موقع تعویض الکترود همواره نقطه ریزش قبل را، دوباره جوش داده و در این حالت هیچ نقطه ریزشی وجود نخواهد داشت.

$$+2D \text{ طول محاسباتی} = \text{طول اجرایی}$$



شکل ۱۰ - ۳

اما در جوش‌های منقطع برای رفع این اشکال، 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 نقاط ریزشی ابتدا و انتها را با تدابیر خاصی به وسیله جوش پر کرد، طول اجرایی جوشکاری را می‌توان برابر با طول محاسباتی در نظر گرفت.

حداقل اندازه جوش گوشه

طبق آیین‌نامه در اتصالاتی که در آنها فقط از جوش گوشه استفاده شده است، حداقل اندازه جوش از جدول ۱۰ - ۱ به دست می‌آید. این حداقل بر مبنای ورق ضخیمتر می‌باشد که البته اندازه حداقل به دست آمده نباید بیشتر از ضخامت ورق نازکتر باشد.

جدول ۱۰-۱ - اندازه حداقل جوش گوشه برحسب ضخامت ورق ضخیتر

ضخامت ورق ضخیتر (میلی متر) t	حداقل اندازه جوش ^۱ D (میلی متر)
تا ۶ و کوچکتر	۳
بیش از ۶ تا ۱۲	۵
بیش از ۱۲ تا ۲۰	۶
بیش از ۲۰	۸

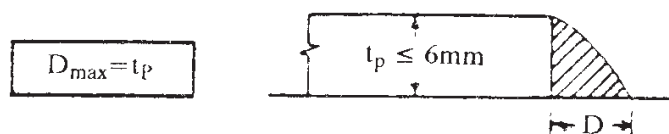
- ۱- حداقل به دست آمده نباید از ضخامت ورق نازکتر باشد.
- ۲- ضخامت‌های نشان داده شده باید با یک بار عبور به دست آید.
- ۳- در اتصال بال به جان، حداقل جوش گوشه را می‌توان به جوش هم‌مقاومت با جان محدود نمود.

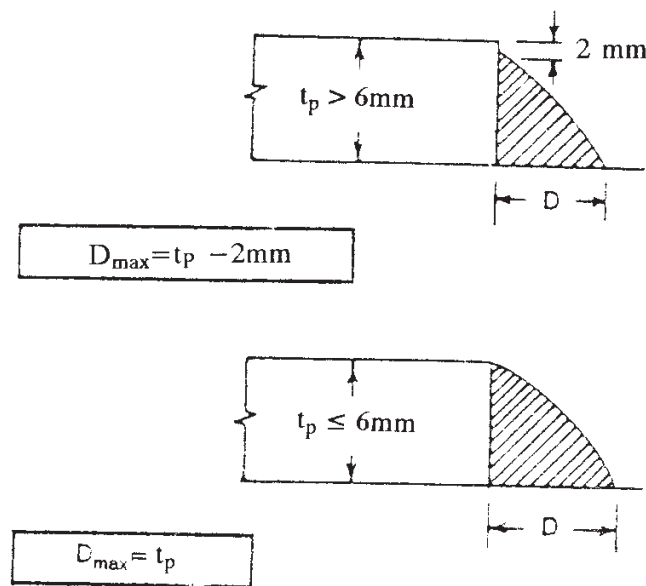
طبق گزارشات فنی، جوش نازکی که در لبه یک ورق ضخیم داده می‌شود، خیلی سریع سرد می‌شود. علت این امر گرفته شدن حرارت جوش به وسیله ورق می‌باشد. اعداد نوشته شده در جدول ۱۰-۱ نیز برای مراعات همین حقیقت در نظر گرفته شده‌اند. اندازه حداقل نوشته شده در جدول فوق جوشی را به ما می‌دهد که حرارت کافی در ورق تولید می‌کند و همین حرارت باعث می‌شود که جوش خیلی به آرامی سرد شود.

حداکثر اندازه ساق جوش گوشه (D)

طبق توصیه‌های مبحث دهم 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 با ضخامت ورق خواهد بود.
- ۲- در امتداد لبه مصالح با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر، حداکثر اندازه مؤثر جوش گوشه برابر با ضخامت صفحه منهای ۲ میلی‌متر خواهد بود، مگر اینکه در نقشه ذکر شود که اندازه جوش برابر با ضخامت ورق گردد.

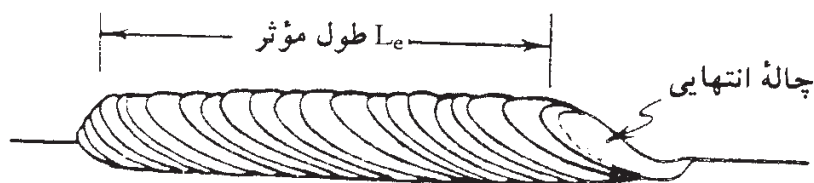




شکل ۱۰-۵

حداقل طول مؤثر جوش گوشه

حداقل طول مؤثر (L_e) برای یک جوش گوشه^۲ که به منظور انتقال نیرو به کار می‌رود، نباید کمتر از ۴ برابر اندازه ساق جوش یا ۴ سانتی‌متر باشد (شکل ۱۰-۶).



شکل ۱۰-۶

$$L_e \geq 4D \geq 4 \text{ cm}$$

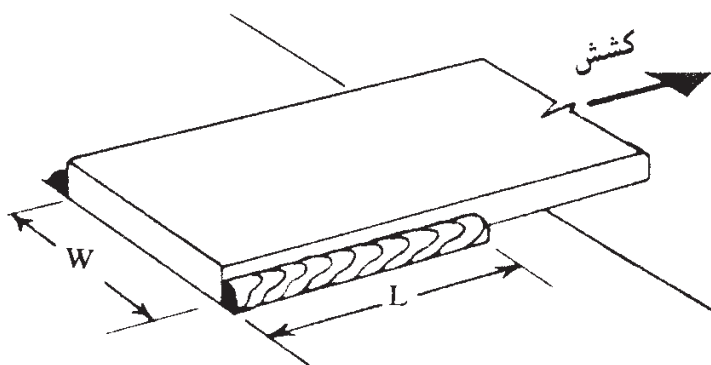
یا:

$$D \leq \frac{L}{4}$$

در صورتی که برای اتصال انتهای میله‌ها یا تسمه‌های تحت کشش، تنها از جوش گوشه استفاده شود، با مراجعه به شکل ۱۰-۷ داریم:

$$L_e \geq W$$

$$W \leq 20 \text{ cm}$$

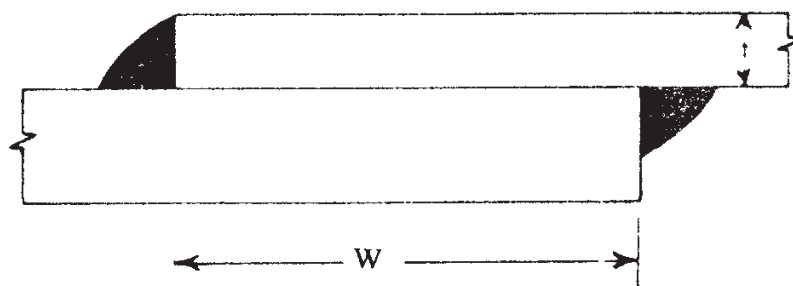


شکل ۱۰-۷

دو شرط بالا همیشه باید برقرار باشند مگر اینکه جوش‌های اضافی دیگری خمشی عرضی موجود در اتصال را بگیرد.

۱۰-۳ محدودیت سایر جوش‌ها

حداقل طول پوششی در اتصالات پوششی



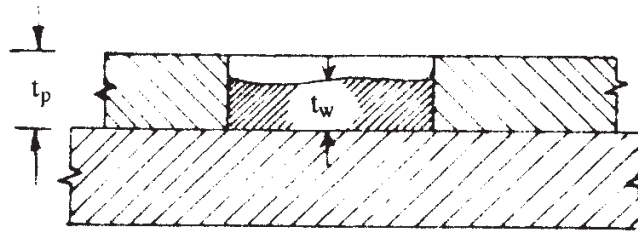
شکل ۱۰-۸

$$W \geq 5t \geq 2.5 \text{ cm}$$

t = ضخامت ورق نازکتر

ضخامت جوش انگشته‌ای یا کام توپر (شکل ۱۰-۹)

جوش انگشته‌ای جوشی است که در سوراخ و جوش کام جوشی است که در یک شکاف داده می‌شود. از جوش انگشته‌ای توپر و کام توپر می‌توان در اتصالات پوششی به منظور انتقال نیروی برشی، جلوگیری از کماتش قطعات اتصال و یا در اتصال قطعات مختلف اعضای ساخته شده از چند نیم‌رخ استفاده نمود:



شکل ۹-۱۰

الف:

$$t_p \leq 16 \text{ mm}$$

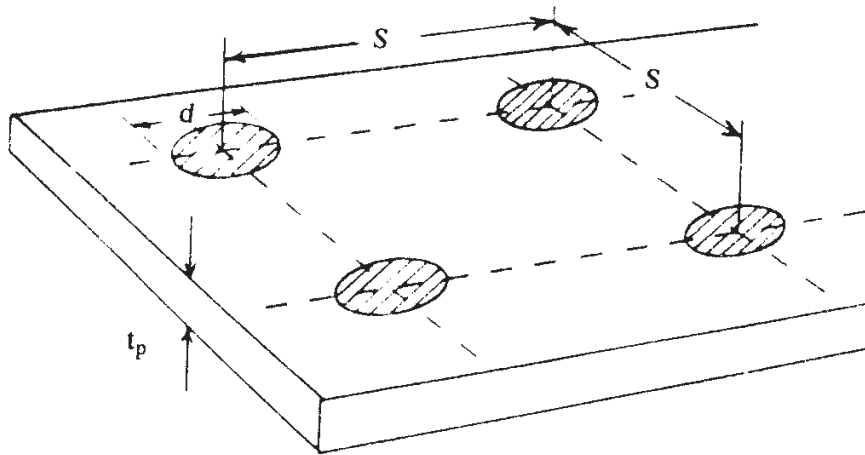
$$t_w = t_p$$

ب:

$$t_p > 16 \text{ mm}$$

$$t_w \geq \frac{1}{2} t_p \geq 16 \text{ mm}$$

فاصله و اندازه جوش در سوراخ (جوش انگشتانه)^۳



شکل ۱۰-۱۰

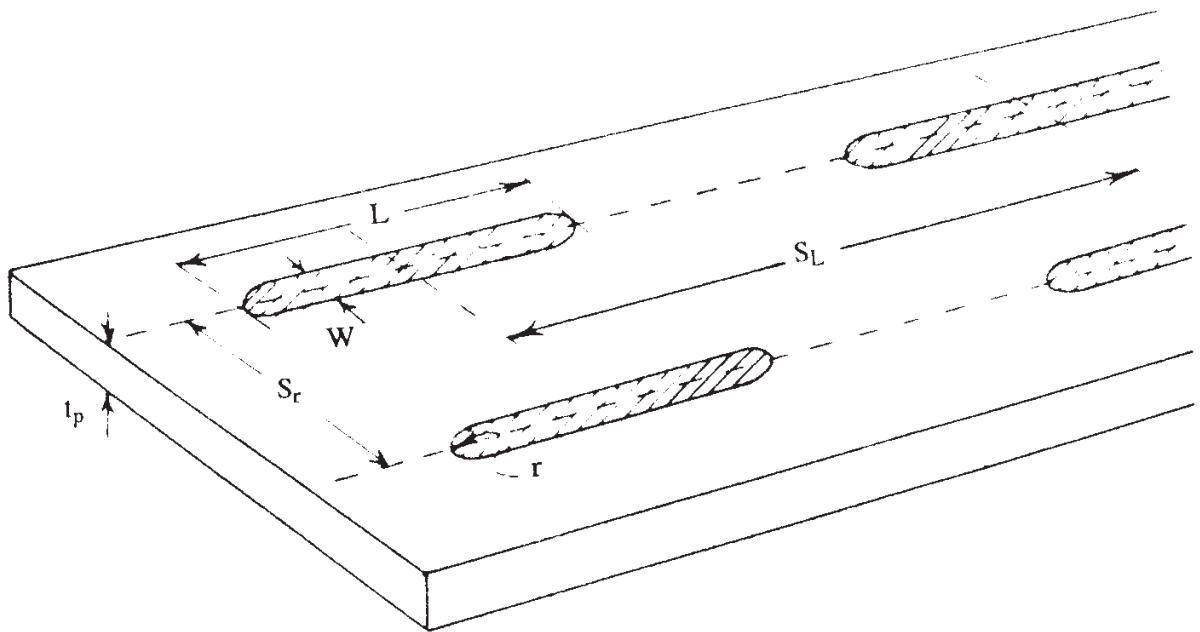
$$s \geq 4d$$

$$d \geq t_p + 8 \text{ mm} < 2.25 t_w$$

$$\text{ضخامت جوش} = t_w$$

فاصله و اندازه جوش در شکاف (جوش کام)^۴

$$L \leq 10 t_w$$



شکل ۱۰-۱۱

$$W \geq t_p + 8 \text{ mm} \leq 2.25 t_w$$

$$s_T \geq 4W$$

$$s_L \geq 2L$$

$$r \geq t_p$$

۱۰-۴ جوش شیاری نیمه نفوذی

استفاده از جوش های شیاری نیمه نفوذی در ساختمان ها مجاز می باشد. این گونه جوش ها استفاده های زیادی در ساختمان دارند. به عنوان مثال جوش اتصال دو ستون در کارگاه یا ساختن پروفیل های قوطی شکل از موارد استفاده این نوع جوش می باشند.

ضخامت گلولی مؤثر برای جوش شیاری نیمه نفوذی

برای هر نوع شکل لبه (جناغی، نیم جناغی، لاله ای، نیم لاله ای) اگر جوشکاری به صورت جوش اتوماتیک زیرپودری صورت گیرد، ضخامت مؤثر گلولی 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 به وسیله جوش دستی انجام گیرد دو حالت اتفاق می افتد:

۱- برای تمام شکل لبه ها به غیر از شکل لبه نیم جناغی ضخامت مؤثر گلولی، همان ضخامت

جوش نیمه نفوذی خواهد بود.

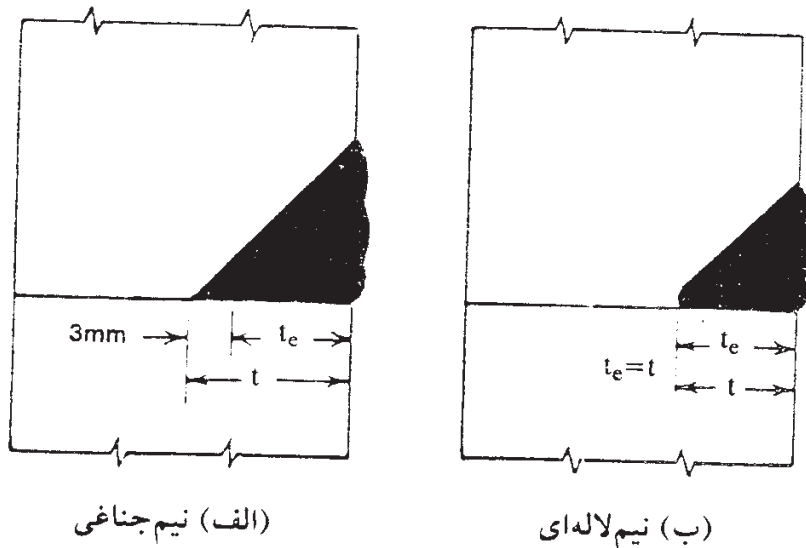
۲- برای شکل لبه به صورت نیم جناغی چون احتمال می رود که جوشکار نتواند ریشه جوش را درست جوش بدهد، ضخامت مؤثر گلو برابر با ضخامت جوش نیمه نفوذی منهای ۳ میلی متر خواهد بود (شکل ۱۰-۱۲ الف). همانند جوش گوشه که یک اندازه حداقل برای ورق های ضخیم به خاطر جلوگیری از سرد شدن سریع جوش دارد، برای جوش های شیاری نیمه نفوذی نیز ضخامت گلوی مؤثر حداقل تعریف می شود:

$$t_e \geq \sqrt{\frac{t_p}{2.35}}$$

که در آن:

t_p = ضخامت ورق نازکتر (cm)

t_e = ضخامت گلوی مؤثر حداقل (cm)



شکل ۱۰-۱۲

۱۰-۵ انواع جوش

الف - جوش های اصلی: جوش هایی هستند که به منظور انتقال نیرو به کار می روند. در نقاط اتصال اگر جوش از بین برود قطعه نیز از بین می رود. این گونه جوش ها باید همان خواصی را دارا باشند که عضو متصل شونده دارد. به عبارت بهتر در نقطه اتصال، جوش جایگزین عضو می گردد.

ب - جوش های فرعی: جوش هایی هستند که فقط برای نگه داشتن اعضا در فرم به خصوصی به کار می روند. نیروهای وارده بر این جوش ها بسیار ناچیز می باشند.

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 یک 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 90° می‌سازند. در حالت جوش‌های گوشه، گلوی جوش هم تحت تأثیر تنش‌های برشی و هم تحت تأثیر تنش‌های فشاری یا کششی قرار می‌گیرند. برای یک جوش گوشه با ساق‌های مساوی، حداکثر تنش برشی در گلوی $67/5$ درجه و حداکثر تنش عمودی در گلوی $22/5^\circ$ اتفاق می‌افتد.

به هر حال در محاسبات مربوط به جوش گوشه، عملکرد جوش به صورت برشی در نظر گرفته می‌شود.

۱۰-۶ تنش‌های مجاز جوش

جوش‌ها باید طوری محاسبه شوند که محدودیت‌های تنش مندرج در جدول ۱۰-۲ را با اعمال ضرایب 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. R_w در واقع نیروی مجاز جوشی با ضخامت گلوی t_w و طول ۱ سانتی‌متر می‌باشد. به عنوان 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:

$$R_w = (0.3 F_u) \phi (t) = (0.3 \times 4200) 0.75 (0.707 D) = 650 D$$

جدول ۱۰-۲ - تنش مجاز روی سطح مؤثر جوش

نوع جوش	نوع تنش روی سطح مؤثر	تنش مجاز	مقاومت جوش مورد نیاز
جوش شیاری 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	فلز جوش با مقاومت مساوی
	کشش یا فشار موازی محور جوش	مثل فلز پایه	یا کمتر از جوش سازگار می تواند مورد استفاده قرار گیرد
	برش روی سطح مؤثر	$\frac{3}{4} \times 0.5$ مقاومت کششی اسمی فلز جوش، ولی تنش برشی فلز پایه نباید از $\frac{4}{4} \times 0.5$ مقاومت تسلیم فلز پایه، تجاوز نماید	
جوش شیاری با نفوذ ناقص	فشار عمود بر سطح مؤثر	مثل فلز پایه	فلز جوشی با مقاومت مساوی یا کمتر از جوش سازگار می تواند مورد استفاده قرار گیرد
	کشش یا فشار موازی محور جوش	مثل فلز پایه	
	برش موازی محور جوش	$\frac{3}{4} \times 0.5$ مقاومت کششی اسمی فلز جوش، ولی تنش برشی فلز پایه نباید از $\frac{4}{4} \times 0.5$ مقاومت تسلیم فلز پایه، تجاوز نماید	
	کشش عمود بر سطح مؤثر	$\frac{3}{4} \times 0.5$ مقاومت کششی اسمی فلز جوش، ولی تنش کششی فلز پایه نباید از $\frac{6}{6} \times 0.5$ مقاومت تسلیم فلز پایه، تجاوز نماید	
جوش گوشه	برش روی سطح مؤثر	$\frac{3}{4} \times 0.5$ مقاومت کششی اسمی فلز جوش، ولی تنش برشی فلز پایه نباید از $\frac{4}{4} \times 0.5$ مقاومت تسلیم فلز پایه تجاوز نماید	فلز جوشی با مقاومت مساوی یا کمتر از جوش سازگار می تواند مورد استفاده قرار گیرد
	کشش یا فشار موازی محور جوش*	مثل فلز پایه	
	برش موازی سطوح متصل شده به وسیله جوش (بر روی سطح مؤثر)	$\frac{3}{4} \times 0.5$ مقاومت کششی اسمی فلز جوش، ولی تنش برشی فلز پایه نباید از $\frac{4}{4} \times 0.5$ مقاومت تسلیم فلز پایه، تجاوز نماید	فلز جوشی با مقاومت مساوی یا کمتر از جوش سازگار می تواند مورد استفاده قرار گیرد

* جوش های گوشه یا شیاری با نفوذ ناقص که اعضای نیمرخ های ساخته شده از ورق را به یکدیگر اتصال می دهند، نظیر جوشی که بال را به جان اتصال می دهد، می توانند بدون توجه به تنش کششی یا فشاری موجود در موازات محور جوش، طراحی گردند.

D اندازه ساق جوش و t ضخامت گلوی جوش گوشه می باشد که طبق رابطه $t=0.707D$ به هم مربوط هستند.

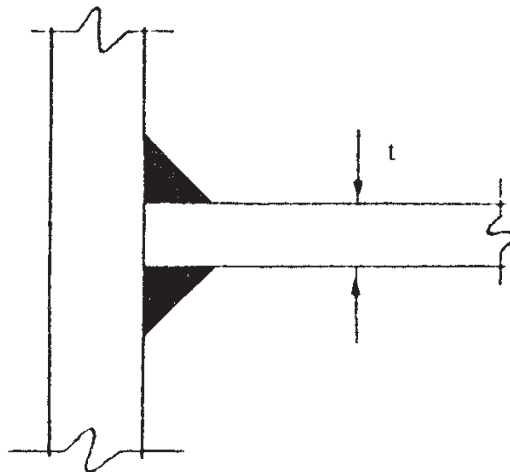
۱۰-۸ حداکثر اندازه مؤثر ساق جوش گوشه

مقاومت جوش نباید بیشتر از مقاومت فلز پایه منظور شود. به عنوان مثال در شکل ۱۰-۱۳ حداکثر اندازه مؤثر جوش بر حسب ضخامت t برابر است با:

$$E60 \quad 2(0.3 \times 4200) \phi (0.707 D) = 1782 \phi D$$

$$= 0.4 F_y t \quad \text{مقاومت ورق در برش}$$

$$1782 \phi D = 0.4 F_y t$$



شکل ۱۰-۱۳

$$D = \frac{0.4 F_y t}{1782 \phi}$$

با فرض $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ داریم:

$$D = \frac{0.4 \times 2400 t}{1782 \phi} = \frac{0.54}{\phi} t$$

$$\phi = 1 \rightarrow D \cong 0.5 t$$

$$\phi = 0.8 \rightarrow D \cong 0.6 t$$

$$\phi = 0.7 \rightarrow D \cong 0.7 t$$

اندازه‌های ساق معرفی شده در فوق، معرف جوش گوشه تمام قدرت هستند و اختیار

اندازه‌های بزرگتر باعث افزایش بیشتر مقاومت نمی‌گردد.

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 (شکل ۱۰-۱۴).

$$P = (1400 \text{ kg/cm}^2) \times (7.5 \text{ cm})(1.2 \text{ cm}) = 12600 \text{ kg}$$

$$D = 12 - 2 = 10 \text{ mm} \text{ حداکثر}$$

$$R_w = 650 \text{ kg/cm} \quad D = 650 \times 1.0 = 650 \text{ kg/cm} \text{ ارزش جوش}$$

$$\text{طول کلی جوش گوشه} = \frac{12600}{650} = 19.39 \text{ cm}$$

به دلیل تقارن، طول جوش هر دو طرف باید یکسان باشد. بنابراین هر طرف به اندازه ۱۰ سانتی متر جوش داده می شود.

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.

و همچنین جوش های گوشه، حداقل به اندازه $2D = 2 \text{ cm}$ در انتها برگشت داده می شوند.

مثال ۱۰-۲ جوش گوشه عرضی ورق های هم ضخامت در اتصال روی هم

مطلوب است تعیین مقدار بار مجاز قابل انتقال به وسیله اتصال شکل ۱۰-۱۵.

$$D = 10 - 2 = 8 \text{ mm} \text{ حداکثر}$$

$$P = 2 \times (650 D) \times L = 2 \times (650 \times 0.8) \times 20 = 20800 \text{ kg} = 20.8 \text{ ton} \text{ جوش}$$

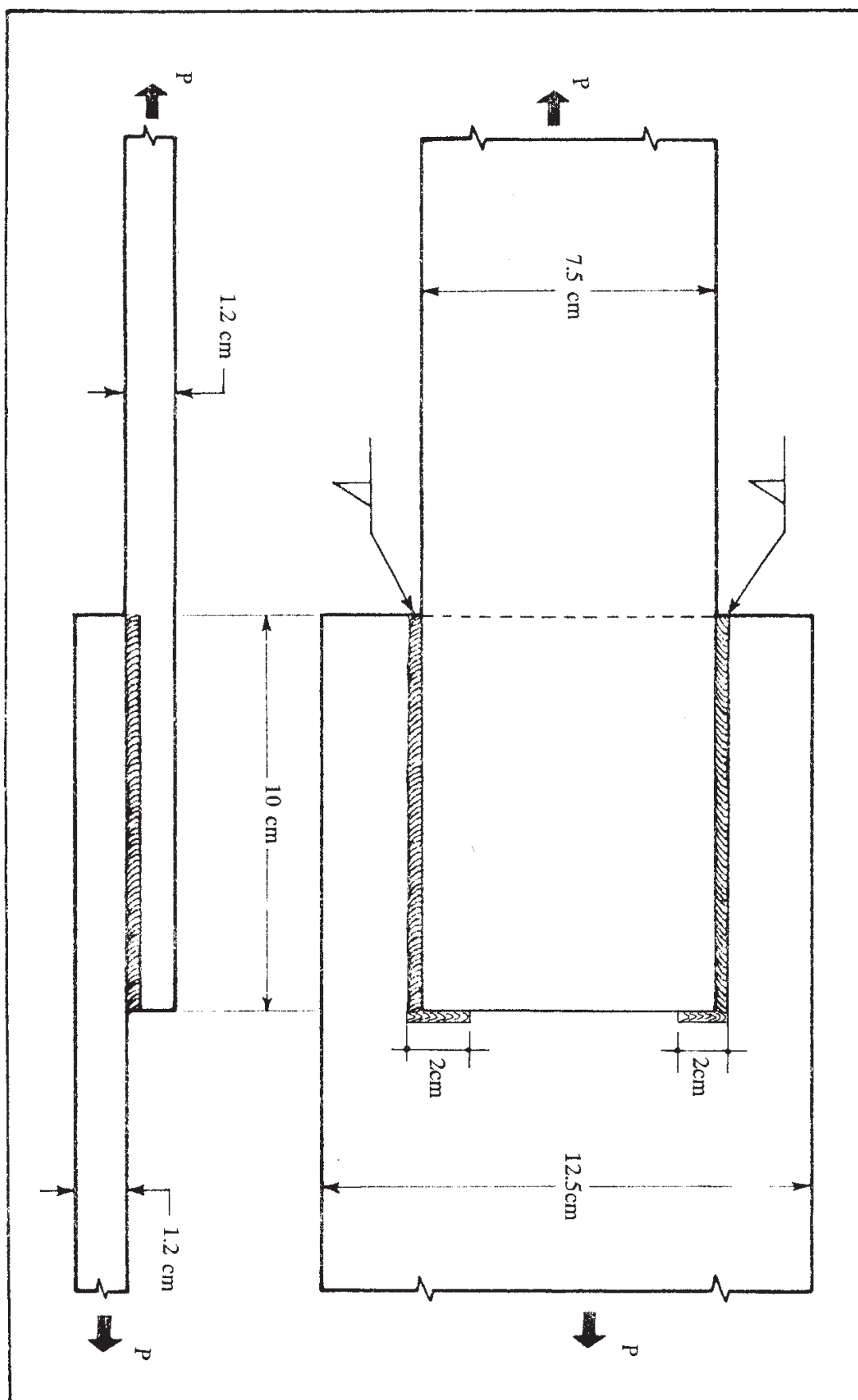
$$P = (1.0 \times 20) \times (1400) = 28000 \text{ kg} = 28 \text{ ton} \text{ ورق}$$

محاسبات نشان می دهد که جوش قادر به حمل تمام نیروی ورق نیست و حداکثر ظرفیت مجاز 20.8 ton می باشد.

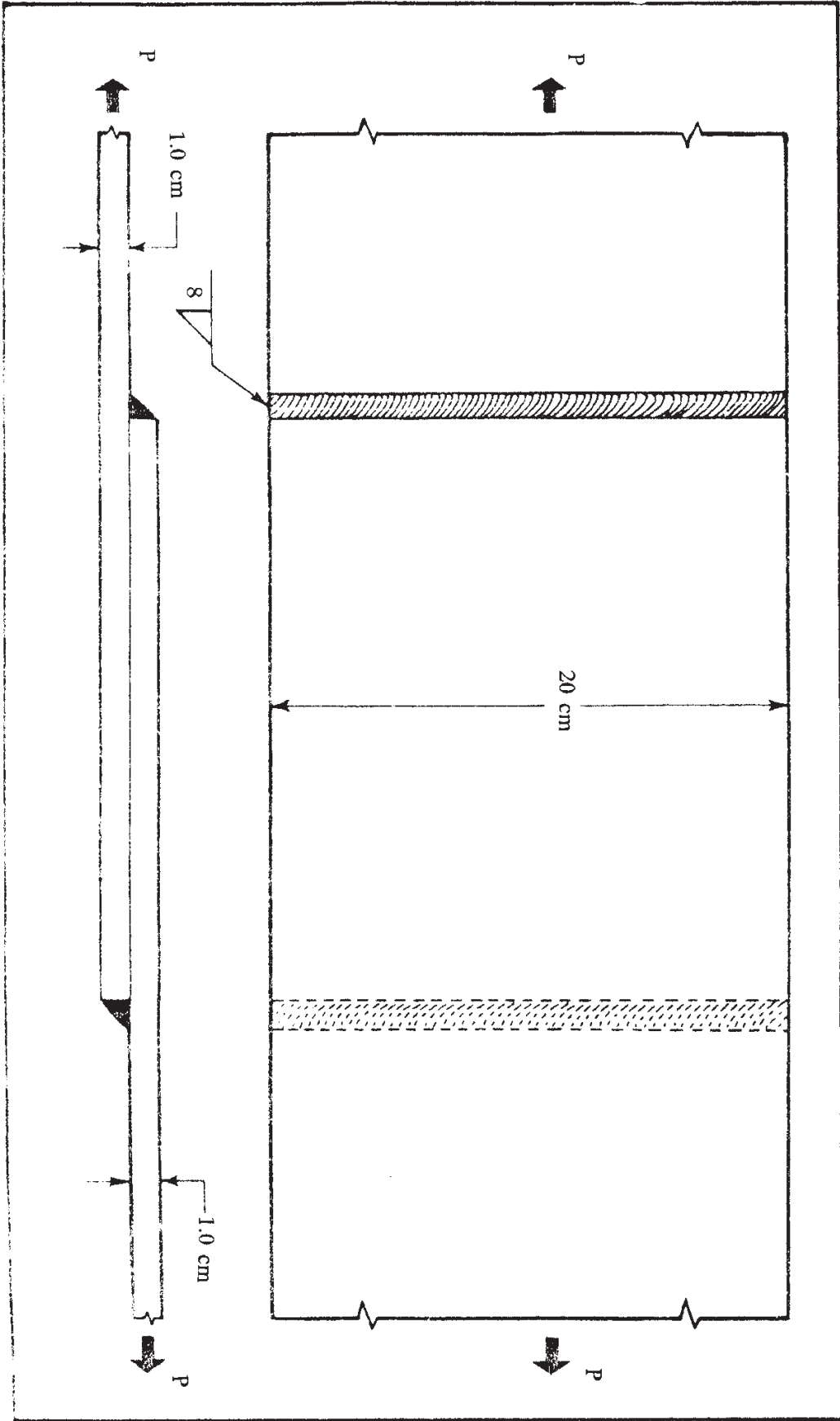
مثال ۱۰-۳ جوش گوشه عرضی ورق های غیر هم ضخامت در اتصال روی هم

مطلوب است تعیین مقدار بار مجاز قابل حمل به وسیله اتصال شکل ۱۰-۱۶. فرض کنید که جوش ها به برش کار می کنند.

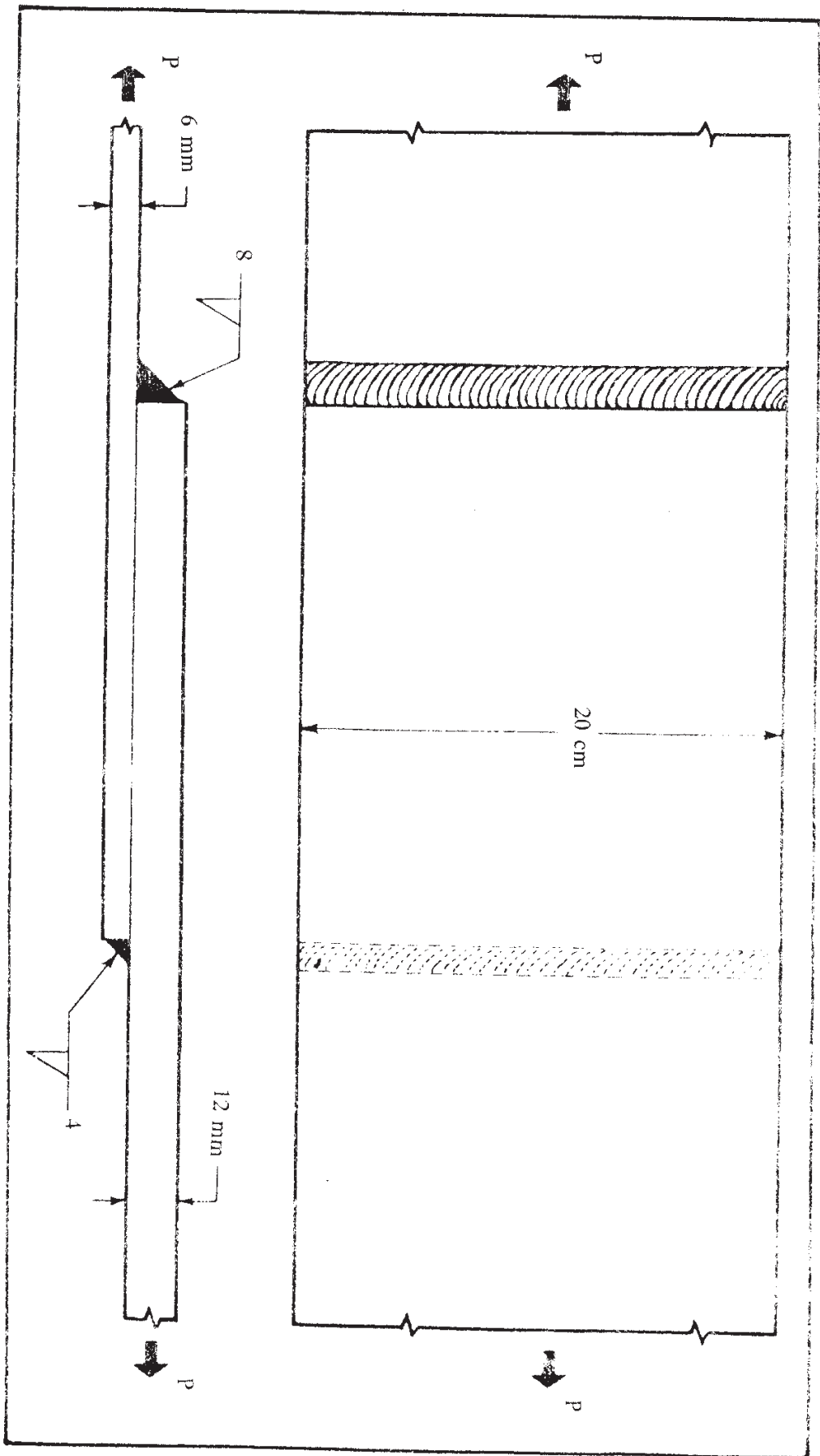
وقتی ورق ها، ضخامت های نامساوی داشته و به وسیله جوش عرضی به یکدیگر متصل گردند، میزان کرنش طولی ورق ها تحت اثر بار، در حدفاصل بین دو جوش یکسان می باشد. این



شکل ۱۰-۱۴



شکل ۱۰-۱۵



شکل ۱۰-۱۶

بدان معنی است که در این فاصله تنش در ورق‌ها برابر بوده و در نتیجه نیرو در هریک متناسب با ضخامت ورق می‌باشد. جوش‌های عرضی در انتهای ورق‌ها باید این نیروها را انتقال دهند، لذا اندازه ساق هریک 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 $D = 4 \text{ mm}$ ، در انتهای ورق ۱۲ میلی‌متری در تناسب با ضخامت ورق‌ها، از جوش گوشه‌ای با $D = 8 \text{ mm}$ استفاده می‌شود.

$$= 650 \times 0.4 \times 20 = 5200 \text{ kg}$$

$$= 650 \times 0.8 \times 20 = 10400 \text{ kg}$$

$$= 5200 + 10400 = 15600 \text{ kg} = 15.6 \text{ ton}$$

بنابراین بار مجاز قابل حمل، $P = 15.60 \text{ ton}$ خواهد بود.

مثال ۱۰ - ۴ اتصال متعادل در انتهای نبشی

مطلوب است تعیین طول و اندازه جوش‌های گوشه‌ای که قادر به انتقال ظرفیت کششی نهایی یک نبشی باشد (شکل ۱۰ - ۱۷). از یک جوش گوشه عرضی در انتهای نبشی و جوش‌های متعادل در کناره‌های آن استفاده نمایید.

اندازه نبشی $150 \times 100 \times 12$ بوده که از بال ۱۵ cm به ورق متصل شده است. سطح مقطع نبشی 28.7 cm^2 می‌باشد. در نتیجه بار مجاز کششی نبشی برابر است با:

$$P = 1400 \times 28.7 = 40180 \text{ kg}$$

$$= 12 - 2 = 10 \text{ mm}$$

برای سهولت اجرا از جوش ۹ میلی‌متر استفاده می‌شود.

$$R_w = 650 \times 0.9 = 585 \text{ kg/cm}$$

$$P_e = 15 \times 585 = 8775 \text{ kg}$$

برای تعیین L_1 حول خط اثر نیروی F_2 لنگر می‌گیریم.

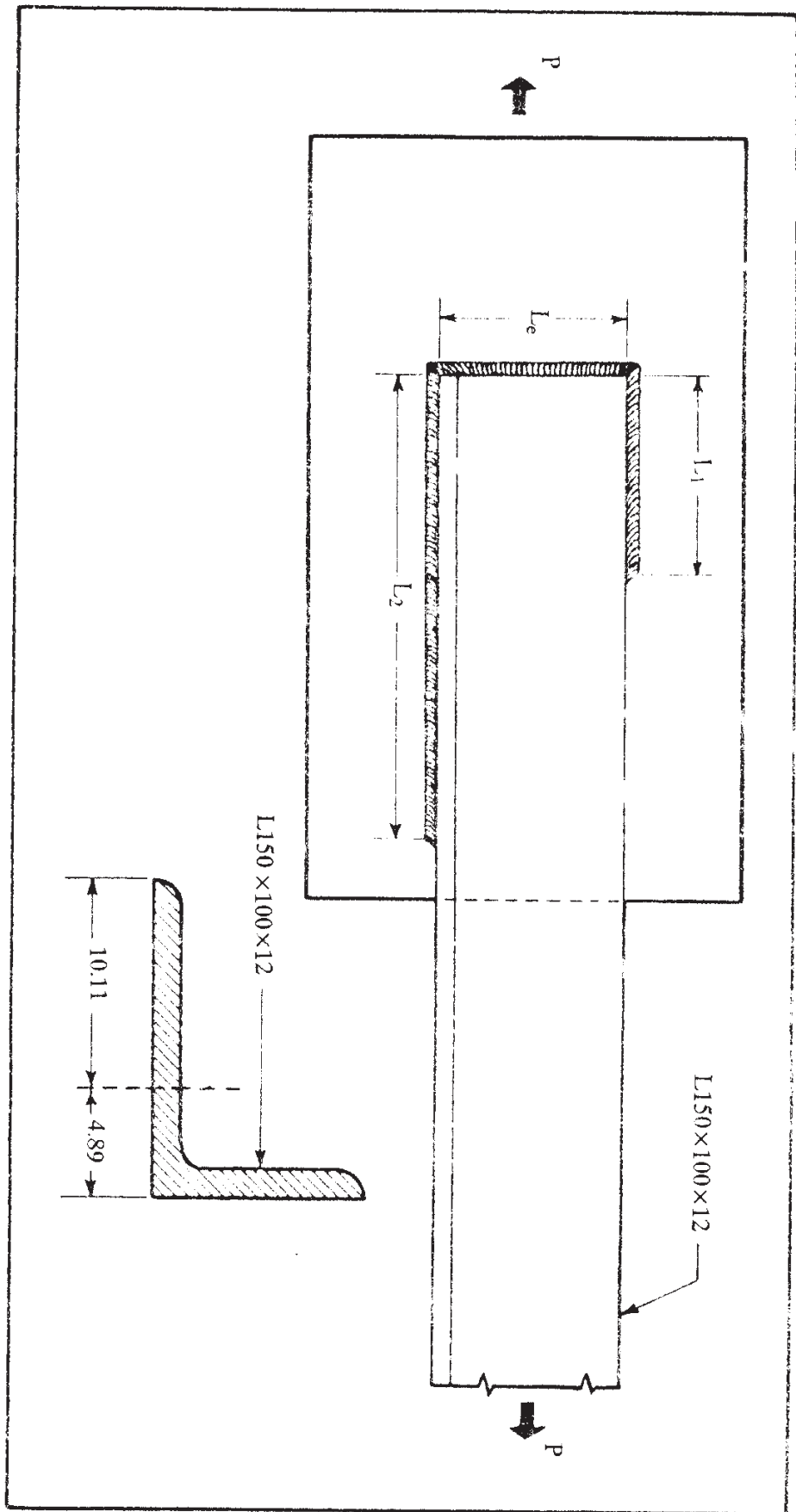
$$(40180) \times (4.89) - (8775) \times (7.5) - (L_1 \times 585) \times (15) = 0 \quad L_1 = 14.89 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

برای تعیین L_2 ، از شرط صفر بودن مجموع نیروها در امتداد P استفاده می‌شود.

$$40180 - 8775 - (14.89) \times (650) - (L_2) \times (650) = 0 \quad L_2 = 33.42 \text{ cm} \approx 34 \text{ cm}$$

۱۰ - ۱۰ اتصالات جوشی با برون محوری

کارایی بسیار زیاد جوش و سادگی جوشکاری، باعث شده که اتصالات جوشی برای موارد استفاده

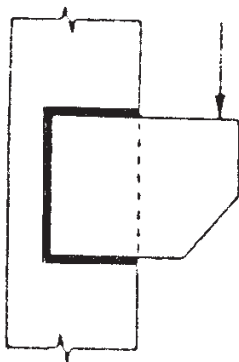


شکل ۱۷-۱۰

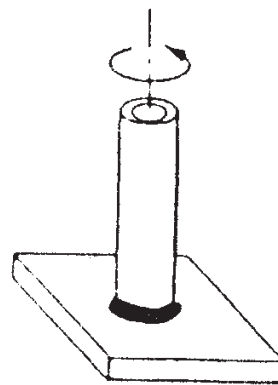
بسیار وسیعی مانند اتصالاتی که تحت بارگذاری‌های شکل ۱۰ - ۱۸ قرار دارند، راه‌حل مناسبی باشد.

تحلیل الاستیک دقیق تنش‌ها در یک اتصال جوشی برون‌محور کاری غیرعملی است. در این مورد از فلسفه مقاومت نهایی با استفاده از تنش‌های مجاز اسمی استفاده می‌شود. روند عمومی برای به‌دست آوردن تنش‌های اسمی در گروه جوش‌ها بر اساس فرضیات عمومی مورد بحث در قبل و قوانین مقاومت مصالح قرار دارد. این روش به‌طور خلاصه از گام‌های زیر تشکیل می‌گردد.

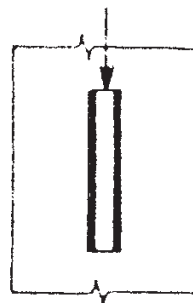
- ۱ - بعد گلوی مؤثر جوش t_e را تعیین نموده، مقطعی از گروه جوش‌ها، رسم نمایید.
- ۲ - دستگاه مختصاتی تعیین کرده و مرکز هندسی جوش‌ها را به‌دست آورید.
- ۳ - نیروهای وارد بر گروه جوش‌ها را تعیین کنید.
- ۴ - تنش‌های در اثر برش مستقیم، پیچش و خمش را در نقاط بحرانی جوش با استفاده از روابط معمول مقاومت مصالح، 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.



(الف) برش و پیچش



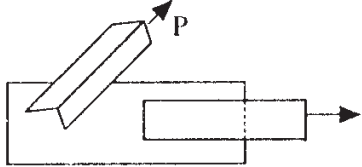
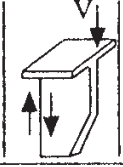
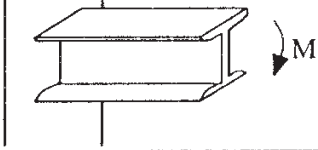
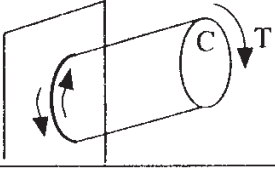
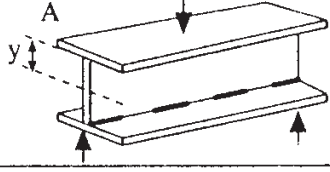
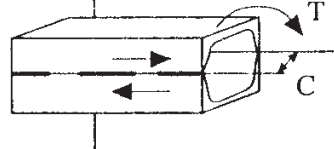
(ب) پیچش خالص



(پ) برش و خمش

شکل ۱۰ - ۱۸ - انواع بارگذاری‌های خارج از مرکز.

جدول ۱۰ - ۳ - روابط مقاومت مصالح و روابط تعیین تنش در جوش

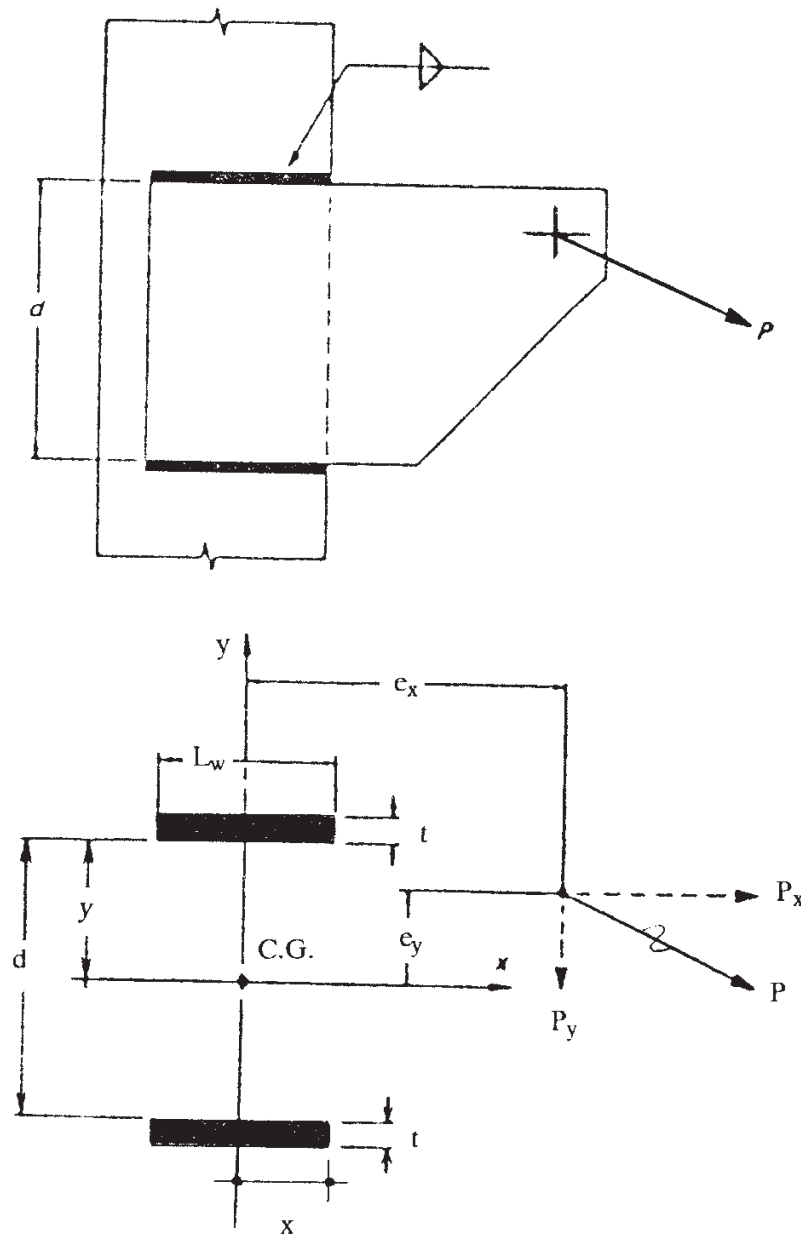
نوع بارگذاری	رابطه عمومی تنش	رابطه نیروی خط جوش
جوش های اصلی		
	کشش یا فشار $\sigma = \frac{P}{A}$	$f = \frac{P}{A_w}$
	برش عمودی $\tau = \frac{V}{A}$	$f = \frac{V}{A_w}$
	خمش $\sigma = \frac{M}{Z}$	$f = \frac{M}{Z_w}$
	پیچش $\tau = \frac{TC}{J}$	$f = \frac{TC}{J_w}$
جوش های فرعی		
	برش عمودی $\tau = \frac{VAy}{It}$	$f = \frac{VAy}{I_n}$
	برش پیچشی $\tau = \frac{TC}{J}$	$f = \frac{TCt}{J}$

۵ - تنش های به دست آمده در یک نقطه را جمع برداری نمایید.

روش عمومی که در فوق ذکر شد، در مثال هایی که بعداً می آید مورد استفاده قرار گرفته است.

۱۰-۱۱ ترکیب برش و پیچش

شکل ۱۰-۱۹ - الف، اتصال لچکی را نشان می دهد که تحت اثر نیروی برشی و لنگر پیچشی قرار



شکل ۱۰-۱۹

دارد. مقطع مؤثر و سیستم نیروهای وارده، در شکل ۱۰-۱۹ ب، به نمایش درآمده است. با استفاده از روابط مقاومت مصالح، تنش ناشی از نیروهای فوق برابر است با:

$$f' = \frac{P}{A} = \text{تنش ناشی از نیروی برشی}$$

$$f'' = \frac{T.r}{I_p} = \text{تنش ناشی از لنگر پیچشی}$$

که در آن:

r = فاصله شعاعی از مرکز هندسی تا نقطه محاسبه تنش

$I_p =$ لنگر اینرسی قطبی سطح مقطع مؤثر جوش‌ها

برای محاسبه تنش اسمی، محل خط‌های جوش به‌جای مرکز گلولی مؤثر، در لبه جوش‌های گوشه در نظر گرفته می‌شوند. این امر تغییر محسوسی در نتایج ایجاد نمی‌نماید.

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 به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$I_p = \frac{bt}{6} (b^2 + 3d^2)$$

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:

$$\begin{aligned} f_r &= \sqrt{(f_x)^2 + (f_y)^2} \\ &= \sqrt{(f'_x + f''_x)^2 + (f'_y + f''_y)^2} \end{aligned}$$

تنش برآیند به دست آمده، باید از مقدار تنش مجاز جوش کمتر باشد:

$$f_r < F \text{ مجاز}$$

با توجه به مجهول بودن 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_r برای ضخامت واحد، آن را می‌توان مساوی ارزش جوش قرار داده و ضخامت مؤثر مورد نیاز را محاسبه نمود:

$$f_r = R_w = (تنش مجاز) t$$

از معادله فوق به دست می‌آید:

$$t = \frac{f_r}{\text{تنش مجاز}}$$

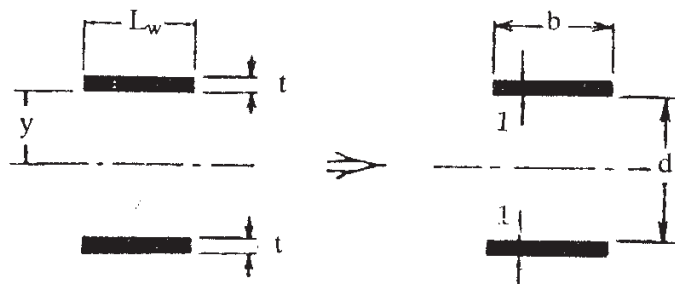
و یا برحسب ارزش جوش:

$$f_r = 650 D \rightarrow D = f_r / 650$$

اگر جوش‌های تشکیل‌دهنده مقطع شکل ۱۰ - ۱۹ را با ضخامت واحد فرض نماییم با استفاده از نمادهای عام b و d (شکل ۱۰ - ۲۰) رابطه ممان اینرسی قطبی به این صورت درمی‌آید:

$$I_p = \frac{b}{6} (b^2 + 3d^2)$$


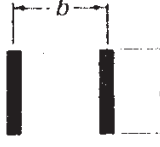
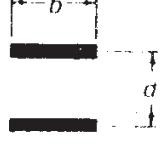
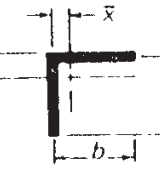






در جدول ۱۰ - ۴ مقادیر I_p و سایر مشخصات هندسی، برای اشکال معمول جوش، ارائه شده است.



شکل ۱۰ - ۲۰ - فرض جوش به عنوان اشکالی مرکب از خطوط با ضخامت واحد.

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 به دست آورید. در طرح اتصال ضخامت ورق تعیین‌کننده نبوده، جوش ظرفیت اتصال را کنترل می‌نماید.

مقطع b= عرض d= ارتفاع	مدول مقطع S=	لنگر اینرسی قطبی $I_p =$ حول مرکز هندسی
1. 	$S = \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{d^3}{12}$
2. 	$S = \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
3. 	$S = bd$	$I_p = \frac{b(3d^2 + b^2)}{6}$
4. 	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$S = \frac{4bd + d^2}{6}$ $I_p = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
5. 	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$	$S = bd + \frac{d^2}{6}$ $I_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
6. 	$\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$S = \frac{2bd + d^2}{3}$ $I_p = \frac{b^3 + 6b^2d + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{2d+b}$
7. 	$S = bd + \frac{d^3}{3}$	$I_p = \frac{(b+d)^3}{6}$
8. 	$\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$S = \frac{2bd + d^2}{3}$ $I_p = \frac{b^3 + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{b+2d}$
9. 	$S = bd + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 3b^2 + d^3}{6}$
10. 	$S = \pi r^2$	$I_p = 2\pi r^3$

حل:

حداکثر تنش در گروه جوش‌ها، در نقاط A و B اتفاق می‌افتد.

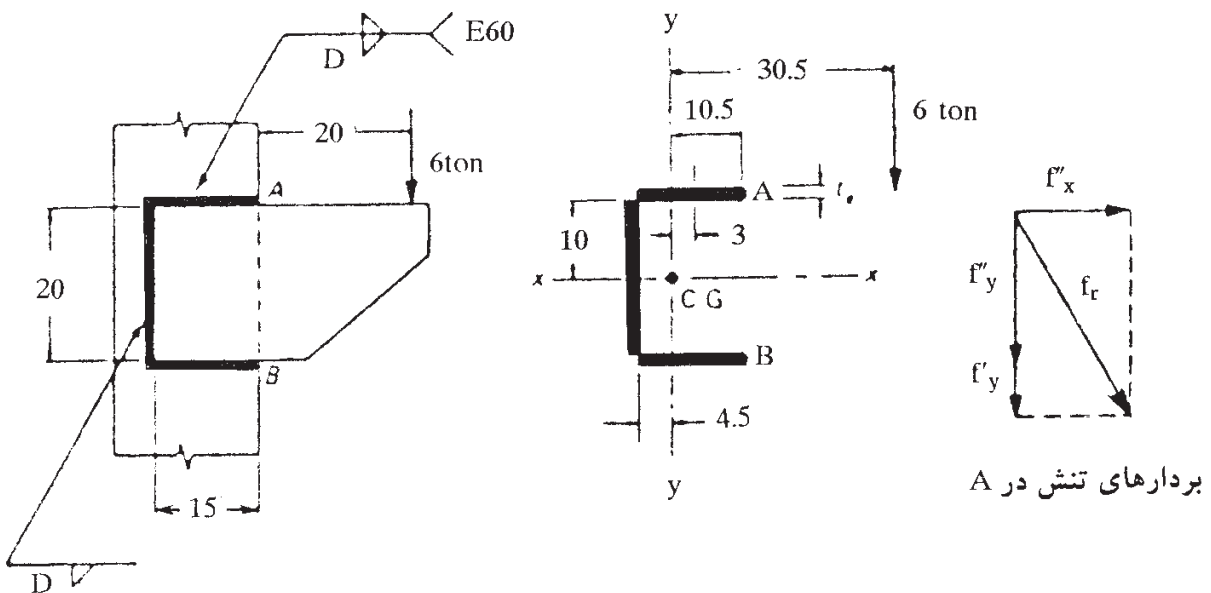
با استفاده از ردیف پنجم جدول ۱۰ - ۴ مختصات مرکز هندسی و ممان اینرسی قطبی جوش

تعیین می‌شود:

$$b=15 \text{ cm} , d=20 \text{ cm}$$

$$\bar{x} = \frac{(15)(15)}{2(15)+20} = 4.5 \text{ cm}$$

$$I_p = \frac{8(15)^3 + 6(15)(20)^2 + 20^3}{12} - \frac{15^4}{2(15)+20} = 4904.2 \text{ cm}^3$$



شکل ۱۰ - ۲۱ - مثال ۱ (اندازه‌ها به سانتی‌متر).

$$A=2(15)+20=50 \text{ cm}$$

$$f'_y = \frac{Py}{A_p} = \frac{6 \times 1000}{(50)} = 120 \text{ kg/cm}$$

$$f''_x = \frac{T \cdot y}{I_p} = \frac{(6 \times 1000)(30.5)(10)}{4904.2} = 373.15 \text{ kg/cm}$$

$$f''_y = \frac{T \cdot x}{I_p} = \frac{(6 \times 1000)(30.5)(10.5)}{4904.2} = 391.81 \text{ kg/cm}$$

جمع برداری تنش‌ها، برآیند f_r را به دست می‌دهد.

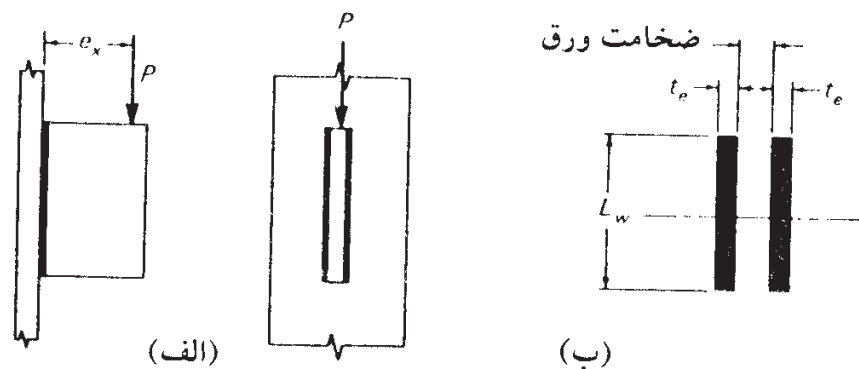
$$f_r = \sqrt{(373.15)^2 + (120 + 391.81)^2} = 633.40 \text{ kg/cm}$$

با مساوی قرار دادن f_r با حداکثر مقدار مجاز آن به دست می آوریم:

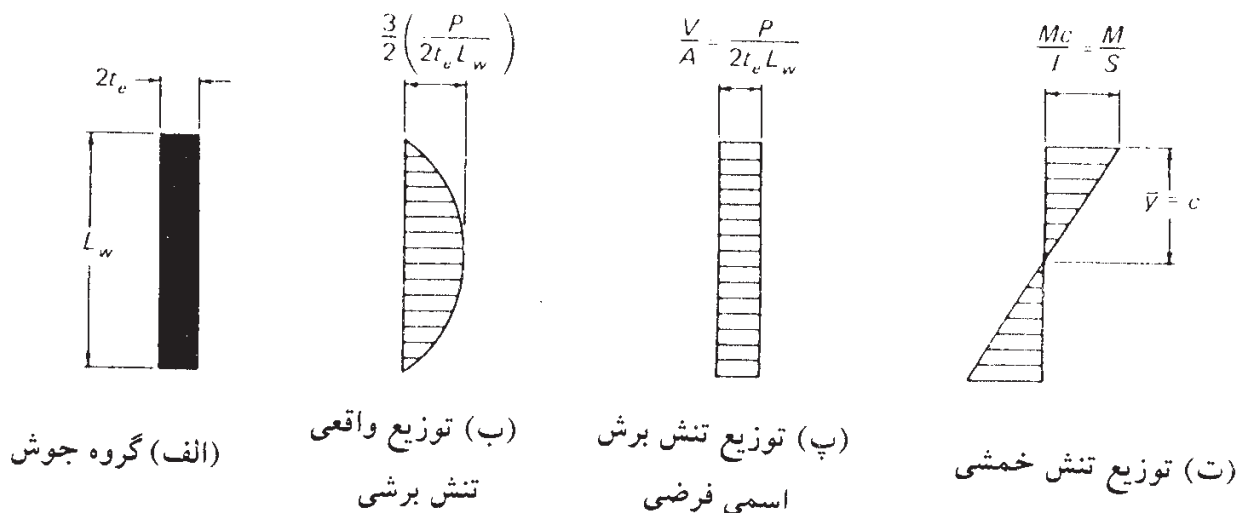
$$633.4 = 650 D \rightarrow D = 0.974 \text{ بگوییم } D = 10 \text{ mm}$$

۱۰-۱۲ ترکیب برش و خمش

ترکیب تنش‌های برشی و خمشی از جمع برداری تنش‌های اسمی برشی و خمشی به دست می آید. نحوه عمل با مثال تیغه نشیمن^۵ شکل ۱۰-۲۲ الف و مقطع مؤثر گروه جوش‌های آن در شکل ۱۰-۲۲ ب، به نمایش درآمده است. شکل ۱۰-۲۳ نمایشگر تغییرات تنش برشی و خمشی می باشد. باید متوجه این موضوع باشیم که حداکثرهای تنش برشی و خمشی در یک محل از جوش



شکل ۱۰-۲۲ - جوش تحت اثر توأم برش و خمش.



(الف) گروه جوش

(ب) توزیع واقعی
تنش برشی

(پ) توزیع تنش برش
اسمی فرضی

(ت) توزیع تنش خمشی

شکل ۱۰-۲۳ - تنش روی خطوط قائم جوش تحت اثر برش و خمش.

اتفاق نمی‌افتند. لیکن به‌منظور 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.

برای این مورد خاص، تنش برشی قائم برابر است با:

$$f'_y = \frac{P_y}{A} = \frac{P}{2t L_w}$$

و تنش قائم ناشی از خمش عبارت است از:

$$f''_x = \frac{Mc}{I} = \frac{(Pe_x)(L_w/2)}{\left[\frac{2t(L_w)^3}{12} \right]} = \frac{3Pe_x}{t(L_w)^2}$$

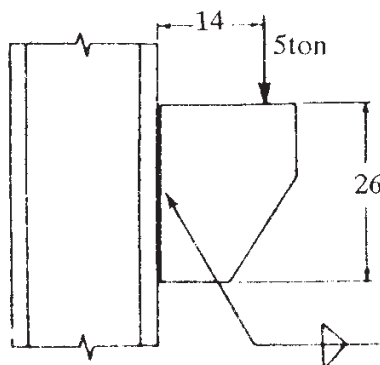
برآیند تنش‌ها به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$f_r = \sqrt{(f'_y)^2 + (f''_x)^2}$$

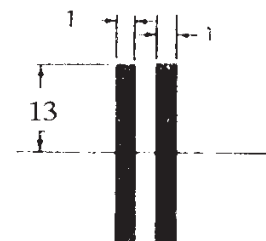
برای مؤلفه خمشی تنش ممان اینرسی I برحسب محور خمش، ممکن است I_x یا I_y باشد. مقادیر I را می‌توان به‌طریقی مشابه I_p ، برای اشکال مختلف جوش که از خطوطی به‌عرض واحد تشکیل شده‌اند به‌دست آورد. برای بعضی اشکال متداول مقدار $S = \frac{I}{c}$ در جدول ۱۰-۴ داده شده است.

مثال ۱۰-۶

اندازه ساق جوش لازم برای اتصال نمایش داده شده در شکل ۱۰-۲۴-الف، را با استفاده از الکتروود



(الف) بیغه نشیمن



(ب) سطح مقطع فرضی جوش

شکل ۱۰-۲۴-مثال ۱۰-۶ (تمام اندازه‌ها به‌سانتی‌متر).

E60 با تنش مجاز آیین‌نامه فولاد ایران و جوشکاری به روش جوش قوس الکتریکی با الکتروود روکش‌دار 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:

$$f'_y = \frac{P}{A} = \frac{5 \times 1000}{2(26)} = 96.15 \text{ kg/cm}$$

$$I_x = \frac{2(1) \times (26)^3}{12} = 2929.33 \text{ cm}^3$$

$$f''_x = \frac{Mc}{I} = \frac{(5 \times 1000)(14)13}{2929.33} = 310.65 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = \sqrt{(96.15)^2 + (310.65)^2} = 325.19 \text{ kg/cm}$$

اندازه ساق جوش برابر می‌شود با:

$$650 D = 325.19 \rightarrow D = 0.5 \text{ cm} = 5 \text{ mm}$$

استفاده شود از جوش ۵ میلی‌متری با الکتروود E60 یا معادل آن.

۱۰-۱۳ تخمین طول جوشی که تحت اثر لنگر خمشی است

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_r برآیند تنش‌های وارده بر جوشی با $t_e = 1$ باشد، برای لنگری که تنها روی یک خط جوش اثر کرده می‌توان نوشت:

$$f_r = \frac{M}{S} = \frac{M}{\left(\frac{1}{6}L_w^2\right)} \text{ kg/cm}$$

چون حداکثر مقادیر f_r مساوی R_w می‌باشد:

$$R_w = \frac{6M}{L_w^2}$$

یا:

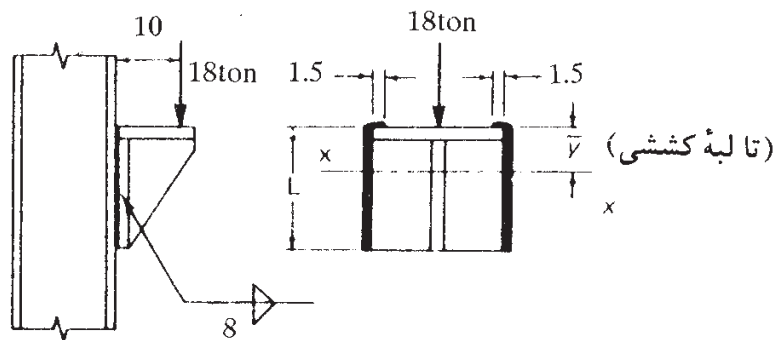
$$L_w = \sqrt{\frac{6M}{R_w}}$$

از آنجا که این رابطه برای لنگر تنها صادق است، مقدار R_w ای که در عبارت فوق جاگذاری

می شود 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 گوشه ای به اندازه ساق ۸ میلی متر با الکتروود E60 و تنش های مجاز آیین نامه فولاد ایران به دست آورید.



شکل ۱۰ - ۲۵ - مثال ۱۰ - ۷ (اندازه ها به سانتی متر).

حل:

برای تخمین L با استفاده از رابطه قبل:

$$R_w = 650 \times 8 = 520 \text{ kg/cm}$$

$$M = 18(10) = 180 \text{ ton.cm (بر دو خط جوش)}$$

$$L = \sqrt{\frac{6M}{R_w}} = \sqrt{\frac{6(180 \times 1000)}{520}} = 45.57 \text{ cm}$$

L را مساوی ۳۵ سانت با دو خط جوش با برگشت ۱/۵ سانتی متر در نظر می گیریم. با استفاده از حالت ۸ جدول ۱۰ - ۴ داریم:

$$b = 3 \text{ cm} \quad d = 35 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d} = \frac{35^2}{3+70} = 16.78 \text{ cm (از بالا)}$$

$$S_t = \frac{2bd+d^2}{3} = \frac{2 \times 3 \times 35 + 35^2}{3} = 478.33 \text{ cm}^3$$

$$A = 2d + b = 2 \times 35 + 3 = 73 \text{ cm}$$

$$f \text{ (برش مستقیم)} = \frac{18000}{73} = 246.58 \text{ kg/cm}$$

$$f \text{ (خمش)} = 180000/478.33 = 376.31 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = \sqrt{246.58^2 + 376.31^2} = 449.9 \text{ kg/cm}$$

$$R_w = 650 \times 0.8 = 520 \text{ kg/cm} > 449.9 \text{ خوبست}$$

طراحی اتصالات

۱۱-۱ کلیاتی در مورد اتصالات

۱۱-۱-۱ انواع اتصالات

مبحث دهم از مقررات ملی ساختمانی ایران، ساختمان‌های فولادی را برحسب نوع اتصالاتی که در آنها به کار 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 گیرداری 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 گیرداری 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 تئوریک اتصالی مفصلی و کاملاً بدون اصطکاک را دارا باشد، اتصال این اعضا را می‌توان ساده محسوب نمود.

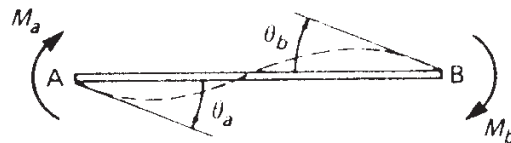
پ) ساختمان‌های نوع ۳، قاب‌های نیمه‌صلب: در این نوع اتصالات، گیرداری چرخشی بین ۲۰ تا ۹۰ درصد گیرداری لازم برای جلوگیری از هر گونه تغییر زاویه می‌باشد. به عبارت دیگر می‌توان فرض کرد که در اتصالات نیمه‌صلب لنگر انتقالی توسط اتصال، نه مانند اتصالات ساده صفر (یا مقداری کوچک) است، و نه مساوی لنگر به دست آمده از تحلیل الاستیک قاب صلب می‌باشد. محدودیت استفاده از این نوع اتصال عمدتاً به خاطر اشکالاتی است که در تخمین صحیح درجه

گیرداری آنها وجود دارد.

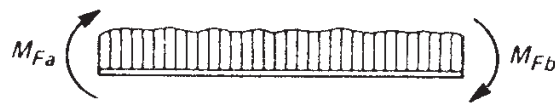
۱۱-۱-۲ خط تیر

به منظور درک بهتر تفاوت‌های عملی بین انواع اتصالات می‌توان از مفهوم خط تیر که یک وسیله ترسیمی بسیار خوبی است استفاده نمود.

همان‌طور که در شکل ۱۱-۱ به نمایش درآمده، تیری مانند AB که تحت لنگرهای M_a و M_b قرار گرفته و شیب‌های انتهایی آن θ_a و θ_b می‌باشد را در نظر بگیرید. لنگرهایی که برای داشتن $\theta_a = \theta_b = 0$ مورد لزوم می‌باشند، با M_{Fa} و M_{Fb} نامگذاری می‌کنیم که همان لنگرهای گیرداری^۲ هستند.



(الف) لنگرهای انتهایی و شیب‌های نهایی



(ب) لنگرهای گیرداری

شکل ۱۱-۱ - لنگر و چرخش برای معادلات شیب - افت (جهت مثبت لنگرها).

از معادلات شیب - افت به دست می‌آوریم:

$$M_a = M_{Fa} + \frac{4EI}{L} \theta_a + \frac{2EI}{L} \theta_b \quad (1-11)$$

$$M_b = M_{Fb} + \frac{2EI}{L} \theta_a + \frac{4EI}{L} \theta_b$$

اگر معادلات فوق را برای θ_a و θ_b حل کنیم، داریم:

$$\frac{6EI}{L} \theta_a = 2(M_a - M_{Fa}) - (M_b - M_{Fb}) \quad (2-11)$$

$$\frac{6EI}{L} \theta_b = -(M_a - M_{Fa}) + 2(M_b - M_{Fb})$$

با تفریق معادله دوم از معادله اول به دست می آوریم:

$$\frac{6EI}{L} (\theta_a - \theta_b) = 3(M_a - M_b) - 3(M_{Fa} - M_{Fb}) \quad (۳-۱۱)$$

و اگر بارگذاری را قرینه کنیم، داریم:

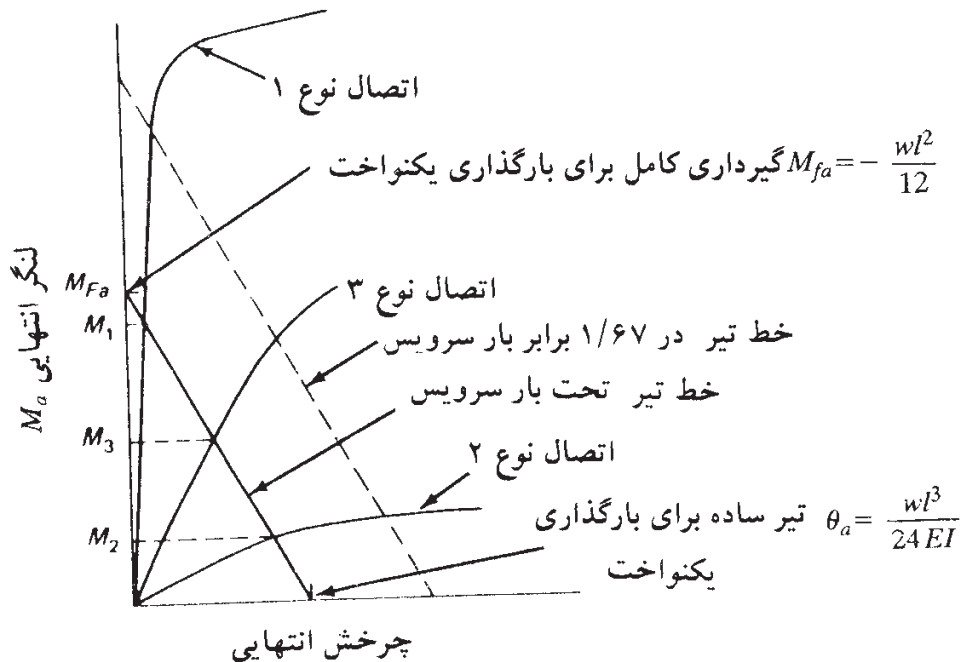
$$M_b = -M_a \quad \theta_b = -\theta_a \quad M_{Fb} = -M_{Fa} \quad (۴-۱۱)$$

با جاگذاری مقادیر بالا در رابطه ۲-۳ به دست می آید:

$$\frac{2EI}{L} \theta_a = M_a - M_{Fa} \quad \text{یا} \quad (۵-۱۱)$$

$$M_a = M_{Fa} + \frac{2EI}{L} \theta_a$$

رابطه بالا را معادله خط تیر^۳ نامگذاری کرده اند. وقتی که $\theta_a = 0$ (گیرداری کامل)، داریم: $M_a = M_{Fa}$ و برای انتهای مفصلی که در آن $M_a = 0$ ، شیب $\theta_a = -\frac{M_{Fa}}{\frac{2EI}{L}}$ خواهد شد. شکل ۱۱-۲



شکل ۱۱-۲ - مشخصه های «لنگر چرخش».

منحنی خط تیر را به همراه رابطه لنگر - چرخش اتصالات ۱ و ۲ و ۳ به نمایش می گذارد. یک اتصال صلب باید قادر باشد لنگر معادل M_1 (حدود ۹۰ درصد لنگر گیرداری) یا بیشتر

را انتقال دهد. اتصال ساده‌ای از نوع ۲ تنها باید ۲۰ درصد لنگر M_{Fa} یا کمتر را انتقال دهد، که با لنگر M_2 نشان داده شده است. ولی از اتصال نیمه صلب انتظار می‌رود که قادر به تحمل و انتقال لنگری مابین مقادیر فوق باشد که احیاناً حدود ۵۰ درصد لنگر گیرداری M_{Fa} می‌باشد.

اگر قادر باشیم رابطه لنگر - چرخش یک اتصال مشخص را تعیین کنیم، می‌توان قدرت اتصال را طوری طراحی کرد که چرخش انتهایی θ با آنچه در اثر بار ایجاد می‌گردد، همساز باشد.

۱۱-۲ اتصال ساده تیر با نبشی جان

۱۱-۲-۱ کلیات

اتصالات ساده برشی به کمک نبشی جان، برای متصل ساختن تیر به تیر دیگر یا به بال ستون به کار می‌روند. در این نوع اتصال، نبشی باید تا سرحد امکان انعطاف‌پذیر در نظر گرفته شود.

وقتی که از نبشی جان برای اتصال تیر به ستون استفاده می‌گردد، فاصله آزادی در حدود ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود تا اگر تیر در حدود رواداری‌های مجاز بلند بود، بدون بریدن سر آن و تنها با جابه‌جا کردن نبشی بتوان آن را نصب کرد. وقتی که اتصال دو تیر به نحوی انجام می‌گیرد که بال‌های فوقانی هر دو در یک تراز واقع می‌گردد، باید قسمتی از بال تیری را که مقصود، ایجاد اتصال ساده برای آن است جدا کرده، مانند شکل ۱۱-۳-پ، اتصال را برقرار ساخت. در این حالت، مقطع فقط مقدار کمی از بال خود را که در تحمل برش نقش ناچیزی دارد از دست می‌دهد، بنابراین هم‌تراز کردن تیرها فقط مقدار کوچکی از مقاومت برشی اولیه می‌کاهد.

۱۱-۲-۲ طراحی اتصال نبشی جان به تیر (جوش A)

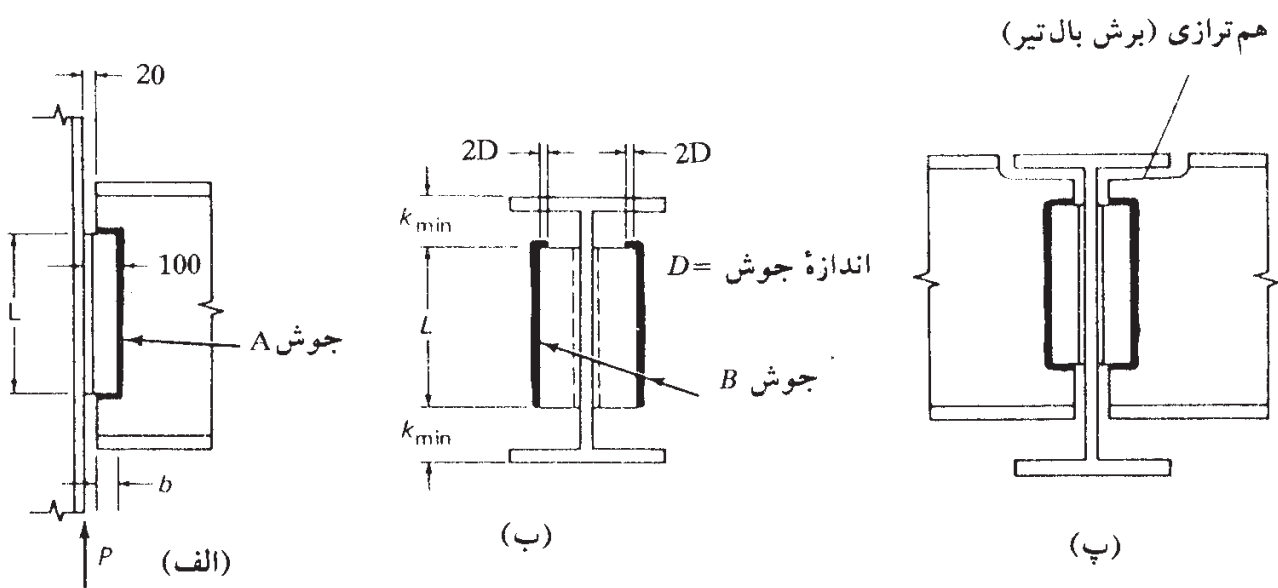
جوش این اتصال تحت برش برون محور قرار دارد. از اصول مطرح شده در فصل دهم در خصوص طراحی جوش در اینجا نیز استفاده به عمل می‌آید.

مثال ۱۱-۱

در اتصال به کمک نبشی جان شکل ۱۱-۳، ظرفیت جوش A را به دست آورید. تیر مورد استفاده IPBL 600 و اندازه ساق جوش ۸ میلی‌متر می‌باشد. ابعاد نبشی $100 \times 100 \times 10$ mm به طول ۴۰ سانتی‌متر بوده و از الکتروود E60 و تنش‌های مجاز مبحث دهم استفاده می‌شود.

حل:

با استفاده از رابطه شماره ۵ جدول ۱۰-۴، ممان اینرسی قطبی جوش A برابر می‌شود با:



شکل ۱۱-۳ - اتصال ساده تیر با نبشی جان (اندازه‌ها به میلی‌متر).

$$b=8 \quad d=40$$

$$I_p = \frac{8(8)^3 + 6(8)(40)^2 + (40)^3}{12} - \frac{(8)^4}{2(8)+40} = 12001.5 \text{ cm}^3$$

مؤلفه برش مستقیم:

$$f'_y = \frac{P}{2(40+2 \times 8)} = 0.0089 p$$

مرکز هندسی نوار جوش:

$$\bar{x} = \frac{8^2}{(2 \times 8 + 40)} = 1.14 \text{ cm}$$

مؤلفه‌های x و y تنش پیچشی عبارتند از:

$$f''_y = \frac{T.x}{I_p} = \frac{p(10-1.14)(10-1.14-2.0)}{2(12001.5)} = 0.00253 p$$

$$f''_x = \frac{T.y}{I_p} = \frac{p(10-1.14)(20)}{2(12001.5)} = 0.00738 p$$

$$f_r = p \sqrt{(0.0089+0.00253)^2 + (0.00738)^2} = 0.01361 p$$

ارزش جوش:

$$R_w = 650 D = 650 \times (0.8) = 520 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = R_w$$

$$0.01361 p = 520 \times 10^{-3}$$

$$p_{WA} = 38.32 \text{ ton}$$

۱۱-۲-۳ طراحی اتصال نبشی جان به تکیه‌گاه (جوش B)

با توجه به توزیع تنش شکل ۱۱-۴ می‌توان نوشت:

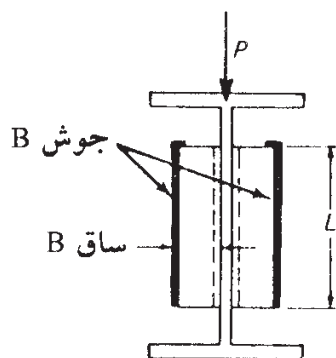
مؤلفه خمشی تنش:

$$f'_x = \frac{MC}{I} = \frac{pe_1 \left(\frac{L}{2}\right)}{2 \times \frac{1}{12} \times 1 \times L^3} = \frac{3pe_1}{L^2}$$

$$f'_y = \frac{p}{2L}$$

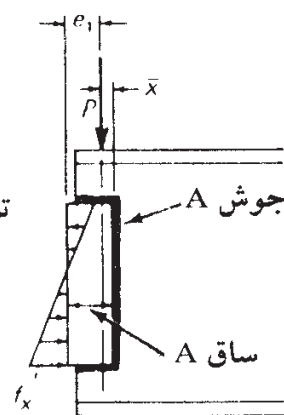
با جمع دو مؤلفه فوق نتیجه می‌شود:

$$f_r = \sqrt{\left(\frac{p}{2L}\right)^2 + \left(\frac{3pe_1}{L^2}\right)^2} = \frac{p}{2L^2} \sqrt{L^2 + 36e_1^2} \quad (11-6)$$



(الف)

توزیع تنش‌ها در جوش B



(ب)

شکل ۱۱-۴ - اتصال نبشی جان (جوش شده در کارگاه).

مثال ۱۱-۲

مطلوب است تعیین ظرفیت جوش B در شکل ۱۱-۴ الف، در صورتی که اندازه ساق جوش ۸ میلی‌متر بوده و طول L مساوی ۵۰ سانتی‌متر باشد. نبشی‌های به کار رفته در این اتصال به ابعاد

۱۰۰×۱۰۰×۱۰ mm و الکتروود مصرفی در طرح E60 بوده و تنش‌های مجاز جوش از آیین‌نامه فولاد ایران به دست می‌آید:

حل:

$$\bar{x} = \frac{(10-2)^2}{2(10-2)+50} = 0.97 \text{ cm}$$

$$e_1 = 10 - \bar{x} = 10 - 0.97 = 9.03 \text{ cm}$$

$$f_r = \frac{P}{2(50)^2} \sqrt{(50)^2 + 36 \times (9.03)^2} = 0.0147 p$$

$$R_w = 650 D = 650 \times 0.8 = 520 \text{ kg/cm} \quad \text{ارزش جوش:}$$

$$f_r = R_w$$

$$0.0147 P = 520 \times 10^{-3}$$

$$P_{WB} = 35.27 \text{ t}$$

۱۱-۲-۳ تنش برشی در تیر و نبشی

آنچه در بندهای قبل آمد، تنها محاسبه ظرفیت جوش‌های A و B نبشی جان بود. ظرفیت هر اتصالی، حداقل ظرفیت قابل تحمل توسط هر یک از عناصر تشکیل دهنده آن اتصال می‌باشد. در اتصال نبش جان، برای اینکه ظرفیت جوش‌های A و B حاکم بر طرح شوند می‌بایستی تیر، نبشی و تکیه‌گاه، ظرفیت بیشتری (یا حداقل مساوی) از جوش‌ها داشته باشند.

ظرفیت برشی تیر باید از ظرفیت برشی جوش A بیشتر باشد:

$$0.4 F_y t_w \geq 2 \times (650 D_a)$$

$$t_w \geq \frac{1300 D_a}{0.4 F_y} \quad (۷-۱۱)$$

ظرفیت برشی نبشی باید از ظرفیت برشی جوش‌ها بیشتر باشد:

$$p = 0.4 F_y t L \geq p_w$$

$$t \geq \frac{P_w}{0.4 F_y L} \quad (۸-۱۱)$$

در روابط فوق، t_w ضخامت جان تیر، t ضخامت نبشی، D_a اندازه جوش A و L ارتفاع نبشی

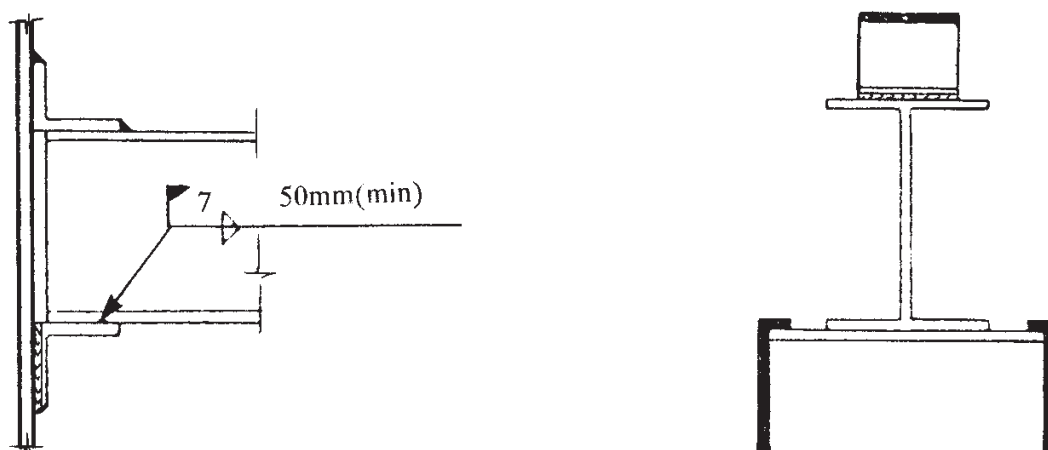
همه برحسب سانتی متر، F_y تنش تسلیم مصالح برحسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع و P_w کمترین دو مقدار ظرفیت جوش A و جوش B برحسب کیلوگرم می باشد.

در مورد تکیه گاه نیز، برحسب نوع آن می بایستی شرایط تحمل برش را ارضاء نمود. در صورتی که ضخامت جان تیر یا نبشی از مقادیر فوق کمتر باشد، ظرفیت اتصال توسط جان تیر و یا نبشی محدود می گردد.

۱۱-۳ اتصال ساده تیر با نبشی نشیمن انعطاف پذیر

۱۱-۳-۱ کلیات

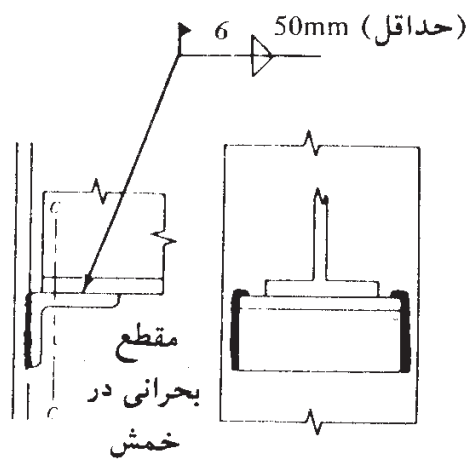
در این نوع اتصال، تیر بر روی یک نبشی نشیمن که هیچ گونه تقویتی در آن صورت نگرفته است، قرار می گیرد. این نوع اتصال را باید همیشه همراه با یک نبشی بالایی که تنها وظیفه آن تأمین تکیه گاه جانبی برای بال فشاری است، به کار برد.



شکل ۱۱-۵

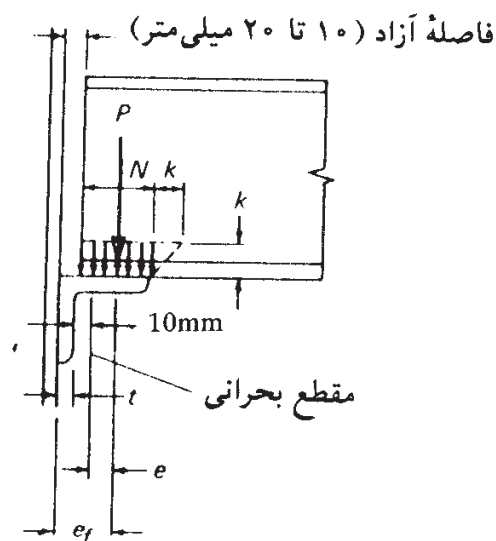
مانند اتصالات ساده با نبشی جان، منظور از اتصالات نشیمن تنها انتقال واکنش تکیه گاهی قائم است. بنابراین اتصال نباید در انتهای تیر، گیرداری قابل توجهی ایجاد کند. به این دلیل است که نبشی نشیمن و نبشی بالایی باید نسبتاً قابل انعطاف باشند.

ضخامت نبشی نشیمن به وسیله تنش خمشی روی مقطع بحرانی که در شکل ۱۱-۶ نشان داده شده است، تعیین می گردد. محل مقطع بحرانی را در فاصله ۱۰ میلی متری از وجه نبشی در نظر می گیرند. در این مورد فرق نمی کند که تیر به نشیمن خود متصل شده باشد یا نه. در عمل، غالباً تیر را به نشیمن متصل می کنند. محل مقطع بحرانی در نزدیکی آغازگردی اتصال ساق افقی نبشی به ساق قائم آن واقع شده است.



شکل ۱۱-۶

لنگر خمشی در مقطع بحرانی نبشی و محل اتصال به بال ستون، با ضرب کردن واکنش تکیه‌گاهی در فاصله آن از مقطع بحرانی مورد نظر به دست می‌آید. محل اثر واکنش تکیه‌گاهی در وسط طول لازم N برای جلوگیری از لهیدگی بین جان و بال که از انتهای تیر اندازه‌گیری می‌گردد، در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۱-۷

۱۱-۳-۲ روش طراحی

طراحی یک نشیمن تقویت‌نشده شامل مراحل زیر است:

- ۱- تعیین عرض نشیمن N
- ۲- تعیین بازوهای لنگر e و e_f
- ۳- تعیین طول و ضخامت نبشی

۴ - تعیین ابعاد ساق نبشی و اندازه جوش لازم
عرض نشیمن بر مبنای طول لازم N برای جلوگیری از لهیدگی بین جان و بال، تعیین می‌گردد:

$$N = \frac{P}{0.66 F_y t_w} - 2.5 K \geq K$$

که در آن:

$$t_w = \text{ضخامت جان تیر}$$

$$k = \text{فاصله سطح خارجی بال تا آغازگردی بین جان و بال}$$

بنابراین:

$$\text{فاصله آزاد مونتاژ} + N \geq \text{عرض نشیمن}$$

عرض نشیمن نباید از $7/5$ سانتی متر کمتر باشد. در این مورد عدد 10 سانتی متر قابل توصیه است. بازوهای لنگر e و e_f به ترتیب زیر به دست می‌آید:

$$e_f = N/2 + \text{فاصله آزاد مونتاژ} \quad (11-11)$$

$$e = e_f - t - 1.0 \text{ cm} \quad (12-11)$$

لنگر خمشی روی مقطع بحرانی نبشی عبارت است از:

$$M = p.e$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{pe}{\frac{1}{6}bt^2} = \frac{6pe}{bt^2} \quad (13-11)$$

با استفاده از تنش مجاز یک مقطع توپر مربعی که حول محور ضعیف خود خم شده است، داریم:

$$F_b = 0.75 F_y$$

$$t^2 = \frac{6pe}{0.75 F_y b} = \frac{8pe}{F_y b} \quad (4-11)$$

مثال ۱۱-۳

مطلوب است طراحی اتصال ساده با نبشی نشیمن انعطاف‌پذیر برای تیری با نیمرخ IPE 300 و به دهانه $7/5$ متر که دارای تکیه‌گاه جانبی کافی می‌باشد. تیر از جنس فولاد نرمه با تنش تسلیم 2400 کیلوگرم بر سانتی متر مربع است.

حل:

در خیلی از موارد طرح، عاقلانه آن است که نشیمن را برای حداکثر واکنش تکیه‌گاهی مربوط

به هنگامی که تیر به ظرفیت خمشی خود می‌رسد، طراحی نماییم. به چنین اتصالی، اتصال «تمام قدرت» می‌گویند. به کار بردن چنین اتصالی موجب آن می‌گردد که اعضای اصلی و اتصالات آنها از ضرایب اطمینان یکسانی برخوردار باشند و طرح یکنواخت تر شود. در مورد بعضی تیرهای با دهانه خیلی کوچک، ممکن است ظرفیت برشی معرف تمام قدرت باشد.

الف) تعیین طول و ضخامت نبشی

$$\text{IPB300} : b=15 \text{ cm} , t_w=0.71 \text{ cm} , k=2.57 \text{ cm} , S_x=557 \text{ cm}^3$$

$$M=0.66 F_y S_x=0.66 \times 2400 \times 557 \times 10^{-5}=8.82 \text{ ton.m}$$

$$p = \frac{WL}{2} = \frac{8M}{2L} = \frac{8 \times 8.82}{2 \times 7.5} = 4.70 \text{ ton}$$

$$N = \frac{p}{0.66 F_y t_w} - 2.5 k = \frac{4.70 \times 10^3}{0.66 \times 2400 \times 0.71} - 2.5 \times 2.57 = -2.25 < k$$

بنابراین طول N را مساوی $2/57$ سانتی متر در نظر می‌گیریم.

با فرض اینکه برش قطعات در کارگاه آهنبری از دقت زیادی برخوردار نیست، فاصله مونتاژ را

۲ سانتی متر در نظر می‌گیریم:

$$e_f = \frac{2.57}{2} + 2 = 3.28 \text{ cm}$$

انتخاب اول برای ضخامت نبشی:

$$t=12 \text{ mm}$$

$$e = e_f - t - 1.0 = 3.28 - 1.2 - 1.0 = 1.08 \text{ cm}$$

طول نبشی را کمی بیشتر از پهنای بال تیر اختیار می‌کنیم:

$$b = 15 + 2 \times 2 = 19 \text{ cm}$$

$$t^2 = \frac{8pe}{F_y b} = \frac{8 \times (4.70 \times 10^3) \times 1.08}{2400 \times 19} = 0.89 \rightarrow t = 0.94 \text{ cm}$$

استفاده می‌شود از نبشی به ضخامت ۱۲ میلی‌متر و طول ۱۹ سانتی‌متر (مثلاً $\frac{120 \times 120 \times 12}{L=190}$).

ب) تعیین ابعاد ساق نبشی و اندازه جوش لازم

در طرح اولیه از نبشی $L 120 \times 120 \times 12$ که طول هر یک از ساق‌های آن ۱۲ سانتی‌متر است، استفاده می‌شود. براساس محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای: حداکثر اندازه جوش ۱۰ و حداقل اندازه

جوش ۵ میلی متر می باشد.

با صرف نظر کردن از طول های جوش برگشت داریم:

$$f_r = \frac{p}{2L^2} \sqrt{L^2 + 36e_1^2}$$

$$p = 4.70 \text{ ton} , L = 12 \text{ cm} , e_1 = e_f = 3.28 \text{ cm}$$

$$f_r = \frac{4.7 \times 10^3}{2 \times 12^2} \sqrt{12^2 + 36 \times 3.28^2} = 376.16 \text{ kg/cm}$$

$$650D = 376.16 \rightarrow D = 0.58 \text{ cm} \quad \text{اندازه جوش}$$

راه حل محافظه کارانه تر، اندازه گیری e_1 از مراکز عرض تماس نشیمن می باشد.

$$e_1 = \frac{N}{2} + 2 = \frac{12-2}{2} + 2 = 7 \text{ cm}$$

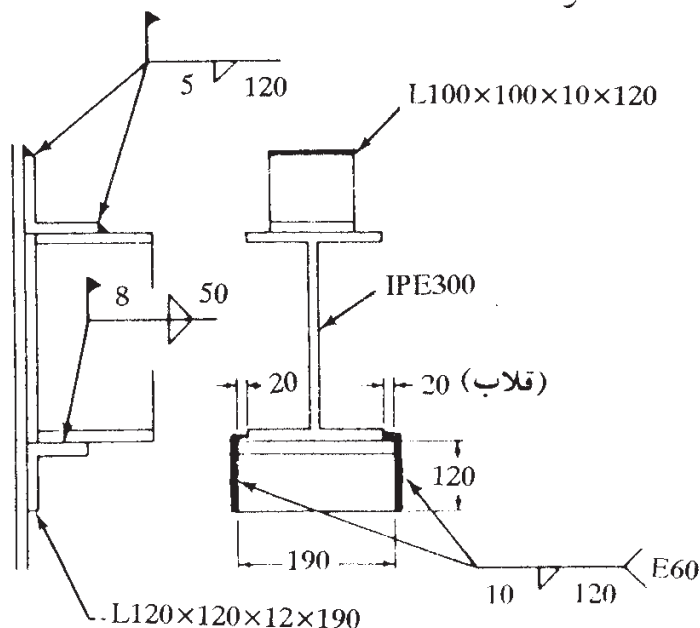
$$f_r = \frac{4.7 \times 10^3}{2 \times (12)^2} \times \sqrt{12^2 + 36 \times 7^2} = 712.84 \text{ kg/cm}$$

$$650D = 712.84 \rightarrow D = 1.1 \text{ cm} \quad \text{اندازه جوش}$$

بنابراین از جوش با اندازه $D = 10 \text{ mm}$ استفاده می کنیم.

$$\text{طول جوش برگشت} = 2D = 2 \times 10 = 20 \text{ mm}$$

نبشی بالایی و جوش های آن اسمی می باشند. به عنوان مثال می توان از نبشی $L 100 \times 100 \times 10$ با طول 120 mm و اندازه جوش 5 mm استفاده نمود.



(ابعاد به میلی متر)

۱۱-۴ اتصال ساده تیر با نشیمن تقویت شده

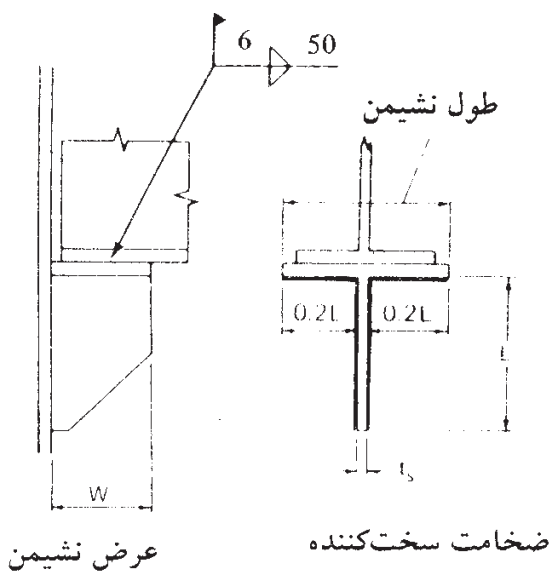
۱۱-۴-۱ کلیات

وقتی در اتصالات ساده با نشیمن، واکنش تکیه گاهی از حد قابل قبولی تجاوز نماید، باید از نشیمن تقویت شده با مقطع T شکل استفاده کرد. چه در غیر این صورت ضخامت نبشی نشیمن تقویت نشده (انعطاف پذیر) بسیار بزرگ می شود. این اتصال نیز از نوع ساده بوده و تنها وظیفه آن انتقال بارهای قائم است و هیچ لنگری را منتقل نمی کند.

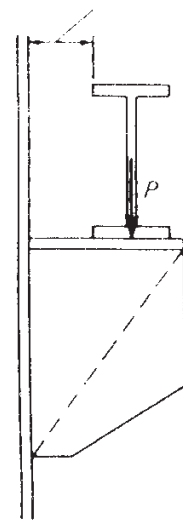
واکنش های تکیه گاهی به دو صورت ممکن است بر نشیمن تقویت شده وارد گردند. در حالت متداول واکنش تکیه گاهی به وسیله تیری که جان آن مستقیماً در امتداد سخت کننده قرار گرفته است، منتقل می شود (شکل ۱۱-۹).

در حالت دوم، تیر طوری قرار گرفته است که جان آن عمود بر ورق سخت کننده است (شکل ۱۱-۱۰). به علاوه همان طور که در شکل ۱۱-۱۱ دیده می شود، یکی دیگر از عوامل تفاوت رفتار نشیمن های تقویت شده، زاویه برش لبه آزاد سخت کننده آن می باشد. اگر زاویه θ حدوداً ۹۰ باشد، سخت کننده خود مانند ورق سخت نشده تحت فشار یکنواخت، رفتار می نماید که باید در مقابل کمانش موضعی محاسبه گردد. وقتی که ورق سخت کننده طوری برش خورده باشد که از آن یک صفحه سه گوش ایجاد گردد، رفتار متفاوتی از آن بروز می کند.

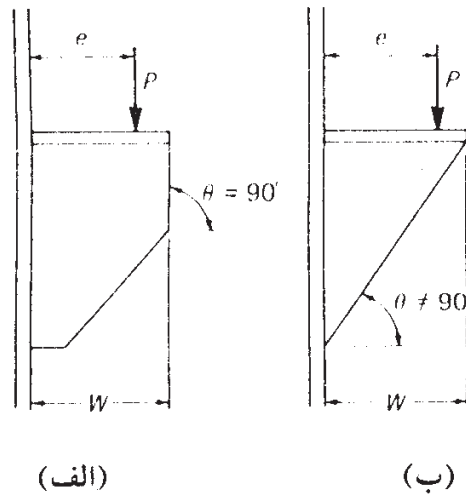
حداقل ۲۵ میلی متر فاصله آزاد



شکل ۱۱-۹



شکل ۱۱-۱۰



شکل ۱۱-۱۱

۱۱-۴-۲ روش طراحی

گام‌هایی که برای طرح یک نشیمن تقویت شده برداشته می‌شود، به ترتیب زیر است:

۱- تعیین عرض نشیمن

۲- تعیین خروج از مرکزیت بار، e_s

۳- تعیین ضخامت سخت‌کننده، t_s

۴- تعیین اندازه و طول جوش

همانند حالت قبل، عرض نشیمن بر مبنای حداقل طول لازم N برای جلوگیری از لهیدگی بین

جان و بال تیر تکیه داده شده، تعیین می‌گردد.

به خاطر صلبیت سخت‌کننده قسمتی که تحت بیشترین تنش‌ها قرار دارد، برخلاف نشیمن‌های

تقویت نشده، به جای کناره داخلی، در لبه خارجی نشیمن واقع می‌گردد (شکل ۱۱-۱۲).

ضخامت صفحه نشیمن‌گاه، در حدود ضخامت بال تیر انتخاب می‌گردد.

اگر فرض کنیم که واکنش P تیر، در فاصله $N/2$ از لبه نشیمن وارد می‌گردد، t_s (ضخامت

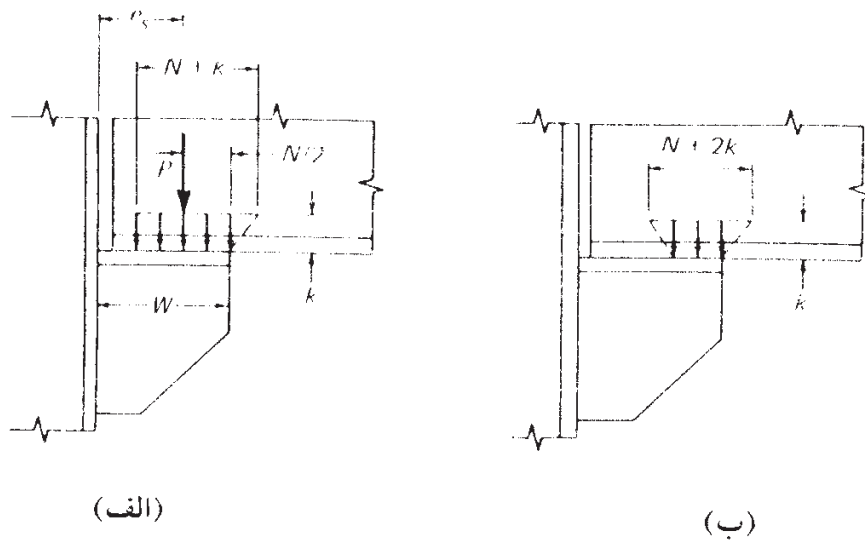
سخت‌کننده) باید طوری تعیین شود که شرایط زیر را ارضاء نماید:

شرط ۱: ضخامت سخت‌کننده حداقل به اندازه ضخامت جان تیر باشد:

$$t_s \geq t_w \quad (11-15)$$

شرط ۲: به منظور جلوگیری از کمانش موضعی سخت‌کننده:

$$t_s \geq \frac{w}{795\sqrt{F..}} \quad (11-16)$$



شکل ۱۱-۱۲ - تنش فشاری تماسی بر روی نشیمن‌های تقویت‌شده.

شرط ۳: برای جلوگیری از لهیدگی سخت‌کننده:

$$f_b = \frac{P}{A} + \frac{M}{S} = \frac{P}{wt_s} + \frac{P(e_s - \frac{w}{2})}{t_s \frac{w^2}{6}} = \frac{P}{t_s w^2} (6e_s - 2w)$$

$$t_s \geq \frac{P(6e_s - 2w)}{0.9 F_y w^2} \quad (11-17)$$

در رابطه فوق، تنش مجاز لهیدگی برابر $0.9 F_y$ اختیار شده است (در حالت محافظه کارانه‌تر، این مقدار برابر $0.6 F_y$ می‌باشد).

شرط ۴: برای کنترل تنش برشی انتقال یافته از جوش بین سخت‌کننده و تکیه‌گاه، به سخت‌کننده:

$$t_s \geq \frac{3118 D}{F_y} \quad (11-18)$$

با فرض دو خط جوش گوشه با اندازه ساق D سانتی‌متر با الکتروود E60 و با تنش‌های مجاز استاندارد ۵۱۹ اینچ، برای اینکه جوش کاملاً مؤثر بوده و در ورق سخت‌کننده باعث اضافه تنش برشی نگردد، باید داشته باشیم:

$$2 \times (0.707 D)(0.70 \times 0.30 \times 4200) = 0.4 F_y t_s$$

که این معادله، رابطه ۱۱-۱۸ را نتیجه می‌دهد. برای فولاد ساختمانی عادی با تنش حد جاری شدن

۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع داریم:

$$t_s \geq 1.30 D$$

به ترتیبی که در بالا آمد، می توان برای انواع فولاد و الکتروود و براساس تنش های مجاز آیین نامه های مختلف، ضخامت سخت کننده را در رابطه با اندازه جوش لازم، به دست آورد. وقتی که ابعاد سخت کننده تعیین گردید، باید جوش اتصال را طوری طراحی نمود که واکنش تکیه گاهی تیر را با بازوی لنگر e_s به ستون انتقال دهد. برای نشیمن های جوش شده، کتاب دستی AISC طرح جوشی همانند شکل ۱۱ - ۹ - ب را پیشنهاد می کند. این جوش، تحت برش مستقیم و خمش قرار دارد که تنش مرکب در بالای جوش، تنش بحرانی طرح می باشد. وضعیت جوش ها، مشابه حالت ۴ جدول ۱۰ - ۴ می باشد. با قرار دادن $d=L$ و $b=0.2L$ در مقادیر جدول مذکور، داریم:

$$\bar{y} = \frac{L^2}{2(L+b)} = \frac{L^2}{2(1.2L)} = \frac{L}{2.4}$$

$$s_x = \frac{2(4bL+L^2)}{6} = \frac{4(0.2L)L+L^2}{3} = 0.6 L^2$$

$$f''_x = \frac{M}{s_x} = \frac{pe_s}{0.6L^2} \rightarrow$$

$$f'_y = \frac{P}{2(L+0.2L)} = \frac{P}{2.4L} \downarrow$$

$$f_r = \sqrt{\left(\frac{pe_s}{0.6L^2}\right)^2 + \left(\frac{P}{2.4L}\right)^2} = \frac{P}{2.4L^2} \sqrt{16e_s^2 + L^2} \quad (11-19)$$

شال ۱۱ - ۴

نشیمن تقویت شده ای با استفاده از جوش طوری طراحی نماید که یک تیر IPE 450 با واکنش تکیه گاهی ۴۰ تن را تحمل نماید. فولاد مورد استفاده از نوع St37 با تنش جاری شدن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد.

حل:

$$\text{IPE450: } b=19 \text{ cm}, t_w=0.94 \text{ cm} = 1.46 \text{ cm}, k=3.56 \text{ cm}$$

$$N = \frac{P}{0.66 F_y t_w} - 2.5k = \frac{40 \times 10^3}{0.66 \times 2400 \times 0.94} - 2.5 \times 3.56 = 17.96 \text{ cm}$$

$$w = 17.96 + 2 \text{ (بادخور)} = 19.96 \text{ cm}$$

پهنای نشیمن w را مساوی ۲۲ سانتی متر در نظر می‌گیریم.

$$w = 22 \text{ cm}$$

چون ضخامت بال تیر ۱/۴۶ سانتی متر است، از ورقی به ضخامت ۱/۵ سانتی متر برای نشیمن استفاده می‌کنیم.

حداقل اندازه جوش لازم برای جوشکاری ورق ۱۵ میلی متری نشیمن و بال تیر به ضخامت ۱۴/۶ میلی متر، برابر ۶ میلی متر می‌باشد. ما از همین اندازه جوش برای تثبیت تیر روی نشیمن استفاده می‌نماییم.

در مرحله بعد ضخامت سخت‌کننده را تعیین می‌کنیم.

$$t_s \geq t_w = 0.94 \text{ cm}$$

$$t_s \geq \frac{w}{795/\sqrt{F_y}} = \frac{22}{795/\sqrt{2400}} = 1.35 \text{ cm}$$

$$e_s = w - \frac{N}{2} = 22 - \frac{17.96}{2} = 13 \text{ cm}$$

$$t_s \geq \frac{P(6e_s - 2w)}{0.9 F_y w^2} = \frac{40 \times 10^3 (6 \times 13 - 2 \times 22)}{0.9 \times 2400 \times 22^2} = 1.3 \text{ cm}$$

اگر تنش مجاز لپیدگی را به $0.6 F_y$ کاهش دهیم، به یک ورق ۱۶ میلی متری نیاز پیدا می‌کنیم. با استفاده از ورق ۱۴ میلی متری، حداکثر اندازه مجاز جوش از رابطه ۱۱ - ۱۸ به دست می‌آید:

$$D_{\text{maxeff}} = \frac{F_y t_s}{3118} = \frac{2400 \times 1.4}{3118} = 1 \text{ cm}$$

برای یافتن اندازه و طول جوش از $e_s = 0.8w$ استفاده می‌نماییم. با استفاده از رابطه ۱۱ - ۱۹ و با فرض اینکه $0.8w$ (۱۷/۶ سانتی متر) در حدود $L/3$ می‌باشد، داریم:

$$f_r = \frac{P}{2.4L^2} \sqrt{16 \left(\frac{L}{3}\right)^2 + L^2} = 0.69 \frac{P}{L}$$

اگر از جوش ۸ میلی متری استفاده کنیم:

$$R_w = 650 D = 650 \times 0.8 = 520 \text{ kg/cm}$$

$$L \approx \frac{0.69 \times 40 \times 10^3}{520} = 53.08 \text{ cm}$$

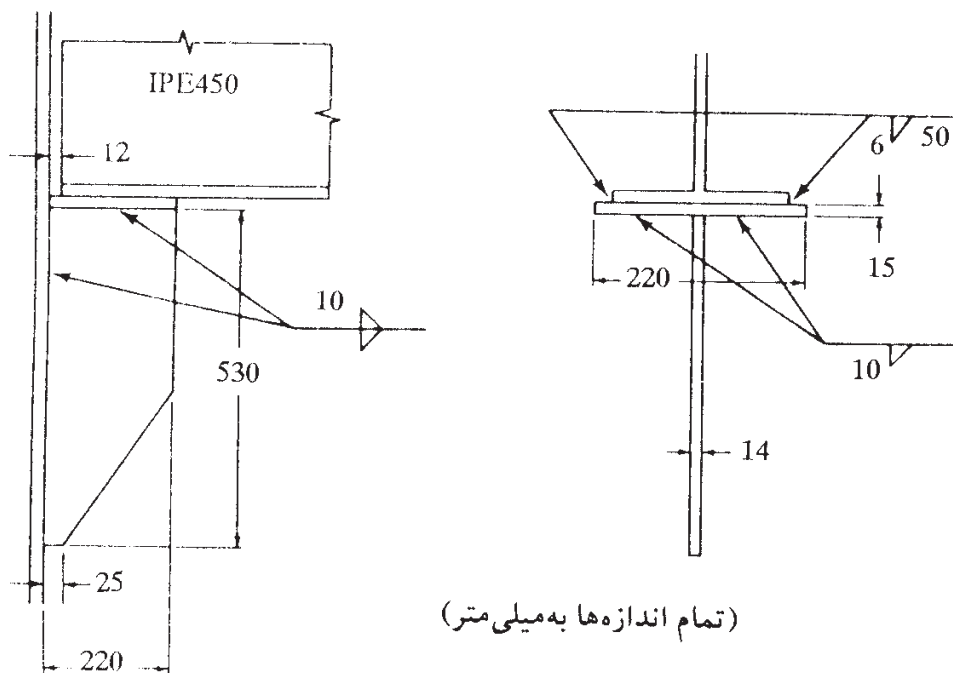
جوشی به طول ۵۳ و اندازه ۰/۸ سانتی متر را کنترل می‌کنیم:

$$f_r = \frac{40 \times 10^3}{2.4 \times 53^2} \sqrt{16 \times (17.6)^2 + 53^2} = 523 \text{ kg/cm}$$

حدود ۰/۶ درصد اضافه تنش داریم که این مقدار اضافه تنش را با توجه به اینکه استفاده $e_s = 0.8w$ تخمین دست بالایی از بازوی لنگر به دست می‌دهد، قبول می‌کنیم.

عرض ورق نشیمن، مساوی عرض بال (۱۹ سانتی متر) به علاوه فاصله کافی برای جوشکاری (تقریباً چهار برابر بعد جوش) انتخاب می‌گردد.

برای نبشی فوقانی از $L100 \times 100 \times 10$ استفاده می‌شود



(تمام اندازه‌ها به میلی‌متر)

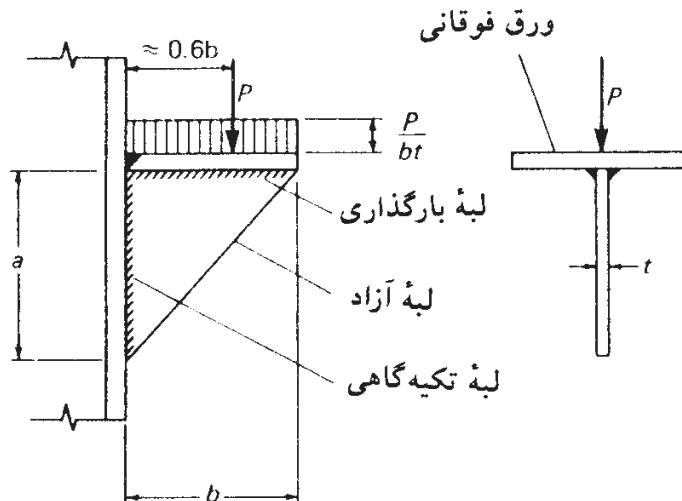
شکل ۱۱-۱۳

۱۱-۴-۳ استفاده از سخت‌کننده مثلی در نشیمن‌های تقویت شده

وقتی که صفحات سخت‌کننده در زیر یک نشیمن طاقچه‌ای به صورت مثلی مانند شکل ۱۱-۱۱-ب، برش داده می‌شود، صفحه به صورتی متفاوت با حالتی که لبه آزاد موازی جهت بار وارده است عمل می‌نماید. این تفاوت خصوصاً در ناحیه‌ای که بیشترین تنش‌ها رخ می‌دهند به وجود می‌آید.

شکل ۱۱-۱۴ نمایشگر قرارگیری صفحه لچکی زیر نشیمن و علایمی است که در مورد آن

به کار می‌رود. برای صفحات سخت شده کوچک که عکس العمل 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 اتصالاتی 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 h/a یعنی طول لبه بارگذاری شده به لبه تکیه داده شده بین $0/5$ و $0/2$ قرار دارد.

تحلیل تئوریک اصلی، کماتش الاستیک را در نظر می‌گیرد. در صورتی که کارهای تجربی نشان می‌دهند که لچکی‌های مثلثی از مقاومت بعد از کماتش قابل توجهی برخوردارند. معمولاً جاری شدن 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 کمانش می باشد. ملاحظه گردیده که حداکثر تنش در لبه آزاد به وجود می آید، اگرچه به خاطر طبیعت پیچیده توزیع تنش، تنش موجود در لبه آزاد را نمی توان به روش های ساده تعیین نمود. به خاطر این اشکال، یک نسبت Z بین تنش های متوسط P/bt روی لبه بارگذاری شده و f_{max} (تنش حداکثر روی لبه آزاد) برقرار نموده اند. رابطه تئوریک اصلی برای Z با توجه به نتایج آزمایش ها، اصلاح گردیده تا نزدیکی بیشتری با آنچه واقعاً در عمل می توان انتظار داشت، پیدا نماید. این رابطه به صورت زیر عرضه گردیده است:

$$z = \frac{p/bt}{f_{max}} = 1.39 - 2.2\left(\frac{b}{a}\right) + 1.27\left(\frac{b}{a}\right)^2 - 0.25\left(\frac{b}{a}\right)^3 \quad (11-20)$$

اگر جاری شدن فولاد ورق، کنترل کننده مقاومت باشد و مقدار $0.6 F_y$ به عنوان ضابطه مطمئنی برای تنش مجاز در نظر گرفته شود، می توان این ضابطه را به صورت زیر بیان کرد:

$$f_{max} = \frac{p/bt}{z} \leq 0.6 F_y \quad (11-21)$$

برای جلوگیری از کمانش سخت کننده از روابط زیر می توان استفاده نمود:

$$0.5 \leq b/a \leq 1.0 ; \quad \frac{b}{t} \leq \frac{2092}{\sqrt{F_y}} \quad (11-22 \text{ الف})$$

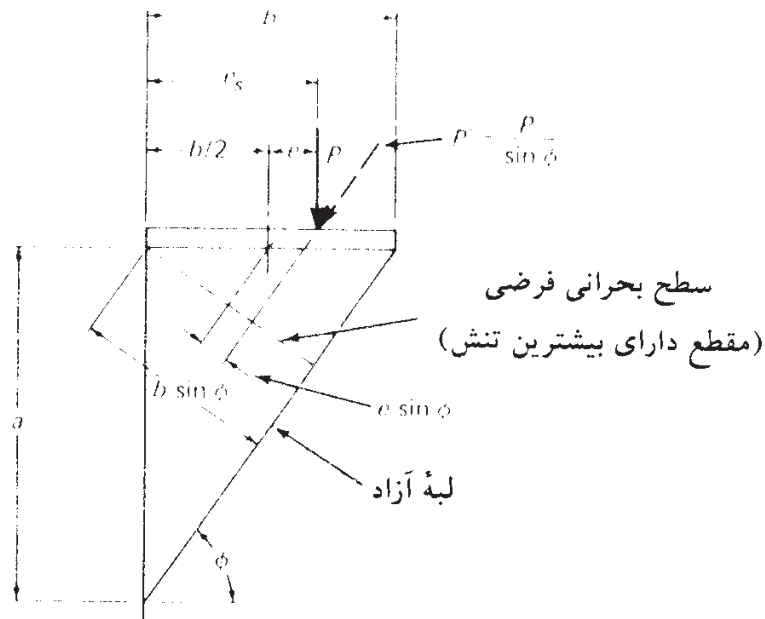
$$1.0 \leq b/a \leq 2.0 ; \quad \frac{b}{t} \leq \frac{2092(b/a)}{\sqrt{F_y}} \quad (11-22 \text{ ب})$$

ارضای شرایط فوق بدان معنی است که جاری شدن در لبه قطری آزاد قبل از وقوع کمانش اتفاق می افتد. نتایج به دست آمده در بالا تا حدودی بیشتر از نتایج حاصل از مطالعات صرفاً تئوریک می باشد.

۱۱-۳-۲ تحلیل تقریبی براساس فرضیات خمش تیرها

برای سالیان دراز، تنش روی صفحات لچکی مثلثی و انواع دیگر صفحات سخت کننده زیر نشیمن ها براساس تحلیل تیر، و با استفاده از روابطی که از شکل ۱۱-۱۵ به دست می آیند، انجام می گرفت. تنش مرکب لبه آزاد روی مقطع بحرانی به ترتیب زیر محاسبه می گردد:

$$f_{max} = \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I} = \frac{P}{bt \sin \phi} + \frac{\left(\frac{P}{\sin \phi}\right) (e \sin \phi) (b \sin \frac{\phi}{2})}{(b \sin \phi)^3 \frac{t}{12}} = \frac{P}{bt \sin^2 \phi} \left[1 + \frac{6e}{b} \right] \quad (11-23)$$



شکل ۱۱-۱۵ - تحلیل تیر برای صفحات سخت‌کننده نشیمن.

و یا برحسب e_s ، رابطه ۱۱-۲۳ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$f_{\max} = \frac{P}{bt \sin^2 \phi} \left(\frac{6e_s}{b} - 2 \right) \quad (11-24)$$

اگر تنش حداکثر را به $0.6 F_y$ محدود کنیم، ضخامت لازم برای به وجود آمدن این تنش به ترتیب زیر می‌باشد:

$$t \geq \frac{P}{b(0.60 F_y) \sin^2 \phi} \left(\frac{6e_s}{b} - 2 \right) \quad (11-25)$$

وقتی که از راه حل تحلیل تیر استفاده می‌نماییم، فرض بر این است که نواری به عرض $\frac{(b \sin \phi)}{4}$ به صورت یک عضو فشاری عمل می‌کند.

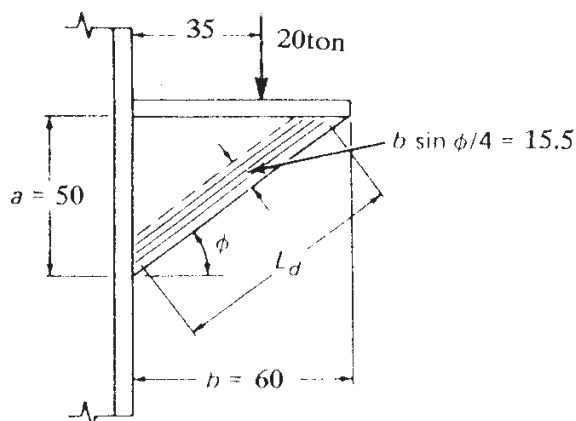
برای جلوگیری از اثرات کمانش رابطه زیر پیشنهاد شده است:

$$\frac{L_d}{t} \leq \frac{1355}{\sqrt{F_y (\text{kg/cm}^2)}} \quad (11-26)$$

در رابطه فوق، t ضخامت سخت‌کننده و L_d طول لبه قطری آزاد می‌باشد.

مثال ۱۱ - ۵

ضخامت لازم برای صفحه سخت‌کننده نشیمنی به شکل مثلث و به اضلاع ۵۰ در ۶۰ سانتی متر را که تحت بار ۲۰ تن قرار گرفته است، به دست آورید. فرض کنید که بار مانند شکل ۱۱ - ۱۶ در ۳۵ سانتی متری از تکیه گاه واقع شده، و در طرح از فولاد St37 با تنش تسلیم ۲۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع استفاده به عمل آمده است.



شکل ۱۱ - ۱۶ - طاقچه نشیمن مثال (تمام اندازه‌ها به سانتی متر).

حل:

الف) با استفاده از روش دقیق و طراحی الاستیک

چون بار در حدود نقطه ۰/۶ از تکیه گاه قرار گرفته است، فرضیات روش مورد استفاده ارضاء می‌گردد.

از رابطه ۱۱ - ۴ با $\frac{b}{a} = \frac{60}{50} = 1.2$ مقدار $z = 0.15$ به دست می‌آید. برای ضابطه جاری شدن

داریم:

$$t \geq \frac{P}{bz(0.60 F_y)} = \frac{20000}{60(0.15)(1440)} = 1.54 \text{ cm}$$

با استفاده از رابطه ۱۱ - ۲۲ - ب، داریم:

$$t \geq \frac{b\sqrt{F_y}}{2092\left(\frac{b}{a}\right)} = \frac{60\sqrt{2400}}{2092(1.2)} = 1.17 \text{ cm}$$

استفاده شود از ورق ۱۶ میلی متر

ب) با استفاده از روش تقریبی تحلیل تیر و طراحی الاستیک از رابطه ۱۱ - ۲۵ داریم:

$$t \geq \frac{P}{b(0.60 F_y) \sin^2 \phi} \left(\frac{6e_s}{b} - 2 \right)$$

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 رابطه با روش قبل اصلاً محافظه کارانه نیست.
برای کنترل پایداری رابطه ۱۱ - ۲۶ می دهد:

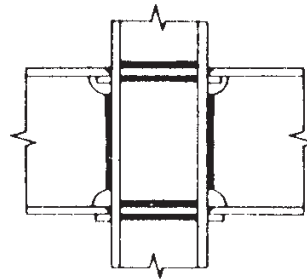
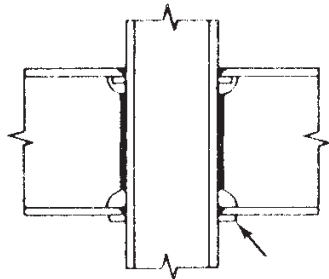
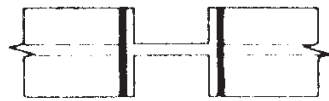
$$t \geq \frac{L_d \sqrt{F_y}}{1355} = \frac{(68) \sqrt{2400}}{1355} = 2.46 \text{ cm}$$

که L_d در طول مرکز نوار لبه‌ای اندازه‌گیری شده است، سالمون و جانسون اعتقاد دارند که روش تحلیل تیر جواب‌های واقع بینانه‌ای به دست نمی دهد. ضابطه تنش جواب‌های دست پایین و ضابطه پایداری جواب‌های دست بالا، عرضه می دارد. به هر حال براساس این روش قدیمی یا باید از یک ورق ۲۵ میلی متری و یا از ورقی نازکتر همراه با سخت‌کننده‌هایی در لبه آن استفاده نمود.

۱۱-۵ اتصالات صلب تیر به ستون

۱۱-۵-۱ معرفی

مقصود یک طراح در هنگام استفاده از اتصال صلب تیر به ستون این است که اتصال قادر به انتقال کامل لنگر باشد و هیچ‌گونه چرخش نسبی بین اعضای وارد به اتصال به وجود نیاید (اتصال نوع ۱). از آنجایی که اکثر لنگر خمشی تیر به صورت یک زوج نیرو در بال‌های کششی و فشاری تیر با بازوی تقریباً مساوی ارتفاع تیر حمل می‌گردد، نقش اصلی یک اتصال صلب فراهم آوردن امکاناتی برای انتقال این نیروهای محوری می‌باشد. همچنین از آنجایی که اکثر نیروی برشی توسط جان تیر حمل می‌گردد، پیوستگی کامل اتصال ایجاب می‌کند که نیروی برشی مستقیماً از جان انتقال پیدا نماید. در یک اتصال صلب تیر به ستون، تیرها ممکن است از دو طرف به هر دو بال ستون متصل شده باشند (اشکال ۱۱-۱۷ الف، ب و پ) و یا فقط به یک بال ستون متصل شوند (شکل ۱۱-۱۷ ت). همچنین ممکن است که همانند شکل ۱۱-۱۸، تیرها از یک یا دو طرف به جان ستون به طور صلب متصل شده باشند. اگر در یک سیستم قاب صلب، تیرها فقط از دو طرف بر دو بال و یا جان متصل

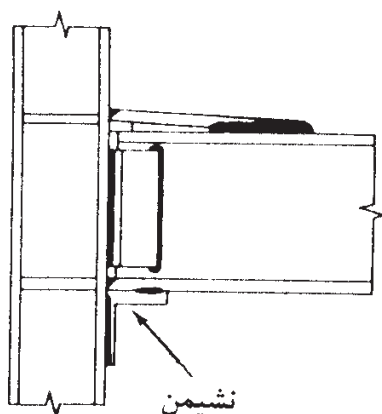
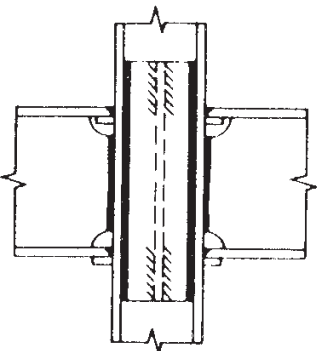


ورق پشت بند

(الف) بدون سخت کننده ستون

(ب) سخت کننده های افقی

اتصال مستقیم بال به بال توسط جوش شیاری



نشیمن

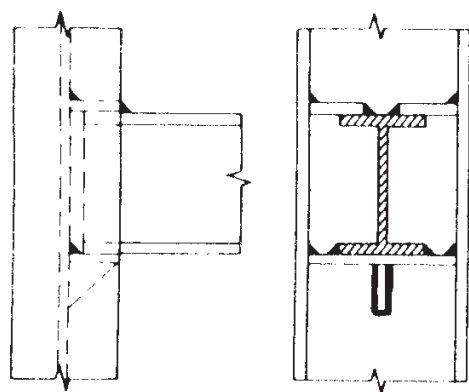
(پ) سخت کننده قائم

(ت) نشیمن و ورق فوقانی

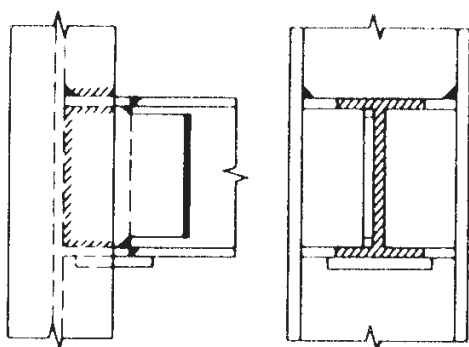
شکل ۱۱ - ۱۷ - اتصالات صلب تیر به ستون از نوع جوشی.

شده باشند (البته نه با هم)، سیستم، قاب صلب دو طرفه یا صفحه ای خوانده می شود. 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 چهار طرفه خوانده می شود. شکل ۱۱ - ۱۸ شامل اتصالات صلب تیر به ستون از نوع جوشی می باشد که تیر به جان ستون متصل شده است.

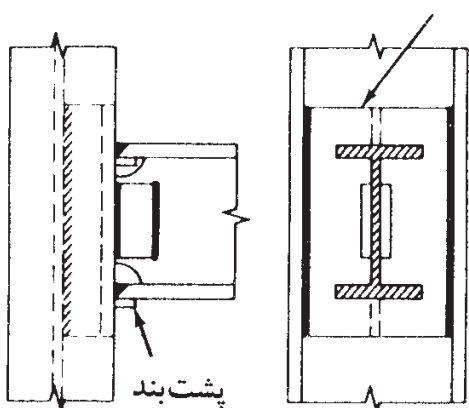
یک اتصال صلب دو وظیفه اصلی دارد: (۱) انتقال لنگر انتهایی تیر به ستون؛ (۲) انتقال برش



(الف) ورق فوقانی و نبشی نشیمن



(ب) ورق فوقانی و تحتانی با ورق جان و ورق نشیمن



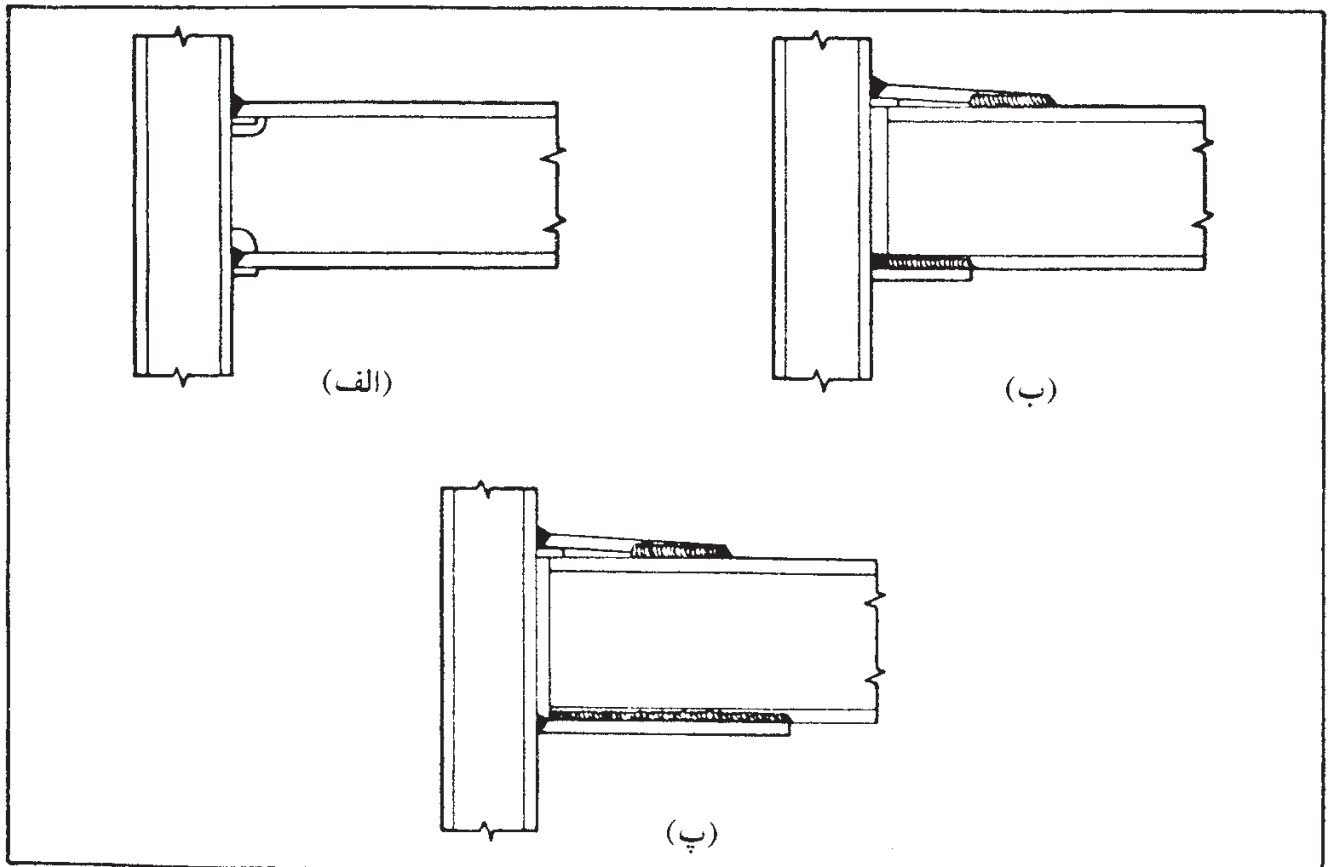
نیمرخ T

(پ) نیمرخ T با ورق های پشت بند و ورق جان

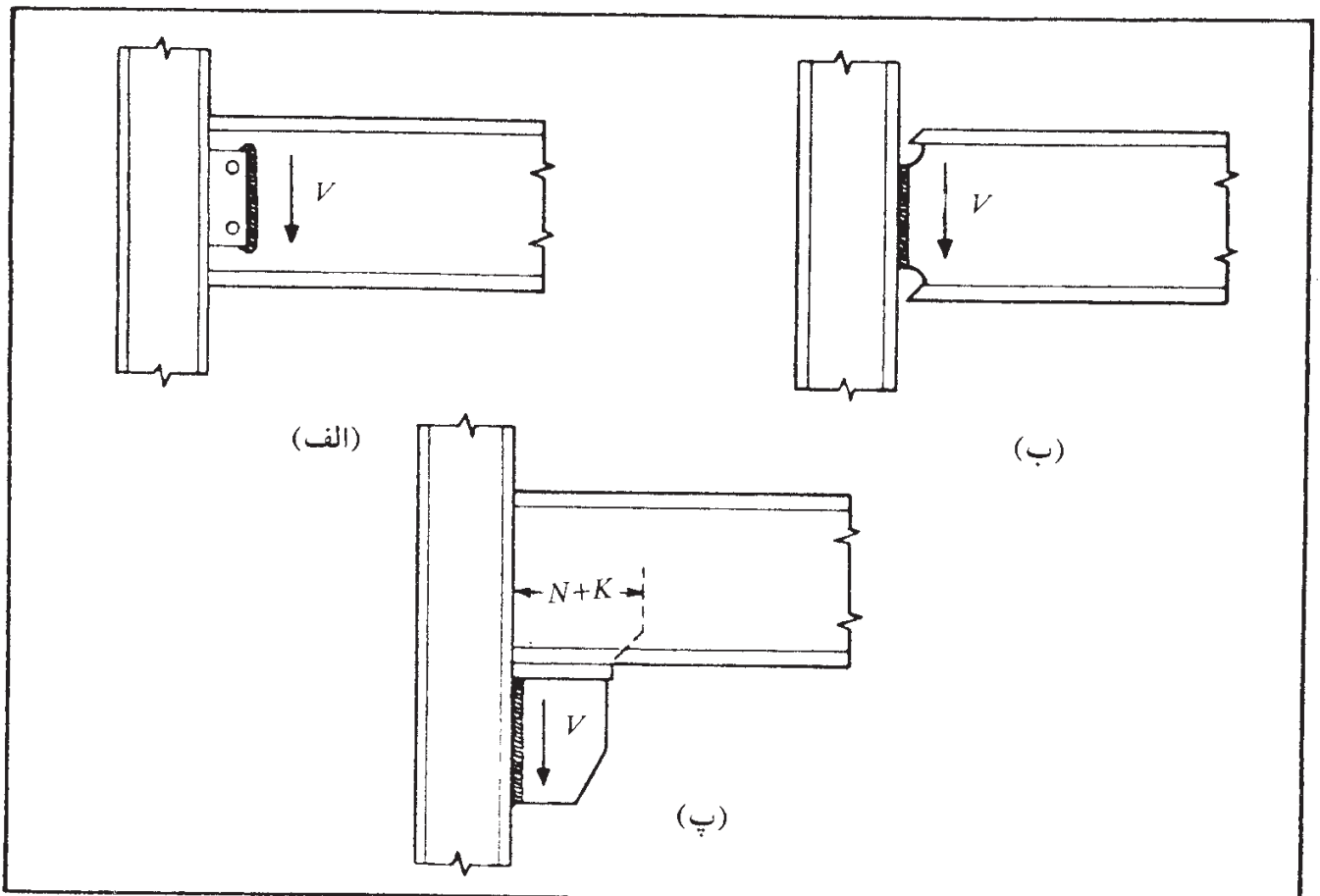
شکل ۱۱ - ۱۸ - اتصالات صلب تیر به ستون از نوع جوشی که تیر به جان ستون متصل شده است.

انتهایی تیر به ستون.

در شکل ۱۱ - ۱۹ - الف، سه حالت برای انتقال لنگر انتهایی تیر به ستون نشان داده شده است. در جزییات (الف) بال فوقانی و تحتانی به طور مستقیم و بدون هیچ واسطه‌ای با جوش شیاری به ستون جوش شده است، اجرای این جزییات در پای کار مشکل است، زیرا طول تیر باید درست به اندازه فاصله آزاد دو ستون بریده شود که این عمل به راحتی امکان پذیر نیست. در جزییات (ب) بال فوقانی توسط ورق فوقانی و بال تحتانی توسط جوش سر به ستون جوش شده است و در جزییات (پ) برای هر دو بال تحتانی و فوقانی از ورق های تحتانی و فوقانی استفاده شده است.



(الف) انتقال لنگر انتهایی تیر



(ب) انتقال برش انتهایی تیر

در شکل ۱۱ - ۱۹ - ب، سه حالت برای انتقال برش انتهایی تیر به ستون نشان داده شده است. در جزییات (الف) برش توسط نبشی جان و در جزییات (ب) توسط جوش مستقیم و در جزییات (پ) توسط نبشی نشیمن انتقال یافته است. تنوع اتصالات صلب تیر به ستون آنقدر زیاد است که مشکل بتوان لیست کاملی از آنها تهیه نمود، لیکن اتصالات نشان داده شده در اشکال ۱۱ - ۱۷ تا ۱۱ - ۱۹ امروزه به نحو گسترده تری مورد استفاده قرار می گیرند. قسمتی از جوش اغلب اتصالات در کارخانه و یا در روی زمین انجام می شود و باقی آن پس از نصب توسط جوش در محل و یا پیچ های پرمقاومت تکمیل می گردد. هدف اصلی در طرح یک اتصال صلب، انتقال نیروهای موجود از طریق اتصال بدون هرگونه تغییر شکل موضعی ناشی از این نیروها می باشد.

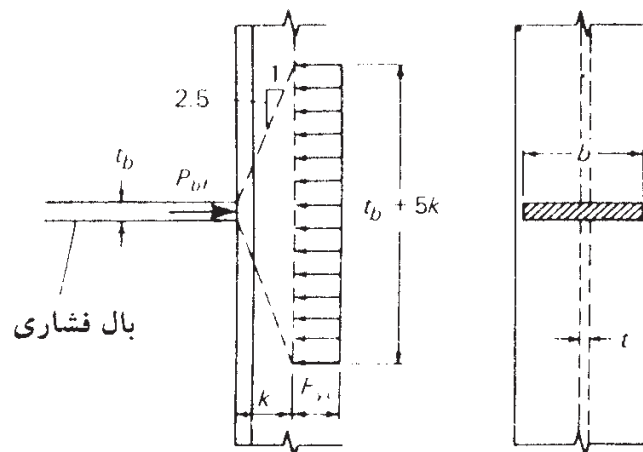
۱۱-۵-۲ سخت کننده های افقی در ناحیه فشاری اتصال

از آنجایی که در یک اتصال صلب، نیروهای موجود در بال های تیر به صورت نیروهای فشاری و کششی وارد بال ستون می شوند، ممکن است که احتیاج به سخت کننده های فشاری و کششی داشته باشیم (شکل ۱۱ - ۱۷ - ب). این سخت کننده ها در ناحیه ای که نیروی بال فشاری می باشد، از لهیدگی جان ستون و در ناحیه ای که نیروی بال، کششی است، از تغییر فرم بال ستون جلوگیری می نمایند.

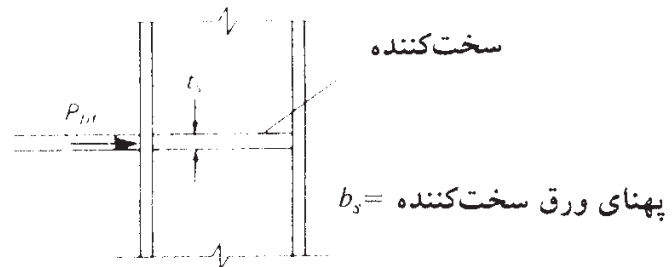
در شکل ۱۱ - ۲۰ - الف، روش آیین نامه برای تعیین مقاومت لهیدگی جان ستون در مقابل نیروی فشاری بال تیر نشان داده شده است. در این روش این طور فرض می شود که در مقاومت نهایی جان ستون، نیروی فشاری بال تیر با شیب ۱ به ۲/۵ در جان ستون گسترش می یابد تا به آغازگردی اتصال جان به بال ستون برسد. اگر فاصله شروع گردی اتصال جان به بال را از سطح خارجی بال مساوی K در نظر بگیریم، پهنای گسترش نیروی فشاری مساوی $t_b + 5k$ می شود که در آن t_b مساوی ضخامت بال تیر می باشد. در حالت نهایی رابطه تعادل نیروها در امتداد افقی به صورت زیر در می آید:

$$P_{bf} = F_{yc}(t_b + 5k)t \quad (۱۱ - ۲۷)$$

که در آن P_{bf} نیروی بال فشاری تیر و F_{yc} تنش جاری شدن جان ستون می باشد. بر پایه فلسفه مقاومت نهایی، اگر خواسته باشیم که تیر در محل اتصال به ستون به لنگر پلاستیک M_p برسد، مقدار P_{bf} مساوی $F_{yb}A_f$ می شود که در آن A_f سطح مقطع و F_{yb} تنش جاری شدن بال فشاری می باشند. بر پایه تعریف P_{bf} به صورت فوق، حداقل ضخامت لازم برای جان ستون به منظور جلوگیری



(الف) بدون سخت‌کننده در جان ستون



(ب) با وجود سخت‌کننده در جان ستون

شکل ۱۱ - ۲۰ - مقاومت جان ستون در مقابل بال فشاری تیر.

از لهیدگی آن در مقابل بال فشاری تیر، به صورت زیر در می‌آید:

$$t \geq \frac{A_f F_{yb}}{(t_b + 5k) F_{yc}} \quad (۱۱ - ۲۸)$$

در رابطه فوق:

t_b = ضخامت بال فشاری تیر

k = فاصله آغازگردی اتصال جان به بال ستون تا سطح خارجی بال آن

A_f = سطح مقطع بال فشاری تیر

F_{yb} = تنش تسلیم بال تیر

F_{yc} = تنش تسلیم 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:

$$\frac{d_c}{t} \leq \frac{34500 t^2 \sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}} \quad (۱۱ - ۲۹)$$

که در رابطه فوق:

$$d_c = \text{ارتفاع مقطع ستون به سانتی متر}$$

$$t = \text{ضخامت جان ستون بر حسب سانتی متر}$$

$$F_{yc} = \text{تنش تسلیم جان ستون بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع}$$

$$P_{bf} = \text{نیروی فشاری بال تیر در حالت نهایی بر حسب کیلوگرم}$$

وقتی که یکی از معادلات ۱۱ - ۲۸ و ۱۱ - ۲۹ اقیانغ نشود، باید در مقابل بال فشاری تیر سخت‌کننده‌ای تعبیه گردد. در صورتی که ابعاد سخت‌کننده به طرز مناسبی انتخاب شود و سخت‌کننده به طور کامل در محل خود جوش شود، سخت‌کننده‌ها می‌توانند نیروی مساوی $A_{st}F_{yst}$ در حالت نهایی تحمل نمایند که در آن F_{yst} و A_{st} به ترتیب سطح مقطع و تنش جاری شدن سخت‌کننده می‌باشند. بنابراین معادلات تعادل نیروها در ناحیه فشاری در امتداد افقی به صورت زیر درمی‌آید:

$$P_{bf} = F_{yc}(t_b + 5k)t + A_{st}F_{yst}$$

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 پیشنهاد می‌کند:

۱ - پهنا b_s هر سخت‌کننده به علاوه $\frac{1}{2}$ ضخامت جان ستون نباید از $\frac{1}{3}$ پهنا b بال فشاری

تیر (یا هر ورق اتصالی که نیروی P_{bf} را بر بال ستون وارد می‌آورد)، کمتر باشد:

$$b_s + \frac{t}{2} \geq \frac{b}{3} \quad (۱۱ - ۳۱)$$

۲ - ضخامت t_s سخت‌کننده نباید از نصف ضخامت بال تیر کمتر باشد و همچنین

محدودیت‌های ابعاد قطعات فشاری ... بر آن اعمال شود، به طوری که:

$$t_s \geq \frac{t_b}{2} \quad (۱۱ - ۳۲)$$

$$\frac{b_s}{t_s} < \frac{795}{\sqrt{F_y \text{ (kg/cm}^2)}} \quad (۱۱ - ۳۳)$$

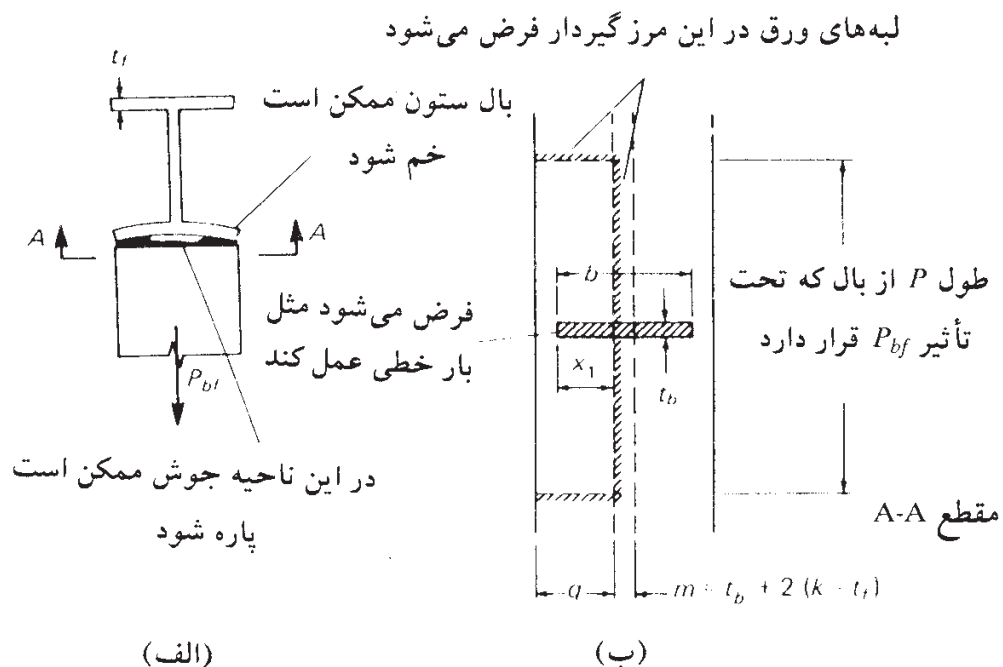
- ۳- وقتی که نیروی فشاری P_{bf} بر یکی از بال‌های ستون وارد می‌شود، طول سخت‌کننده لازم نیست که از $\frac{1}{4}$ ارتفاع مقطع ستون تجاوز کند.
- ۴- جوشی که سخت‌کننده را به جان ستون متصل می‌نماید باید برای نیروی ناشی از لنگر خمشی نامتعادل دو طرف ستون طراحی گردد.

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 به طرف بیرون کشیده شده و تغییر فرم می‌دهد. با استفاده از یک تحلیل بر اساس تئوری خطوط گسیختگی^۴ برای ورق بالی به پهنای q و طول p (شکل ۱۱-۲۱ ب)، ظرفیت باربری نهایی آن در مقابل نیروی کششی بال کششی به صورت زیر در می‌آید:

$$P_u = F_{yc} t_f^2 \left[\frac{4/\beta + \beta/\beta_1}{2 - \beta_1/\alpha} \right] \quad (۱۱-۳۴)$$

که در آن t_f ضخامت بال ستون و F_{yc} تنش تسلیم بال ستون می‌باشد.



شکل ۱۱-۲۱ - مقاومت بال ستون در ناحیه کششی اتصال.

$$\beta = \frac{p}{q}$$

$$\alpha = \frac{x_1}{q}$$

$$\beta_1 = \frac{\beta}{4} \left[\sqrt{\beta^2 + 8\alpha} - \beta \right]$$

رابطه ۱۱ - ۳۴ را به طور محافظه کارانه ای می توان به صورت زیر نوشت:

$$P_u = 3.5 F_{yc} t_f^2 \quad (۱۱ - ۳۵)$$

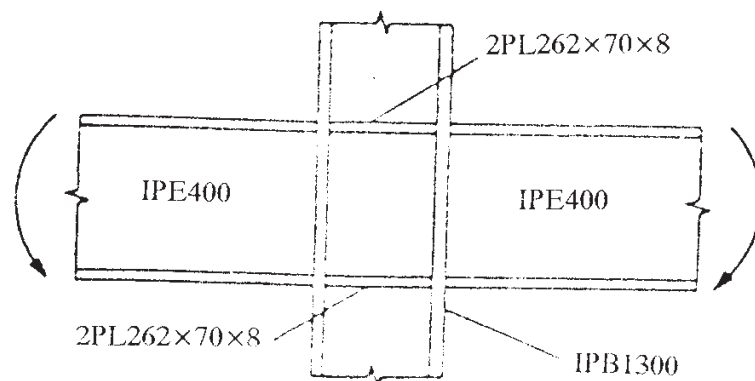
از رابطه فوق به دست می آید:

$$t_f \geq 0.4 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}} \rightarrow t_f \geq 0.4 \sqrt{\frac{A_f F_{yb}}{F_{yc}}} \quad (۱۱ - ۳۶)$$

در صورتی که ضخامت بال ستون نتواند رابطه فوق را اقماع نماید، باید یک جفت سخت کننده در مقابل بال کششی تیر، در ستون تعبیه گردد.

مثال ۱۱ - ۶

مطلوب است طراحی اتصال صلب دو تیر IPE 400 به بال های ستونی از نیمرخ بال پهن سبک IPBL 300، تنش جاری شدن فولاد تیر و ستون ۳۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و تنش جاری شدن سخت کننده های مورد مصرف ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد (شکل ۱۱ - ۲۲).



شکل ۱۱ - ۲۲

حل:

مشخصات نیمرخ‌های مصرفی برحسب سانتی‌متر:

	IPE400	IPBL300
ارتفاع	۴۰	۲۹
پهنای بال	۱۸	۳۰
ضخامت بال	۱/۳۵	۱/۴
ضخامت جان	۰/۸۶	۰/۸۵
k	۳/۴۵	۴/۱

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):

$$t \geq \sqrt[3]{\frac{P_{bf} d_c}{34500 \sqrt{F_{yc}}}} = \sqrt[3]{\frac{85.05(10^3) 24.9}{34500 \sqrt{3500}}} = 1.01 \text{ cm}$$

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:

$$A_{st} \geq \frac{P_{bf} - F_{yc}(t_b + 5k)t}{F_{yst}} = \frac{85.05(1000) - 3500(1.35 + 5(4.1))0.85}{2400} = 8.35 \text{ cm}^2$$

با استفاده از معادله 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 ۷ سانتی متر در نظر می‌گیریم.
حداقل ضخامت سخت‌کننده با استفاده از رابطه ۱۱ - ۳۲:

$$t_s = \frac{t_b}{2} = \frac{1.35}{2} = 0.675 \text{ cm}$$

ضخامت سخت‌کننده را مساوی ۸ میلی متر 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

$$\frac{b_s}{t_s} \leq \frac{795}{\sqrt{F_y}} = \frac{795}{\sqrt{2400}} = 16.2$$

$$t_s \geq \frac{b_s}{16.2} = \frac{7}{16.2} = 0.43 \text{ cm}$$

۲. روش تنش‌های مجاز - مقطع فشرده

$$\frac{b_s}{t_s} \leq \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{2400}} = 11.1$$

$$t_s \geq \frac{b_s}{11.1} = \frac{7}{11.1} = 0.63 \text{ cm}$$

ضخامت انتخابی ۸ میلی متر جوابگوی هر دو مورد بالا می‌باشد.

$$A_{st} = 2(7)(0.8) = 11.2 \text{ cm}^2 > 8.35$$

از دو ورق $۲۶۲ \times ۷۰ \times ۸$ میلی متر استفاده می‌کنیم.

(ب) ناحیه کششی

با استفاده از رابطه ۱۱ - ۳۶ داریم:

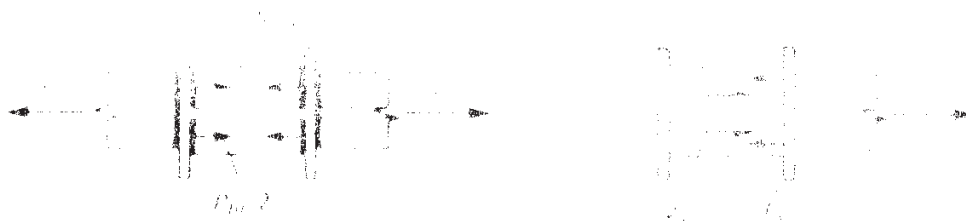
$$t_f \geq 0.4 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}} = 0.4 \sqrt{\frac{(85.05)10^3}{3500}} = 1.97 \text{ cm}$$

ضخامت بال ستون ۱/۴ سانتی متر 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 $۸ \times ۷۰ \times ۲۶۲$ میلی متر استفاده کنیم.

پ) اتصال ورق‌های سخت‌کننده به ستون

در شکل ۱۱ - ۲۳ 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 به طور 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.



(الف)

(ب)

شکل ۱۱ - ۲۳ - نیروهای لازم برای طراحی جوش سخت‌کننده‌ها.

ت) تعیین اندازه جوش دو انتهای سخت‌کننده

یک راه منطقی برای تعیین جوش این است که مقاومت جوش درست برابر مقاومت ورق شود. با استفاده از تنش‌های مجاز آیین‌نامه داریم:

$$0.6 F_y t_s = 2(650) D$$

D اندازه ساق جوش می‌باشد.

$$0.6(2400)0.8 = 2(650) D$$

$$D = 0.88 \text{ cm}$$

D را مساوی ۱۰ میلی متر در نظر می‌گیریم.

حداقل D نیز ۶ میلی متر می‌باشد که از آن در امتداد اتصال سخت‌کننده به جان استفاده می‌نماییم.

وقتی که تیر فقط از یک طرف بر ستون متصل می‌شود، مثل شکل ۱۱ - ۲۳ - ب، در جوش

اتصال سخت‌کننده به‌جان ستون نیروی برشی V_1 تولید می‌شود که مساوی نیروی کششی T_1 می‌باشد.

۱۱-۵-۴ استفاده از سخت‌کننده‌های قائم و سخت‌کننده‌های T

گاهی مواقع لازم می‌گردد که در اتصالات صلب تیر به‌ستون همانند شکل ۱۱-۱۷-پ، از ورق قائم یا نیمرخ T استفاده نماییم. این کار به‌خصوص در سیستم‌های چهار طرفه که در آن تیرها به‌نیمرخ‌های T متصل می‌شوند، بسیار مفید خواهد بود. تحقیقات انجام شده 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 به‌اندازه نصف ظرفیت جان (رابطه ۱۱-۲۷)، دارای ظرفیت باربری می‌باشند، رابطه‌ای معادل رابطه ۱۱-۲۷ برای این حالت به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

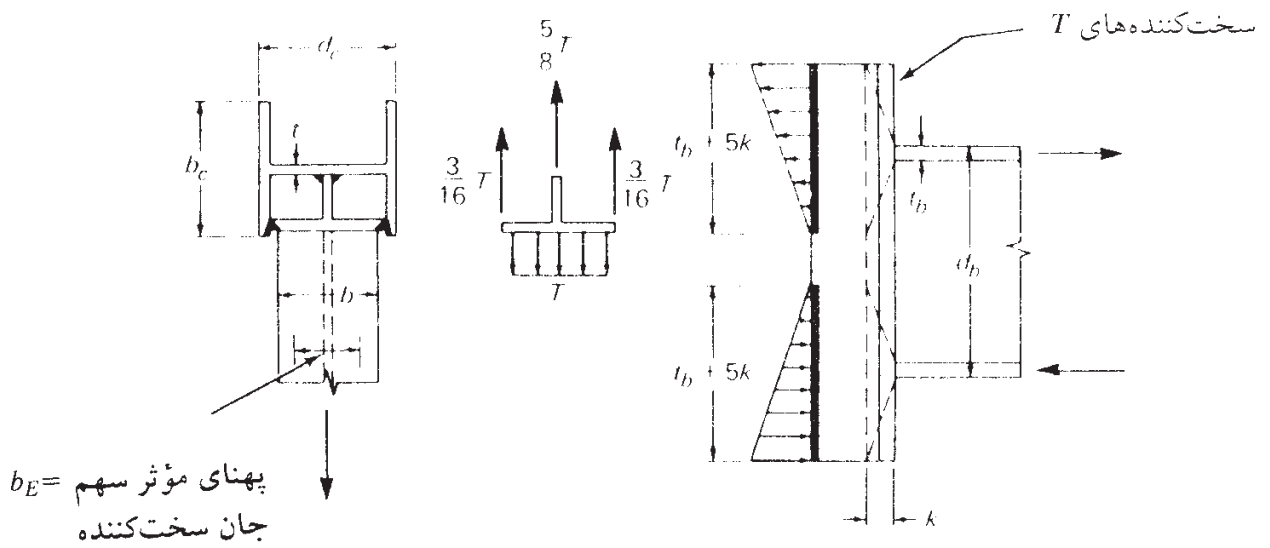
$$P_{bf} = F_{yc}(t_b + 5k)t + 2\left(\frac{F_{yst}}{2}\right)(t_b + 5k)t_s \quad (11-37)$$

که از حل آن برای ضخامت سخت‌کننده t_s به‌دست می‌آوریم:

$$t_s \geq \frac{P_{bf}}{(t_b + 5k)F_{yc}} - t \frac{F_{yc}}{F_{yst}} \quad (11-38)$$

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 به‌جان ستون از کمانش کلی آن جلوگیری می‌کند.

برای طراحی سخت‌کننده‌های T و اتصال آن وقتی که تیری به‌آن متصل می‌شود، همانند شکل ۱۱-۱۸-پ، نکات مخصوصی را باید در نظر گرفت. اگر پهنای بال تیر مساوی پهنای سخت‌کننده T باشد، عمل آن مطابق شکل ۱۱-۲۴-الف، خواهد بود. برای تحلیل، نیروی کششی ناشی از بال را به‌صورت بار گسترده یکنواختی در روی سخت‌کننده در نظر می‌گیریم که خود سخت‌کننده نیز به‌صورت تیر یکسره دو دهانه عمل می‌نماید (شکل ۱۱-۲۴-ب). در این تیر یکسره $\frac{5}{8}$ نیروی T به‌تکیه‌گاه وسطی و $\frac{3}{16}$ آن به‌دو تکیه‌گاه کناری منتقل می‌شود. بلاجت^۵ پیشنهاد می‌کند که وقتی پهنای تیر به‌اندازه پهنای سخت‌کننده T می‌باشد، می‌توان فرض نمود که پهنای



شکل ۱۱ - ۲۴ - سخت‌کننده T.

مؤثر بال b_E (شکل ۱۱ - ۲۴ - الف) که نیروی خود را به جان سخت‌کننده می‌دهد، $\frac{3}{4}$ پهنای بال تیر می‌باشد.

وقتی که پهنای بال تیر تقریباً مساوی پهنای بال سخت‌کننده T باشد، روش طرح این‌گونه اتصالات را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱ - ضخامت جان سخت‌کننده T باید رابطه ۱۱ - ۲۸ را اقلان نماید، یعنی:

$$t_w \geq \frac{0.75 P_{bf}}{(t_b + 5k) F_{yst}} \quad (۱۱ - ۳۹)$$

که در آن:

$0.75 P_{bf}$ = 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_s باید قادر به حمل نیروی کششی بال بدون هرگونه

تغییر شکل 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 $0.75 P_{bf}$

به دست می آوریم:

$$t_s \geq 0.4 \sqrt{\frac{0.75 P_{bf}}{F_{yst}}} = 0.35 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yst}}} \quad (۱۱ - ۴۰)$$

۳- پهنای بال سخت کننده T یعنی d_s باید فاصله تودلی بین بال های ستون را کاملاً پر نماید.

$$b_s = d_c - 2t_f$$

که در آن:

d_c = ارتفاع کل نیمرخ ستون

t_f = ضخامت بال نیمرخ ستون

۴- ارتفاع نیمرخ سخت کننده T یعنی d_s باید آنقدر باشد تا سطح خارجی بال سخت کننده،

همباد لبه بال های ستون قرار گیرد:

$$d_s = \frac{b_c - t}{2}$$

که در آن:

b_c = پهنای بال ستون

t = ضخامت جان ستون

وقتی که پهنای بال تیر به طور محسوسی کمتر از پهنای بال سخت کننده T باشد (حدود ۲ تا ۴

سانتی متر)، در روابط ۱۱-۳۹ و ۱۱-۴۰ به جای $0.75 P_{bf}$ از P_{bf} استفاده می نمایم.

در محاسبه جوش های سخت کننده در حالتی که پهنای بال تیر تقریباً مساوی پهنای بال

سخت کننده می باشد، جوشی که جان سخت کننده را به جان ستون متصل می نماید (دو قطعه جوش

در بالا و پایین که هر کدام دارای دو رشته جوش گوشه می باشد) باید قادر به حمل لنگر خمشی ناشی

از $0.75 P_{bf}$ باشد. جوش هایی که لبه بال سخت کننده را به لبه بال ستون متصل می نمایند، پیشنهاد

می شود که برای $\frac{1}{3}$ نیروی بال تیر طراحی شوند ($\frac{1}{3}$ ، مقداری بزرگتر از $\frac{3}{16}$ می باشد که در شکل

۱۱-۲۴-ب، نشان داده شده است).

مثال ۱۱-۷

مطلوب است طراحی یک اتصال تیر به ستون با استفاده از سخت کننده T از نوعی که در شکل ۱۱-۲۴

نشان داده شده است. تیر از نیمرخ IPB240 و ستون از نیمرخ IPB300 می باشد. فولاد تیر و ستون

از نوع ST37 با تنش جاری شدن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشند.

حل:

مشخصات IPB 240 و IPB 300 به شرح زیر است (ابعاد برحسب سانتی متر):

	ارتفاع	پهنای بال	ضخامت بال	ضخامت جان	k
IPB240	۲۴	۲۴	۱/۷	۱/۰	۳/۸
IPB300	۳۰	۳۰	۱/۹	۱/۱	۴/۶

چون پهنای بال تیر (۲۴ سانتی متر)، تقریباً مساوی فاصله تودلی بین بال‌های ستون (۲۶/۲ = ۱/۹ × ۳۰ - ۱۱) 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 - ۲۹ و تخمین $k = 2.6 \text{ cm}$ سانتی متر برای سخت‌کننده:

$$t_w \text{ لازم} = \frac{0.75 P_{bf}}{(t_b + 5k) F_{yst}} = \frac{0.75(97.92)(1000)}{(1.7 + 5(2.6))2400} = 2.08 \text{ cm}$$

ب) تعیین ضخامت بال سخت‌کننده به منظور جلوگیری از تغییر شکل آن در مقابل نیروهای کششی

با استفاده از رابطه ۱۱ - ۴۰ داریم:

$$t_s \text{ لازم} = 0.35 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yst}}} = 0.35 \sqrt{\frac{97.92(10^3)}{2400}} = 2.24 \text{ cm}$$

پ) تعیین نیمرخ T مناسب

$$\text{حداکثر } b_s = d_c - 2t_f = 30 - 2(1.9) = 26.2 \text{ cm}$$

$$\text{حداکثر } d_s = 0.5(30 - 1.1) = 14.45 \text{ cm}$$

نیمرخ T مورد نظر را با برش یک نیمرخ IPB 360 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

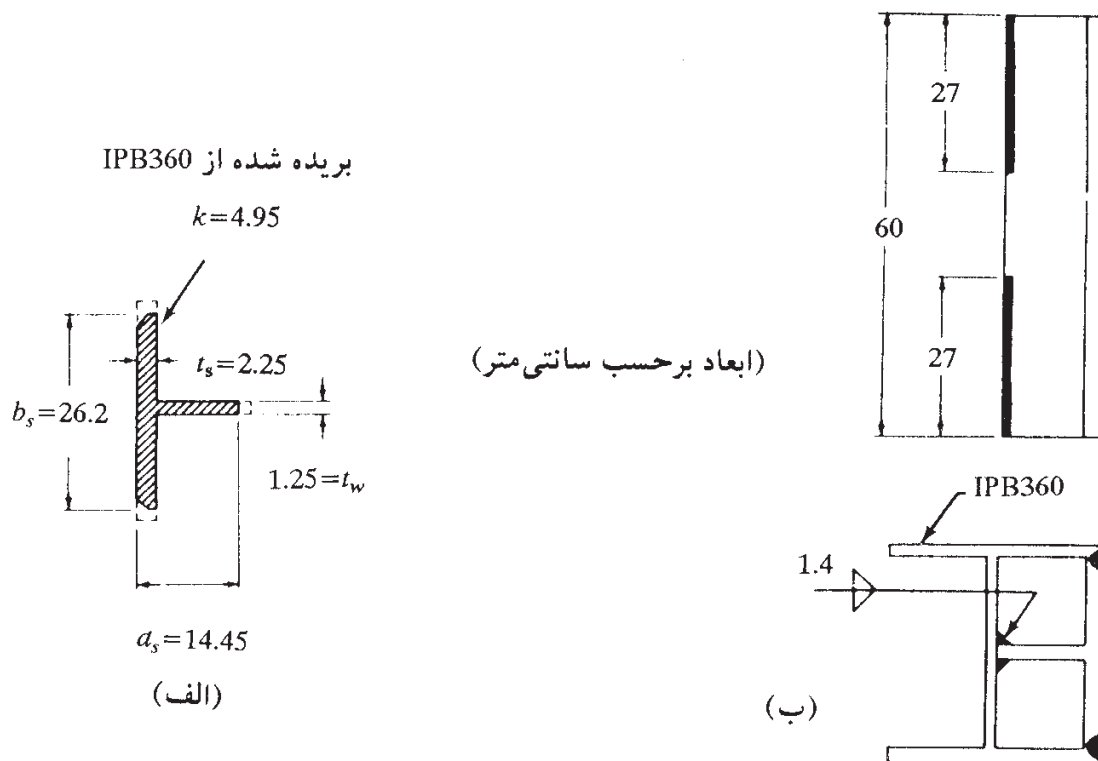
با مراجعه به شکل ۱۱ - ۲۴ - پ، طول لازم سخت‌کننده از رابطه زیر به دست می‌آید:
 $d_b + 5k = 24 + 5(4.95) = 48.75 \text{ cm}$ طول لازم

طول سخت‌کننده را مساوی ۶۰ سانتی متر فرض می‌نماییم.

طول جوش در بالا و پایین:

$$t_b + 5k = 1.7 + 5(4.95) = 26.45 \text{ cm}$$

طول جوش را در هر طرف مساوی ۲۷ سانتی متر در نظر می‌گیریم.



شکل ۱۱ - ۲۵ - مشخصات هندسی نیمرخ T.

فرض می‌کنیم که ۷۵ درصد لنگر خمشی تیر به جان سخت‌کننده انتقال پیدا می‌کند.
 $0.75 M = 0.75 F_b S = 0.75(1400)(938)(10^{-5}) = 9.85 \text{ T.m}$

محاسبه اساس مقطع جوش (با فرض پهناى واحد):

$$S = 2 \left(\frac{1}{30} \right) \left[\frac{60^3}{12} - \frac{6^3}{12} \right] = 1199 \text{ cm}^3/\text{cm}$$

$$R_w = \frac{0.85(10^5)}{1199} = 822 \text{ kg/cm}^2 \text{ موجود}$$

$$650D = \text{ارزش مجاز جوش}$$

$$650D = 822$$

$$D = 1.26 \text{ cm}$$

از جوش گوشه ۱۴ میلی متر در هر طرف استفاده می کنیم.
کنترل تنش خمشی در جان سخت کننده:

$$f = \frac{M}{S}$$

$$S = 1.25 \frac{60^2}{6} = 750 \text{ cm}^3$$

$$f = \frac{9.85(10^5)}{750} = 1313 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$$

ث) جوش لبه های سخت کننده

به طور محافظه کارانه فرض می کنیم که جوش لبه های سخت کننده T به لبه های ستون، $\frac{1}{4}$ نیروی بال را حمل می کند (اشکال ۱۱ - ۲۴ - الف و ب). همان طور که در شکل ۱۱ - ۲۶ نشان داده شده است، می توان فرض نمود که نیروی متمرکز بال در فاصله ای برابر $t_b + 5t_s$ توزیع شده است. با فرض اینکه بال تا تنش ۱۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بارگذاری شده است، نیروی کششی (شکل ۱۱ - ۲۶) برابر است با:

$$T = f_{tb} \left(\frac{b}{3} \right) = 1400(1.7) \left(\frac{24}{3} \right) 10^{-3} = 19.04 \text{ ton}$$

$$t_b + 5t_s = 1.7 + 5(2.25) = 12.95 \text{ cm}$$

$$\text{نیروی وارد بر واحد طول جوش} = \frac{19.04(10^3)}{12.95} = 1470 \text{ kg/cm}$$

اگر بخواهیم از جوش شیاری 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 نیم جناغی (V) با ضخامت گلوی ۱۸ میلی متر استفاده می کنیم.

(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.

$$IPB240 \text{ مجاز } = 24(1)(960)(10^{-3}) = 23.04 \text{ T}$$

البته امکان اینکه از حداکثر 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

$$= 4(25) + 2(60) = 220 \text{ cm}$$

$$\text{ظرفیت لازم جوش} = \frac{15(1000)}{220} = 68.2 \text{ kg/cm}$$

$$\text{افزایش اندازه ساق جوش گوشه} = \frac{68.2}{650} = 0.1 \text{ cm}$$

$$\text{افزایش گلوی جوش شیاری} = \frac{68.2}{900} = 0.08 \text{ cm}$$

که 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 همیشه از جمع برداری محافظه کارانه‌تر می‌باشد.

۱۱-۵-۵ ورق‌های کششی فوقانی

وقتی که تیر به بال ستون متصل می‌شود و ستون توسط سخت‌کننده‌های قائم یا افقی تقویت می‌گردد و یا وقتی که تیر از طریق سخت‌کننده‌های قائم T به جان ستون متصل می‌شود، یک وسیله ساده برای انتقال لنگر از تیر به ستون استفاده از یک ورق کششی در بالای تیر می‌باشد. این ورق کششی می‌تواند در ترکیب با یکی از حالات زیر به کار رود:

(۱) یک ورق فشاری تحتانی و نبشی یا ورق جان به‌منظور جذب نیروی برشی

(۲) یک نبشی نشیمن

(۳) یک نشیمن تقویت شده

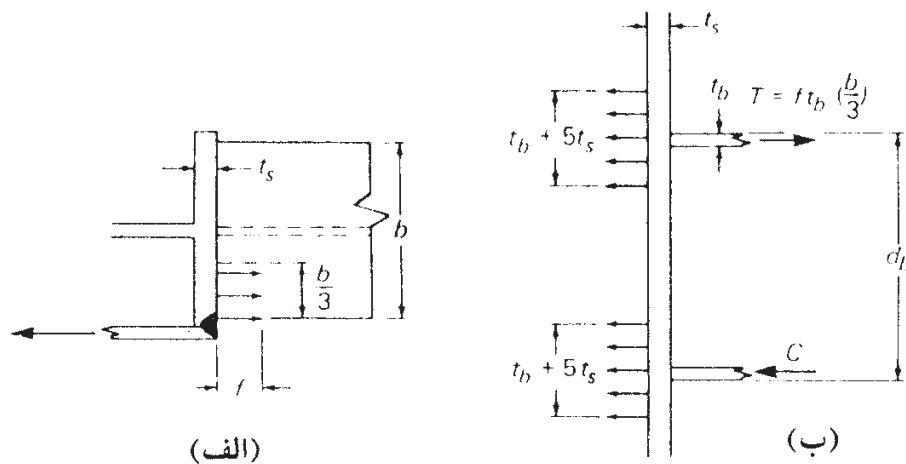
برای دیدن ترکیبات فوق به اشکال ۱۱-۱۷ و ۱۱-۱۸ مراجعه نمایید. رفتار ورق‌های کششی

فوقانی مورد مطالعات تحقیقاتی زیادی قرار گرفته و عملکرد مناسب آنها به تصدیق رسیده است.

طراحی نبشی‌های نشیمن و نشیمن‌های تقویت شده در بند ۱۱-۴ و انتقال نیروهای کششی و به یک ستون فولاد مصرفی از نوع نرمه با حد جاری شدن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع. فرض کنید که اتصال از نوع شکل ۱۱-۱۷-ت، می‌باشد.

مثال ۱۱-۸

مطلوب است طراحی یک ورق کششی فوقانی برای انتقال لنگر خمشی کامل تیر IPE 360 به یک ستون فولاد مصرفی از نوع نرمه با حد جاری شدن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع. فرض کنید که اتصال از نوع شکل ۱۱-۱۷-ت، می‌باشد.



شکل ۱۱-۲۶ - گسترش نیروی متمرکز بال در جوش سخت‌کننده.

حل:

الف) طراحی ورق فوقانی به‌عنوان یک عضو کششی

با در نظر گرفتن تنش مجاز ۱۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، لنگر خمشی حداکثر IPE 360 را به‌دست می‌آوریم:

$$M = F_b S_x = (1400)(904)(10^{-3}) = 12.66 \text{ ton.m}$$

نیروی کششی ورق فوقانی به‌طور تقریبی برابر است با:

$$T = \frac{M}{d_b} = \frac{12.66(10^2)}{36} = 35.17 \text{ ton}$$

$$A_g = \frac{T}{0.60 F_y} > \frac{T}{0.5 F_u}$$

سطح خالص مورد نیاز برای ورق

$$A_g = \frac{35.17}{0.60(2.4)} = 24.42 \text{ cm}^2 > \frac{35.17}{0.50(3.7)} = 19.01 \text{ cm}^2$$

با توجه به اینکه پهنای IPE 360 مساوی ۱۷ سانتی متر می باشد، پهنای ورق را مساوی ۱۴ سانتی متر در نظر می گیریم. ضخامت ورق برابر است با:

$$t = \frac{24.42}{14} = 1.74 \text{ cm}$$

از ورق ۱۴۰×۱۸ میلی متر استفاده می نمایم.

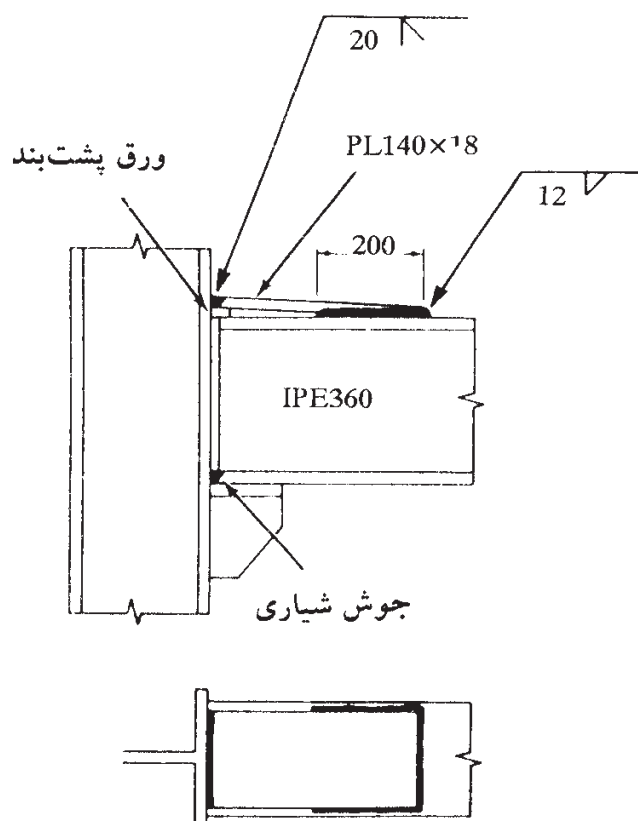
ب) اتصال ورق به بال فوقانی توسط جوش

اندازه ساق جوش را مساوی ۱۲ میلی متر در نظر می گیریم.

$$\text{ارزش جوش} = 650 D = 650(1.2)10^{-3} = 0.78 \text{ ton/cm}$$

$$\text{طول جوش لازم} = L_w = \frac{35.17}{0.78} = 45 \text{ cm}$$

۱۴ سانتی متر جوش در انتهای ورق و ۲۰ سانتی متر جوش در دو طرف ورق در نظر می گیریم. اتصال ورق به ستون را توسط جوش شیاری نیم جناغی (V) با انجام آزمایشات غیرمخرب که مقاومتی مساوی مقاومت ورق ایجاد می کند، در نظر می گیریم. برای این جوش یک ورق پشت بند



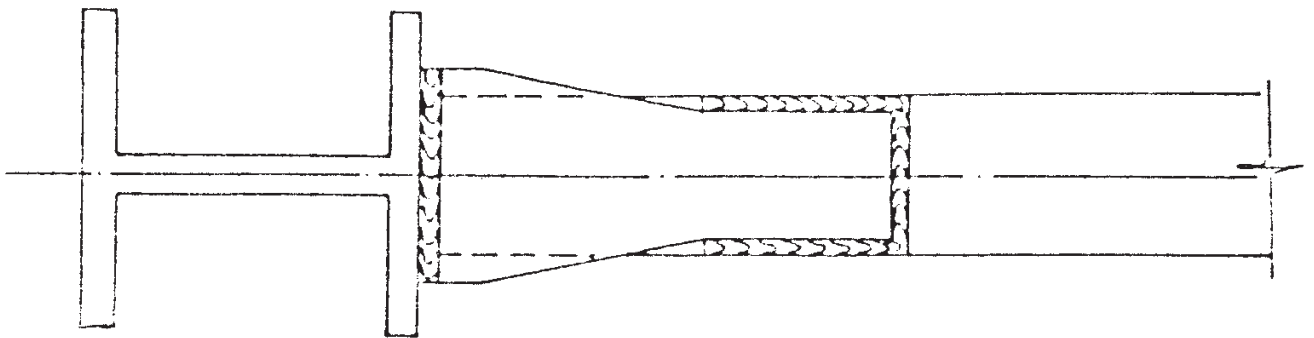
تعبیه می‌گردد.

نیروی برشی موجود در محل اتصال توسط نشیمن تقویت شده تحمل می‌گردد که روش طراحی آن در فصل گذشته نشان داده شده است. این نشیمن به‌عنوان ورق پشت‌بند جوش شیاری بال فشاری تحتانی عمل می‌نماید.

در اتصال ورق کششی فوقانی به ستون تذکر چند نکته لازم به‌نظر می‌رسد:

۱- اگر جوش شیاری اتصال‌دهنده ورق کششی به ستون بدون انجام آزمایش 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 به‌شکل زیر درمی‌آید.

۲- با تدبیر فوق به‌جای جوش شیاری، از جوش گوشه نیز می‌توان استفاده نمود.



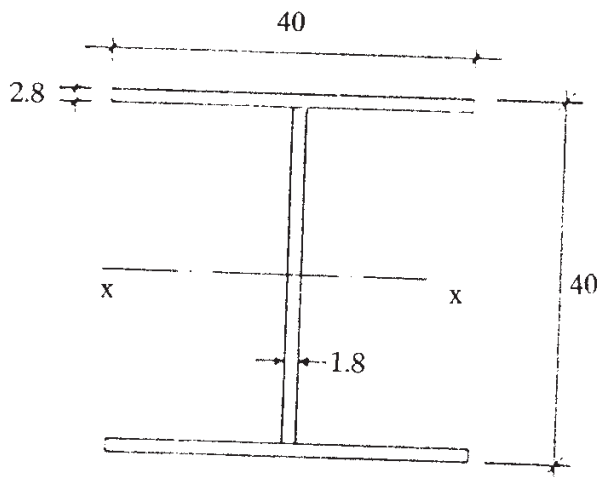
شکل ۱۱-۲۸

مثال ۱۱-۹

مطابق شکل ۱۱-۲۹ طراحی اتصال صلب یک تیر ورق به یک ستون ساخته شده از ورق موردنظر می‌باشد. از ضوابط مبحث ۱۰ و الکتروود E 60 (با $F_u=4200 \text{ kg/cm}^2$) و $\phi=0.75$ و فولاد ST37 با تنش حد جاری شدن $F_y=2400 \text{ kg/cm}^2$ استفاده نمایید.

باد	برش (تن)	لنگر (تن‌متر)
DL	10	14.0
LL	3.8	7.0
DL+LL	13.8	21.0
EQ	11.2	32.33
DL+LL+EQ	25	53.33
0.75(DL+LL+EQ)	18.75	40.0

(تعیین‌کننده است)



ستون

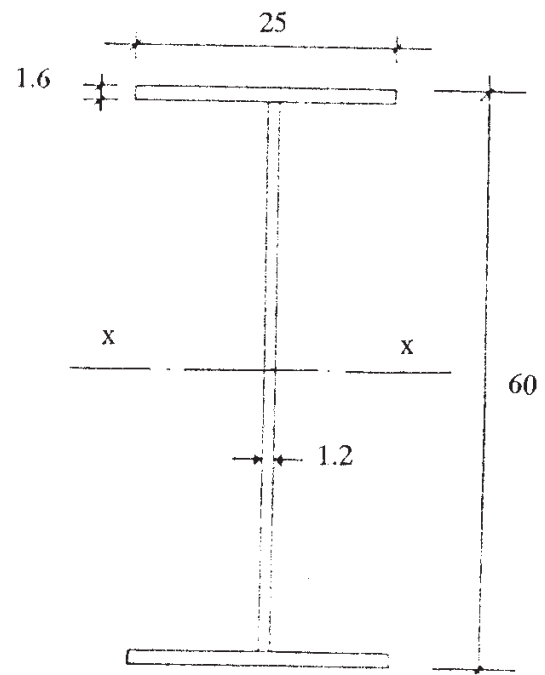
$$C_t = C_b = 20 \text{ cm}$$

$$A = 285.92 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 83747.52 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 17.1 \text{ cm}$$

$$S_t = S_b = 4187.38 \text{ cm}^3$$



تیر

$$C_t = C_b = 30 \text{ cm}$$

$$A = 148.16 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 86553.31 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 24.17 \text{ cm}$$

$$S_t = S_b = 2885.1 \text{ cm}^3$$

شکل ۱۱ - ۲۹

حل:

طراحی ورق های فوقانی و تحتانی

$$T = \frac{40}{0.6} = 66.67 \text{ ton}$$

نیروی کششی ورق

$$\text{تنش کششی مجاز ورق} = 0.6 \times 2400 = 1440 \text{ kg/cm}^2$$

جوش شیاری اتصال دهنده ورق فوق به ستون در کارگاه تحت نظر بازرسی های چشمی انجام می شود. لذا مقدار ϕ برای آن مساوی ۰/۷۵ اختیاری می شود.

$$\text{تنش کششی مجاز جوش شیاری} = 0.75 \times 1440 = 1080 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{عرض ورق فوقانی} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{ضخامت ورق فوقانی} = \frac{66.67 \times 10^3}{1080 \times 20} = 3.09 \text{ cm}$$

بنابراین برای ورق فوقانی از ورق 200×30 mm استفاده می‌شود.

$$= 30 \text{ cm} \text{ عرض ورق تحتانی}$$

$$\text{ضخامت ورق تحتانی} = \frac{66.67 \times 10^3}{1080 \times 30} = 2.06 \text{ cm}$$

از ورق 300×20 mm استفاده می‌شود.

جوش گوشه اتصال دهنده ورق فوقانی

$$D = 15 \text{ mm}$$

$$D \sim 650 D \cos 45 \times 0.75 \times (0.3 \times 4200) = \text{ارزش جوش}$$

$$\text{طول جوش لازم} = \frac{66.67 \times 10^3}{650 \times 1.5} \cong 68 \text{ cm}$$

۲۰ سانتی متر از جوش فوق در انتها و ۲۶ سانتی متر در دو لبه کناری انجام می‌شود.

جوش گوشه اتصال دهنده ورق تحتانی

$$D = 15 \text{ mm}$$

$$\text{(مثل ورق فوقانی) طول جوش لازم} = 68 \text{ cm}$$

$$\text{طول جوش لازم در هر طرف} = \frac{68}{2} + 2D = 34 + 2 \times 1.5 = 37 \text{ cm}$$

طراحی نبشی جان به منظور انتقال برش*

$$V = 18.75 \text{ ton}$$

برای اتصال برشی جان از دو نبشی $120 \times 120 \times 12$ به طول ۳۵ سانتی متر استفاده می‌شود:

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

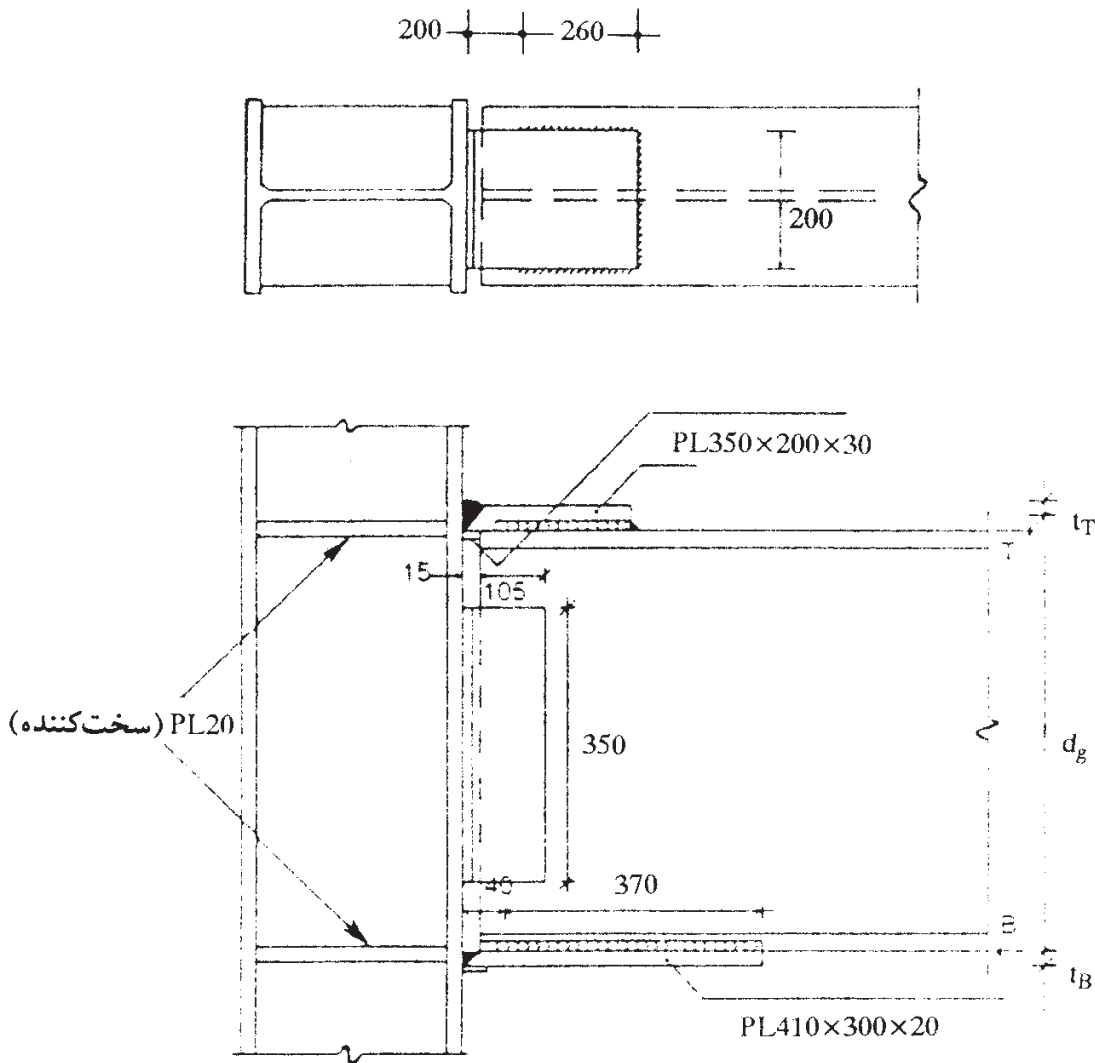
$$D_{\max} = \text{حداکثر ضخامت مؤثر جوش}$$

$$2 \times 650 \times D_{\max} = 0.4 \times 2400 \times 1.2$$

$$(D_a)_{\max} = 0.89 \text{ cm}$$

$$D_a = 7 \text{ mm} \quad \text{انتخاب می‌شود}$$

* به توضیح آخر مسئله رجوع کنید.



شکل ۱۱ - ۳۰

کنترل جوش A:

$$I_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$$

$$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$$

$$b = 10.5 \text{ cm} \quad , \quad d = 35 \text{ cm}$$

$$I_p = \frac{8 \times (10.5)^3 + 6(10.5)(35)^2 + 35^3}{12} - \frac{10.5^4}{2(10.5) + 35} = 10559 \text{ cm}^4$$

$$\bar{x} = \frac{10.5^2}{2(10.5) + 35} = 1.97 \text{ cm}$$

$$e_1 = 12 - 1.97 = 10.03 \text{ cm}$$

$P =$ برش مستقیم

$$\text{لنگر} = pe_1 = p(12 - 1.97) = 10.03 P$$

$$f'_y = \frac{P}{2 \times (2 \times 10.5 + 35)} = 0.0089 P \quad (\text{برش مستقیم})$$

$$f''_y = \frac{T.x}{2Ip} = \frac{10.03p(10.5 - 1.97)}{2 \times 10559} = 0.0041 P$$

$$f''_x = \frac{T.y}{2Ip} = \frac{10.03p(35/2)}{2 \times 10559} = 0.0083 P$$

$$f_r = P \sqrt{(0.0089 + 0.0041)^2 + (0.0083)^2} = 0.0154 P$$

$$650 D = 0.0154 P$$

$$650 \times 0.7 = 0.0154 P$$

$$P = 29.55 > 18.75 \quad (\text{ظرفیت جوش } A)$$

کنترل جوش B:

$$f_r = \frac{P}{2L^2} \sqrt{L^2 + 36e_1^2}$$

$$f_r = \frac{18.75 \times 10^3}{2 \times 35^2} \sqrt{35^2 + 36 \times 10.03^2} = 533 \text{ kg/cm}$$

$$650 D_b = 553$$

$$D_b = 0.85 \text{ cm}$$

$$D_b = 9 \text{ mm}$$

انتخاب می شود

طراحی سخت کننده های ستون در ناحیه اتصال (ورق های پیوستگی)

$$P = \frac{53.33}{0.6} = 88.88 \text{ ton} \quad (\text{نیروی بال در هنگام زلزله})$$

$$P = \frac{21}{0.6} = 35.00 \text{ ton} \quad (\text{نیروی بال در بار مرده و زنده})$$

کنترل ضخامت بال ستون در مقابل نیروی کششی (رابطه ۱۰-۸-۱۰ مبحث ۱۰):

$$P_{bf} = 4/3 \times 88.88 = 118.51 \text{ ton} \quad (\text{حاکم است})$$

$$P_{bf} = 5/3 \times 35 = 58.33 \text{ ton}$$

$$\frac{\text{عرض بال تیر}}{\text{عرض بال ستون}} = \frac{25}{40} = 0.63 > 0.15$$

$$t = 0.4 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}} = 0.4 \sqrt{\frac{118.51 \times 10^3}{2400}} = 2.81 \text{ cm}$$

که این مقدار در حدود ضخامت بال ستون یعنی ۲/۸ سانتی متر است. از لحاظ نظری احتیاجی به تقویت کننده در مقابل بال کششی نیست، لیکن قرار دادن آن همواره توصیه می شود.

کنترل تسلیم موضعی جان ستون (رابطه ۱۱ - ۲۸)

$$\frac{R}{t_w(N+5k)} = \frac{0.75 \times 88.88 \times 10^3}{1.80(2+5 \times 2.8)} = 2314.6 \text{ kg/cm}^2 > 0.66 \times 2400 = 1584$$

پس احتیاج به ورق سخت کننده می باشد.

کنترل لهیدگی در جان ستون

$$R = 566 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{F_{yw} \frac{t_f}{t_w}}$$

$$R = 566 \times 1.8^2 \left[1 + 3 \left(\frac{2}{40} \right) \left(\frac{1.8}{2.8} \right)^{1.5} \right] \sqrt{2400 \times \frac{2.8}{1.8}} \times 10^{-3}$$

$$= 120.71 \text{ ton} > 0.75 \times 88.88$$

کنترل کمانش فشاری جان (رابطه ۱۱ - ۲۹)

$$h_{1 \max} = \frac{34.5 \times 10^3 t_{we}^2 \sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}}$$

$$h_{1 \max} = \frac{34.5 \times 10^3 \times 1.8^3 \sqrt{2400}}{0.75 \times 88.88 \times 10^3} = 147.9 \text{ cm} >> 34.4 \text{ cm}$$

سطح مقطع ورق سخت کننده در مقابل بار فشاری

$$A_{st} = \frac{P_{bf} - F_{yc} t_w c (t_b + 5k)}{F_{yst}}$$

$$A_{st} = \frac{118.51 \times 10^3 - 2400 \times 1.8(2 + 5 \times 2.8)}{2400} = 20.58 \text{ cm}^2$$

از دو ورق $180 \times 20 \text{ mm}$ در ارتفاع کامل جان ستون در مقابل بال فشاری (و همچنین بال کششی تیر) استفاده می‌شود.

توضیح در مورد نیروی برشی طرح

به منظور دستیابی به مقاومت خمشی کامل اتصال، آیین‌نامه‌های زلزله توصیه می‌کنند که نیروی برشی طرح اتصال از رابطه زیر به دست آید:

$$V_d = V_{(D+L)} + \frac{2M_p}{L} \leq V_{(D+L)} + 0.4R V_E$$

که در آن:

M_p = لنگر پلاستیک تیر مساوی ZF_y که در آن Z اساس مقطع پلاستیک است.

L = طول دهانه

V_E = برش ناشی از نیروهای زلزله

R = ضریب شکل‌پذیری طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰

$V_{(D+L)}$ = برش بار مرده و زنده

مقاومت برشی چشمه اتصال (پیوست شماره ۲ آیین‌نامه ۲۸۰۰ بند ۷-۲)

$$V = 0.55 F_y d_c t \left[1 + \frac{3b_c t_{cf}^2}{d_b d_c t} \right]$$

$$t = 1.8 \quad d_b = 60 \quad d_c = 40 \quad b_c = 40 \quad t_{cf} = 2.8$$

$$V = 0.55 \times 2400 \times 40 \times 1.8 \left[1 + \frac{3 \times 40 \times 2.8^2}{60 \times 40 \times 1.8} \right] \times 10^{-3} = 95.04 \times 1.218 = 115.74 \text{ ton}$$

+ برش ناشی از لنگر بار مرده و زنده = نیروی برشی موجود

$$+ 1.85 = \frac{21 + 1.85 \times 32.33}{0.6} = 135 \text{ ton}$$

برش نظیر $0.8 \sum M_{ps}$ نیز کنترل می‌شود.

$$Z = 2 \times 25 \times 1.6(30 - 0.8) + 2 \times 28.4 \times 1.2 \times 14.2 = 3303.87 \text{ cm}^3$$

$$M_p = ZF_y = 3303.87 \times 2400 \times 10^{-5} = 79.3 \text{ tm}$$

$$V = 2 \times 0.8 \times \frac{79.3}{0.6} = 211$$

محاسبات نشان می‌دهد که ضخامت جان ستون در چشمه اتصال کم است و باید افزایش یابد. ضخامت ورق تقویتی مضاعف برابر است با:

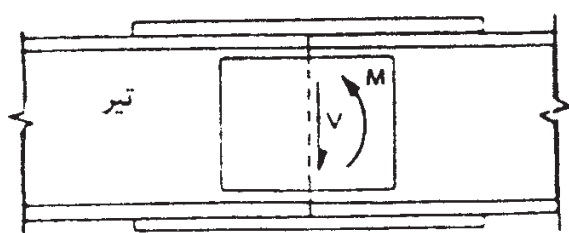
$$t = 1.8 \times \frac{135}{115.74} - 1.8 = 0.3 \text{ cm} \rightarrow t_p = 10 \text{ mm} \text{ بگوییم}$$

۱۱-۶ وصله تیرها

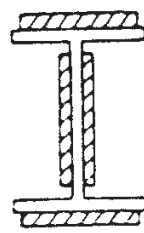
به دلایل زیادی مجبور هستیم که نیمرخ‌های نوردشده و یا تیروورق‌ها را وصله نماییم. بعضی از این دلایل به‌قرار زیر می‌باشد:

- طول استاندارد نیمرخ‌های نوردشده که از کارخانه بیرون می‌آید، ممکن است کافی نباشد.
- گاهی مواقع از لحاظ اجرا اقتصادی تر است که تیرها در طول‌های کوتاه به‌محل کار حمل شوند و در محل کار به یکدیگر وصله شوند.
- به‌علت کاهش ضایعات تیر آهن ممکن است که مجبور به وصله کارگاهی باشیم.

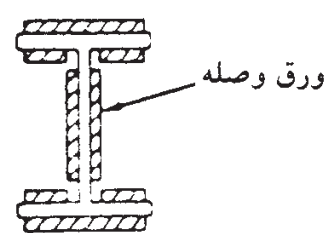
شکل ۱۱-۳۱ یک وصله استاندارد را نشان می‌دهد که از چهار ورق تشکیل یافته است، به‌همین مناسبت به‌چنین وصله‌ای، وصله چهار ورقی می‌گوییم. در مواقعی که بال تیر ضخیم باشد، ممکن است که مجبور شویم، همانند شکل ۱۱-۳۲ از ۸ ورق استفاده نماییم. وصله ممکن است از نوع پرچی یا پیچی و یا از نوع جوشی باشد. بدون توجه به‌نوع وصله، به‌عنوان یک قانون طراحی، هر قطعه از وصله باید برای نیروی قسمتی که جایگزین آن می‌شود، محاسبه گردد. از آنجایی که نیروی برشی توسط جان و لنگر خمشی توسط بال نیمرخ حمل می‌شود، بنابراین وصله‌های جان عهده‌دار تحمل نیروی برشی و وصله‌های بال عهده‌دار تحمل لنگر خمشی می‌باشند.



شکل ۱۱-۳۱

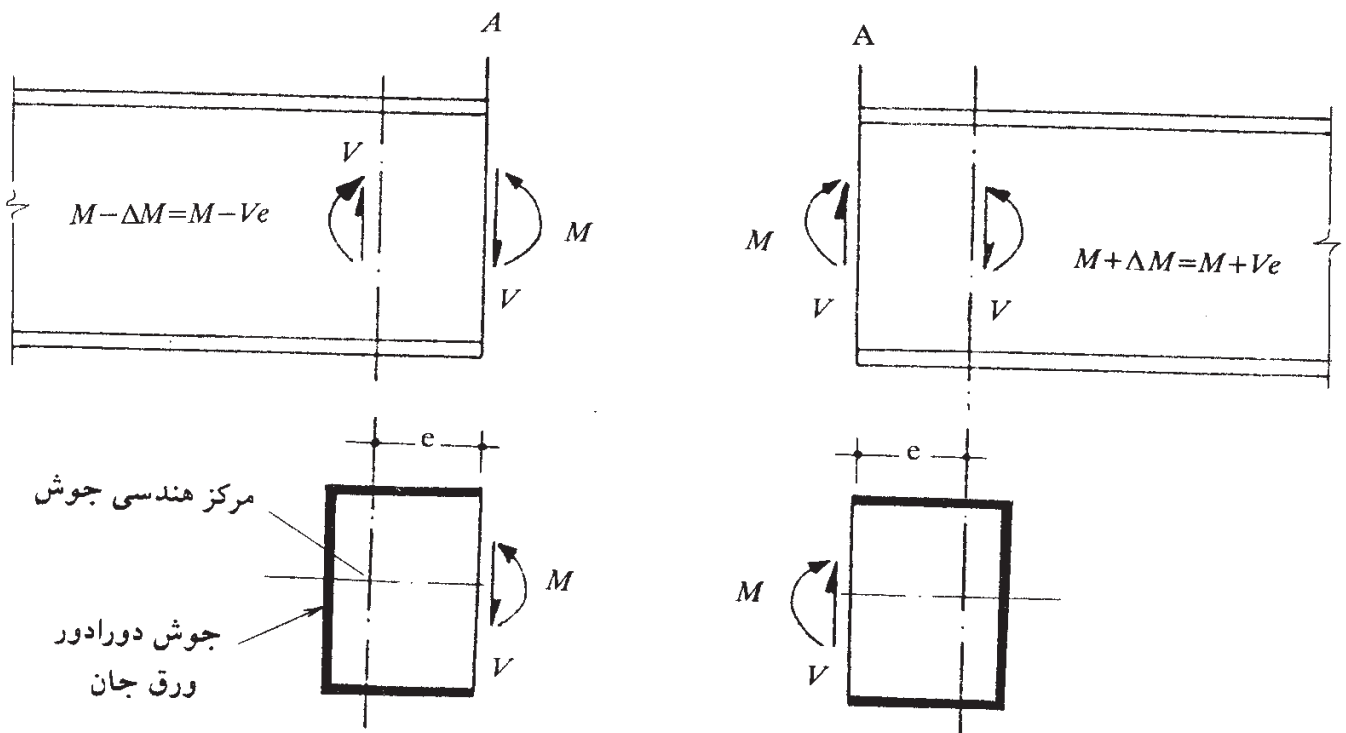


شکل ۱۱-۳۲



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 حداقلی محدود می‌نمایند. 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 پیچی و جوشی، گروه پیچ یا 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 به جا به نظر می‌رسد. اما از آنجایی که در



شکل ۱۱ - ۳۳

اغلب موارد وصله در محلی قرار دارد که یکی از مقادیر نیروی برشی و یا لنگر خمشی کوچک می باشد و نیروهای حداقل آیین نامه ای کنترل کننده طرح هستند، استفاده از $M_1 = M + Ve$ منطقی به نظر نمی رسد.

بنابراین در اکثر مواقع توصیه می شود که اتصال برای نیروهای واقعی در محل قطع و یا حداقل آیین نامه ای طراحی گردد و هیچ گونه خروج از مرکزیتی در نظر گرفته نشود. اگر نیروهای برشی و لنگرهای خمشی سازه با استفاده از تئوری سازه های نامعین بدون هیچ گونه مفصل داخلی، به دست آمده باشند، طراح نباید وصله ای طرح کند که به علت نرمی زیاد همانند یک مفصل عمل نماید.

مثال ۱۱ - ۱۰

مطلوب است طراحی وصله چهار ورقی یک تیر IPE 600 از فولاد نرمه با تنش حد جاری شدن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع، در محل وصله مقدار لنگر خمشی ۳۷ تن متر و نیروی برشی ۳۲ تن می باشد. ورق های وصله از فولاد نرمه و الکتروود مصرفی از نوع E 60 می باشد. ظرفیت وصله نباید از ۵۰ درصد ظرفیت نیمرخ کمتر در نظر گرفته شود.

حل: مشخصات IPE 600

$$h=60 \text{ , } b=22 \text{ , } t_w=1.2 \text{ , } t_f=1.9 \text{ cm}$$

$$A=159 \text{ cm}^2 \text{ , } I_x=92080 \text{ cm}^4 \text{ , } S_x=3070 \text{ cm}^3$$

الف) ظرفیت IPE 600 (با فرض مقطع فشرده)

$$M = F_b S_x = 0.66 F_y S_x = 0.66(2400)(3070) \times 10^{-5} = 48.63 \text{ ton.m}$$

$$V = F_v dt_w = 0.4 F_y dt_w = 0.40(2400)(60)(1.2) 10^{-3} = 69.12 \text{ ton}$$

ب) شرایط طراحی

$$M = 37 \text{ ton.m} > 0.50 \times 48.63 = 24.32 \text{ ton.m}$$

پس:

$$M = 37 \text{ ton.m}$$

$$V = 32 \text{ ton} < 0.50 \times 69.12 = 34.56 \text{ ton}$$

پس:

$$V = 34.56 \text{ ton}$$

پ) طراحی ورق‌های وصله جان

ورق‌های وصله جان باید قادر باشند که کل نیروی برشی را تحمل نمایند.

$$A_g \text{ لازم} = \frac{V}{0.4 F_y} = \frac{34.56 \times 10^3}{0.4(2400)} = 36 \text{ cm}^2$$

$$\text{(نیمرخ)} \quad 53 \text{ cm} = h - 2t = 53 \text{ cm} = \text{حداکثر ارتفاع ممکن}$$

$$t \text{ لازم} = \frac{A_g}{2(\text{ارتفاع})} = \frac{36}{2(53)} = 0.34 \text{ cm}$$

از ورق ۶ میلی‌متری به‌عنوان یک حداقل عملی استفاده می‌شود. پس از دو ورق ۶×۵۳۰ mm استفاده می‌شود.

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.

$$\text{سطح مقطع بال IPB600} = (22)(1.9) = 41.8 \text{ cm}^2$$

$$\text{درصد لنگر طراحی به‌ظرفیت کامل} = \frac{37}{48.63} (1000) = 76\%$$

$$\text{سطح مقطع لازم برای وصله بال} > 0.76 \times (41.8) = 31.77 \text{ cm}^2$$

$$t \text{ لازم} = \frac{31.77}{(22-2)} = 1.59 \text{ cm}$$

برای وصله بال از ورق ۱۶×۲۰۰ میلی‌متر با سطح مقطع ۳۲ سانتی‌متر مربع استفاده می‌شود.

البته سطح مقطع ورق وصله بال را می‌توان به‌نسبت فاصله مرکز به مرکز ورق‌های بال به‌فاصله

مرکز به مرکز ورق‌های وصله کاهش داد.

$$\text{درصد کاهش} = \left[1 - \frac{(60-1.9)}{(60+1.6)} \right] \times 100 = 5.68\%$$

در طراحی از این کاهش صرف‌نظر می‌نماییم.

$$f = \frac{MC}{I} \text{ (کنترل ورق وصله بال با استفاده از رابطه)}$$

$$I = I_w + I_f = \left[2 \times \frac{1}{12} (0.6)(53)^3 \right] + \left[2(1.6 \times 20) \left(30 + \frac{1.6}{2} \right)^2 \right]$$

$$I = 14887.7 + 60712.96 = 75601 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{37(10^5)(31.6)}{75601} = 1546 \text{ kg/cm}^2 < 0.66 F_y = 1584 \text{ kg/cm}^2 \text{ (با فرض مقطع فشرده)}$$

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.

$$M = \frac{I_f}{I} (M) = \frac{60713}{75601} (37) = 0.80(37) = 29.71 \text{ ton.m}$$

$$F = \frac{M}{d} = \frac{(29.71)10^2}{(60+1.6)} = 48236 \text{ kg}$$

نیرو در وصله بال را به طریق زیر نیز می‌توان به دست آورد:

$$F = \sigma_f \cdot A_f = \frac{37(10^5)(30 + \frac{1.6}{2})}{75601} \times (1.6 \times 20) = 48236 \text{ kg}$$

σ_f و A_f . به ترتیب تنش ناشی از خمش در مرکز سطح و مساحت ورق وصله بال می‌باشند.

$$L_{wf} = \frac{F}{650 D} \text{ طول لازم جوش وصله بال}$$

از جوش به اندازه $D=8 \text{ mm}$ استفاده می‌کنیم.

$$L_{wf} = \frac{48236}{650(0.8)} = 92.8 \text{ cm}$$

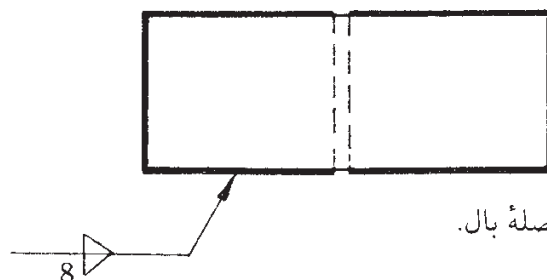
طول لازم ورق وصله بال در یک طرف درز:

$$L_1 = \frac{1}{2} (92.8 - 20) = 36.4 \text{ cm}$$

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 - ۳۴ - 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 $۶ \times ۵۳۰ \times ۶۰۰$ میلی متر استفاده می‌نماییم.

با استفاده از ردیف ۵ جدول ۱ - ۱۵ داریم:

$$b = \frac{60}{2} = 30, d = 53 \text{ cm}$$

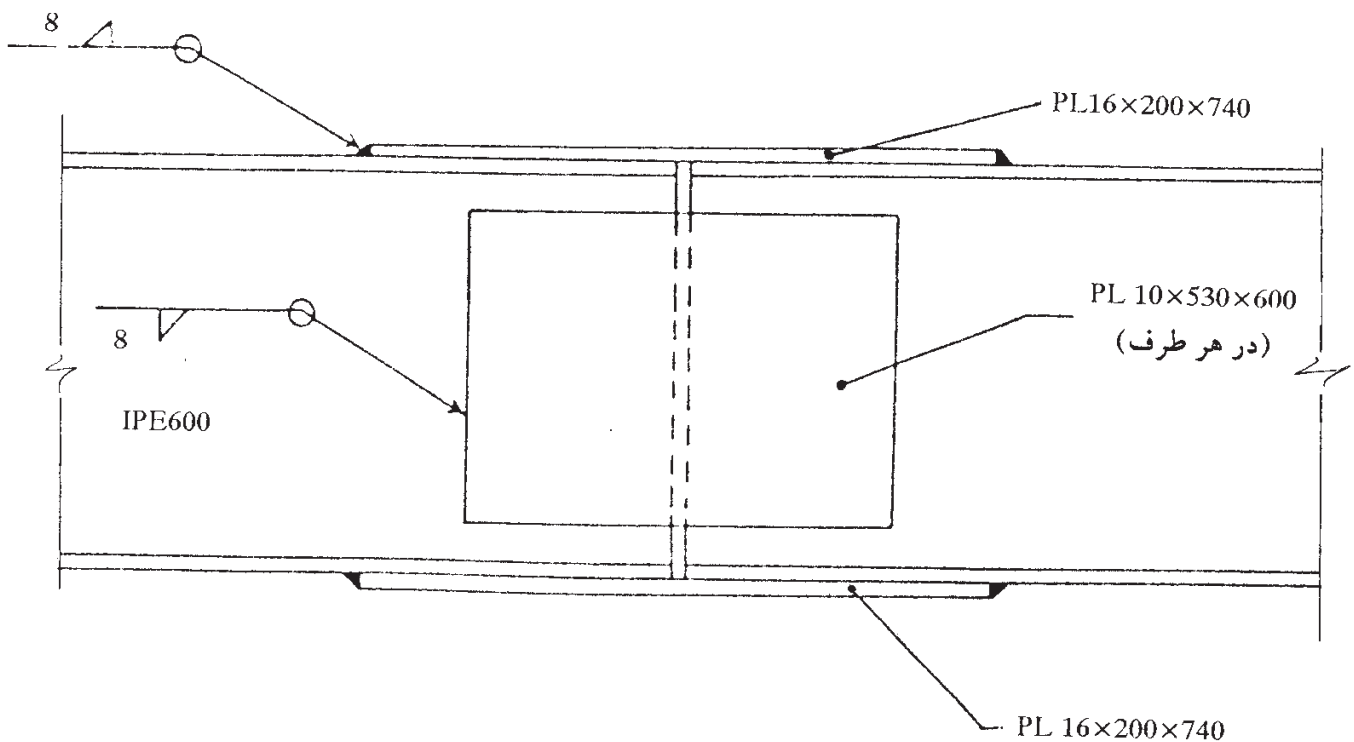
$$\bar{x} = \frac{30^2}{2(30)+53} = 7.96 \text{ cm}$$

$$I_p = 2 \left[\frac{8(30)^3 + 6(30)(53)^2 + (53)^3}{12} - \frac{(30)^4}{2(30)+53} \right] = 130746.6 \text{ cm}^3$$

$$M_T = \frac{I_w}{I} M + Ve = \frac{14887.7}{75601} (37) + (34.56)(30 - 7.96) \times 10^{-2}$$

$$M_T = 7.29 + 7.62 = 14.91 \text{ ton.m}$$

البته در اینجا مقداری دست بالا عمل نموده‌ایم. می‌توانستیم M_T را مساوی $\frac{I_w}{I} (M + Ve)$ در نظر بگیریم.



شکل ۱۱ - ۳۵

$$f'_x = \frac{V}{A} = \frac{34.56 \times 10^3}{2(2 \times 30 + 53)} = 152.92 \text{ kg/cm}$$

$$f''_x = \frac{M_T \cdot y}{I_p} = \frac{(14.91 \times 10^5) \times (\frac{53}{2})}{130746.6} = 302.20 \text{ kg/cm}$$

$$f''_y = \frac{M_T \cdot x}{I_p} = \frac{(14.91 \times 10^5) \times (30 - 7.96)}{130746.6} = 251.34 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = \sqrt{(302.20)^2 + (152.92 + 251.34)^2} = 504.73 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = 650 D \rightarrow D = \frac{504.73}{650} = 0.78 \text{ cm}$$

از جوش $D=8 \text{ mm}$ استفاده می‌کنیم. چون اندازه جوش از ضخامت ورق جان بیشتر است. بنابراین برای وصله جان از دو ورق $۱۰ \times ۵۳۰ \times ۶۰۰$ استفاده می‌نماییم.

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 می‌نمایند. 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 سانتی متری 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 و یا پیچ‌کاری، ارتفاع بسیار مناسبی را در اختیار داریم.

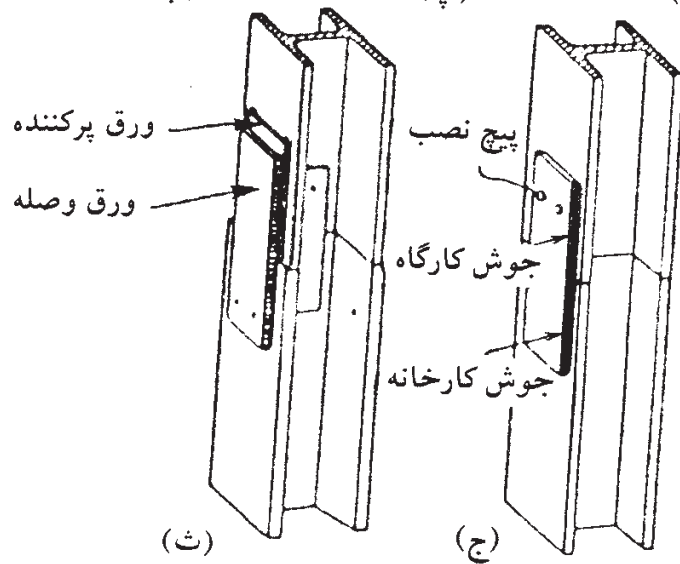
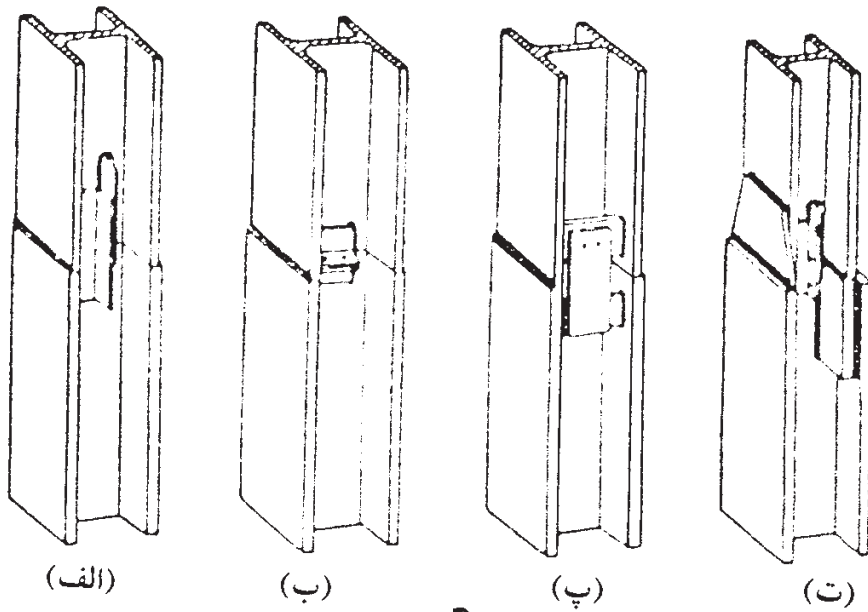
در صورتی که ستون عضوی از قاب خمشی باشد، در اثر بارهای جانبی در آن ایجاد لنگر خمشی می‌گردد که نقطه عطف آن تقریباً در وسط ارتفاع قرار دارد. در این حالت بهترین محل برای وصله ستون، وسط ارتفاع طبقه است که در آن لنگر خمشی مساوی با صفر می‌باشد. اما در طرف دیگر، انجام عملیات پیچ‌کاری و جوشکاری در وسط ارتفاع طبقه، مشکلاتی همراه دارد که ممکن است طراح را به انتخاب ارتفاع کمتر برای وصله وا دارد.

۱۱-۷-۳ انواع وصله

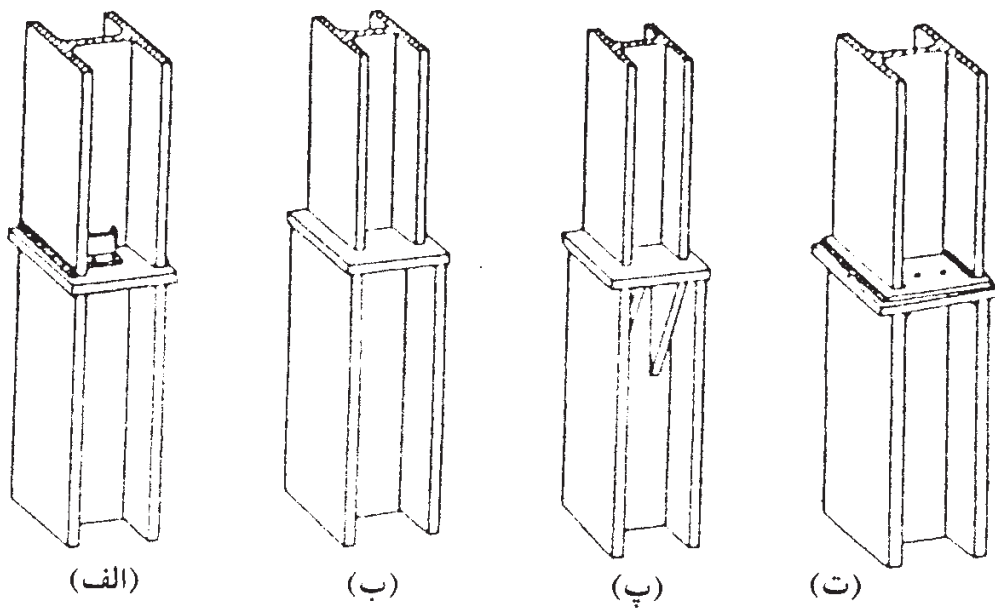
در شکل ۱۱-۳۶، مثال‌های متعددی از وصله ستون‌ها نشان داده شده است. غالباً برای تنظیم و قرارگیری ستون‌ها در محل وصله، زائده‌های کوچکی به لبه ستون‌ها جوش می‌شود که از سوراخ‌های موجود در داخل این زائده‌ها، پیچ‌های مونتاژ عبور داده می‌شود. این موضوع در شکل ۱۱-۳۶-الف، نشان داده شده است. اشکال ۱۱-۳۶-ب و ۱۱-۳۶-ج، حالاتی را نشان می‌دهند که در آن اتصال ورق اتصال به ستون پایینی توسط جوش در کارخانه و یا پای کار قبل از واداشتن ستون انجام شده، و اتصال ورق به ستون فوقانی توسط پیچ به صورت در جا صورت پذیرفته است. در هر دو اتصال برای پر کردن فاصله به وجود آمده در اثر اختلاف ابعاد دو ستون، از ورق‌های پُرکننده استفاده شده است. در صورتی که اختلاف در ابعاد دو ستون زیاد باشد، اتصال آنها به یکدیگر باید مطابق شکل ۱۱-۳۷ با استفاده از یک ورق سر ضخیم که تغییر شکل پذیری ناچیزی داشته باشد، انجام گردد.

۱۱-۷-۴ نیروهای وصله

اگر لبه‌های در حال تماس دو ستون گونیا شده و خوب سنگ‌زده شود، می‌توان در صدی از بار طراحی ستون‌ها را به صورت فشار تماسی انتقال داد و در نتیجه از ابعاد ورق‌های اتصال کاست. با توجه به اضافه 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 به نظر نمی‌رسد. لیکن در صورتی که از اجرای دقیق کار مطمئن باشیم، در این صورت طبق توصیه AISC، ورق وصله مربوط به بال یا جانی که تحت اثر نیروی فشاری و لنگر خمشی به فشار 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 به این 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.



شکل ۱۱-۳۶



شکل ۱۱-۳۷

۱۱-۷-۵ پُرکننده‌ها

در اتصالات جوشی ساختمان‌ها، پُرکننده‌هایی را که ضخامتشان از ۶ میلی‌متر بیشتر باشد باید به‌اندازه کافی از لبه صفحه وصله ادامه داد و قسمت ادامه یافته را با جوش کافی به‌قطعه‌ای که در زیرش قرار دارد متصل نمود (شکل ۱۱ - ۳۶ - ث). قدرت جوش باید طوری باشد که تنش‌های صفحه وصله را که به‌صورت بار برون‌محور بر روی سطح صفحه پُرکننده وارد می‌شود، تحمل نماید. جوشی که صفحه وصله را به پُرکننده متصل می‌نماید باید طوری باشد که بتواند تنش‌های صفحه وصله را به صفحه پُرکننده منتقل نموده و خط جوش باید به‌اندازه کافی زیاد بوده تا از بیش از حد تنیده شدن صفحه پُرکننده در ناحیه جوش‌ها جلوگیری به‌عمل آید. لبه هر پُرکننده‌ای با ضخامت کمتر از ۶ میلی‌متر باید با لبه صفحه وصله هم‌سطح شده و اندازه جوشی که به‌کار برده می‌شود باید برابر مجموع اندازه لازم برای انتقال تنش صفحه وصله به صفحه پُرکننده به‌علاوه ضخامت صفحه پُرکننده باشد.

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 به‌کار برده شده است را تحمل نمایند، ولی این اتصالات نباید مقاومتی کمتر از ۵۰ درصد مقاومت مؤثر قطعات را بر مبنای نوع تنشی که قطعه بر آن اساس انتخاب می‌شود، دارا باشند.

مثال ۱۱-۱۱

مطلوب است طراحی وصله یک ستون IPB240 به‌ستون طبقه زیر آن که یک ستون IPB260 می‌باشد.

نیروهای موجود در محل اتصال عبارتند از:

$$p=65 \text{ tm (نیروی محوری)}$$

$$M_x=5 \text{ ton.m (لنگر)}$$

$$V_x=4 \text{ ton (برش)}$$

ارتفاع طبقه ۳/۸ متر می‌باشد و ضریب $K_x=1.15$ و $K_y=1$ تعیین گردیده است. فولاد مصرفی از نوع ST 37 با $F_y=2400 \text{ kg/cm}^2$ می‌باشد.

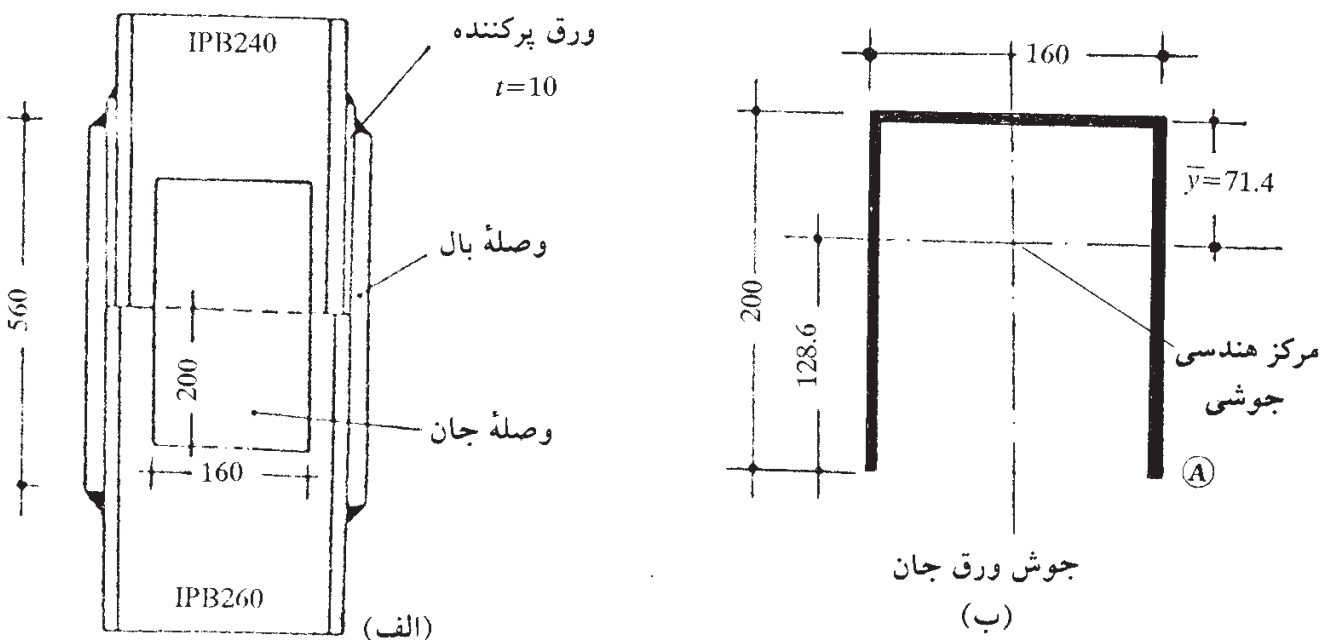
تعیین تنش مجاز برای ستون:

$$\frac{K_x L_x}{r_x} = \frac{1.15 \times 380}{10.3} = 42.4$$

$$\frac{K_y L_y}{r_y} = \frac{1 \times 380}{6.08} = 63 \rightarrow F_a = 1149 \text{ kg/cm}^2$$

مشخصات نیمرخ‌های به کار رفته

مشخصات هندسی	IPB240	IPB260
ارتفاع (cm)	۲۴	۲۶
پهنای بال (cm)	۲۴	۲۶
ضخامت جان (cm)	۱	۱
ضخامت بال (cm)	۱/۷	۱/۷۵
مساحت (cm ²)	۱۰۶	۱۱۸
ارتفاع جان (cm)	۲۰/۶	۲۲/۵
I_x (cm ⁴)	۱۱۲۶۰	۱۴۹۲۰
r_x (cm)	۱۰/۳	۱۱/۲
r_y (cm)	۶/۰۸	۶/۵۸



شکل ۱۱ - ۳۸ - مربوط به مثال ۱۱ - ۱۱ (ابعاد به میلی‌متر).

نیروی محوری را به نسبت مساحت و لنگر خمشی را به نسبت ممان اینرسی بین بال و جان IPB240 تقسیم می‌کنیم:

$$I_w = \frac{1 \times 20.6^3}{12} = 728 \text{ cm}^4$$

$$A_w = 1 \times 20.6 = 20.6 \text{ cm}^2$$

$$P_w = 65 \times \frac{20.6}{106} = 12.6 \text{ ton}$$

$$P_f = \frac{65 - 12.6}{2} = 26.2 \text{ ton}$$

$$M_w = 5 \times \frac{728}{11260} = 0.32 \text{ ton.m}$$

$$M_f = 5 - 0.32 = 4.68 \text{ ton.m}$$

محاسبهٔ وصلهٔ بال :

$$\text{نیروی محوری بال} = 26.2 \pm \frac{4.68 \times 100}{(24 - 1.7)} = 26.2 \pm 21$$

$$\text{نیروی حداکثر} = 47.2 \text{ ton}$$

$$\text{نیروی حداقل} = 5.2 \text{ ton}$$

وصلهٔ بال را برای تمام نیروی موجود در محل مقطع طراحی می‌نماییم:

$$\text{سطح لازم برای وصله} = \frac{47.2 \times 1000}{1149} = 41 \text{ cm}^2$$

$$\text{پهنای ورق} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{ضخامت ورق} = \frac{41}{20} = 2.05 \rightarrow t = 2.2 \text{ cm}$$

محاسبهٔ 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 سانتی‌متر در نظر می‌گیریم.

$$\text{ارتفاع کل وصلهٔ بال} = 28 \times 2 = 56 \text{ cm}$$

ورق پرکننده بال :

$$\text{ضخامت ورق پرکننده} = \frac{26-24}{2} = 1 \text{ cm}$$

$$\text{ارتفاع ورق پرکننده} = 28+4=32 \text{ cm}$$

$$\text{پهنای ورق پرکننده} = 20+2=22 \text{ cm}$$

جوش ورق پرکننده مطابق جوش ورق وصله بال انتخاب می‌گردد، یعنی جوش $D=10 \text{ mm}$ به‌طور دورتادور انجام می‌شود.

محاسبه وصله جان :

از دو ورق $160 \times 8 \text{ mm}$ استفاده کرده و آن را کنترل می‌کنیم:

$$S = 2 \times \frac{0.8 \times 16^2}{6} = 68.3 \text{ cm}^3$$

$$A = 2 \times 16 \times 0.8 = 25.6 \text{ cm}^2$$

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{S} = \frac{12.6 \times 1000}{25.6} \pm \frac{0.32 \times 10^5}{68.3} = 492 \pm 469$$

$$\text{(خوبست)} \quad \text{تنش حداکثر} = 961 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{(خوبست)} \quad \text{تنش حداقل} = 23 \text{ kg/cm}^2$$

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 - ۳۸ - ب، در نظر می‌گیریم:

$$b = 16 \text{ cm} \quad d = 20 \text{ cm}$$

$$A = 16 + 2 \times 20 = 56 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$f'_y = \frac{P}{A} = \frac{6.3 \times 1000}{56} = 112.5 \text{ kg/cm}$$

$$f'_x = \frac{V}{A} = \frac{2 \times 1000}{56} = 35.7 \text{ kg/cm}$$

$$I_p = \frac{(16)^3 + 6(16)^2(20) + 8(20)^3}{12} - \frac{(20)^4}{2(20) + 16} = 5377 \text{ cm}^4/\text{cm}$$

$$\bar{Y} = \frac{d^2}{b + 2d} = \frac{20^2}{16 + 40} = 7.14 \text{ cm}$$

$$\text{فاصله نقطه } A \text{ تا مرکز ثقل} = 20 - 7.14 = 12.86 \text{ cm}$$

$$M_t = 2 \times 12.86 \times 10^{-2} + 0.16 = 0.42 \text{ t.m}$$

$$f''_x = \frac{M_t y}{I_p} = \frac{0.42 \times 10^5 \times 12.86}{5377} = 100.45 \text{ kg/cm}$$

$$f''_y = \frac{M_t x}{I_p} = \frac{0.42 \times 10^5 \times 8}{5377} = 62.49 \text{ kg/cm}$$

$$f_x = 35.7 + 100.45 = 136.15 \text{ kg/cm}$$

$$f_y = 112.5 + 62.49 = 174.99 \text{ kg/cm}$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 221.72 \text{ kg/cm}$$

$$650 D = 221.72$$

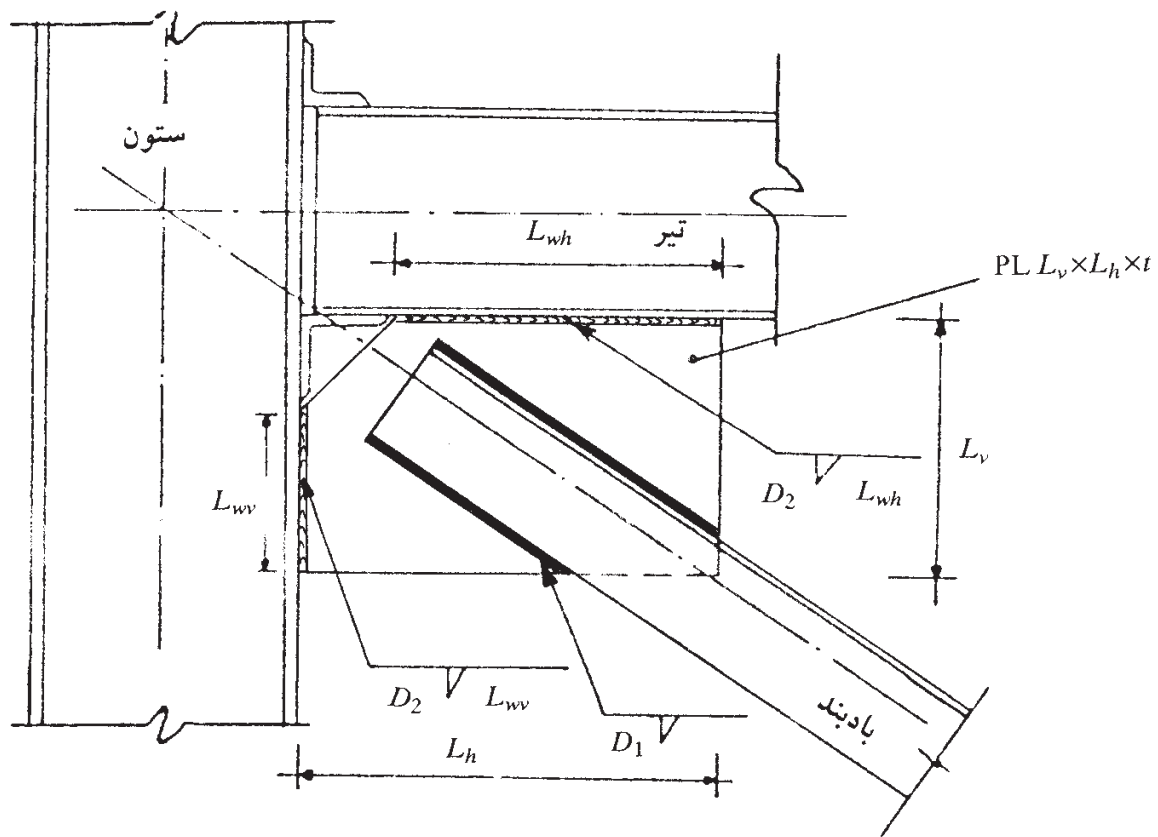
$$D = 0.34 \text{ cm}$$

انتخاب می شود: $D = 5 \text{ mm}$.

۱۱-۸ اتصال بادبندی

۱۱-۸-۱ مقدمه

اتصال بادبندها در اغلب موارد مطابق شکل ۱۱-۳۹ انجام می گیرد. در این اتصال، عضو بادبند بر روی صفحه اتصال^۶ به وسیله جوش و یا پیچ و پرچ متصل شده و خود صفحه اتصال به وسیله جوش های گوشه افقی و قائم به تیر و ستون جوش می گردد.

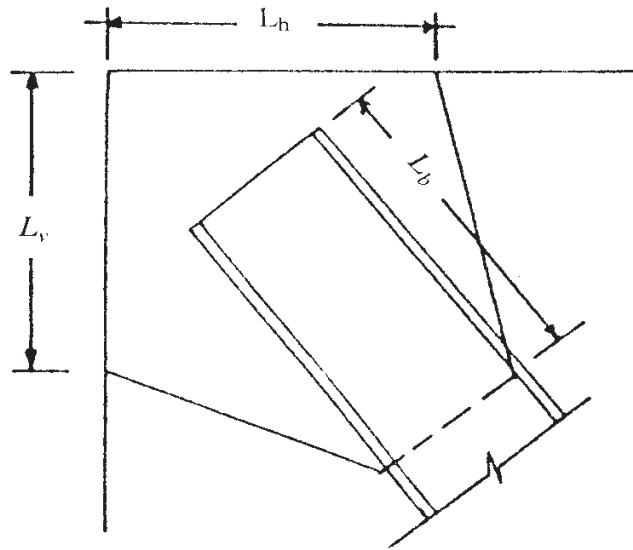


شکل ۱۱-۳۹ - اتصال بادبندها.

۱۱-۸-۲ نکات فنی

اتصال تیر به ستون که از نوع مفصلی (ساده) می باشد به وسیله نبشی جان یا نبشی نشیمن انجام می گردد. در صورت استفاده از نبشی نشیمن، ورق اتصال در گوشه برش داده می شود تا به راحتی در محل قرار گیرد. اعضای بادبند معمولاً از نیمرخ نبشی و یا ناودانی به صورت تک و یا زوج انتخاب می گردند. هنگام استفاده از نیمرخ های زوج به منظور کاهش طول های افقی و قائم جوش ورق به تیر و ستون، می توان این جوش را دو طرفه انجام داد.

برای جلوگیری از ایجاد لنگرهای ثانویه در اتصال، حتی الامکان باید سعی نمود تا محور هندسی بادبند از محل برخورد محورهای هندسی تیر و ستون بگذرد و زاویه اعضای بادبند با افق در حدود ۴۵ درجه باشد. در عمل صفحات اتصال را با اشکال و برش های مختلفی به کار می برند که شکل ۱۱-۴۰ یک نمونه از آنها را نشان می دهد. هندسه ورق اتصال طوری باید باشد که طول جوش های محاسبات L_h ، L_v و L_b تأمین شود.



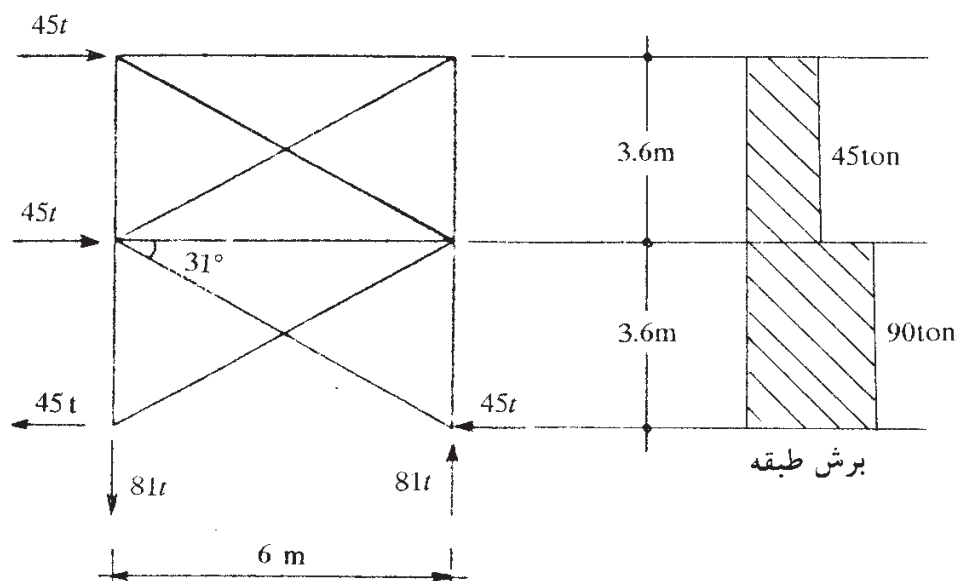
شکل ۱۱ - ۴۰ - یک نمونه از اتصال بادبندی.

مثال ۱۱ - ۱۲

در زیر طراحی یک بادبند ضربدری درون محور^۷ بر مبنای آیین نامه ۲۸۰۰ نشان داده می شود. بادبند یک دهانه دو طبقه شکل ۱۱ - ۴۲ را در نظر بگیرید. برش طبقه اول مساوی ۹۰ تن می باشد که فرض می شود به طور مساوی بین قطره های فشاری و کششی تقسیم می گردد. فولاد مصرفی از نوع ST 37 با $F_y=2400$ و $F_u=3700$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد.

$$L = \sqrt{3.6^2 + 6^2} = 7 \text{ m}$$

(طول محور به محور عضو بادبند)



شکل ۱۱ - ۴۱

$$F = \frac{7}{6} \times \frac{90}{2} = 52.5 \text{ t}$$

(نیروی بادبند به صورت کششی یا فشاری)

طول آزاد برای کمانش در صفحه بادبند، نصف طول کل بادبند در نظر گرفته می شود:

$$L_{x-x} = \frac{L}{2}$$

طول آزاد برای کمانش خارج از صفحه، دو سوم طول کل بادبند منظور می گردد:

$$L_{y-y} = \frac{2L}{3}$$

اگر ستون از نیمرخ بال پهن نمره ۳۰ و تیر از تیر آهن نمره ۳۳ باشد، طول آزاد بادبند برابر است با:

$$L = \sqrt{(6-0.3)^2 + (3.6-0.33)^2} = 6.57 \text{ m}$$

(طول آزاد بادبند)

(البته وجود ورق اتصال نیز از طول آزاد بادبند خواهد کاست).

اگر به عنوان عضو بادبند از دو نبشی پشت به پشت $120 \times 120 \times 12$ میلی متر استفاده شود،

مشخصات هندسی آن به قرار زیر خواهد بود:

(در تخمین اولیه، ضخامت ورق اتصال ۱۰ میلی متر 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

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{1}{2} \times \frac{657}{3.65} = 90 < 6025 / \sqrt{2400} = 123$$

(حاکم است)

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{2}{3} \times \frac{657}{5.35} = 82$$

$$90 = \text{لاغری} \quad , \quad F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow F_a = 959 \text{ kg/cm}^2$$

با در نظر گرفتن ۳۳ درصد افزایش تنش مجاز به علت وجود نیروی جانبی در ترکیب بارگذاری خواهیم داشت:

$$F_a = 1.33 \times 959 = 1275.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{as} = B F_a \quad , \quad B = 1 / (1 + \lambda / 2c_c) = 1 / (1 + 90 / (2 \times 131)) = 0.75$$

$$F_{as} = 1275.5 \times 0.75 = 956$$

تنش موجود در بادبند (طبق پیوست ۲ آیین نامه ۲۸۰۰):

$$f_a = \frac{52.5 \times 10^3}{55} = 954 < 956$$

ب) کنترل ظرفیت کششی

تنش کششی مجاز برابر است با:

$$F_t = 0.6F_y(1.33) = 0.6 \times 2400 \times 1.33 = 1915 \text{ kg/cm}^2$$

تنش موجود در بادبند همان طور که در بند الف، محاسبه شد:

$$f_a = 954 < 2460.5 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{خوبست})$$

پ) طراحی جوش نبشی به ورق

مبحث دهم مقرر می‌دارد: «به جز در مورد اعضایی که تحت بارهای خستگی قرار دارند، اتصال متعادل شده برای نبشی تک، نبشی دوپل و اعضای مشابه ضرورتی ندارد.»

بر اساس توصیه فوق، طرح جوش نبشی به ورق بر مبنای جوش نامتعادل انجام می‌گیرد:

در انتخاب اول از جوش با اندازه $D_1 = 7 \text{ mm}$ استفاده می‌شود:

$$\text{نیروی اتصال} = (0.4R)F = 0.4 \times 6 \times 52.5 = 126 \text{ ton}$$

$$\text{ظرفیت کششی مجاز} = 2400 \times 55 \times 10^{-3} = 132 \text{ ton}$$

مقدار اول حاکم است.

$$R_{w1} = 650 D_1 = 650 \times 0.7 = 455 \text{ kg/cm} \quad (\text{ارزش جوش})$$

طول جوش لازم برای هر نبشی برابر است با:

$$L_{w1} = \frac{126 \times 10^3}{2 \times (455) \times 1.33} = 104$$

۱۲ سانتی متر از جوش فوق در کله نبشی و دو طول ۴۶ سانتی متری در کنار نبشی انجام می‌شود.

ت) طراحی جوش ورق به تیر و ستون

$$F_h = 126 \times \cos 31^\circ = 108 \text{ ton} \quad (\text{نیروی افقی بادبند})$$

$$F_v = 126 \times \sin 31^\circ = 65 \text{ ton} \quad (\text{نیروی قائم بادبند})$$

در تخمین اول از جوش دو طرفه با اندازه $D_2 = 7 \text{ mm}$ استفاده می‌شود:

$$R_{w2} = 650 D_2 = 650 \times (2 \times 0.7) = 910 \text{ kg/cm} \quad (\text{ارزش جوش})$$

$$\text{ارزش ورق اتصال} = (0.4 F_y)t = (0.4 \times 2400) \times 1 = 960 \text{ kg/cm}$$

$$L_{wh} = \frac{F_h}{R_{w2}} = \frac{108 \times 10^3}{910 \times 1.33} = 89$$

(طول جوش افقی)

$$L_{wv} = \frac{F_v}{R_{w2}} = \frac{65 \times 10^3}{910 \times 1.33} = 54$$

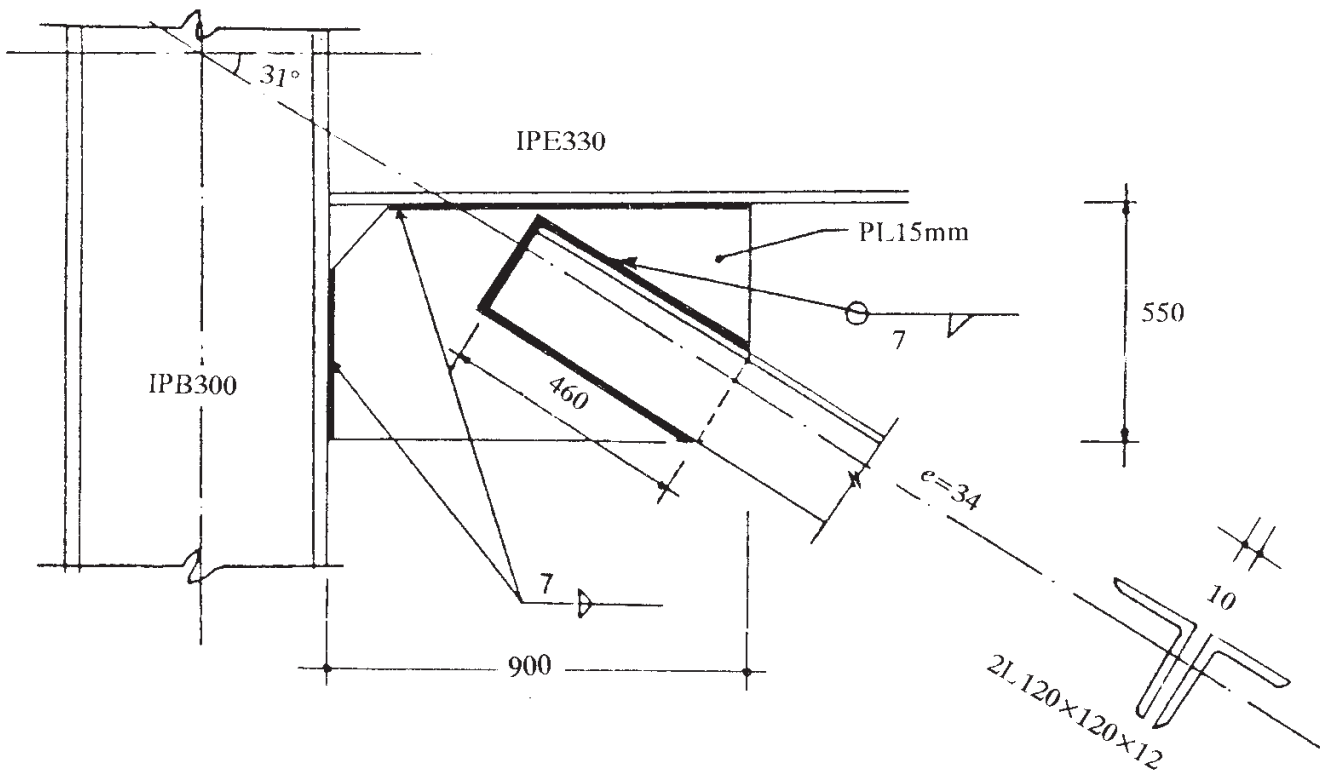
(طول جوش قائم)

با توجه به بندهای پ و ت، جزئیات اتصال مانند شکل ۱۱ - ۴۲ در نظر گرفته می شود.

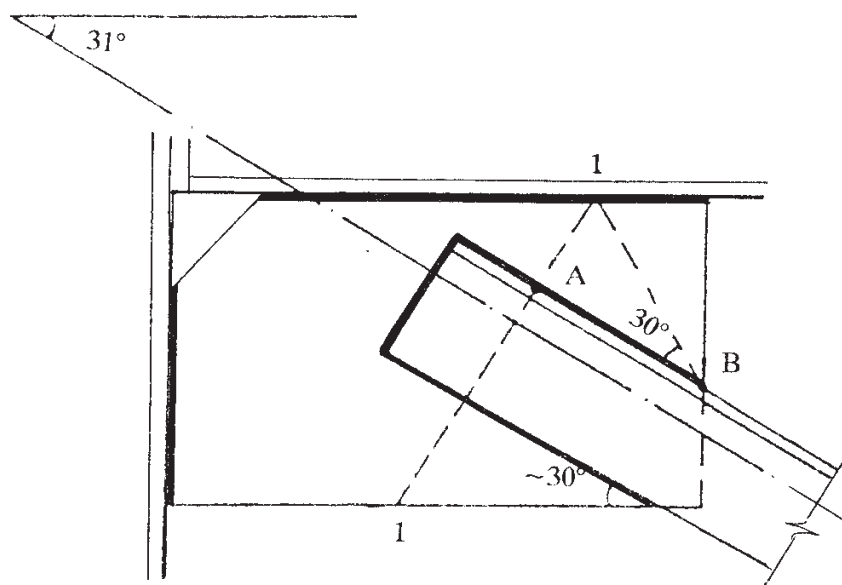
(ث) کنترل ورق اتصال با استفاده از روش ویتور

در این روش فرض می شود که نیروی عضو قطری با زاویه ۳۰ درجه نسبت به امتداد آن، در ورق توزیع می شود (شکل ۱۱ - ۴۳).

$$AB = 18 \text{ cm}$$



شکل ۱۱ - ۴۲



شکل ۱۱ - ۴۳

$$\text{عرض مؤثر در انتهای ورق} = 2(46 \operatorname{tg} 30^\circ) + 12 = 65 \text{ cm}$$

$$f_t = \frac{126 \times 10^3}{65 \times 1.5} = 1292 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{تنش مجاز} = 0.6 F_y = 0.6 \times 2400 = 1440 \text{ kg/cm}^2 > 1292 \quad (\text{خوبست})$$

۹-۱۱ اتصالات پای ستون

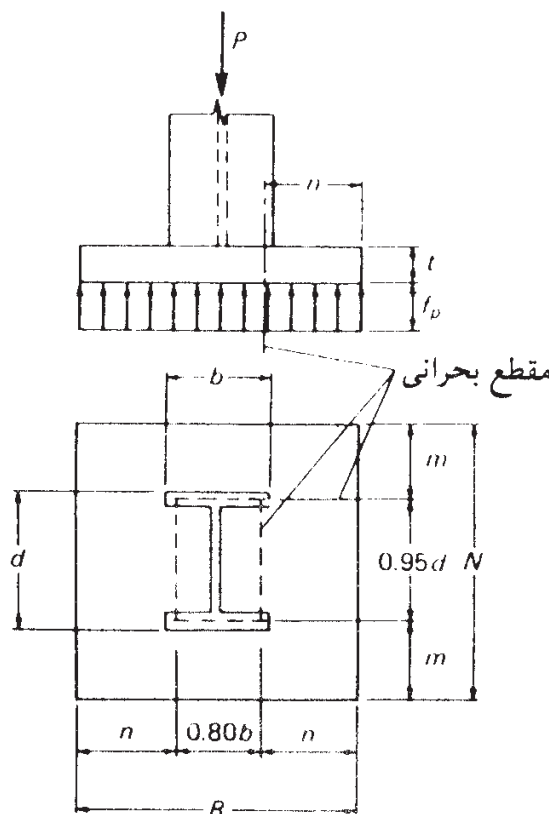
۱-۹-۱۱ مقدمه

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 به بتن شالوده مهار گردند.

۲-۹-۱۱ صفحات پای ستون که تحت تأثیر بار محوری تنها قرار دارند

روشی که در اینجا برای محاسبه صفحات پای ستون تحت تأثیر نیروی محوری تنها ارائه می‌شود، روشی است که توسط کتاب دستی آیین‌نامه AISC توصیه شده است. در شکل ۱۱-۴۴ ابعاد و پارامترهای مورد استفاده در این روش نشان داده شده است.



- $f_p =$ تنش فشاری تماسی
 $n, m =$ مقاطع بحرانی برای خمش
 $t =$ ضخامت ورق کف ستون

شکل ۱۱-۴۴ - ابعاد ورق پای ستون.

فرض می‌شود که توزیع تنش در زیر کف ستون یکنواخت باشد و قسمت‌های بیرون‌زده ورق از مقاطع بحرانی، همانند تیرهای طره‌ای عمل نمایند.

لنگر خمشی در دهانه‌های طره‌ای m و n به ترتیب برابر است با:

$$M = \frac{f_p N n^2}{2} \quad (۱۱ - ۴۱) \quad \text{برای دهانه طره‌ای به طول } n$$

$$M = \frac{f_p B m^2}{2} \quad (۱۱ - ۴۲) \quad \text{برای دهانه طره‌ای به طول } m$$

با داشتن لنگرهای فوق، تنش خمشی در ورق برابر است با:

$$f = \frac{M}{S} = \frac{(f_p N n^2)/2}{(N t^2)/6} = \frac{3 f_p n^2}{t^2} \quad (۱۱ - ۴۳)$$

و

$$f = \frac{3 f_p m^2}{t^2} \quad (۱۱ - ۴۴)$$

بزرگترین مقادیر به دست آمده از روابط ۱۱-۴۳ و ۱۱-۴۴ حاکم بر طرح است.

آیین‌نامه AISC تنش خمشی مجاز را برای ورق پای ستون مساوی $0.75 F_y$ توصیه می‌کند.

بنابراین ضخامت لازم را می‌توان به صورت زیر به دست آورد.

$$f = \frac{3 f_p m^2}{t^2} \leq 0.75 F_y \quad (۱۱ - ۴۵)$$

$$t = 2m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad \text{یا} \quad 2n \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad (۱۱ - ۴۶)$$

مثال ۱۱-۱۳

مطلوب است طراحی یک کف ستون برای ستونی از نیمرخ IPB 360 که باری معادل ۳۰۰ تن ناشی از بار مرده، زنده و باد را تحمل می‌نماید. فولاد ستون و ورق پای ستون از نوع نرمه با تنش جاری شدن 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 IPB 360 بر حسب سانتی‌متر:

$$d=36, \quad b=30, \quad t_w=1.25, \quad t_f=2.25$$

اغلب طراحان ترجیح می‌دهند که ورق پای ستون را به‌عوض بارهای وارد بر ستون، برای ظرفیت کامل ستون طراحی نمایند. در این صورت اتصال ضعیف‌ترین جزء عضو نخواهد بود. البته تعیین ظرفیت باربری مجاز ستون باید بر پایه ملاحظات کمانشی آن صورت پذیرد. در این مثال، ورق پای ستون برای بار موجود طراحی خواهد شد.

الف) تعیین ابعاد ورق

$$A = \frac{P}{1.33 F_p} = \frac{300(10)^3}{1.33(70)} = 3222 \text{ cm}^2$$

افزایش تنش فشاری تماسی به‌میزان ۳۳ درصد به‌خاطر وجود اثر باد در ترکیب بارگذاری می‌باشد. ابعاد باید نزدیک به مربع باشد. البته بعضی از طراحان عقیده دارند که برای مساوی شدن m و n بهتر است که ابعاد ورق (یعنی B و N) به‌مقدار کمی با یکدیگر اختلاف داشته باشند.

$$0.80b = 0.8(30) = 24 \text{ cm}$$

$$0.95d = 0.95(36) = 34.2 \text{ cm}$$

$$n = 0.5(B - 0.80b) = 0.5(B - 24)$$

$$m = 0.5(N - 0.95d) = 0.5(N - 34.2)$$

با فرض $m = n$ داریم:

$$0.5(B - 24) = 0.5(N - 34.2)$$

$$B = N - 10.2$$

$$B \times N = 3222$$

$$(N - 10.2)N = 3222$$

$$N^2 - 10.20N - 3222 = 0$$

$$N = 62.09 \text{ cm}$$

$$B = 62.09 - 10.2 = 51.89 \text{ cm}$$

انتخاب می‌کنیم:

$$N = 62 \quad \text{و} \quad B = 52 \text{ cm}$$

$$A = 62(52) = 3224 \text{ cm}^2 \quad \text{خوبست}$$

$$n = 0.5(52 - 24) = 14 \text{ cm}$$

$$m = 0.5(62 - 34.2) = 13.9 \text{ cm}$$

$$f_p = \frac{300(10)^3}{62(52)} = 93.05 \text{ kg/cm}^2$$

فرض می‌شود که توزیع تنش در زیر کف ستون یکنواخت باشد و قسمت‌های بیرون‌زده ورق از مقاطع بحرانی، همانند تیرهای طره‌ای عمل نمایند.

لنگر خمشی در دهانه‌های طره‌ای m و n به ترتیب برابر است با:

$$M = \frac{f_p N n^2}{2} \quad (۱۱-۴۱) \quad \text{برای دهانه طره‌ای به طول } n$$

$$M = \frac{f_p B m^2}{2} \quad (۱۱-۴۲) \quad \text{برای دهانه طره‌ای به طول } m$$

با داشتن لنگرهای فوق، تنش خمشی در ورق برابر است با:

$$f = \frac{M}{S} = \frac{(f_p N n^2)/2}{(N t^2)/6} = \frac{3 f_p n^2}{t^2} \quad (۱۱-۴۳)$$

و

$$f = \frac{3 f_p m^2}{t^2} \quad (۱۱-۴۴)$$

بزرگترین مقادیر به دست آمده از روابط ۱۱-۴۳ و ۱۱-۴۴ حاکم بر طرح است.

آیین‌نامه AISC تنش خمشی مجاز را برای ورق پای ستون مساوی $0.75 F_y$ توصیه می‌کند.

بنابراین ضخامت لازم را می‌توان به صورت زیر به دست آورد.

$$f = \frac{3 f_p m^2}{t^2} \leq 0.75 F_y \quad (۱۱-۴۵)$$

$$t = 2m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad \text{یا} \quad 2n \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad (۱۱-۴۶)$$

مثال ۱۱-۱۳

مطلوب است طراحی یک کف ستون برای ستونی از نیمرخ IPB 360 که باری معادل ۳۰۰ تن ناشی از بار مرده، زنده و باد را تحمل می‌نماید. فولاد ستون و ورق پای ستون از نوع نرمه با تنش جاری شدن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می‌باشد. تنش فشاری مجاز بین ورق پای ستون و شالوده را ۷۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در نظر بگیرید.

حل:

مشخصات IPB 360 بر حسب سانتی متر:

$$d=36, \quad b=30, \quad t_w=1.25, \quad t_f=2.25$$

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 عضو نخواهد بود. البته تعیین ظرفیت باربری مجاز ستون باید بر پایه ملاحظات کمانشی آن صورت پذیرد. در این مثال، ورق پای ستون برای بار موجود طراحی خواهد شد.

الف) تعیین ابعاد ورق

$$A = \frac{P}{1.33 F_p} = \frac{300(10)^3}{1.33(70)} = 3222 \text{ cm}^2$$

افزایش تنش فشاری تماسی به میزان ۳۳ درصد به خاطر وجود اثر باد در ترکیب بارگذاری می‌باشد. ابعاد باید نزدیک به مربع باشد. البته بعضی از طراحان عقیده دارند که برای مساوی شدن m و n بهتر است که ابعاد ورق (یعنی B و N) به مقدار کمی با یکدیگر اختلاف داشته باشند.

$$0.80b = 0.8(30) = 24 \text{ cm}$$

$$0.95d = 0.95(36) = 34.2 \text{ cm}$$

$$n = 0.5(B - 0.80b) = 0.5(B - 24)$$

$$m = 0.5(N - 0.95d) = 0.5(N - 34.2)$$

با فرض $m = n$ داریم:

$$0.5(B - 24) = 0.5(N - 34.2)$$

$$B = N - 10.2$$

$$B \times N = 3222$$

$$(N - 10.2)N = 3222$$

$$N^2 - 10.20N - 3222 = 0$$

$$N = 62.09 \text{ cm}$$

$$B = 62.09 - 10.2 = 51.89 \text{ cm}$$

انتخاب می‌کنیم:

$$N = 62 \quad \text{و} \quad B = 52 \text{ cm}$$

$$A = 62(52) = 3224 \text{ cm}^2 \quad \text{خوبست}$$

$$n = 0.5(52 - 24) = 14 \text{ cm}$$

$$m = 0.5(62 - 34.2) = 13.9 \text{ cm}$$

$$f_p = \frac{300(10)^3}{62(52)} = 93.05 \text{ kg/cm}^2$$

$$t = 2n \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} = 2(14) \sqrt{\frac{93.05}{1.33(2400)}} = 4.78 \text{ cm}$$

بنابراین از ورق $۶۲۰ \times ۵۲۰ \times ۵۰$ میلی متر استفاده می نماییم.

۱۱-۹-۳ تنش مجاز فشار تماسی بین ورق پای ستون و شالوده بتنی

طبق مفاد مبحث دهم تنش مجاز تماسی بین ورق پای ستون و شالوده بتنی، وقتی که مساحت ورق و شالوده مساوی است، برابر است با:

$$F_p = 0.7f_c$$

f_c مقاومت ۲۸ روزه نمونه استوانه ای بتن شالوده برحسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد. وقتی که سطح شالوده بزرگتر از سطح تماس باشد، تنش فشاری تماسی مجاز از رابطه زیر به دست می آید.

$$F_p = 0.3f_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 0.7f_c \quad (۱۱-۴۷)$$

که در آن:

$$A_2 = \text{سطح شالوده}$$

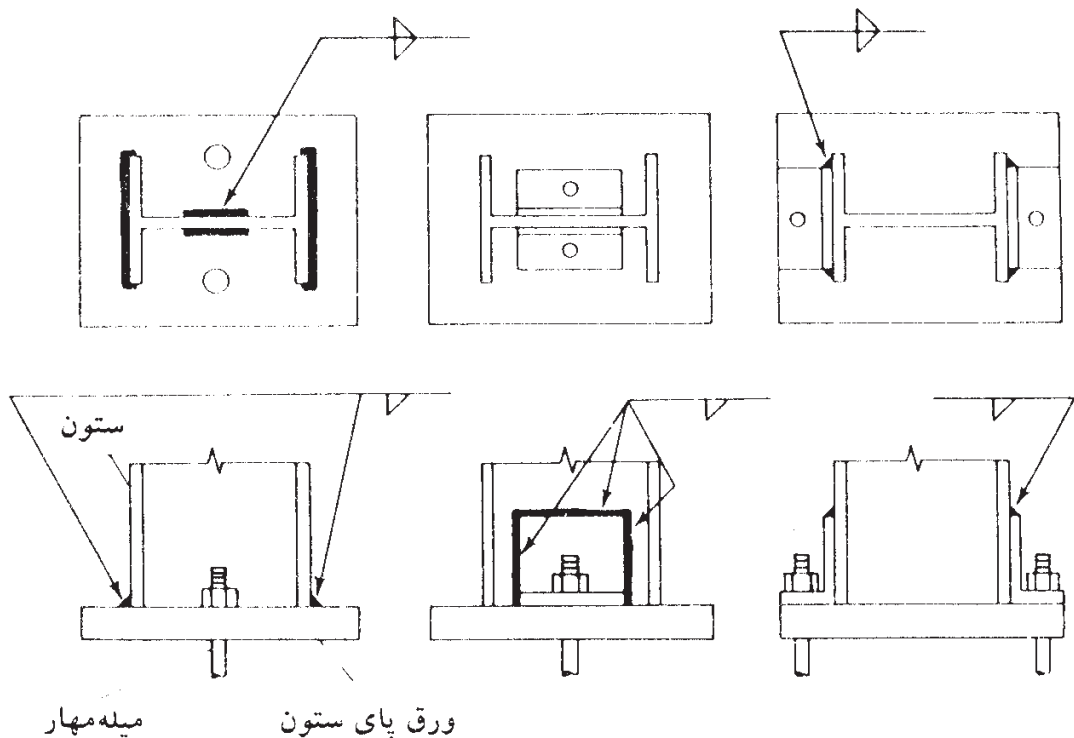
$$A_1 = \text{سطح تماس (یا سطح ورق پای ستون)}$$

۱۱-۹-۴ اتصال ورق پای ستون به شالوده

ورق پای ستون توسط ۲ تا ۶ پیچ مهاری (معمولاً چهار پیچ در چهار گوشه آن) به شالوده بتنی مهار می شود. (شکل ۱۱-۴۵). در صورت مفصلی بودن پای ستون، هیچگاه نیرویی به این مهاری وارد نمی شود. فقط در هنگام نصب ستون ممکن است بر این پیچ ها نیرو وارد گردد که این مسئله نباید از طرف مهندس محاسب نادیده گرفته شود. در ساختمان های معمولی قطر این پیچ ها حدود ۱۸ تا ۲۴ میلی متر در نظر گرفته می شود و با افزایش اهمیت ساختمان، قطرهای بزرگتری به کار می رود. سرپیچ های مهاری حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر دنده می شود.

۱۱-۹-۵ اتصال ستون به ورق پای ستون

در اتصال مفصلی پای ستون، فقط نیروی محوری از ستون به ورق پای ستون منتقل می شود. در شکل ۱۱-۴۵ چند نمونه از جزییات اتصال ساده ستون به ورق پای ستون نشان داده شده است.



شکل ۱۱ - ۴۵

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 می شود و نبشی ها و یا جوش فقط عمل نگهداری و انتقال نیروی برشی را بر عهده می گیرند. در صورتی که انتهای ستون سنگ زده نشود، جوش و نبشی های اتصال باید بتوانند صد درصد نیروی محوری را انتقال دهند.

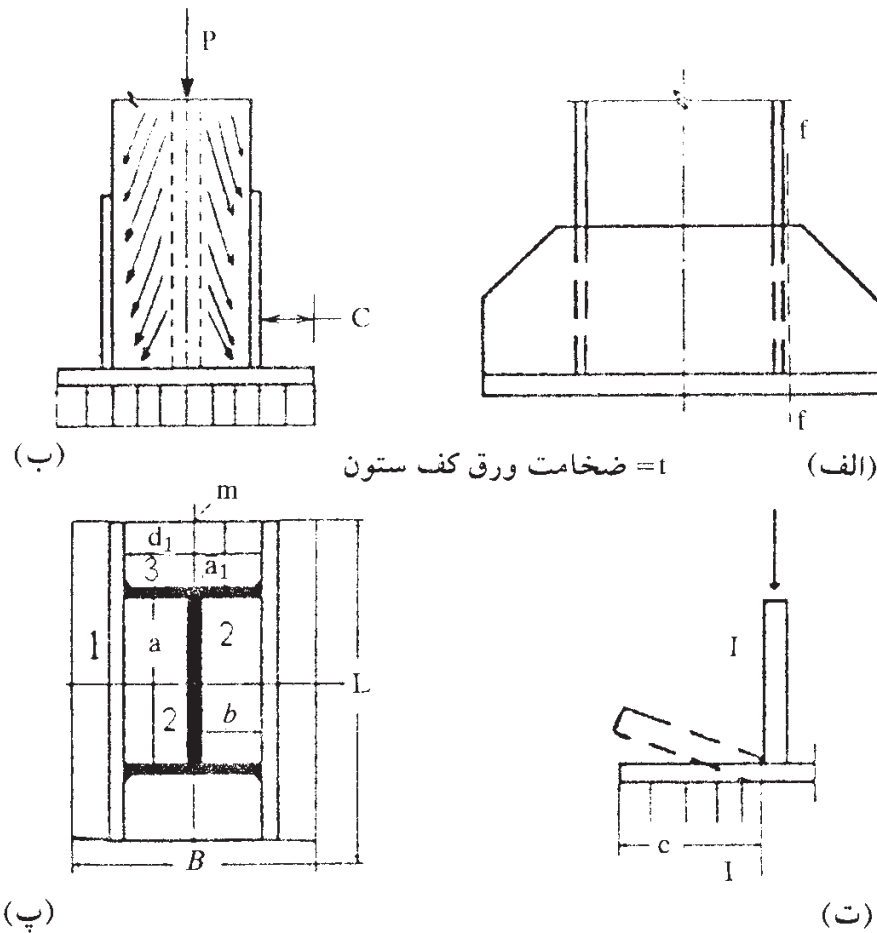
۱۱-۹-۶ استفاده از ورق های سخت کننده در اتصال پای ستون

گاهی مواقع به منظور کم کردن ضخامت ورق پای ستون، از ورق های سخت کننده مثلی یا دوزنقه ای در اتصال پای ستون استفاده می شود. در شکل ۱۱-۴۶ یک نمونه از این نوع اتصال پای ستون نشان داده شده است. در طراحی، سه ناحیه متمایز در ورق پای ستون دیده می شود که نحوه محاسبه هر ناحیه را در زیر شرح می دهیم:

در ناحیه ۱ ورق پای ستون همانند یک تیر طره ای عمل می نماید.

لنگر حداکثر بر واحد طول صفحه در این ناحیه برابر است با:

$$M = \frac{f_p c^2}{2} \quad (11-48)$$



شکل ۱۱ - ۴۶

ناحیه همانند ورق می ماند که در چهار طرف تکیه دارد و تحت فشار یکنواخت f_p می باشد. لنگر حداکثر چنین ورقی که در وسط دهانه قرار دارد، از روابط زیر به دست می آید:

$$M_a = \alpha_1 f_p b^2 \quad (۱۱ - ۴۹)$$

$$M_b = \alpha_2 f_p b^2$$

که در روابط فوق:

M_a = لنگر برای نواری به عرض ۱ سانتی متر به موازات ضلع a

M_b = لنگر برای نواری به عرض ۱ سانتی متر به موازات ضلع b

b = طول ضلع کوچکتر ناحیه ۲ به سانتی متر

f_p = فشار یکنواخت وارد بر ورق پای ستون بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع

α_1 و α_2 = ضرایبی که بر حسب نسبت ضلع بزرگتر به ضلع کوچکتر (a/b) از جدول ۱-۱۱

به دست می آیند.

بزرگترین مقادیر M_a و M_b حاکم بر طرح می باشد. در صورتی که چهار طرف ورق گیردار

فرض گردد، می توان لنگرهای به دست آمده از رابطه ۱۱ - ۴۹ را ۲۰ درصد کاهش داد.

ناحیه ۳ همانند ورق می باشد که در سه طرف تکیه دارد و در یک طرف آزاد است. نقطه بحرانی در چنین ورقی، وسط لبه آزاد می باشد (نقطه m در شکل ۱۱ - ۴۶). لنگر مربوط به نقطه m از رابطه زیر به دست می آید:

$$M_3 = \alpha_3 f_p d_1^2 \quad (۱۱ - ۵۰)$$

که در آن:

α_3 = ضریبی که بر حسب نسبت a_1/d_1 از جدول ۱۱ - ۱ به دست می آید.

d_1 = طول لبه آزاد ورق

اگر نسبت a_1/d_1 کوچکتر از ۰/۵ باشد، ورق همانند تیر طره ای تحلیل می گردد. ضخامت ورق پای ستون که برای تمام مناطق ثابت اختیار می گردد، بر اساس بزرگترین لنگر به دست آمده از روابط ۱۱ - ۴۸، ۱۱ - ۴۹ و ۱۱ - ۵۰ طراحی می شود.

جدول ۱۱ - ۱

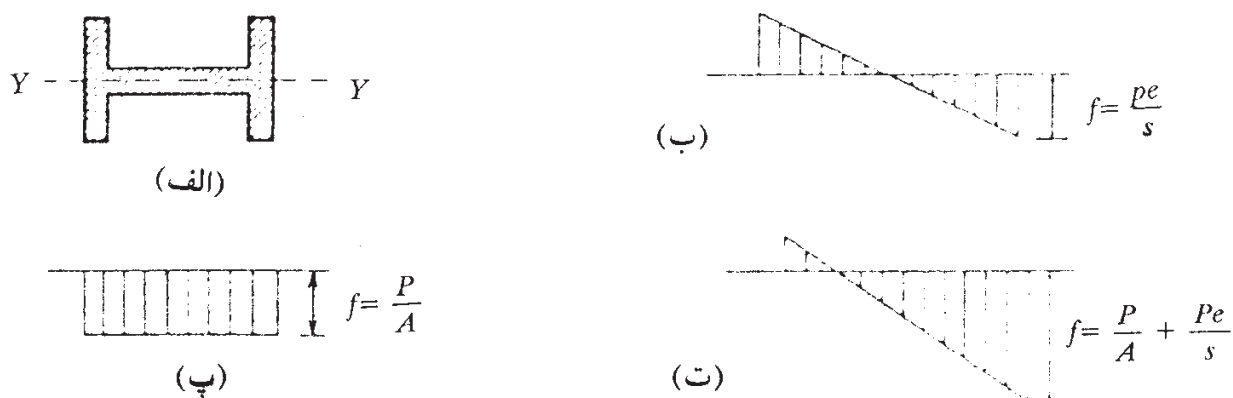
ورق در هر چهار طرف تکیه دارد	ضرایب	نسبت a/b											
		1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	بالای 2
تکیه دارد	α_1	0.048	0.055	0.063	0.069	0.075	0.081	0.086	0.091	0.094	0.098	0.100	0.125
	α_2	0.048	0.049	0.050	0.050	0.050	0.050	0.049	0.048	0.048	0.047	0.046	0.037
ورق در سه طرف تکیه دارد	ضرایب	نسبت a_1/d_1											
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.4	2	بالای 2		
تکیه دارد	α_3	0.06	0.074	0.088	0.097	0.107	0.112	0.120	0.126	0.132	0.133		

پس از تعیین ضخامت ورق، باید کل مقطع ورق به علاوه سخت کننده ها در مقطعی نظیر $f-f$ (شکل ۱۱ - ۴۶ - الف) در مقابل لنگر خمشی ناحیه طره ای کنترل گردد. مقطع $f-f$ همانند شکل ۱۱ - ۴۷ می باشد.

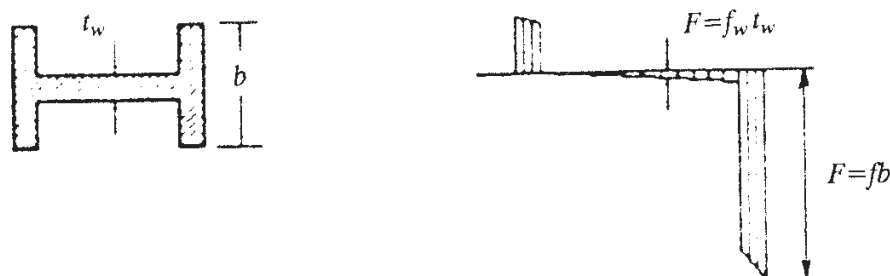
در هنگام استفاده از سخت کننده های پای ستون باید دقت شود که کاهش ضخامت ورق پای ستون، جبران اضافه وزن ناشی از وجود سخت کننده ها را بنماید.

۱۱ - ۹ - ۷ اتصالات پای ستون که تحمل لنگر خمشی می نمایند

اغلب پیش می آید که اتصالات پای ستون، علاوه بر نیروی محوری، لنگر خمشی هم تحمل می کنند. برای فهم دقیق تر موضوع، این مسئله را در دو قسمت تحت مطالعه و بررسی قرار می دهیم؛

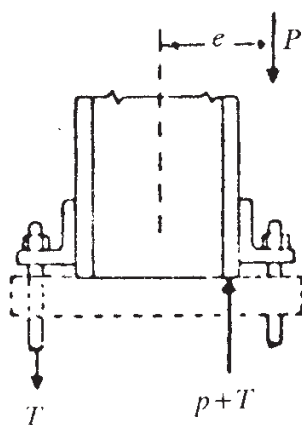


شکل ۱۱ - ۴۹



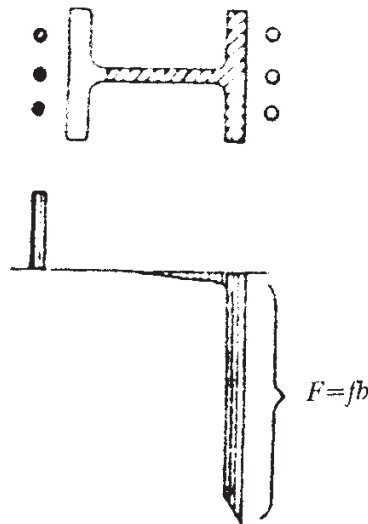
شکل ۱۱ - ۵۰ - نمایش نیروها

حال اگر همانند شکل ۱۱ - ۵۱ ستون به ورق پای ستون جوش نشود و به وسیله میله مهاریه نگه داشته شده باشد (همان طور که از شکل پیداست، در این حالت نیروی فشاری توسط تنش فشاری تماسی بین بال و ورق پای ستون حمل می شود و نیروی کششی حاصل از لنگر توسط میله مهاریه که از سوراخ ورق پای ستون عبور کرده و در شالوده مهار شده است، حمل می گردد)،



شکل ۱۱ - ۵۱

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 ۱۱-۵۲).



شکل ۱۱-۵۲

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.

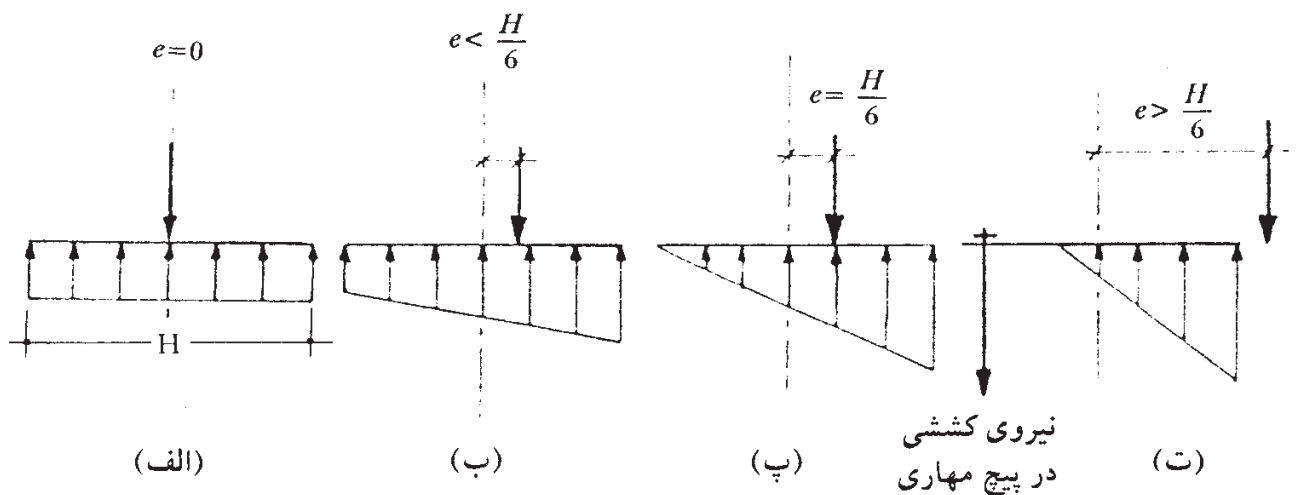
نیروی محوری فشاری تولید تنش فشاری تماسی بین ورق پای ستون و سطح تماس شالوده می‌نماید. با تأثیر لنگر خمشی، تنش فشاری در ناحیه کششی لنگر کاهش می‌یابد و با افزایش مقدار لنگر خمشی، این تنش به صفر می‌رسد و با افزایش بیشتر لنگر خمشی، بین ورق پای ستون و شالوده جدایی حاصل می‌شود و در این حالت است که پیچ‌های مهار 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:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{S}$$

که در آن:

P = نیروی فشاری وارد بر مقطع

A = مساحت سطح تماس



شکل ۱۱ - ۵۳

$M =$ لنگر خمشی

$S =$ اساس مقطع سطح تماس

در حالتی که سطح تماس به صورت مربع مستطیل با ارتفاع H در جهت لنگر خمشی باشد، داریم:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{6M}{HA}$$

با تعریف خروج از مرکزیت $e = \frac{M}{P}$ رابطه فوق به صورت زیر درمی آید:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{6Pe}{HA} = \frac{P}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{H} \right) \quad (11-51)$$

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 - ۵۳ - ب).

شرط فوق را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$1 - \frac{6e}{H} \geq 0 \rightarrow e \leq \frac{H}{6}$$

در این حالت محاسبات مربوط به تخمین ضخامت ورق پای ستون، مشابه حالت نیروی محوری تنهاست و در هنگام محاسبه به‌طور محافظه‌کارانه فرض می‌شود که تنش حداکثر به‌طور یکنواخت در کل سطح تماس توزیع شده است. در این صورت پیچ‌های مهاري تحت هیچ‌گونه

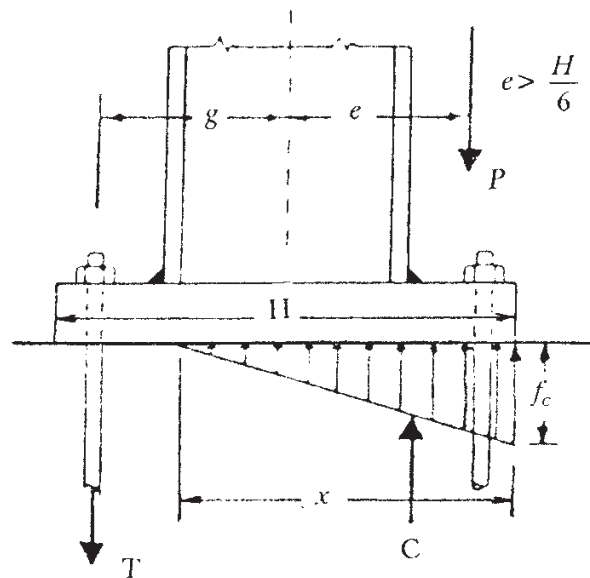
کششی قرار ندارند و همانند گذشته، قطر آنها به طور اسمی طراحی می شود.

$$e > \frac{H}{6} \quad \text{محاسبه اتصال پای ستون در حالت ۱۱-۹-۷-۳}$$

وقتی که مقدار e از $\frac{H}{6}$ تجاوز بکند، عبارت داخل پرانتز در رابطه ۱۱-۵۱ منفی می شود و بین سطح تماس ورق و شالوده جدایی رخ می دهد. در صورتی که e بزرگتر از $\frac{H}{6}$ ولی کوچکتر از $\frac{H}{2}$ باشد، با وجود جدایی، پیچ ها به کشش نمی افتند و ارتفاع تار خنثی و تنش فشاری حداکثر در بتن از روابط زیر به دست می آید:

$$x = 3 \left(\frac{H}{2} - e \right) \rightarrow f_c = 2P / (xB)$$

در صورتی که $e > \frac{H}{2}$ باشد، در پیچ های مهار کششی ایجاد می شود (شکل ۱۱-۵۴). در این حالت چون سطح تماس دیگر یک محیط همگن نیست، رابطه ۹-۱۰ اعتبار خود را از دست می دهد و برای پیدا کردن نیروی کششی در پیچ های مهار و تنش فشاری حداکثر باید متوسل به شیوه هایی شد که در طراحی ستون های بتن مسلح تحت خروج از مرکزیت بزرگ از آنها استفاده می شود. در شکل ۱۱-۵۴ توزیع تنش ها در این حالت نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۵۴

با فرض رفتار الاستیک و اعمال معادلات تعادل ایستایی و شرایط سازگاری تغییر شکل ها، ارتفاع تار خنثی، یعنی X از رابطه زیر به دست می آید:

$$X^3 + K_1 X^2 + K_2 X + K_3 = 0 \quad (۱۱-۵۲)$$

که در آن:

$$K_1 = 3\left(e - \frac{H}{2}\right)$$

$$K_2 = \frac{6nA_s}{B} (g+e)$$

$$K_3 = -K_2 \left(\frac{H}{2} + g\right)$$

$$T = -P \left[\frac{\frac{H}{2} - \frac{X}{3} - e}{\frac{H}{2} - \frac{X}{3} + g} \right]$$

نیروی کششی

تمام پارامترها در شکل نشان داده شده‌اند، غیر از B که پهنای ورق پای ستون (در امتداد عمود بر H) و A_s که سطح پیچ‌های مهار کششی می‌باشد. n نیز نسبت ضرایب الاستیسیته فولاد به بتن است، که مساوی ۱۰ در نظر گرفته می‌شود. تذکر دو نکته در مورد رابطه ۱۱ - ۵۳ 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 کششی T در پیچ‌های مهار و f_c (تنش فشاری حداکثر در بتن) با استفاده از معادلات تعادل استاتیک به دست می‌آیند.

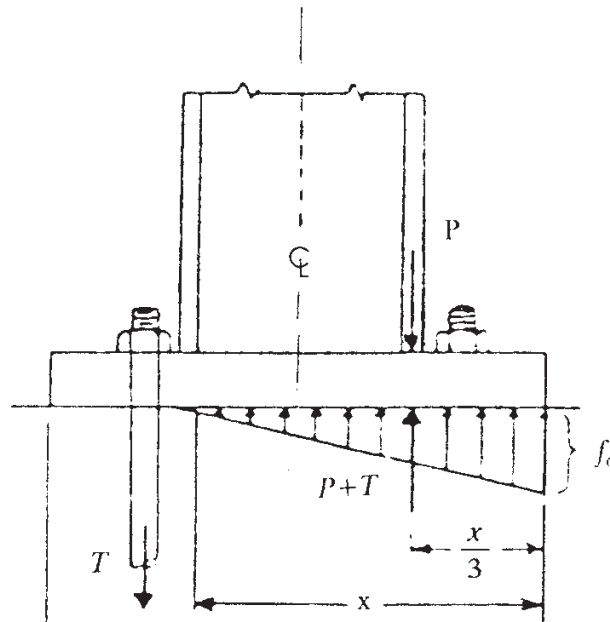
۱۱ - ۹ - ۷ - ۴ روش تقریبی

مطالعه اشکال ۱۱ - ۵۱ و ۱۱ - ۵۲ نشان می‌دهد که برآیند نیروی فشاری منتقله 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 - ۵۴). 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 کششی پیچ‌های مهار و تنش فشاری f_c ، از استاتیک به دست می‌آید. تذکر این نکته ضروری است که وقتی ستون همانند شکل ۱۱ - ۵۱ بدون استفاده از جوش، فقط توسط

* یک روش حل عددی معادله سه مجهولی. روش نیوتن با استفاده از رابطه زیر می‌باشد:

$$X_{r+1} = X_r - \frac{f(X_r)}{f'(X_r)}$$

که در آن f تابع نشان‌دهنده معادله درجه ۳ و f' مشتق آن است.



شکل ۱۱ - ۵۵

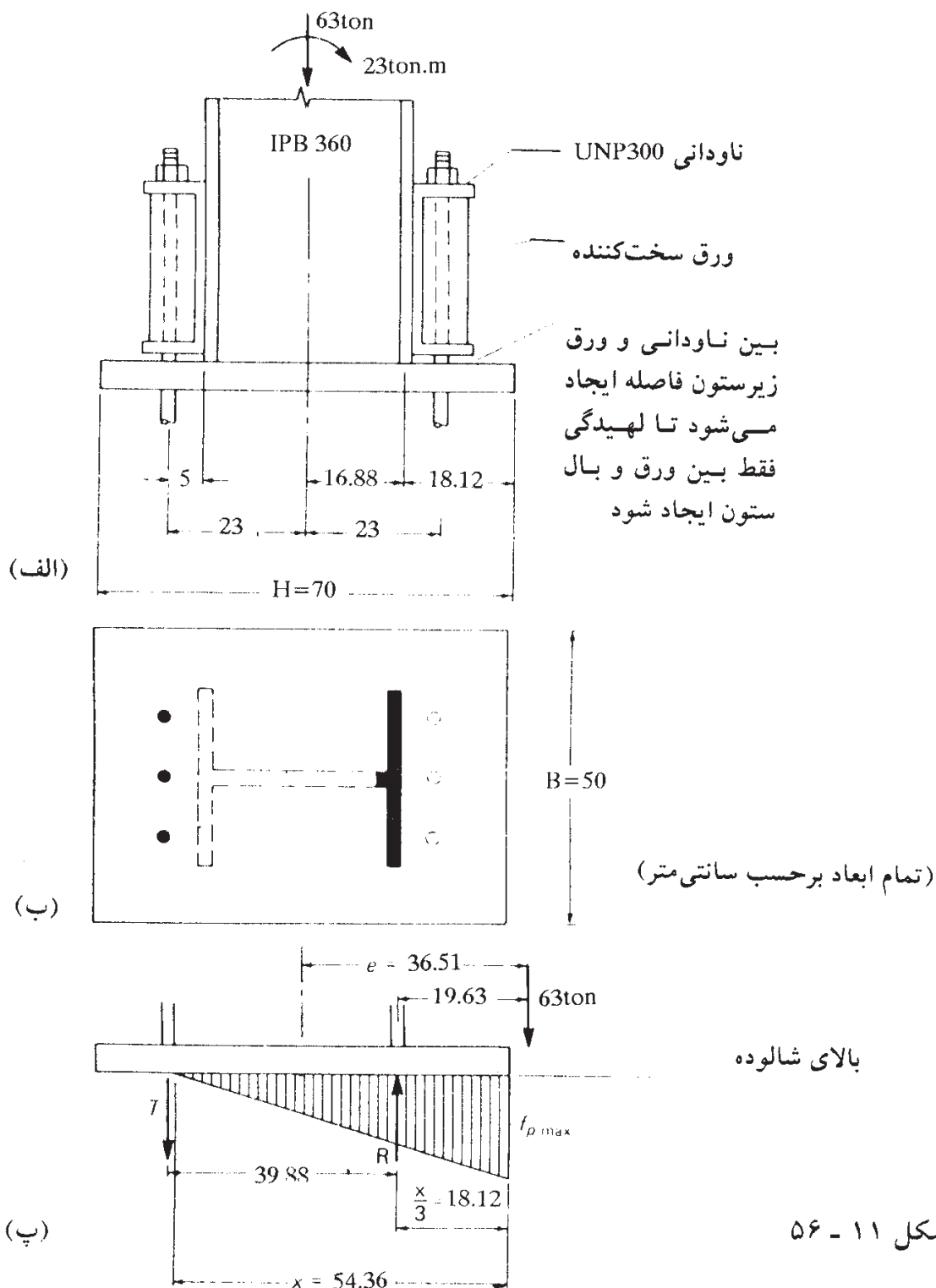
پیچ‌های مهاري نگه داشته شده باشد، استاتیک مسئله ایجاب می‌کند که برآیند نیروهای فشاری بین ورق پای ستون و شالوده، حتماً در زیر مرکز ثقل بال فشاری قرار داشته باشد و در این حالت تنها فرض تقریبی مسئله، توزیع مثلی تنش فشاری می‌باشد که ممکن است در واقعیت چنین نباشد.

مثال ۱۱ - ۱۴

جزئیات پای ستون نشان داده شده در شکل ۱۱ - ۵۶ - الف، از جزئیات بسیار مناسب و متداول برای اثر توام 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 یک ستون IPB360 بر آن وارد می‌شود. فولاد مصرفی از نوع نرمه با تنش جاری شدن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است و تنش‌های مجاز جوش از فصل اول به دست می‌آیند. ورق پای ستون در روی یک شالوده بتنی بزرگ با مقاومت نمونه استوانه‌ای $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ قرار دارد. بنابراین تنش تماسی فشاری مجاز مساوی $0.7f_c$ 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 به خاطر عملیات مونتاژ و یا انتقال برش وجود داشته باشد، در این محاسبات آن را نادیده می‌گیریم). نیروی کششی حاصل از لنگر خمشی توسط پیچ‌های مهاري و نیروی فشاری توسط فشار تماسی بین بال ستون و ورق پای ستون حمل می‌شود (شکل ۱۱ - ۵۶ - ب)، بنابراین



شکل ۱۱ - ۵۶

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 بال 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

خروج از مرکزیت 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 $6e$ یا 219.06 cm باشد که انتخاب چنین ورق پای ستونی غیر معقول است. بنابراین قطعاً بین ورق پای ستون و شالوده منطقه‌ای بدون فشار ایجاد می‌شود و پیچ‌های مهاری در کشش قرار می‌گیرند.

فاصله محور پیچ‌های مهاری تا بر ستون را مساوی 5 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):

$$= d_e - 0.5 t_f + 5 = 36 - 0.5(2.25) + 5 = 39.88 \text{ cm}$$

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:

$$19.94 - 0.5(2.25) - 5 = 13.82 \text{ cm}$$

$$H = X + 13.82 = 59.82 + 13.82 = 73.64 \text{ cm}$$

ارتفاع $H = 70 \text{ cm}$ انتخاب می‌شود. با انتخاب H سایر ابعاد مطابق شکل ۱۱ - ۵۶ - الف، تنظیم می‌گردد. پهنای B نیز بر اساس 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:

$$T = \frac{63(19.63)}{39.88} = 31.01 \text{ ton}$$

$$R = 63 + T = 63 + 31.01 = 94.01 \text{ ton}$$

با توجه به احتیاجات طراحی پهنای B را مساوی 50 سانتی‌متر انتخاب می‌نماییم.

$$f_{p \max} = \frac{2R}{XB} = \frac{2(94.01)(1000)}{54.36(50)} = 69.18 \text{ kg/cm}^2$$

با مراجعه به شکل ۱۱ - ۴۴، مقدار m برابر است با:

$$m = 0.5(H - 0.95d)$$

$$m = 0.5(70 - 0.95 \times 36) = 17.9 \text{ cm}$$

برای تعیین ضخامت ورق، فرض می‌نماییم که تنش حداکثر تا مقطع بحرانی به‌طور یکنواخت است. با توجه به ناشناخته بودن توزیع تنش، انتخاب این فرض چندان دور از منطق نیست. به‌ازای عرض واحد:

$$M = 69.18 \frac{17.9^2}{2} \times 10^{-5} = 0.11 \text{ ton.m}$$

$$t = \sqrt{\frac{6M}{0.75F_y}}$$

$$t = \sqrt{\frac{6(0.11)10^5}{0.75(2400)}} = 6.06 \text{ cm}$$

بنابراین برای کف ستون از ورق $700 \times 500 \times 60 \text{ mm}$ استفاده می‌نماییم.

(ب) انتخاب میله مهارها

$$F_t = 0.33 F_u = 0.33 \times 3700 = 1221$$

$$A_s = \frac{31.01(1000)}{1221} = 25.4$$

از سه میله مهار ۴۰ میلی‌متر استفاده می‌نماییم:

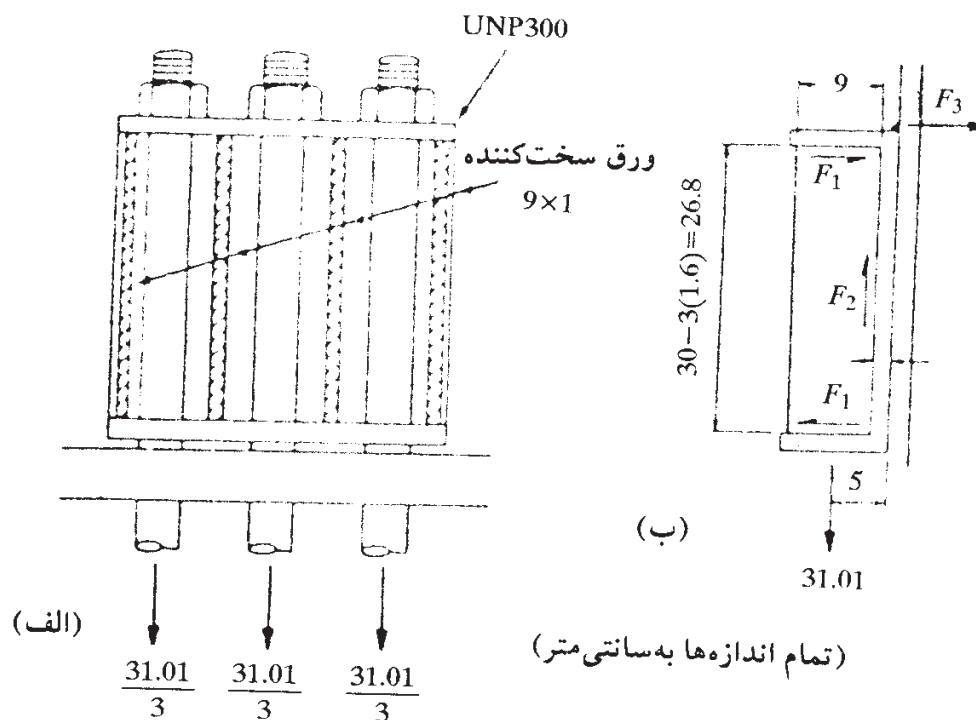
$$A_s = 3(12.57) = 37.71 \text{ cm}^2 > 31.64 \text{ cm}^2$$

(پ) سخت‌کننده‌های ناودانی و اتصالات مربوط به آنها

همان‌طور که در شکل ۱۱ - ۵۷ - الف، نشان داده شده است، نیروی پیچ‌های مهار، توسط یک ناودانی ۳۰۰ به‌ستون منتقل می‌شود که این ناودانی توسط چهار ورق سخت شده است. می‌توان فرض نمود که نیروی وارد بر هر یک از ورق‌های سخت‌کننده میانی مساوی نیروی یک پیچ می‌باشد.

$$\text{نیروی وارد بر هر ورق سخت‌کننده میانی} = \frac{31.01}{3} = 10.34 \text{ ton}$$

$$A_s \text{ لازم} = \frac{10.34}{0.60 F_y} = \frac{10.34(1000)}{0.6(2400)} = 7.18 \text{ cm}^2$$



شکل ۱۱-۵۷

بنابراین از ورق ۹۰×۱۰ میلی‌متر به‌عنوان سخت‌کننده استفاده می‌نماییم. همان‌طور که در شکل ۱۱-۵۷-ب، نشان داده شده است، نیروی ۱۰/۲۴ تنی که تحت برون‌محوری ۵ سانتی‌متر اثر می‌نماید، توسط عمل ترکیبی نیروی F_1 (که در جوش افقی به‌وجود می‌آید) و نیروی F_2 (که در جوش قائم به‌وجود 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 به‌شرح زیر می‌باشند:

$$F_2 = 10.34 \text{ ton} \quad \text{و} \quad F_1 = \frac{10.34}{26.8} \times 5 = 1.93 \text{ ton}$$

$$\text{نیروی وارد بر واحد طول جوش قائم} = \frac{10.34}{26.8} \times 1000 = 385.82 \text{ kg/cm}$$

$$\text{نیروی وارد بر واحد طول جوش افقی} = \frac{1.93(1000)}{9} = 214.44 \text{ kg/cm}$$

اگر بخواهیم از جوش ۵ میلی‌متر در دو طرف سخت‌کننده استفاده نماییم، داریم:

$$R_w = 2(650) \quad D = 2(650)0.5 = 650 \text{ kg/cm}$$

که خیلی بزرگتر از مقادیر مورد نیاز است. در جهت اطمینان همین جوش را به‌طور پیوسته

انتخاب می‌کنیم.

ت) اتصال ناودانی به بال ستون

مجموع نیروهای F_1 باید توسط جوشی که ناودانی را به بال ستون متصل می‌نماید، حمل گردد. در شکل ۱۱ - ۵۷ - ب، نیروی جوش توسط F_3 نشان داده شده است.

$$F_3 = \frac{\text{لنگر}}{\text{ارتفاع ناودانی}} = \frac{31.01(5)}{30} = 5.17 \text{ ton}$$

با توجه به اینکه طول ناودانی در هر طرف ۲ سانتی متر از پهنای بال کوچکتر می‌باشد، طول

جوش برای تحمل نیروی F_3 ، ۲۶ سانتی متر می‌باشد، اندازه ساق جوش برابر است با:

$$26(650) D = 5.17(1000)$$

$$D = 0.31 \text{ cm}$$

از جوش ۵ میلی متر استفاده می‌نماییم.

برای حمل نیروی برشی $3/03$ تنی، دو لبه جان ناودانی را به طور قائم جوش می‌دهیم:

$$2(30) = 60 \text{ cm}$$

$$60(650) D = 31.01(1000)$$

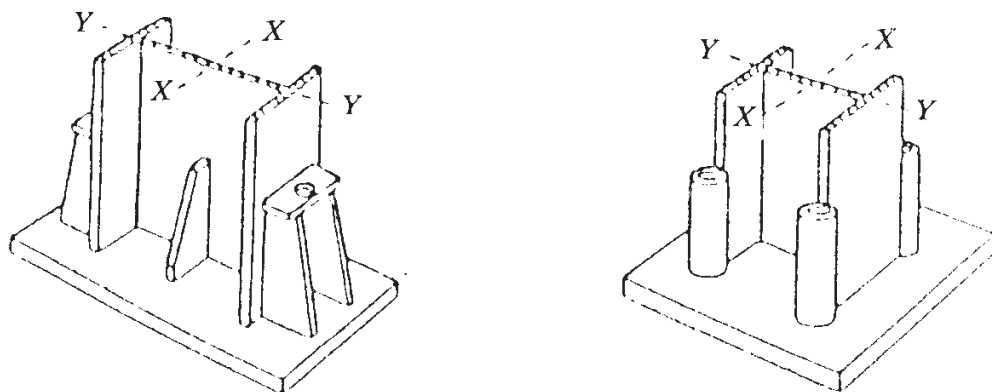
$$D = 0.80 \text{ cm}$$

اندازه ساق این جوش را مساوی ۸ میلی متر انتخاب می‌نماییم.

در صورتی که ستون و نیروهای وارد بر ستون کوچک باشد، تعداد پیچ‌های مهار کمتر

خواهد شد، در چنین مواردی برای انتقال نیروی پیچ‌های مهار به ستون، به جای ناودانی از جزییات

ساده‌تری همانند شکل ۱۱ - ۵۸ می‌توان استفاده نمود.

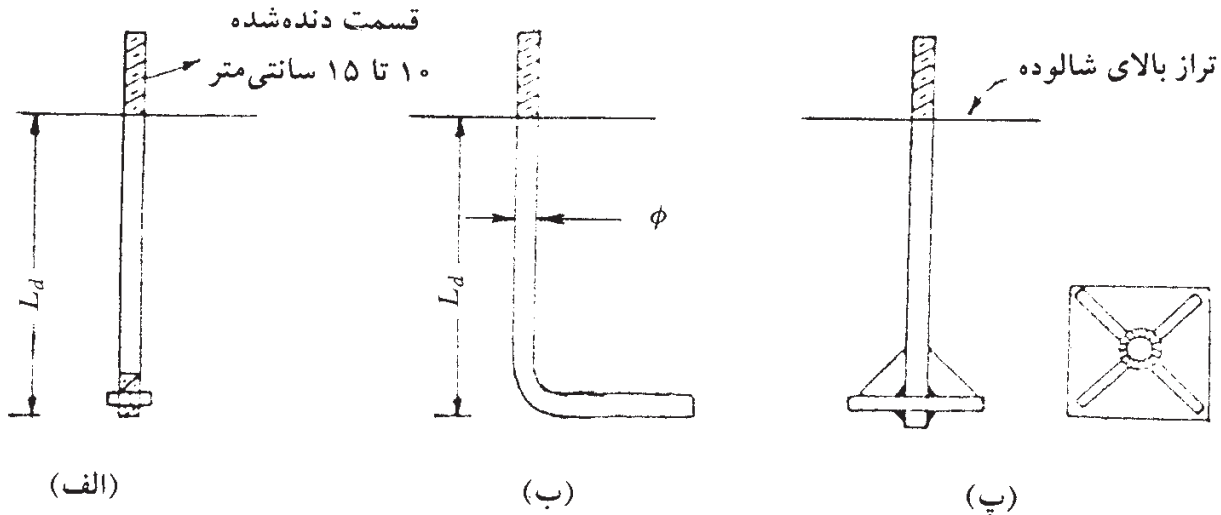


شکل ۱۱ - ۵۸

۱۱ - ۹ - ۸ مهار میله مهارها

میله مهارها تا حصول مقاومت کششی کل باید در بتن شالوده مهار شوند. در ایران میله مهارها از

دنده کردن میلگردهای صاف (بدون آج) ساخته می‌شوند*. لذا برای ایجاد مهار مکانیکی، انتهای میل مهار به یکی از صور نشان داده شده در شکل ۱۱ - ۵۹ درمی‌آید.



شکل ۱۱ - ۵۹

برای محاسبه طول مهاری می‌توان از روابط آیین‌نامه بتن برای میلگردهای قلاب‌دار در کشش استفاده نمود. به‌عنوان مثال روابط آیین‌نامه آبا به‌قرار زیر است:

$$L_d = \frac{f_y}{4F_b} \phi$$

$f_b = 1.5 f_{bm}$ میلگرد آجدار

$f_b = 0.75 f_{bm}$ میلگرد صاف

$$f_{bm} = 2.05 \sqrt{f_c}$$

$f_c =$ مقاومت مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن (kg/cm^2)

$f_y =$ تنش تسلیم فولاد (kg/cm^2)

* شواهد زیادی از وقوع شکنندگی در ناحیه دنده شده میلگردهای آجدار AII و AIII در کارگاه‌ها مشاهده شده است. لذا استفاده از این نوع میلگردها به‌عنوان میل مهار توصیه نمی‌شود، مگر اینکه عدم شکنندگی آنها به‌وسیله آزمایش تأیید گردد. در صورت نیاز به مقاومت زیاد، استفاده از میلگردهای CK45 برای میله مهارها قابل توصیه است.

جوش درزهای استاندارد

راهنمای استفاده از جداول درزهای استاندارد

شماره مشخص‌کننده انواع درز

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1 - شیار ساده | 6 - شیار لاله‌ای |
| 2 - شیار جناغی | 7 - شیار لاله‌ای دوطرفه |
| 3 - شیار جناغی دوطرفه | 8 - شیار نیم‌لاله‌ای |
| 4 - شیار نیم‌جناغی | 9 - شیار نیم‌لاله‌ای دوطرفه |
| 5 - شیار نیم‌جناغی دوطرفه | 10 - شیار پیشانی |

علائم اختصاری فرآیندهای جوشکاری

SM - جوش قوس‌الکتریکی دستی با الکتروود (SMAW)

S - جوش زیرپودری (SAW)

G - جوش گازی فلزی (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 لب‌به‌لب و گونیا در پلسازی پیش‌آموده نیستند.
- M: جوش‌های شیاری دوطرفه می‌توانند عمق‌های نامساوی داشته باشند ولی در هیچ حالت نباید عمق شکاف 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 هندسه اصلی درز 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

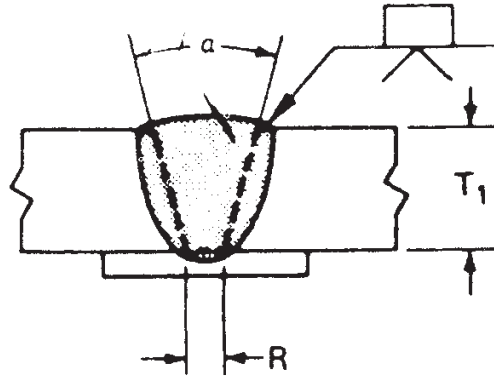
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U=)		آماده سازی درز			وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	رواداری ها			
					در طراحی	در مونتاژ		
(I) جوش شیاری ساده (B) اتصال لب به لب (C) اتصال کنج (گونیا)								
SMAW	B-L1a	6 max	-	R=T ₁	+1.5, -0	+6, -1.5	All	N
	C-L1a	6 max	U	R=T ₁	+1.5, -0	+6, -1.5	All	-
GMAW	B-L 1a-GF	10 max	-	R=T ₁	+1.5, -0	+6, -1.5	All	A,N
(I) جوش شیاری ساده (B) اتصال لب به لب								
ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود (به جز B-L1-S)								
(I) جوش شیاری ساده (T) اتصال سپری (C) اتصال کنج								
ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود								
SMAW	B-L1b	6 max	-	R=T ₁ /2	+1.5, -0	+1.5, -3	All	C,N
GMAW	B-L1b-GF	10 max	-	R=0 تا 3	+1.5, -0	+1.5, -3	All	A,C,N
SAW	B-L 1-S	10 max	-	R=0	±0	+1.5, -0	F	N
SAW	B-L 1a-S	16 max	-	R=0	±0	+1.5, -0	F	C,N
SMAW	TC-L1b	6 max	U	R=T ₁ /2	+1.5, -0	+1.5, -3	All	C,J
GMAW	TC-L1-GF	10 max	U	R=0 تا 3	+1.5, -0	+1.5, -3	All	A,C,J
SAW	TC-L1-S	10 max	U	R=0	±0	+1.5, -0	F	J,C

(تمام اندازه ها به میلی متر است)

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

جوش‌های شیاری با نفوذ کامل

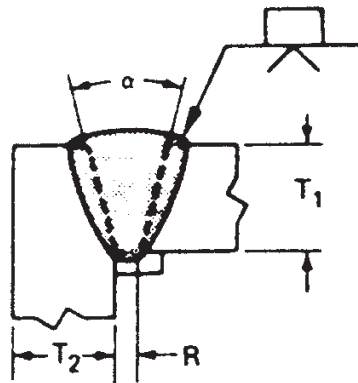
(2) جوش شیاری جناغی
(B) اتصال لب پهل



روداری‌ها	
در طراحی	در مونتاژ
$R=+1.5, -0$	$+6, -1.5$
$\alpha=+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (U=نامحدود)		آماده‌سازی درز		وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شکاف		
		SMAW	B-U2a	U	-		
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



روداری‌ها	
در طراحی	در مونتاژ
$R=+1.5, -0$	$+6, -1.5$
$\alpha=+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (U=نامحدود)		آماده‌سازی درز		وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شکاف		
		SMAW	C-U2a	U	U		
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

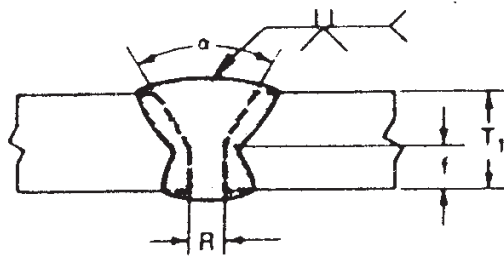
(تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است)

برای تذاکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

جوش های شیاری با نفوذ کامل

(2) جوش شیاری جناغی
(B) اتصال لب به لب

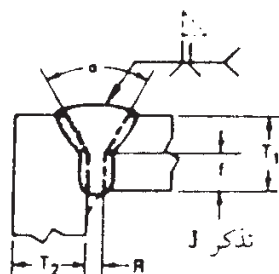
ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود.



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	روداری ها			
					در طراحی	در مونتاژ		
SMAW	B-U2	U	-	R=0 تا 3 f=0 تا 3 $\alpha=60^\circ$	+1.5, -0 +1.5, -0 +10°, -0°	+1.5, -3 Not limited +10°, -5°	All	C,N
GMAW	B-U2-GF	U	-	R=0 تا 3 f=0 تا 3 $\alpha=60^\circ$	+1.5, -0 +1.5, -0 +10°, -0°	+1.5, -3 Not limited +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 $\alpha=+10^\circ, -0^\circ$	+1.5-0 ±1.5 +10°, -5°	F	C,N
		بین 25 تا 38	-	R=0, $\alpha=60^\circ$ f=12max				
		بین 38 تا 50	-	R=0, $\alpha=60^\circ$ f=16max				

(2) جوش شیاری جناغی
(B) اتصال کنج

ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر 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	روداری ها			
					در طراحی	در مونتاژ		
SMAW	C-U2	U	U	R=0 تا 3 f=0 تا 3 $\alpha=60^\circ$	+1.5, -0 +1.5, -0 +10°, -0°	+1.5, -3 Not limited +10°, -5°	All	C,J,R
GMAW	C-U2-GF	U	U	R=0 تا 3 f=0 تا 3 $\alpha=60^\circ$	+1.5, -0 +1.5, -0 +10°, -0°	+1.5, -3 Not limited +10°, -5°	All	A,C,J,R
SAW	C-U2b-S	U	U	R=0 f=6max $\alpha=60^\circ$	±0 +0, -6 +10°, -0°	+1.5, -0 ±1.5 +10°, -5°	F	C,J,R

(تمام اندازه ها به میلی متر است)

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

جوش های شیاری با نفوذ کامل

جوش جناغی دوطرفه (3) اتصال لب به لب (B)		روداری ها	
		در طراحی	در مونتاژ
		$R = \pm 0$	+6, -0
		$f = \pm 0$	+1.5, -0
		$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°
فاصله	SAW	± 0	+1.5, -0
دهنده	SMAW	± 0	+3, -0

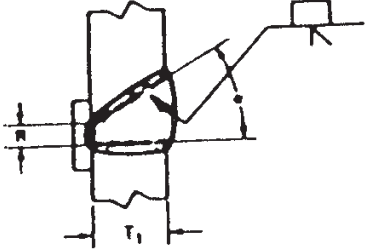
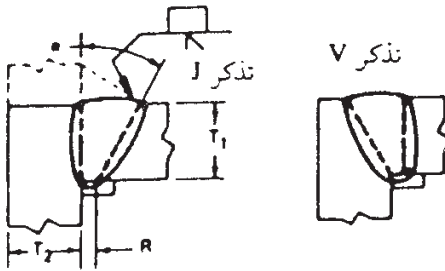
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده سازی درز			وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T1	T2	شکاف ریشه	ضخامت ریشه	زاویه شیاری		
SMAW	B-U3a	U فاصله دهنده $U = 1/8 \times R$	-	R=6	f=0 تا 3	$\alpha = 45^\circ$	All	C.M.N
				R=10	f=0 تا 3	$\alpha = 30^\circ$	F,OH,V	
				R=12	f=0 تا 3	$\alpha = 20^\circ$	F,OH,V	
SAW	B-U3a-S	فاصله دهنده $U = 1/4 \times R$	-	R=16	f=0 تا 6	$\alpha = 20^\circ$	F	C.M.N

جوش جناغی دوطرفه (3) اتصال لب به لب (B)		فقط برای B-U3c-S		
		T1	S1	
		تا	از	
		60	50	35
		70	60	45
		90	75	55
		100	90	60
		120	100	70
		140	120	80
		160	140	95
		برای $T_1 > 160$ یا $T_1 \leq 50$ $S_1 = 2/3(T_1 - 6)$		

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده سازی درز			وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T1	T2	شکاف ریشه	روداری ها			
				ضخامت ریشه	در طراحی	در مونتاژ		
				زاویه شیاری				
SMAW	B-U3b			R=0 تا 3	+1.5, -0	+1.5, -3	All	C.M.N
GMAW	B-U3-GF	U	-	f=0 تا 3	+1.5, -0	Not limited	All	A,C.M.N
				$\alpha = \beta = 60^\circ$	+10°, -0	+10°, -5°		
SAW	B-U3c-S	U	-	R=0	+1.5, -0	+1.5, -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 $S_2 = T_1 (S_1 + f)$				

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		
				$R = +1.5, -0$	$+6, -1.5$		
				$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$		
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده سازی درز		وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شیاری		
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		
				$R = +1.5, -0$	$+6, -1.5$		
				$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$		
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده سازی درز		وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شیاری		
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	$\alpha = 45^\circ$		
برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه ها به میلی متر است)							

جوش‌های شیاری با نفوذ کامل

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (U= نامحدود)		آماده‌سازی درز			وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه ضخامت ریشه زاویه شیاری	رواداری‌ها در طراحی	در مونتاژ		
جوش نیم‌جناغی یکطرفه (4) اتصال لب به لب (B)		<p>ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود</p>						
SMAW	B-U4b	U	-	R=0 تا 3	+1.5 , -0	+1.5 , -3	All	Br,C,N
GMAW	B-U4b-GF	U	-	f=0 تا 3 $\alpha=45^\circ$	+1.5 , -0 +10° , -0°	Not limited +10° , -5°	All	A,Br,C,N
جوش نیم‌جناغی یکطرفه (4) اتصال گونیا (T) اتصال کنج (C)		<p>ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود</p>						
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (U= نامحدود)		آماده‌سازی درز			وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
T ₁	T ₂	شکاف ریشه ضخامت ریشه زاویه شیاری	رواداری‌ها در طراحی	در مونتاژ				
SMAW	TC-U4b	U	U	R=0 تا 3	+1.5 , -0	+1.5 , -3	All	C,J,R,V
GMAW	TC-U4b-GF	U	U	f=0 تا 3 $\alpha=45^\circ$	+1.5 , -0 +10° , -0°	Not limited +10° , -5°	All	A,C,J,R,V
SAW	TC-U4b-S	U	U	R=0 f=3 max $\alpha=60^\circ$	± 0 +0 , -3 +10° , -0°	+6 , -0 ± 1.5 +10° , -5°	F	C,J,R,V
برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است)								

جوش‌های شیاری با نفوذ کامل

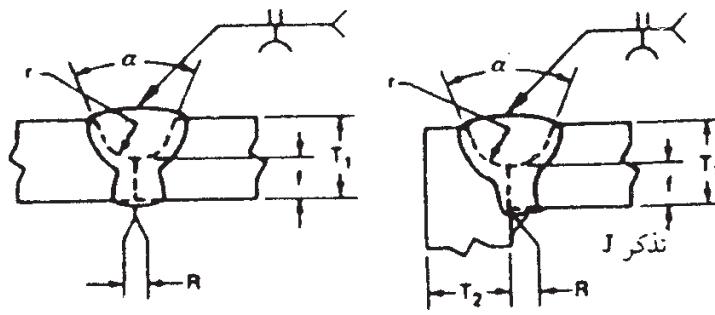
جوش نیم‌جناغی دوطرفه (S) اتصال لب به لب (B) اتصال گونیا (T) اتصال کنج (C)		ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود تذکر V تذکر J		رواداری‌ها	
				در طراحی	در مونتاژ
		$R = \pm 0$	+1.5 , -0		
		$f = +1.5, -0$	± 1.5		
		$\alpha = +10^\circ , -0^\circ$	+10° , -5°		
		فاصله = +0	+1.5 , -0		

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده‌سازی درز			وضعیت‌های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	ضخامت ریشه کنار ریشه	زاویه شیاری		
SMAW	B-U5b	U	U	R=6	f=0 تا 3	$\alpha=45^\circ$	All	Br,C, M,N
		فاصله = R/8	U	R=6	f=0 تا 3	$\alpha=45^\circ$	All	C,J,M, R,V
	TC-U5a	U	U	R=10	f=0 تا 3	$\alpha=30^\circ$	F,OH	C,J,M, R,V
		فاصله = R/8	U					

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است)

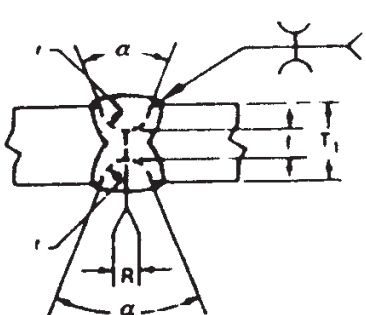
جوش های شیاری با نفوذ کامل

(6) جوش لاله ای یکطرفه (B) اتصال لب به لب (C) اتصال کنج	ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود	رواداری ها	
		در طراحی	در مونتاژ
		$R = \pm 1.5, -0$	$+1.5, -3$
		$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
		$f = \pm 1.5$	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	$R=0 \text{ تا } 3$	$\alpha=20^\circ$	$r=3$		All	A,C,J,R

(7) جوش لاله ای دوطرفه (B) اتصال لب به لب	رواداری ها		رواداری ها			
	برای B-U7 و B-U7-GF				برای B-U7-S	
	در طراحی	در مونتاژ	در طراحی	در مونتاژ		
	$R = +1.5, -0$	$+1.5, -3$	$R = \pm 0$	$+1.5, -0$		
	$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$	$f = +0, -6$	± 1.5		
	$f = +1.5, -0$	Not limited				
	$f = +6, -0$	± 1.5				



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)

جوش های شیاری با نفوذ کامل

جوش نیم لاله ای یک طرفه (8) اتصال لب به لب (B)		ریشه جوش از پشت برداشته شده مجدداً با جوش پر شود		روداری ها					
				در طراحی	در مونتاژ				
				$R=+1.5, -0$	$+1.5, -3$				
				$\alpha=+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$				
				$f=+1.5, -0$	نامحدود				
				$r=+6, -0$	± 1.5				
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده سازی درز				وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شیاری	ضخامت ریشه	شعاع شیاری		
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 نیم لاله ای یک طرفه (8) اتصال گونیا (T) اتصال کنج (C)		ریشه جوش از پشت برداشته و مجدداً با جوش پر شود		روداری ها					
				در طراحی	در مونتاژ				
				$R=+1.5, -0$	$+1.5, -3$				
				$\alpha=+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$				
				$f=+1.5, -0$	Not limited				
				$r=+6, -0$	± 1.5				
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده سازی درز				وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه	زاویه شیاری	ضخامت ریشه	شعاع شیاری		
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	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	F,OH	C,J,R,V
GMAW	B-U8a-GF	U	U	R=0 تا 3	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	All	A,C,J,R,V
برای تذاکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه ها به میلی متر است)									

جوش های شیاری با نفوذ کامل

جوش نیم لاله ای دو طرفه (9) اتصال لب به لب (B)	ریشة جوش از پشت برداشته شده و مجدداً با جوش پر شود		رواداری ها	
			در طراحی $R=+1.5, -0$	در مونتاژ $+1.5, -3$
		$\alpha=+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$	
		$f=+1.5, -0$	نامحدود	
		$r=+3, -0$	± 1.5	

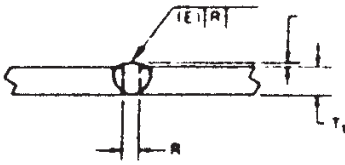
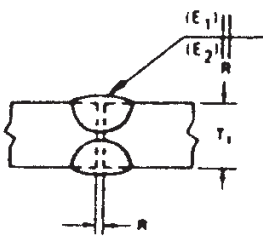
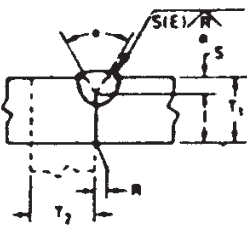
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (U=نامحدود)		آماده سازی درز				وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T1	T2	شکاف ریشه	زاویه شیاری	ضخامت ریشه	شعاع شیاری		
SMAW	B-U9	U	-	R=0 تا 3	$\alpha=45^\circ$	f=3	r=10	All	Br,C, M,N
GMAW	B-U9-GF	U	-	R=0 تا 3	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	All	A,Br,C, M,N

جوش نیم لاله ای دو طرفه (9) اتصال سپری (T) اتصال کنج (C)	ریشة جوش از پشت برداشته شده و مجدداً با جوش پر شود		رواداری ها	
			در طراحی $R=+1.5, -0$	در مونتاژ $+1.5, -3$
		$\alpha=+10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$	
		$f=+1.5, -0$	نامحدود	
		$r=+3, -0$	± 1.5	

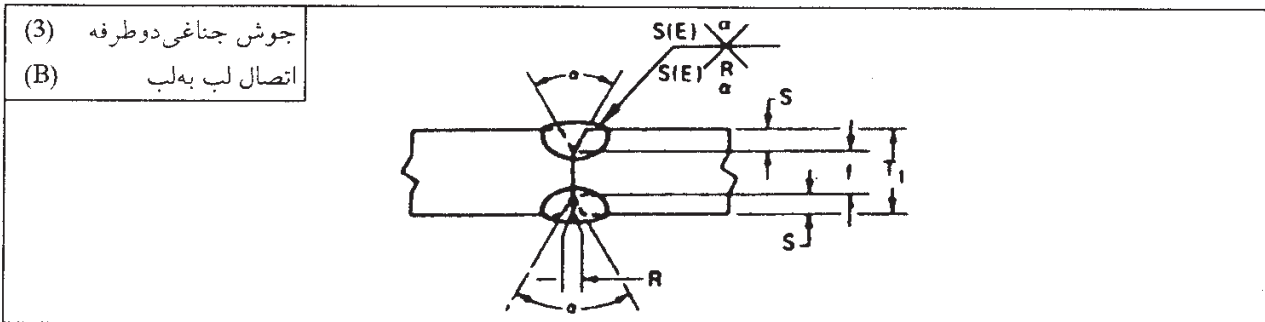
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (U=نامحدود)		آماده سازی درز				وضعیت های مجاز جوشکاری	تذکر
		T1	T2	شکاف ریشه	زاویه شیاری	ضخامت ریشه	شعاع شیاری		
SMAW	TC-U9a	U	U	R=0 تا 3	$\alpha=45^\circ$	f=3	r=10	All	C,J,M, R,V
				R=0 تا 3	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	F,OH	C,J,M, R,V
GMAW	TC-U9a-GF	U	U	R=0 تا 3	$\alpha=30^\circ$	f=3	r=10	All	A,C,J, M,R,V

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه ها به میلی متر است)

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					
						در مونتاز	در طراحی				
(1) جوش شیاری ساده (B) اتصال لب به لب											
SMAW	B-P1a	3 max	-	R=0 تا 1.5	+1.5, -0	±1.5	All	T ₁ -1	B		
	B-P1c	6 max	-	$R = \frac{T_1}{2} \text{ min}$	+1.5, -0	±1.5	All	$\frac{T_1}{2}$	B		
(1) جوش شیاری ساده (B) اتصال لب به لب											
									$E_2 + E_1$ نباید از $\frac{3T_1}{4}$ بیشتر باشد		
(2) جوش جناغی (B) اتصال لب به لب (C) اتصال کنج											
SMAW	B-P1b	6 max	-	$R = \frac{T_1}{2}$	±1.5, -0	±1.5	All	$\frac{3T_1}{4}$			
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					
						در مونتاز	در طراحی				
SMAW	BC-P2	6 min	U	R=0 f=1 min $\alpha=60^\circ$	0, +1.5 unlimited +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 +10°, -5°	All	S	B,E,Q2		
GMAW	BC-P2-GF	6 min	U	R=0 f=3min $\alpha=60^\circ$	0, +1.5 unlimited +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 +10°, -5°	All	S	A,B,E, Q2		
SAW	BC-P2-S	10min	U	R=0 f=6min $\alpha=6^\circ$	±0 unlimited +10°, -0°	+1.5, -0 ±1.5 +10, -5°	F	S	B,E,Q2		
<p>(تمام اندازه ها به میلی متر است) برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.</p>											

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 ضخامت ریشه زاویه شیاری	رواداری ها				
					در طراحی	در مونتاژ			
SMAW	B-P3	12 min	-	R=0 f=3 min $\alpha=60^\circ$	+1.5, -0 unlimited +10°, -0°	+3, -1.5 ± 1.5 +10°, -5°	All	S	E, Mp, Q2
GMAW	B-P3-GF	12 min	-	R=0 f=3 min $\alpha=60^\circ$	+1.5, -0 unlimited +10°, -0°	+1/8, -1/16 $\pm 1/16$ +10°, -5°	All	S	A, E, Mp, Q2
SAW	B-P3-S	20 min	-	R=0 f=6 min $\alpha=60^\circ$	± 0 unlimited +10°, -0°	+1.5, -0 ± 1.5 +10°, -5°	F	S	E, Mp, Q2

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه ها به میلی متر است)

جوش های شیاری با نفوذ ناقص

(4) جوش نیم جناغی یکطرفه	
(B) اتصال لب به لب	
(T) اتصال سپری	
(C) اتصال کنج	

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود=U)		آماده سازی درز			وضعیت های مجاز جوشکاری	گلوگاه مؤثر (E)	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه ضخامت ریشه زاویه شیار	رواداری ها				
					در طراحی	در مونتاژ			
SMAW	BTC-P4	U	U	R=0 f=3 min α=45°	+1.5, -0 unlimited +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 +10°, -5°	All	S-3	B,E,J2, Q2,V
GMAW	BTC-P4-GF	6 min	U	R=0 f=3 min α=45°	+1.5, -0 unlimited +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 +10°, -5°	F,H V,OH	S S-3	A,B,E, J2,Q2, V
SAW	TC-P4-S	10min	U	R=0 f=6 min α=60°	±0 unlimited +10°, -0°	+1.5, -0 ±1.5 +10°, -5°	F	S	B,E,J2, Q2,V

(5) جوش نیم جناغی دوطرفه	
(B) اتصال لب به لب	
(T) اتصال گونیا	
(C) اتصال کنج	

فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود=U)		آماده سازی درز			وضعیت های مجاز جوشکاری	گلوگاه مؤثر (E)	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه ضخامت ریشه زاویه شیار	رواداری ها				
					در طراحی	در مونتاژ			
SMAW	BTC-P5	8 min	U	R=0 f=3 min α=45°	+1.5, -0 unlimited +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 +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 α=45°	+1.5, -0 unlimited +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 +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 α=60°	±0 unlimited +10°, -0°	+1.5, -0 ±1.5 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	E,J2, L,Mp, Q2,V

(تمام اندازه ها به میلی متر است)

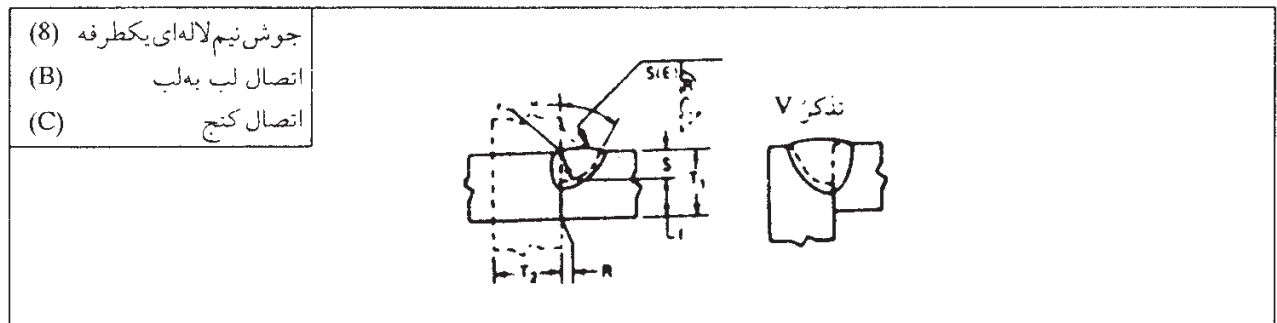
برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود.

جوش های شیاری با نفوذ ناقص

فرآیند جوشکاری		مشخصه اتصال	ضخامت فلز مینا (نامحدود U)		آماده سازی درز			وضعیت های مجاز جوشکاری	گلوگاه مؤثر (E)	تذکر	
					شکاف ریشه	رواداری ها					
				ضخامت ریشه شعاع شیار زاویه شیار	در طراحی	در مونتاژ					
		T ₁	T ₂								
(6) جوش لاله ای یک طرفه (B) اتصال لب به لب (C) اتصال کنج											
		SMAW	BC-P6	6 min	U	R=0 f=1 min r=6 α=45°	+1.5, -0 unlimited +6, -0 +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 ±1.5 +10°, -5°	All	S	B, E, Q2
		GMAW	BC-P6-GF	6 min	U	R=0 f=3 min r=6 α=20°	+1.5, -0 unlimited +6, -0 +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 ±1.5 +10°, -5°	All	S	A, B, E, Q2
SAW	BC-P6-S	10 min	U	R=0 f=6 min r=6 α=20°	±0 unlimited +6, -0 +10°, -0°	+1.5, -0 ±1.5 ±1.5 +10°, -5°	F	S	B, E, Q2		
(7) جوش جناغی دو طرفه (B) اتصال لب به لب											
		SMAW	8-P7	12 min	-	R=0 f=3 min r=6 α=45°	+1.5, -0 unlimited +6, -0 +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 ±1.5 +10°, -5°	All	S ₁ +S ₂	F, Mp, Q2
		GMAW	B-P7-GF	12 min	-	R=0 f=3 min r=6 α=20°	+1.5, -0 unlimited +6, -0 +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 ±1.5 +10°, -5°	All	S ₁ +S ₂	A, E, Mp, Q2
SAW	B-P7-S	20 min	-	R=0 f=6 min r=6 α=20°	±0 unlimited +6, -0 +10°, -0°	+1.5, -0 ±1.5 ±1.5 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	E, Mp, Q2		

برای تذکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه ها به میلی متر است)

جوش های شیاری با نفوذ ناقص



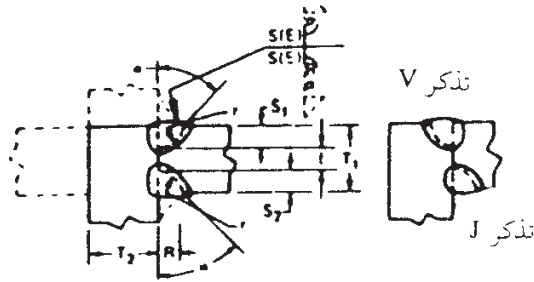
فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (نامحدود U)		آماده سازی درز			وضعیت های مجاز جوشکاری	گلوگاه موثر (E)	تذکر
		T ₁	T ₂	شکاف ریشه ضخامت ریشه شعاع شیاری زاویه شیاری	روداری ها				
					در طراحی	در مونتاژ			
SMAW	TC-P8*	6 min	U	R=0 f=3 min r=10 α=45°	+1.5, -0 Not limited +6, -0 +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 ±1.5 +10°, -5°	All	S	E,J2, Q2,V
SMAW	BC-P8**	6 min	U	R=0 f=3 min r=10 α=30°	+1.5, -0 Not limited +6, -0 +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 ±1.5 +10°, -5°	All	S	E,J2, Q2,V
GMAW	TC-P8-GF*	6 min	U	R=0 f=3 min r=10 α=45°	+1.5, -0 Not limited +6, -0 +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 ±1.5 +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°	+1.5, -0 Not limited +6, -0 +10°, -0°	+3, -1.5 ±1.5 ±1.5 +10°, -5°	All	S	A,E, J2,Q2, V
SAW	TC-P8-S*	10 min	U	R=0 f=6min r=12 α=45°	±0 Not imited +6, -0 +10°, -0°	+1.5, -0 ±1.5 ±1.5 +10°, -5°	F	S	E,J2, Q2,V
SAW	C-P8-S**	10 min	U	R=0 f=6 min r=12 α=20°	±0 Not limited +6, -0° +10°, -0°	+1.5, -0 ±1.5 ±1.5 +10°, -5°	F	S	E,J2, Q2,V

* مربوط به جوش های کنج داخلی می شود.

** مربوط به جوش های کنج خارجی می شود.

جوش های شیاری با نفوذ ناقص

- جوش نیم لاله ای دوطرفه (9)
 اتصال لب به لب (B)
 اتصال سپری (T)
 اتصال کنج (گونیا) (C)



فرآیند جوشکاری	مشخصه اتصال	ضخامت فلز مبنا (U=نامحدود)		آماده سازی درز			وضعیت های مجاز جوشکاری	گلوگاه مؤثر (E)	تذکر
				ضخامت ریشه شعاع شیاری زاویه شیاری	رواداری ها				
					شکاف ریشه	در طراحی			
SMAW	BTC-P9*	12 min	U	R=0 f=3 min r=10 $\alpha=45^\circ$	+1.5, -0 -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -1.5 ± 1.5 ± 1.5 +10°, -5°	All	S ₁ +S ₂	E, J2, Mp, Q2, V
GMAW	BTC-P9-GF*	12 min	U	R=0 f=3 min r=10 $\alpha=30^\circ$	+1.5, -0 Not limited +6, -0 +10°, -0°	+3, -1.5 ± 1.5 ± 1.5 +10°, -5°	All	S ₁ +S ₂	A, J2, Mp, Q2, V
SAW	C-P9-S*	20 min	U	R=0 f=6 min r=10 $\alpha=30^\circ$	± 0 Not limited +6, -0° +10°, -0°	+1.5, -0 ± 1.5 ± 1.5 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	E, J2, Mp, Q2, V
SAW	C-P9-S**	20 min	U	R=0 f=6 min r=12 $\alpha=20^\circ$	± 0 Not limited +6, -0° +10°, -0°	+1.5, -0 ± 1.5 ± 1.5 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	E, J2, Mp, Q2, V
SAW	T-P9-S	20 min	U	R=0 f=6 min r=12 $\alpha=45^\circ$	± 0 Not limited +6, -0 +10°, -0°	+1.5, -0 ± 1.5 ± 1.5 +10°, -5°	F	S ₁ +S ₂	E, J2, Mp, Q2

* مربوط به جوش های کنج داخلی می شود.
 ** مربوط به جوش های کنج خارجی می شود.

(تمام اندازه ها به میلی متر است)

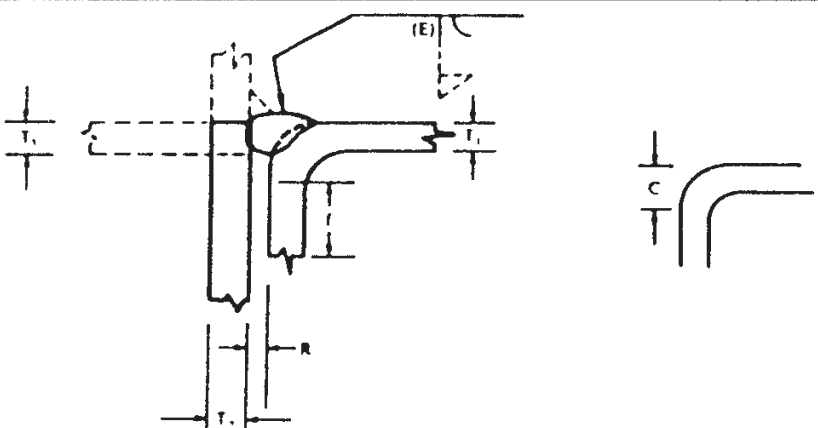
برای تذکرات به راهنمای ابتدای جدول مراجعه شود.

جوش‌های شیاری با نفوذ ناقص

فرآیند جوش کاری	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 طراحی	در مونتاژ			
SMAW	BTC-P10	5 min	U	T ₁ min	R=0 f=5 min C= $\frac{3}{2}$ T ₁ min	+1.5, -0 Not limited -0, +Not limited	+3, -1.5 +U, -1.5 -0, +Not limited	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	+1.5, -0 Not limited -0, +Not limited	+3, -1.5 +U, -1.5 -0, +Not limited	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 Not limited -0, +Not limited	+1.5, -0 +U, -1.5 -0, +Not limited	F	$\frac{5}{8}$ T ₁	J2,Q2, Z

برای تذاکرات به راهنمای ابتدای جداول مراجعه شود. (تمام اندازه‌ها به میلی‌متر است)

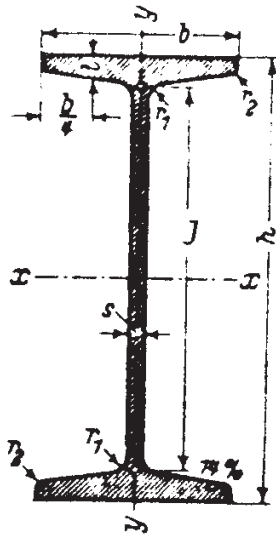
- (10) جوش پیشانی
- (B) اتصال لب به لب
- (T) اتصال سپری
- (C) اتصال کنج



پیوست ۱

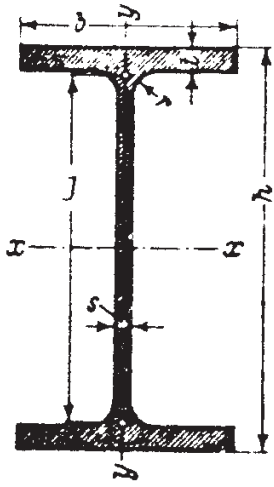
مشخصات هندسی نیمرخ‌های ساختمانی

نیمرخ معمولی INP

 Δ = 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

I	ابعاد به میلی متر					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	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm		
80	80	42	3,9	5,9	2,3	7,57	5,94	0,304	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	11,4	6,84
100	100	50	4,5	6,8	2,7	10,6	8,34	0,370	171	34,2	4,01	12,2	4,88	1,07	19,9	8,57
120	120	58	5,1	7,7	3,1	14,2	11,1	0,439	328	54,7	4,81	21,5	7,41	1,23	31,8	10,3
140	140	66	5,7	8,6	3,4	18,2	14,3	0,502	573	81,9	5,61	35,2	10,7	1,40	47,7	12,0
160	160	74	6,3	9,5	3,8	22,8	17,9	0,575	935	117	6,40	54,7	14,8	1,55	68,0	13,7
180	180	82	6,9	10,4	4,1	27,9	21,9	0,640	1 450	161	7,20	81,3	19,8	1,71	93,4	15,5
200	200	90	7,5	11,3	4,5	33,4	26,2	0,709	2 140	214	8,00	117	26,0	1,87	125	17,2
220	220	98	8,1	12,2	4,9	39,5	31,1	0,775	3 060	278	8,80	162	33,1	2,02	162	18,9
240	240	106	8,7	13,1	5,2	46,1	36,2	0,844	4 250	354	9,59	221	41,7	2,20	206	20,6
260	260	113	9,4	14,1	5,6	53,3	41,9	0,906	5 740	442	10,4	288	51,0	2,32	257	22,3
280	280	119	10,1	15,2	6,1	61,0	47,9	0,966	7 590	542	11,1	364	61,2	2,45	316	24,0
300	300	125	10,8	16,2	6,5	69,0	54,2	1,03	9 800	653	11,9	451	72,2	2,56	381	25,7
320	320	131	11,5	17,3	6,9	77,7	61,0	1,09	12 510	782	12,7	555	84,7	2,67	457	27,4
340	340	137	12,2	18,3	7,3	86,7	68,0	1,15	15 700	923	13,5	674	98,4	2,80	540	29,1
360	360	143	13,0	19,5	7,8	97,0	76,1	1,21	19 610	1 090	14,2	818	114	2,90	638	30,7
380	380	149	13,7	20,5	8,2	107	84,0	1,27	24 010	1 260	15,0	975	131	3,02	741	32,4
400	400	155	14,4	21,6	8,6	118	92,4	1,33	29 210	1 460	15,7	1 160	149	3,13	857	34,1
425	425	163	15,3	23,0	9,2	132	104	1,41	36 970	1 740	16,7	1 440	176	3,30	1 020	36,2
450	450	170	16,2	24,3	9,7	147	115	1,48	45 850	2 040	17,7	1 730	203	3,43	1 200	38,3
475	475	178	17,1	25,6	10,3	163	128	1,55	56 480	2 380	18,6	2 090	235	3,60	1 400	40,4
500	500	185	18,0	27,0	10,8	179	141	1,63	68 740	2 750	19,6	2 480	268	3,72	1 620	42,4
550	550	200	19,0	30,0	11,9	212	166	1,80	99 180	3 610	21,6	3 490	349	4,02	2 120	46,8
600	600	215	21,6	32,4	13,0	254	199	1,92	139 000	4 630	23,4	4 670	434	4,30	2 730	50,9

نیمرخ نیم‌پهن IPE



A = سطح مقطع

G = وزن واحد طول

U = سطح جانبی واحد طول

I = ممان اینرسی

S = اساس مقطع

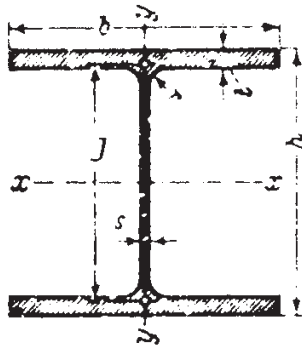
r = شعاع ژیراسیون

Q = لنگر استاتیک نصف مقطع حول محور خشی (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
	b	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	46	3,8	5,2	5	7,64	6,00	0,328	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	11,6	6,90
100	100	55	4,1	5,7	7	10,3	8,10	0,400	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	19,7	8,68
120	120	64	4,4	6,3	7	13,2	10,4	0,475	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	30,4	10,5
140	140	73	4,7	6,9	7	16,4	12,9	0,551	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	44,2	12,3
160	160	82	5,0	7,4	9	20,1	15,8	0,623	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	61,9	14,0
180	180	91	5,3	8,0	9	23,9	18,8	0,698	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	83,2	15,8
200	200	100	5,6	8,5	12	28,5	22,4	0,768	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	110	17,6
220	220	110	5,9	9,2	12	33,4	26,2	0,848	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	143	19,4
240	240	120	6,2	9,8	15	39,1	30,7	0,922	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	183	21,2
270	270	135	6,6	10,2	15	45,9	36,1	1,041	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	242	23,9
300	300	150	7,1	10,7	15	53,8	42,2	1,159	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	314	26,6
330	330	160	7,5	11,5	18	62,6	49,1	1,254	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	402	29,3
360	360	170	8,0	12,7	18	72,7	57,1	1,353	16270	904	15,0	1040	123	3,79	510	31,9
400	400	180	8,6	13,5	21	84,5	66,3	1,467	23130	1160	16,5	1320	146	3,95	654	35,4
450	450	190	9,4	14,6	21	98,8	77,6	1,605	33740	1500	18,5	1680	176	4,12	851	39,7
500	500	200	10,2	16,0	21	116	90,7	1,744	48200	1930	20,4	2140	214	4,31	1100	43,9
550	550	210	11,1	17,2	24	134	106	1,877	67120	2440	22,3	2670	254	4,45	1390	48,2
600	600	220	12,0	19,0	24	156	122	2,015	92080	3070	24,3	3390	308	4,66	1760	52,4

نیمرخ بال پهن سبک IPB₁



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 ₁	ابعاد به میلی متر					A cm ²	G kg/m	U m ² ,m	x-x			y-y			G cm ³	J cm
	h	b	s	l	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	21,2	16,7	0,561	349	72,8	4,06	134	25,8	2,51	41,5	8,41
120	114	120	5	8	12	25,3	19,9	0,677	606	106	4,89	231	38,5	3,02	59,7	10,1
140	133	140	5,5	8,5	12	31,4	24,7	0,794	1030	155	5,73	389	55,6	3,52	85,7	11,9
160	152	160	6	9	15	38,8	30,4	0,906	1670	220	6,57	616	76,9	3,99	123	13,6
180	171	180	6	9,5	15	45,3	35,5	1,02	2510	294	7,45	925	103	4,52	162	15,5
200	190	200	6,5	10	18	53,8	42,3	1,14	3690	389	8,28	1340	134	4,38	215	17,2
220	210	220	7	11	18	64,3	50,5	1,26	5410	515	9,17	1950	179	5,51	284	19,0
240	230	240	7,5	12	21	76,8	60,3	1,37	7760	675	10,1	2770	231	6,00	372	20,9
260	250	260	7,5	12,5	24	86,8	68,2	1,48	10450	836	11,0	3670	282	6,50	460	22,7
280	270	280	8	13	24	97,3	76,4	1,60	13670	1010	11,9	4760	340	7,00	556	24,6
300	290	300	8,5	14	27	113	88,3	1,72	18260	1260	12,7	6310	421	7,49	692	26,4
320	310	300	9	15,5	27	124	97,8	1,76	22930	1490	13,6	6990	466	7,49	814	28,2
340	330	300	9,5	16,5	27	133	105	1,79	27690	1680	14,4	7440	496	7,46	925	29,9
360	350	300	10	17,5	27	143	112	1,83	33090	1890	15,2	7890	526	7,43	1040	31,7
400	390	300	11	19	27	159	125	1,91	45070	2310	16,8	8560	571	7,34	1280	35,2
450	440	300	11,5	21	27	178	140	2,01	63720	2900	18,9	9470	631	7,29	1610	39,6
500	490	300	12	23	27	198	155	2,11	86970	3550	21,0	10370	691	7,24	1970	44,1
550	540	300	12,5	24	27	212	166	2,21	111900	4150	23,0	10820	721	7,15	2310	48,4
600	590	300	13	25	27	226	178	2,31	141200	4790	25,0	11270	751	7,05	2680	52,8
650	640	300	13,5	26	27	242	190	2,41	175200	5470	26,9	11720	782	6,97	3070	57,1
700	690	300	14,5	27	27	260	204	2,50	215300	6240	28,8	12180	812	6,84	3520	61,2
800	790	300	15	28	30	286	224	2,70	303400	7680	32,6	12640	843	6,65	4350	69,8
900	890	300	16	30	30	321	252	2,90	422100	9480	36,3	13550	903	6,50	5410	78,1
1000	990	300	16,5	31	30	347	272	3,10	553800	11190	40,0	14000	934	6,35	6410	86,4

نیمرخ بال پهن معمولی IPB

A = سطح مقطع

G = وزن واحد طول

U = سطح جانبی واحد طول

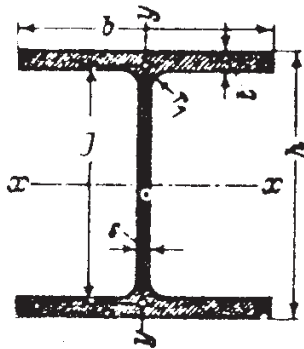
I = ممان اینرسی

S = اساس مقطع

r = شعاع ژیراسیون

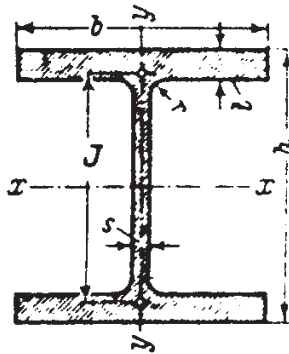
Q = لنگر استاتیک نصف مقطع محور خنثی (محور X)

J = فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری



IPB	ابعاد به میلی‌متر							A cm ²	G kg/m	U m ² /m	I _x cm ⁴	x-x			I _y cm ⁴	y-y			Q cm ³	J cm
	a	b	s	t	r ₁ bzw. r ₂	r ₂	S _x cm ³					r _x cm	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	33,5	2,53	52,1	8,63			
120	120	120	6,5	11	12	—	34,0	26,7	0,686	864	144	5,04	318	52,9	3,06	82,6	10,5			
140	140	140	7	12	12	—	43,0	33,7	0,805	1510	216	5,93	550	78,5	3,58	123	12,3			
160	160	160	8	13	15	—	54,2	42,6	0,918	2490	311	6,78	889	111	4,05	177	14,1			
180	180	180	8,5	14	15	—	65,3	51,2	1,04	3830	426	7,66	1360	151	4,57	241	15,9			
200	200	200	9	15	18	—	78,1	61,3	1,15	5700	570	8,54	2000	200	5,07	321	17,7			
220	220	220	9,5	16	18	—	91,0	71,5	1,27	8090	736	9,43	2840	258	5,59	414	19,6			
240	240	240	10	17	21	—	106	83,2	1,38	11260	938	10,3	3920	327	6,08	527	21,4			
260	260	260	10	17,5	24	—	118	93,0	1,50	14920	1150	11,2	5130	395	6,58	641	23,3			
280	280	280	10,5	18	24	—	131	103	1,62	19270	1380	12,1	6590	471	7,09	767	25,1			
300	300	300	11	19	27	—	149	117	1,73	25170	1680	13,0	8560	571	7,58	934	26,9			
320	320	300	11,5	20,5	27	—	161	127	1,77	30820	1930	13,8	9240	616	7,57	1070	28,7			
340	340	300	12	21,5	27	—	171	134	1,81	36660	2160	14,6	9690	646	7,53	1200	30,4			
360	360	300	12,5	22,5	27	—	181	142	1,85	43190	2400	15,5	10140	676	7,49	1340	32,2			
400	400	300	13,5	24	27	—	198	155	1,93	57680	2880	17,1	10820	721	7,40	1620	35,7			
450	450	300	14	26	27	—	218	171	2,03	79890	3550	19,1	11720	781	7,33	1900	40,1			
500	500	300	14,5	28	27	—	237	187	2,12	107200	4290	21,2	12620	842	7,27	2410	44,5			
550	550	300	15	29	27	—	254	199	2,22	136700	4970	23,2	13080	872	7,17	2800	48,9			
600	600	300	15,5	30	27	—	270	212	2,32	171000	5700	25,2	13530	902	7,08	3210	53,2			
650	650	300	16	31	27	—	286	225	2,42	210600	6480	27,1	13980	932	6,99	3650	57,5			
700	700	300	17	32	27	—	306	241	2,52	256900	7340	29,0	14440	963	6,87	4160	61,7			
800	800	300	17,5	33	30	—	334	262	2,71	359100	8980	32,8	14900	994	6,68	5110	70,2			
900	900	300	18,5	35	30	—	371	291	2,91	494100	10980	36,5	15820	1050	6,53	6290	78,5			
1000	1000	300	19	36	30	—	400	314	3,11	644700	12890	40,1	16280	1090	6,38	7430	86,8			

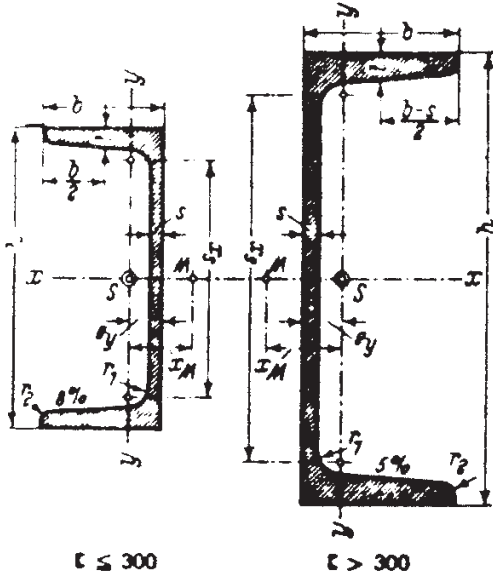
نیمرخ بال پهن سنگین IPB_v



- =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 میلی متر					A cm ²	G kg/m	U m ³ /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		
100	120	106	12	20	12	53.2	41.8	0.619	1140	190	4.63	399	75.3	2.74	118	9.69
120	140	126	12.5	21	12	66.4	52.1	0.738	2020	288	5.51	703	112	3.25	175	11.5
140	160	146	13	22	12	80.6	63.2	0.857	3290	411	6.39	1140	157	3.77	247	13.3
160	180	166	14	23	15	97.1	76.2	0.970	5100	566	7.25	1760	212	4.26	337	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	103	1.20	10640	967	9.00	3650	354	5.27	568	18.7
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	32	21	200	157	1.46	24290	1800	11.0	8150	657	6.39	1060	22.9
260	290	268	18	32.5	24	220	172	1.57	31310	2160	11.9	10450	780	6.90	1260	24.8
280	310	288	18.5	33	24	240	189	1.69	39550	2550	12.8	13160	914	7.40	1480	26.7
300	340	310	21	39	27	303	238	1.82	59200	3480	14.0	19400	1250	8.00	2040	29.0
320/305	320	305	16	29	27	225	177	1.78	40950	2560	13.5	13740	901	7.81	1460	28.0
320	359	309	21	40	27	312	245	1.87	68130	3800	14.8	19710	1280	7.95	2220	30.7
340	377	309	21	40	27	316	248	1.90	76370	4050	15.6	19710	1280	7.90	2360	32.4
380	395	308	21	40	27	319	250	1.93	84870	4300	16.3	19520	1270	7.83	2490	34.0
400	432	307	21	40	27	326	256	2.00	104100	4820	17.9	19340	1260	7.70	2790	37.4
450	478	307	21	40	27	335	263	2.10	131500	5500	19.8	19340	1260	7.59	3170	41.5
500	524	306	21	40	27	344	270	2.18	161900	6180	21.7	19150	1250	7.46	3550	45.7
550	572	306	21	40	27	354	278	2.28	198000	6920	23.6	19160	1250	7.35	3970	49.9
600	620	305	21	40	27	364	285	2.37	237400	7660	25.6	18980	1240	7.22	4390	54.1
650	668	305	21	40	27	374	293	2.47	281700	8430	27.5	18980	1240	7.13	4830	58.3
700	716	304	21	40	27	383	301	2.56	329300	9200	29.3	18800	1240	7.01	5270	62.5
800	814	303	21	40	30	404	317	2.75	442600	10670	33.1	18630	1230	6.79	6240	70.9
900	910	302	21	40	30	424	333	2.93	570400	12540	36.7	18450	1220	6.60	7220	79.0
1000	1008	302	21	40	30	444	349	3.13	722300	14330	40.3	18460	1220	6.45	8280	87.2

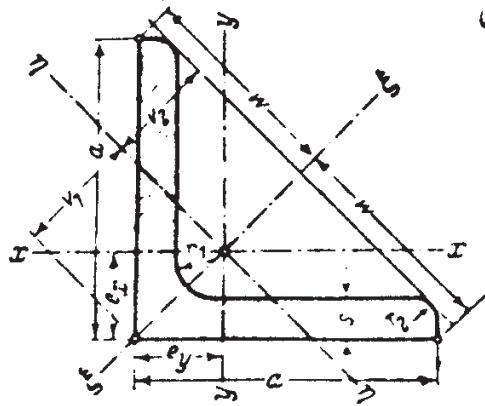
نیمرخ ناودانی UNP



- =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 خشی
- =J فاصله بین مراکز نیروهای کششی و فشاری
- = x_M محل مرکز برش

c	ابعاد به میلیمتر					A cm ²	G kg/m	U m ² /m	x-x			y-y			Q cm ³	J cm	e _y cm	x _M cm
	h	b	s	l-r	r				I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm				
30 × 15	30	15	4	4,5	2	2,21	1,74	0,103	2,53	1,69	1,07	0,38	0,39	0,42	—	—	0,52	0,74
30	30	33	5	7	3,5	5,44	4,27	0,174	6,39	4,26	1,08	5,33	2,68	0,99	—	—	1,31	2,22
40 × 20	40	20	5	5,5	2,5	3,66	2,87	0,142	7,58	3,79	1,44	1,14	0,86	0,56	—	—	0,67	1,01
40	40	35	5	7	3,5	6,21	4,87	0,199	14,1	7,06	1,50	6,68	3,08	1,04	—	—	1,33	2,32
50 × 25	50	25	5	6	3	4,92	3,86	0,181	16,8	6,73	1,85	2,49	1,48	0,71	—	—	0,81	1,34
50	50	38	5	7	3,5	7,12	5,59	0,232	26,4	10,6	1,92	9,12	3,75	1,13	—	—	1,37	2,47
60	60	30	6	6	3	6,46	5,07	0,215	31,6	10,5	2,21	4,51	2,16	0,84	—	—	0,91	1,50
65	65	42	5,5	7,5	4	9,03	7,09	0,273	57,5	17,7	2,52	14,1	5,07	1,25	—	—	1,42	2,60
80	80	45	6	8	4	11,0	8,64	0,312	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	15,9	6,65	1,45	2,67
100	100	50	6	8,5	4,5	13,5	10,6	0,372	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	24,5	8,42	1,55	2,93
120	120	55	7	9	4,5	17,0	13,4	0,434	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59	36,3	10,0	1,60	3,03
140	140	60	7	10	5	20,4	16,0	0,489	606	86,4	5,45	62,7	14,8	1,75	51,4	11,8	1,75	3,37
160	160	65	7,5	10,5	5,5	24,0	18,8	0,546	926	116	6,21	85,3	18,3	1,89	68,8	13,3	1,84	3,66
180	180	70	8	11	5,5	28,0	22,0	0,611	1350	150	6,95	114	22,4	2,02	89,6	15,1	1,92	3,75
200	200	75	8,5	11,5	6	32,2	25,3	0,661	1910	191	7,70	148	27,0	2,14	114	16,8	2,01	3,94
220	220	80	9	12,5	6,5	37,4	29,4	0,718	2690	245	8,48	197	33,6	2,30	146	18,5	2,14	4,20
240	240	85	9,5	13	6,5	42,3	33,2	0,775	3600	300	9,22	248	39,6	2,42	179	20,1	2,23	4,59
250	260	90	10	14	7	48,3	37,9	0,834	4820	371	9,99	317	47,7	2,56	221	21,8	2,36	4,66
280	280	95	10	15	7,5	53,3	41,8	0,890	6280	448	10,9	399	57,2	2,74	266	23,6	2,53	5,02
300	300	100	10	16	8	58,8	46,2	0,950	8030	535	11,7	495	67,8	2,90	316	25,4	2,70	5,41
320	320	100	14	17,5	8,75	75,8	59,5	0,982	10870	679	12,1	597	80,6	2,81	413	26,3	2,60	4,82
350	350	100	14	16	8	77,3	60,6	1,047	12840	734	12,9	570	75,0	2,72	459	28,6	2,40	4,45
380	380	102	13,5	16	8	80,4	63,1	1,110	15760	829	14,0	615	78,7	2,77	507	31,1	2,38	4,58
400	400	110	14	18	9	91,5	71,8	1,182	20350	1020	14,9	846	102	3,04	618	32,9	2,65	5,11

نیمرخ نبشی با بال های مساوی



A = سطح مقطع

G = وزن واحد طول

U = سطح جانبی واحد طول

I = ممان اینرسی

S = اساس مقطع

r = شعاع ژیراسیون

محور $\eta-\eta$ محور اصلی حداقل نیمرخ است

L	ابعاد به میلی متر				A cm ²	G kg/m	U m ² /m	$x-x'$ = $y-y'$				$\xi-\xi'$		$\eta-\eta'$					
	a	s	r ₁	r ₂				e_x - e_y	u_x	v_x	v_y	I_x = I_y	S_x = S_y	r_x = r_y	I_ξ	r_ξ	I_η	S_η	r_η (min) cm
20 x 3 4	20	3 4	3,5	2	1,12	0,88	0,077	0,90	1,41	0,85	0,70	0,39	0,28	0,59	0,62	0,74	0,15	0,18	0,37
					1,45	1,14		0,64	1,41	0,90	0,71	0,48	0,35	0,58	0,77	0,73	0,19	0,21	0,36
25 x 3 4 5	25	3 4 5	3,5	2	1,42	1,12	0,097	0,73		1,03	0,87	0,79	0,45	0,75	1,27	0,95	0,31	0,30	0,47
					1,85	1,45		0,76	1,77	1,08	0,89	1,01	0,58	0,74	1,61	0,93	0,40	0,37	0,47
					2,26	1,77		0,80		1,13	0,91	1,18	0,69	0,72	1,87	0,91	0,50	0,44	0,47
30 x 3 4 5	30	3 4 5	5	2,5	1,74	1,36	0,116	0,84		1,18	1,04	1,41	0,65	0,90	2,24	1,14	0,57	0,48	0,57
					2,27	1,78		0,89	2,12	1,24	1,05	1,81	0,86	0,89	2,85	1,12	0,76	0,61	0,58
					2,78	2,18		0,92		1,30	1,07	2,16	1,04	0,88	3,41	1,11	0,91	0,70	0,57
35 x 3 4 5 6	35	3 4 5 6	5	2,5	2,04	1,60	0,136	0,96		1,36	1,23	2,29	0,90	1,06	3,63	1,34	0,95	0,70	0,68
					2,67	2,10		1,00	2,47	1,41	1,24	2,96	1,18	1,05	4,68	1,33	1,24	0,88	0,68
					3,25	2,57		1,04		1,47	1,25	3,56	1,45	1,04	5,63	1,31	1,49	1,10	0,67
					3,87	3,04		1,08		1,53	1,27	4,14	1,71	1,04	6,50	1,30	1,77	1,16	0,68
40 x 3 4 5 6	40	3 4 5 6	6	3	2,35	1,84	0,155	1,07		1,52	1,40	3,45	1,18	1,21	5,45	1,52	1,44	0,95	0,78
					3,08	2,42		1,12	2,83	1,58	1,40	4,48	1,56	1,21	7,09	1,52	1,86	1,18	0,78
					3,79	2,97		1,16		1,64	1,42	5,43	1,91	1,20	8,64	1,51	2,22	1,35	0,77
					4,48	3,52		1,20		1,70	1,43	6,33	2,26	1,19	9,98	1,49	2,67	1,57	0,77
45 x 3 5 6 7	45	4 5 6 7	7	3,5	3,49	2,74	0,174	1,23		1,75	1,57	6,43	1,97	1,36	10,2	1,71	2,68	1,53	0,88
					4,30	3,38		1,28	3,18	1,81	1,58	7,83	2,43	1,35	12,4	1,70	3,25	1,80	0,87
					5,09	4,00		1,32		1,87	1,59	9,16	2,88	1,34	14,5	1,69	3,83	2,05	0,87
					5,86	4,60		1,36		1,92	1,61	10,4	3,31	1,33	16,4	1,67	4,39	2,29	0,87
50 x 4 5 6 7 8 9	50	4 5 6 7 8 9	7	3,5	3,89	3,06	0,194	1,36		1,92	1,75	8,97	2,48	1,52	14,2	1,91	3,73	1,94	0,98
					4,80	3,77		1,40	3,54	1,98	1,76	11,0	3,05	1,51	17,4	1,90	4,59	2,32	0,98
					5,69	4,47		1,45		2,04	1,77	12,8	3,61	1,50	20,4	1,89	5,24	2,57	0,98
					6,56	5,15		1,49		2,11	1,78	14,6	4,15	1,49	23,1	1,88	6,02	2,85	0,98
					7,41	5,82		1,52		2,16	1,80	16,3	4,68	1,48	25,7	1,86	6,87	3,19	0,96
8,24	6,47		1,56		2,21	1,82	17,9	5,20	1,47	28,1	1,85	7,67	3,47	0,97					
55 x 5 6 8 10	55	5 6 8 10	8	4	5,32	4,18	0,233	1,52		2,15	1,93	14,7	3,70	1,66	23,3	2,09	6,11	2,84	1,07
					6,31	4,95		1,56	3,89	2,21	1,94	17,3	4,40	1,66	27,4	2,08	7,24	3,28	1,07
					8,23	6,46		1,64		2,32	1,97	22,1	5,72	1,64	34,8	2,06	9,35	4,03	1,07
					10,1	7,90		1,72		2,43	2,00	26,3	6,97	1,62	41,4	2,02	11,3	4,65	1,06
60 x 5 6 8 10	60	5 6 8 10	8	4	5,82	4,57	0,233	1,64		2,32	2,11	19,4	4,45	1,82	30,7	2,30	8,03	3,46	1,17
					6,91	5,42		1,69	4,24	2,39	2,11	22,8	5,29	1,82	36,1	2,29	9,43	3,95	1,17
					9,03	7,09		1,77		2,50	2,14	29,1	6,88	1,80	46,1	2,26	12,1	4,84	1,16
					11,1	8,69		1,85		2,62	2,17	34,9	8,41	1,78	55,1	2,23	14,6	5,57	1,15
65 x 6 7 8 9 11	65	6 7 8 9 11	9	4,5	7,53	5,91	0,252	1,80		2,55	2,28	29,2	6,21	1,97	46,3	2,48	12,1	4,74	1,27
					8,70	6,83		1,85	4,60	2,62	2,29	33,4	7,18	1,96	53,0	2,47	13,8	5,27	1,26
					9,85	7,73		1,89		2,67	2,31	37,5	8,13	1,95	59,4	2,46	15,6	5,84	1,26
					11,0	8,62		1,93		2,73	2,32	41,3	9,04	1,94	65,4	2,44	17,2	6,30	1,25
					13,2	10,3		2,00		2,83	2,36	48,8	10,8	1,91	76,8	2,42	20,7	7,31	1,25

L	a	s	r ₁	r ₂	F cm ²	G kg/m	U m ³ /m	e cm	w cm	v ₁ cm	v ₂ cm	x-x=y-y			ξ-ξ		I _η cm ⁴	S _η cm ³	r _η =r ₁ cm
												I _x =I _y cm ⁴	S _x =S _y cm ³	r _x =r _y cm	I _ξ cm ⁴	r _ξ cm			
70 × 70	6	6	9	4,5	8,13	6,38	0,272	1,93		2,73	2,46	36,9	7,27	2,13	58,5	2,68	15,3	5,60	1,37
	7	7	9	4,5	9,40	7,38	0,272	1,97		2,79	2,47	42,4	8,43	2,12	67,1	2,67	17,6	6,31	1,37
	9	9	9	4,5	11,9	9,34	0,272	2,05	4,95	2,90	2,50	52,6	10,6	2,10	83,1	2,64	22,0	7,59	1,36
	11	11	9	4,5	14,3	11,2	0,272	2,13	4,95	3,01	2,53	61,8	12,7	2,08	97,6	2,61	26,0	8,64	1,35
75 × 75	6	6	10	5	8,75	6,87	0,291	2,04		2,89	2,63	45,6	8,35	2,28	72,2	2,87	18,9	6,54	1,47
	7	7	10	5	10,1	7,94	0,291	2,09		2,95	2,63	52,4	9,67	2,28	83,6	2,88	21,1	7,15	1,45
	8	8	10	5	11,5	9,03	0,291	2,13	5,30	3,01	2,65	58,9	11,0	2,26	93,3	2,85	24,4	8,11	1,48
	10	10	10	5	14,1	11,1	0,291	2,21	5,30	3,12	2,68	71,4	13,5	2,25	113	2,83	29,8	9,55	1,45
80 × 80	6	6	10	5	10,8	8,49	0,311	2,21		3,13	2,82	64,2	11,1	2,44	102	3,07	26,5	8,48	1,57
	8	8	10	5	12,3	9,66	0,311	2,26		3,20	2,82	72,3	12,6	2,42	115	3,06	29,6	9,25	1,55
	10	10	10	5	15,1	11,9	0,311	2,34	5,66	3,31	2,85	87,5	15,5	2,41	139	3,03	35,9	10,9	1,54
	12	12	10	5	17,9	14,1	0,311	2,41	5,66	3,41	2,89	102	18,2	2,39	161	3,00	43,0	12,6	1,53
90 × 90	6	6	11	5,5	13,9	10,9	0,351	2,50		3,53	3,17	104	16,1	2,74	166	3,45	43,1	12,2	1,76
	8	8	11	5,5	15,5	12,2	0,351	2,54		3,59	3,18	116	18,0	2,74	184	3,45	47,8	13,3	1,76
	10	10	11	5,5	18,7	14,7	0,351	2,62	6,36	3,70	3,21	138	21,6	2,72	218	3,41	57,1	15,4	1,75
	12	12	11	5,5	21,8	17,1	0,351	2,70	6,36	3,81	3,24	158	25,1	2,69	250	3,39	65,9	17,3	1,74
100 × 100	6	6	12	6	15,5	12,2	0,390	2,74		3,87	3,52	145	19,9	3,06	230	3,85	59,9	15,5	1,96
	8	8	12	6	19,2	15,1	0,390	2,82		3,99	3,54	177	24,7	3,04	280	3,82	73,3	18,4	1,95
	10	10	12	6	22,7	17,8	0,390	2,90	7,07	4,10	3,57	207	29,2	3,02	328	3,80	86,2	21,0	1,95
	12	12	12	6	26,2	20,6	0,390	2,98	7,07	4,21	3,60	235	33,5	3,00	372	3,77	98,3	23,4	1,94
110 × 110	6	6	13	6,5	17,9	14,1	0,430	3,06		4,32	3,63	162	23,7	2,97	313	3,74	111	25,6	1,93
	8	8	13	6,5	20,6	16,1	0,430	3,20		4,53	3,71	311	28,8	2,93	487	3,67	135	29,8	1,93
	10	10	13	6,5	25,1	19,7	0,430	3,15	7,78	4,45	3,93	280	35,7	3,34	444	4,21	116	26,1	2,15
	12	12	13	6,5	29,0	22,8	0,430	3,21	7,78	4,54	3,98	319	41,0	3,32	505	4,18	133	29,3	2,14
120 × 120	6	6	13	6,5	25,4	19,9	0,469	3,36		4,75	4,24	341	39,5	3,66	541	4,62	140	29,5	2,35
	8	8	13	6,5	27,5	21,6	0,469	3,40		4,80	4,26	368	42,7	3,65	584	4,60	152	31,6	2,35
	10	10	13	6,5	29,7	23,3	0,469	3,44	8,49	4,86	4,27	394	46,0	3,64	625	4,59	162	33,3	2,34
	12	12	13	6,5	33,9	26,6	0,469	3,51	8,49	4,96	4,31	446	52,5	3,63	705	4,56	186	37,5	2,34
130 × 130	6	6	14	7	30,0	23,6	0,508	3,64		5,15	4,60	472	50,4	3,97	750	5,00	194	37,7	2,54
	8	8	14	7	34,7	27,2	0,508	3,72	9,19	5,26	4,63	540	58,2	3,94	857	4,97	223	42,4	2,53
	10	10	14	7	39,3	30,9	0,508	3,80	9,19	5,37	4,66	605	65,8	3,92	959	4,94	251	46,7	2,52
	12	12	14	7	44,0	34,4	0,508	3,92	9,90	5,54	4,96	638	72,3	4,27	1010	5,38	262	47,3	2,74
140 × 140	6	6	15	7,5	34,8	27,3	0,547	4,12		5,83	5,29	737	67,7	4,60	1170	5,80	303	52,0	2,95
	8	8	15	7,5	40,3	31,6	0,547	4,21		5,95	5,31	845	78,2	4,58	1340	5,77	347	58,3	2,94
	10	10	15	7,5	43,0	33,8	0,547	4,25	10,6	6,01	5,33	898	83,5	4,57	1430	5,76	370	61,6	2,93
	12	12	15	7,5	45,7	35,9	0,547	4,29	10,6	6,07	5,34	949	88,7	4,56	1510	5,74	391	64,4	2,93
150 × 150	6	6	16	8	51,0	40,1	0,586	4,36		6,17	5,38	1050	99,3	4,54	1670	5,70	438	71,0	2,93
	8	8	16	8	56,3	44,2	0,586	4,44		6,28	5,41	1150	109	4,51	1820	5,68	477	76,0	2,91
	10	10	16	8	61,9	48,6	0,586	4,51	12,7	7,22	6,41	1870	145	5,49	2970	6,93	757	106	3,14
	12	12	16	8	68,4	53,7	0,586	4,58	12,7	7,33	6,44	2040	160	5,47	3260	6,90	830	113	3,14
160 × 160	6	6	17	8,5	55,4	43,5	0,705	5,02		7,44	6,47	2210	174	5,44	3510	6,86	916	123	3,50
	8	8	17	8,5	61,9	48,6	0,705	5,10		7,55	6,50	2400	190	5,42	3800	6,83	999	131	3,49
	10	10	17	8,5	68,4	53,7	0,705	5,18	14,1	8,04	7,15	2550	199	6,11	4540	7,72	1160	144	3,89
	12	12	17	8,5	74,7	58,6	0,705	5,26	14,1	8,16	7,21	2780	210	6,06	5280	7,64	1380	167	3,90
200 × 200	6	6	18	9	61,8	48,5	0,785	5,52		7,80	7,09	2340	162	6,15	3740	7,78	943	121	3,91
	8	8	18	9	69,1	54,3	0,785	5,60		7,92	7,12	2600	181	6,13	4150	7,75	1050	133	3,90
	10	10	18	9	76,4	59,9	0,785	5,68	14,1	8,04	7,15	2850	199	6,11	4540	7,72	1160	144	3,89
	12	12	18	9	82,0	64,0	0,785	5,76	14,1	8,16	7,21	3130	210	6,06	5280	7,64	1380	167	3,90

اساس مقطع خمیری نیمرخ‌ها

نیمرخ INP		نیمرخ IPE		نیمرخ IPB	
نمره نیمرخ	Z(cm ^۲)	نمره نیمرخ	Z(cm ^۲)	نمره نیمرخ	Z(cm ^۲)
100	40	100	39	100	104.2
120	63	120	60	120	165.2
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

پیوست ۲

فرم‌های استاندارد

- ۱- فرم دستورالعمل جوشکاری (W.P.S)
- ۲- فرم گزارش آزمایش ارزیابی جوشکاران، اپراتورهای جوشکاری و خال جوشکاران
- ۳- فرم گزارش آزمایش ارزیابی دستورالعمل جوشکاری
- ۴- فرم گزارش آزمایش پرتونگاری
- ۵- فرم گزارش آزمایش ذرات مغناطیسی

دستورالعمل جوشکاری (W.P.S)

شناسایی # _____	نام شرکت _____
توسط _____ تاریخ _____	روش جوشکاری _____
اصلاح _____ تاریخ _____	شماره گزارش ارزیابی _____
تأییدکننده _____ تاریخ _____	
<input type="checkbox"/> نیمه اتوماتیک	<input type="checkbox"/> نوع دستی
<input type="checkbox"/> اتوماتیک	<input type="checkbox"/> ماشینی

موقعیت جوش شیباری _____ گوشه _____	نوع درز _____
جوشکاری قائم: سر بالا <input type="checkbox"/> سر پایین <input type="checkbox"/>	نوع: <input type="checkbox"/> دورو <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> خیر <input type="checkbox"/> بله <input type="checkbox"/>
	پشت بند: _____
	مصالح پشت بند _____
	بازشدگی ریشه _____ ضخامت ریشه _____
	زاویه شیار (J.T) _____ شعاع _____
	شیارزی پشت: بله <input type="checkbox"/> خیر <input type="checkbox"/> روش _____
	فلز پایه _____
	مشخصات فنی _____
	نوع یا رده _____
	ضخامت: شیباری _____ گوشه _____
	قطر (لوله) _____

خواص الکتریکی	نوع انتقال (GMAW): _____
	مدار کوتاه <input type="checkbox"/> قطرهای <input type="checkbox"/> پاشیدنی <input type="checkbox"/>
	جریان: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/> ضربهای <input type="checkbox"/>
	غیره _____
	الکتروود تنگستن (GTAW): _____
	اندازه _____
	نوع _____

گزارش آزمایش ارزش ارزیابی جوشکاران، اپراتورهای جوشکاری و خال جوشکاران

شماره شناسنامه		نام	
تاریخ		اصلاح	
شماره دستورالعمل جوشکاری		نوع جوشکار	
ثابت	مقادیر واقعی مورد استفاده در ارزیابی	محدوده ارزیابی	
		متغیرها	
		نوع / روش	
		الکتروود (تک یا چندگانه)	
		جرایان / قطبیت	
		موقعیت	
		موقعیت جوشکاری	
		پشت بند (بله، خیر)	
		نوع مصالح	
		مصالح پایه	
		ضخامت (ورق)	
		شماره	
		گونه	
		ضخامت (لوله)	
		شماره	
		گونه	
		شماره	
		گونه	
		مصالح پرکننده	
		شماره مشخصه	
		رده	
		نوع گداز آور / گاز	
		سایر موارد	

<p>بازرسی عینی بلی یا خیر، مورد تأیید نتایج آزمایش خمش هدایت شده</p>	
نتیجه	نتیجه
نوع	نوع
نتایج آزمایش جوش گوشه	
ظاهر جوش	اندازه جوش
آزمایش شکست نفوذ ریشه	زخم
شرح مکان، نوع و اندازه هرگونه ترک ایجاد شده در نمونه آزمایشی	

شماره آزمایش _____ بازرسی به وسیله _____
 تاریخ _____ مؤسسه _____

نتایج آزمایش پرتونگاری	نتایج	نتایج
شماره فیلم	علامت	شماره فیلم

شماره آزمایش _____ تأییدکننده _____
 تاریخ _____ مؤسسه _____

ما، امضاءکنندگان، صحت نتایج مندرج در این برگه و تطبیق آماده‌سازی، جوشکاری و آزمایش قطعات نمونه را مطابق دستورالعمل آیین‌نامه، تأیید می‌نماییم.
 سازنده یا پیمانکار _____
 معرفی، به وسیله _____
 در 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 کناره _____
 تخلخل حفره‌ای _____
 تقعر _____
 تاریخ آزمایش _____
 گواهی کننده _____

آزمایش پرتونگاری - فراصوتی
 شماره گزارش RT: _____ نتیجه _____
 شماره گزارش UT: _____ نتیجه _____

نتایج آزمایش جوش گوشه

حداقل بعد چند پاسه _____
 حداکثر بعد تک پاسه _____
 زخم دار _____
 زخم دار _____
 _____ .۱ _____ .۳
 _____ .۲ _____ .۲

آزمایش کشش فلز جوش

آزمایش های دیگر

مقاومت کششی (kg/cm^2) _____
 مقاومت تسلیم (kg/cm^2) _____
 افزایش طول در ۵۰ میلی متر، % _____
 شماره آزمایش _____

نام جوشکار _____ شماره تأیید _____
 تأیید آزمایش توسط _____ آزمایشگاه _____

شماره آزمایش _____

هر _____

ما، امضاءکنندگان، صحت نتایج مندرج در این برگه و تطبیق آماده سازی، جوشکاری و آزمایش قطعات نمونه را مطابق دستورالعمل آیین نامه، تأیید می نمایم.

سازنده یا پیمانکار _____

امضاء

معرفی به وسیله _____

عنوان _____

تاریخ _____

گزارش آزمایش ذرات مغناطیسی

پروژه

ضوابط ارزیابی - شماره مقطع

گزارش به

محل جوش و معرفی طرح جوش

مقدار: _____ کل جوش تأییدی _____ کل جوش مردودی: _____

توضیحات	اصلاح		گزارش		سطح آزمایش		مشخصه جوش	تاریخ
	مردود	تأیید	مردود	تأیید	ویژه	کامل		

مقدمات آزمایش

آماده سازی سطحی:

تجهیزات

از صنایع:

مدل:

شماره مسلسل:

روش بازرسی

خشک

مرطوب

مرئی

فلورسنت

وضعیت محیط

مانده

پیوسته

پیوسته کامل

AC

DC

نیم موج

یوغ

کابل عایق دار

سایر

طولی

جهت میدان: حلقوی

مقاومت میدان:

آمپراژ، چگالی میدان، نیروی مغناطیسی، تعداد و تناوب نیروهای اعمالی

مؤخرات آزمایش

تکنیک تخریب (در صورت لزوم):

تمیز کردن: _____ روش علامت گذاری: _____

ما، امضاء کنندگان، صحت نتایج مندرج در این برگه و تطبیق آماده سازی، جوشکاری و آزمایش قطعات نمونه را مطابق دستورالعمل آیین نامه، تأیید می نماییم.

پرنوبکار

پیمانکار یا سارنده

گزارش

معرفی به وسیله

تاریخ آزمایش

تاریخ



ISBN 964-6561-10-1



9789646561106