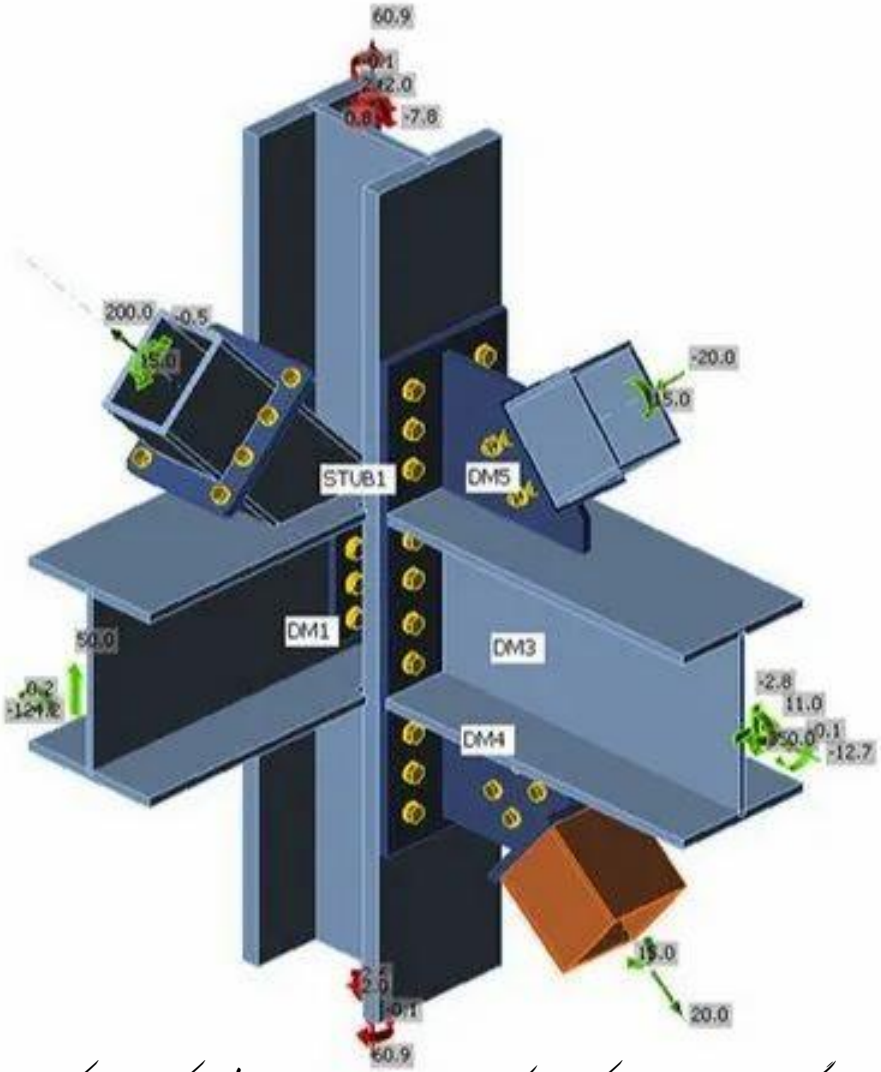
دانشگاه یزد

طراحی سازه های فولادی ۲

مبحث دوم:

اتصالات جوشی

مدرس: دکتر محمدرضا میرجلیلی



توجه: این درسنامه برگرفته از جزوه جناب آقای دکتر رحیمی و کتاب طراحی سازه های فولادی (جلد ششم) دکتر ازهری و دکتر میرقادری می باشد. جهت رعایت حقوق ناشر و مولفان لازم است که دانشجویان محترم این کتاب را تهیه کنند. در غیر این صورت مجاز به چاپ و انتشار صفحات کتاب نمی باشند.

۲ـ۱ مقدمه

تحلیل علمی و فنی جوشکاری با تکیه بر فرآیندهای مختلف آن به ویژه در مورد اعضای فولادی و در راستای طراحی اتصالات، همواره مورد توجه طراحان بوده است. اغلب سازه‌ها از اعضای مختلفی تشکیل شده‌اند که با روش‌های گوناگونی به یکدیگر متصل می‌شوند. روش‌های گوناگون اتصال اعضای یک سازه به یکدیگر برحسب نوع فرآیند و یا فن اتصال را می‌توان به روش‌های مکانیکی از قبیل پیچ، پرچ و میخ، روش‌های شیمیایی نظیر چسب‌های معدنی و آلی و روش‌های متالورژیکی مانند جوشکاری و لحیم‌کاری طبقه‌بندی نمود.

اتصال اعضای یک سازه به کمک حرارت و ذوب شدن موضعی و یکپارچه شدن آن‌ها با و یا بدون فلز جوش را جوشکاری می‌نامند. اتصال جوشی خوب و ایده‌آل به اتصالی اطلاق می‌شود که در آن، خواص مکانیکی مصالح اولیه تحت تأثیر حرارت و ذوب شدن تغییری نکند. امروزه پیشرفت‌های زیادی در روش‌های جوشکاری حاصل شده، به نحوی که جوش دادن انواع فولادهای ساختمانی، فولادهای آلیاژی، ورق‌های نازک و ضخیم و حتی جوشکاری در زیر آب برای سازه‌های دریایی ممکن شده است.

مطالب اصلی این فصل بر محور روش‌های اتصال توسط فن جوشکاری قرار دارد که شامل انواع فرآیندهای جوشکاری، انواع جوش و اتصالات جوشی در سازه‌های فولادی، مقررات عمومی و اجرایی اتصالات جوشی، علائم قراردادی برای نمایش جوش، تنش‌های مجاز جوش و محاسبه‌ی تنش در اتصالات جوشی می‌باشد. علاوه بر آن ملاحظات ضروری در اجرای اتصالات جوشی نیز ارائه خواهد شد.

روش‌های جوشکاری را برحسب منبع تولید انرژی و طریقه‌ی محافظت جوش در حین اجرا تقسیم‌بندی می‌کنند.

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

۲ـ۲ فرآیندهای جوشکاری

با استفاده از روش‌های مناسب جوشکاری می‌توان خواص مکانیکی محل اتصال را چنان آماده‌سازی نمود که دست‌یابی به یک جوش ایده‌آل ممکن شود. جوش ذوبی شامل جوش گازی و یا جوش قوس الکتریکی از متداول‌ترین روش‌های جوشکاری در سازه‌های فولادی است. در جوشکاری ذوبی اعضا در محل اتصال توسط حرارت ذوب گردیده و سپس با افزایش مواد جوش به صورت مذاب در آن محل کلیه مواد مذاب با یکدیگر مخلوط شده و با سرد شدن مواد مذاب عمل جوش انجام می‌گیرد. حرارت در جوش گازی توسط گاز و در جوش قوس الکتریکی توسط عبور جریان مستقیم و یا متناوب برق ایجاد می‌شود.

اجرای عملیات جوشکاری می‌تواند به روش‌های دستی، نیمه اتوماتیک و یا تمام اتوماتیک انجام شود. در جوشکاری به روش دستی ابزار عملیات جوشکاری و مواد جوش به وسیله دست هدایت می‌شوند.

در جوشکاری به روش نیمه اتوماتیک ابزار و وسایل جوشکاری توسط دست و مواد جوش به وسیله‌ی دستگاه هدایت می‌گردند. در جوش تمام اتوماتیک کلیه عملیات جوشکاری از قبیل ابزار و مواد آن به وسیله‌ی دستگاه خودکار هدایت می‌شود.

استفاده از جوشکاری اتوماتیک باعث دقت بیشتر در مرغوبیت و یکنواختی جوش خواهد شد. معمولاً در ساخت سازه‌های خاص فولادی نظیر مخازن نگهداری مواد نفتی، کشتی‌ها و برج‌های خنک‌کننده از جوشکاری اتوماتیک استفاده می‌شود.

هر روش جوشکاری مستلزم صرف انرژی لازم، حذف و زدودن آلودگی‌ها از سطح جوش و محافظت سطح جوش در هنگام عملیات جوشکاری می‌باشد.

انرژی مهم‌ترین عامل در روش‌های جوشکاری برای اتصال اعضای سازه‌های فولادی است. همان‌گونه که اشاره شد انرژی و یا حرارت می‌تواند از منابع مختلف نظیر گاز و یا قوس الکتریکی تأمین شود. به جز در موارد معدودی نظیر جوش فشاری، جوشکاری از طریق ذوب شدن موضعی قطعات مورد جوش و اغلب همراه با ماده‌ی اضافی انجام می‌شود.

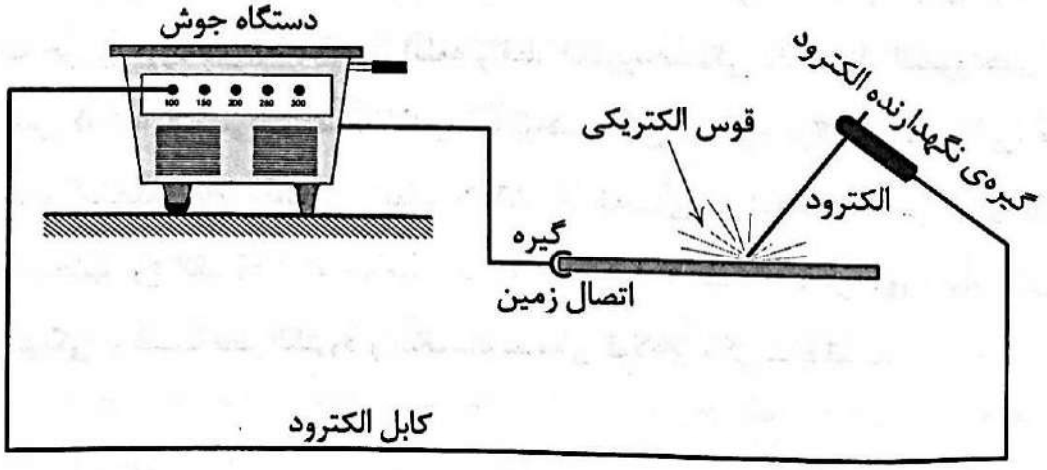
۲ـ۲ـ۱ جوش گازی[1]

برای جوشکاری توسط گاز از اکسیژن O_2 و استیلن C_2H_2 با نسبت مساوی استفاده می‌شود. این نوع جوشکاری را جوش کاربید نیز می‌نامند که در کارگاه‌های کوچک جهت تعمیرات جزیی و اتصال ورق‌های نازک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جوشکاری گازی از سیم جوش به عنوان ماده‌ی جوش استفاده کرده و گازها تحت فشار به مشعل جوش هدایت و با هم مخلوط شده سپس در نازل مشعل با دمای حدود ۳۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد شعله‌ور می‌شوند تا عملیات جوشکاری انجام شود.

۲ـ۲ـ۲ جوشکاری توسط قوس الکتریکی[2]

قوس الکتریکی منبع حرارتی مناسبی برای فرآیندهای جوشکاری است و می‌توان آن را با شدت حرارت زیاد تولید کرد. تخلیه‌ی بار الکتریکی بین دو قطب اتصال در میان گاز یونیزه شده، قوس الکتریکی نامیده می‌شود. از نظر جوشکاری دو نوع قوس الکتریکی برحسب ذوب الکترود (میله‌ی جوش) و یا عدم ذوب آن وجود دارد. چنان‌چه الکترود از جنس کربن یا تنگستن باشد هنگام ایجاد قوس الکتریکی، الکترود ذوب نشده و قوس یا الکترود را غیرمصرفی می‌نامند. اگر الکترود از جنس فلز با نقطه ذوب پائین‌تر باشد همزمان با ایجاد قوس الکتریکی انتهای الکترود ذوب شده و قطرات فلز مذاب می‌توانند از الکترود جدا شوند.

یک مدل ساده از اصول کار جوش قوس الکتریکی در شکل ۲-۱ رسم شده است.



شکل ۲ ـ ۱ ـ مدار جوش قوس الکتریکی

1- Gas Welding
2- Arc Welding

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

ماشین جوش می‌تواند جریان الکتریکی لازم را برای ایجاد قوس فراهم کند. این جریان ممکن است متناوب (A.C) و یا مستقیم (D.C) باشد. در اوایل چون با جریان متناوب مشکل عدم پایداری قوس به وجود می‌آمد تنها از جریان مستقیم برای ایجاد قوس الکتریکی استفاده می‌شد. این مشکل اکنون با افزودن ترکیبات مناسب در پوشش الکترود برطرف گردیده است. بدین ترتیب هر دو نوع منبع قدرت برای تولید جریان الکتریکی امکان‌پذیر است، لیکن برحسب امکانات و شرایط موجود یکی از این دو نوع جریان الکتریکی انتخاب می‌شود. در هر دو نوع مولد قدرت باید تدابیری اتخاذ شود تا جریان الکتریکی موجود در قوس در حین جوشکاری قابل کنترل باشد. در دستگاه‌های جوشکاری متناوب، جریان معمولاً از یک ترانسفورماتور تک‌فازی قابل تنظیم فراهم می‌شود و توسط یک مدار جریان بسته و یک رئوستا این عمل انجام می‌گیرد در حالی که جریان مستقیم توسط ترانسفورماتور یک سوکننده و یا ژنراتور ایجاد می‌شود. انواع دستگاه‌ها با مولدهای جوش در بازار موجوداند که مدرن‌ترین آن‌ها می‌توانند هر دو جریان متناوب و مستقیم را در دامنه‌ی وسیعی از ولتاژ و آمپر تأمین کنند. جوشکاری تحت ولتاژی کمتر از ولتاژ برق شهر و در محدوده‌ی ۲۰ تا ۴۰ ولت و شدت جریانی بیشتر از برق شهر و در محدوده‌ی ۶۰ تا ۴۰۰ آمپر انجام می‌گیرد.

چون میزان حرارت ایجاد شده با توان دوم شدت جریان رابطه‌ی مستقیم دارد، قوس الکتریکی که با شدت جریان زیاد تولید می‌شود قادر خواهد بود حرارت لازم را برای ذوب فولاد تأمین کند. درجه حرارتی را که در قوس الکتریکی به وجود می‌آید، حدود ۵۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و درجه حرارت فولاد در نزدیکی قوس الکتریکی را حدود ۱۹۵۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری کرده‌اند.

شدت جریان مورد نیاز به ضخامت قطعه و قطر الکترود بستگی دارد. قطر الکترودهای موجود در بازار بین ۲/۵ تا ۸ میلی‌متر است. الکترودها برحسب نوع پوشش، ترکیبات شیمیایی، مقاومت آن‌ها، مطابق استانداردهای جوشکاری نظیر AWS [1] طبقه‌بندی می‌شوند. در بخش بعدی نکاتی در در مورد انتخاب نوع الکترود ارائه خواهد شد. در جدول ۲-۱ شدت جریان مورد نیاز برای ایجاد قوس الکتریکی برحسب قطر الکترود و ضخامت قطعه‌ی فولادی ذکر شده است.

1- American Welding Society

جدول ۲ ـ ۱ـ شدت جریان لازم برحسب قطر الکترود و ضخامت قطعه فولادی

قطر الکترود (mm)	ضخامت قطعه (mm)	شدت جریان (A)
۲/۵ -۳/۲۵	۲-۴	۶۰-۱۰۰
۳/۲۵-۴	۴-۶	۱۰۰-۱۵۰
۴-۵	۶-۱۰	۱۵۰-۲۰۰
۵-۸	۱۰<	۲۰۰-۴۰۰

۲ ـ ۳ فرآیندهای جوشکاری قوس الکتریکی با محافظت سرباره[1]

فرآیندهای مهم جوشکاری در این گروه، که قوس الکتریکی تأمین‌کننده‌ی حرارت برای ذوب و سرباره وظیفه‌ی حفاظت و تمیز نگه‌داشتن مذاب جوش در موضع اتصال را بر عهده دارد، قرار می‌گیرند. یکی از مهم‌ترین فرآیندها در این گروه جوشکاری با الکترود یا قوس الکتریکی دستی[2] است.

۲ ـ ۳ ـ ۱ جوش قوس الکتریکی با الکترود روکش‌دار[3] (SMAW)

جوشکاری قوسی توسط الکترود کربن در سال ۱۸۸۱ شروع و پس از آن در سال ۱۸۸۸ توسط میله‌ی فولادی ادامه یافت. جوش حاصل به علت ورود ناخالصی‌هایی نظیر اکسیژن و ازت دارای کیفیت و خواص نامناسبی بود. در فاصله بین دو جنگ جهانی اول و دوم پیشرفت‌هایی درخصوص تولید الکترودهای مناسب جوشکاری حاصل شد. پس از پایان جنگ جهانی دوم و در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ از صده‌ی بیستم (۲۰) میلادی این پیشرفت‌ها چشمگیر شد و تاکنون ادامه دارد. جوش قوس الکتریکی با الکترود روکش‌دار یکی از ساده‌ترین، متداول‌ترین و به عبارتی کارآمدترین روش‌هایی است که برای جوشکاری در سازه‌های فولادی متعارف از آن استفاده می‌شود. این روش به نام جوشکاری با الکترود دستی نیز نامیده می‌شود. این روش جوشکاری با ذوب فلز پایه، فلز الکترود و روکش آن همراه است و فلز الکترود به عنوان یک ماده‌ی پرکننده عمل می‌کند.

در موقع برقراری قوس الکتریکی و ذوب شدن فلز مبنا و الکترود، قسمتی از پوشش الکترود به گاز محافظ و بخشی دیگر به گل یا سرباره تبدیل می‌شود. روکش الکترود مخلوطی گل‌مانند از

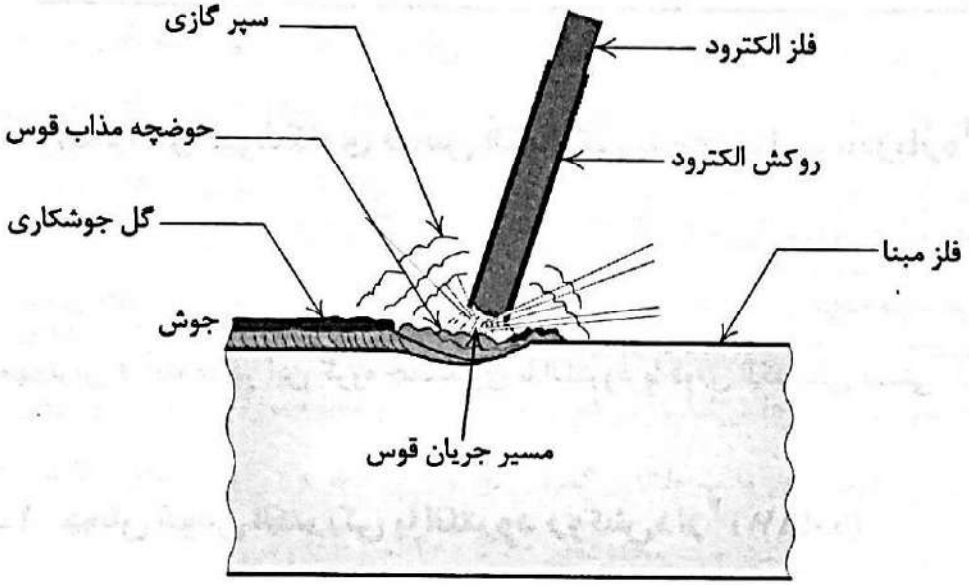
1- Flux Shielded Arc Welding
2- Manual Metal Arc Welding (M.M.A.W)
3- Shielded Metal Arc Welding (S.M.A.W)

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

سیلیکات‌های سخت‌کننده مانند فلورایدها، کربنات‌ها، اکسیدها، آلیاژهای فلزی و سلولز است که در بخش بعد نقش روکش الکترود و نیز انواع آن برحسب نوع پوشش شرح داده می‌شود.

شکل ۲-۲ انجام عملیات جوشکاری دستی با الکترود روکش‌دار را که همراه با ایجاد حوضچه مذاب قوس و حفاظت گازی است نشان می‌دهد.



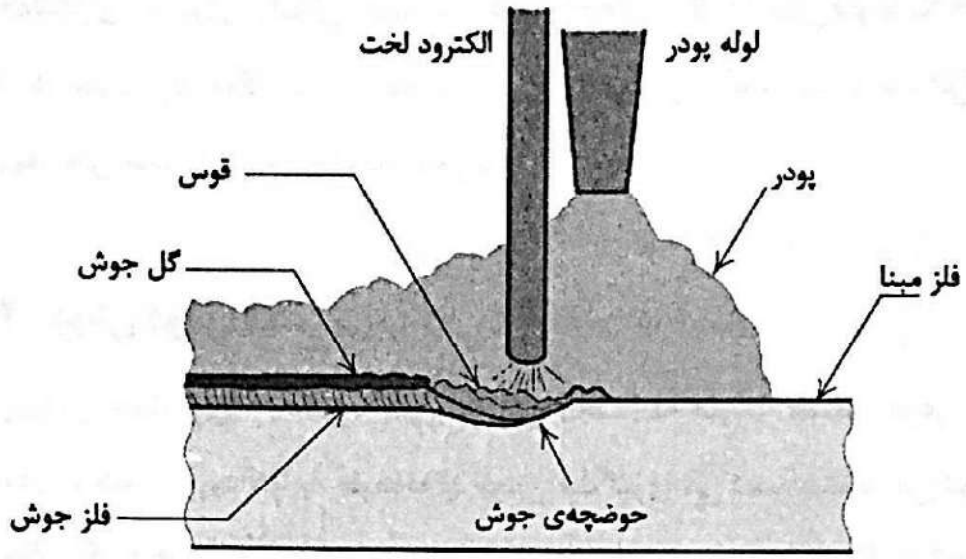
شکل ۲ ـ ۲ ـ جوشکاری با الکترود روکش‌دار

۲ ـ ۳ ـ ۲ جوش قوس الکتریکی زیرپودری[1] (SAW)

در این روش جوشکاری از الکترود بدون روکش (لخت) و پودر به عنوان ماده‌ی محافظ استفاده می‌شود. این روش ماشینی بوده و ماده‌ی حفاظت‌کننده به صورت یک نوار پودری روی درز جوش ریخته می‌شود و قوس الکتریکی توسط الکترود لخت در زیر این پودر واقع می‌شود و در حین جوشکاری دیده نمی‌شود. شکل ۲-۳ جوش قوس الکتریکی به کمک پودر را نشان می‌دهد.

در شکل ۲-۳ فلز الکترود با جریان برق و ایجاد قوس الکتریکی ذوب شده و عمل جوش انجام می‌شود. در این نوع جوشکاری پودر موجب پایداری و تثبیت قوس الکتریکی شده و حوضچه‌ی جوش را در مقابل هوا محافظت می‌کند. پودر به عنوان سرباره، جوش انجام یافته را در مقابل سردشدن سریع محافظت می‌کند.

1- Submerged Arc Welding



شکل ۲ ـ ۳ ـ مراحل جوش قوس الکتریکی به کمک پودر

پودر جوش باید کاملاً خشک بوده و در اثر دما ذوب شده و بر روی جوش یک لایه گل جوش (سرباره) ایجاد کند. پودر مصرف نشده خشک گردیده و مجدداً مصرف می‌شود. در این نوع جوشکاری در واقع پودر نقش روکش در الکترود را ایفا می‌کند و باعث می‌شود عملیات جوشکاری بدون پراکندگی، جرقه زدن و یا ایجاد دود، کامل شود. پودر علاوه بر محافظت حوضچه‌ی مذاب در برابر گازهای هوا، ترکیبات شیمیایی فلز جوش را بهبود داده و به تمیزی فلز جوش کمک می‌کند.

پودرهای جوش در ابتدا ترکیباتی نظیر اکومناسیلیکات منگنز، کلسیم و منیزیم بود که نسبت اکسید منگنز و سیلیسیم به عنوان مشخصه‌ی پودر معرفی می‌شد. به تدریج انواع دیگر پودر که دارای مواد قلیایی بیشتر نظیر اکسید کلسیم هستند تولید و مورد مصرف قرار گرفتند. پایداری قوس‌الکتریکی با افزودن کمی اکسید تیتانیم بهبود می‌یابد و برای اکسیژن‌زدایی بیشتر و چسبندگی مناسب‌تر، عناصر و ترکیبات خاصی را می‌توان به پودر اضافه کرد.

مشخصات مکانیکی جوش‌هایی که به روش قوس الکتریکی زیر پودری انجام می‌شوند عموماً به همان خوبی فلز پایه هستند و به طور معمول این جوش‌ها یکپارچه بوده و از کیفیت بالایی برخوردارند. شکل‌پذیری مناسب، مقاومت زیاد در مقابل ضربه، تراکم‌پذیری و مقاوم‌بودن در مقابل عوامل‌خورنده از مزایای این نوع جوش است.

جوش زیرپودری برای جوش‌های طویل و ورق‌های ضخیم مناسب است. در حالی که در روش قوس الکتریکی با الکترود روکش‌دار ضخامت جوش در هر پاس (مرحله) حدود ۳ تا ۵ میلی‌متر

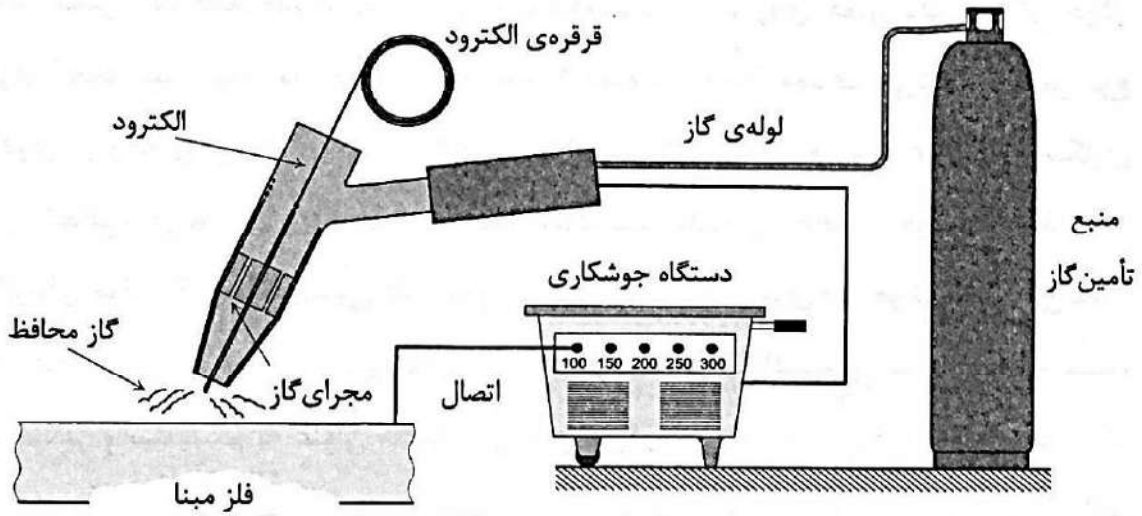
Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

است، در جوشکاری زیر پودری امکان جوش ورق‌های با ضخامت تا ۱۵ میلی‌متر با یک عبور جوش وجود دارد. در جوشکاری فولاد در کارخانه و نیز برای جوشکاری اتوماتیک و ماشینی معمولاً از جوشکاری به روش قوس زیر پودری استفاده می‌شود.

۲ـ۳ـ۳ جوش قوس الکتریکی با گاز محافظ[1] (GMAW)

در این روش جوشکاری از الکترود بدون پوشش (لخت) به صورت ممتد و نوعی گاز که به عنوان ماده‌ی محافظ از ورود هوا به حوضچه‌ی جوش جلوگیری می‌کند، استفاده می‌شود. الکترود سیمی از میان یک قرقره عبور کرده و هدایت آن همراه با گاز محافظ توسط یک تپانچه‌ی جوش انجام می‌گیرد (شکل ۲-۴).



شکل ۲ـ۴ـ جوش قوسی با گاز محافظ و الکترود فلزی

گاز به صورت غیرفعال در این روش با ایجاد سپری محافظ حفاظت حوضچه‌ی جوش را انجام می‌دهد. به طور معمول گازهای مرکب به تنهایی برای این روش جوشکاری مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و تنها استفاده از گاز دی اکسید کربن CO_2 به تنهایی و یا مخلوط با دیگر گازهای غیرفعال به طور گسترده در این نوع جوشکاری رایج است. گاز محافظ باید مطابق آئین‌نامه‌های مربوطه انتخاب شود. هیچ گل جوشی توسط گاز محافظ در محل جوش باقی نمی‌ماند.

1- Gas Metal Arc Welding

انجام جوش توسط گاز محافظ به دلیل نیاز به تجهیزات و گاز معمولاً در کارخانه‌ها میسر است. این نوع جوشکاری در محوطه‌ی کارگاه به دلیل وجود جریان باد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

۲ـ۳ـ٤ جوش قوس الکتریکی با الکترود توپودری[1] (FCAW)

در این روش جوشکاری، به جای الکترود روکش‌دار از الکترود ممتد فلزی لوله‌ای شکل که مواد حفاظتی را در داخل خود جای می‌دهد، استفاده می‌شود. مواد حفاظتی همان نقش روکش در روش جوش قوس الکتریکی با الکترود روکش‌دار و یا پودر در روش جوش زیر پودری را ایفا می‌کنند.

چون برای مفتول‌های قرقره پیچ، حفظ روکش بر روی سیم امکان ندارد از این سپر گازی که به وسیله‌ی پودر مغزی تأمین می‌شود برای محافظت از جوش استفاده شده و حفاظت بیشتر اغلب توسط گاز CO_2 انجام می‌شود.

۲ـ۳ـ۵ جوشکاری گاز الکتریکی[2] (EGW)

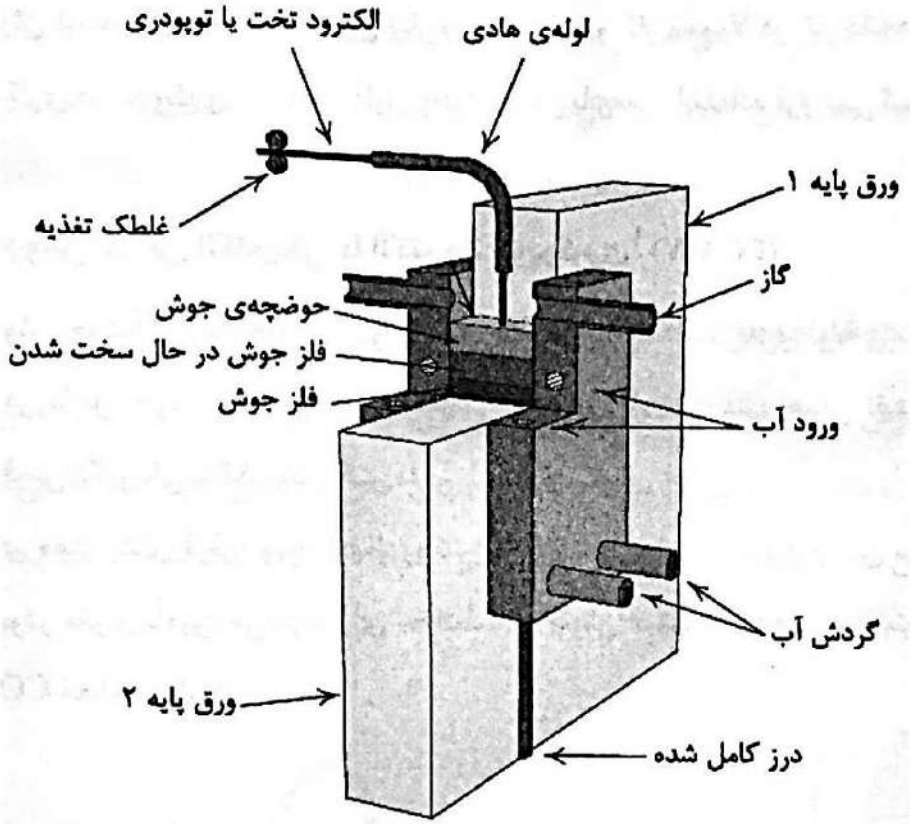
در جوشکاری با گاز الکتریکی می‌توان درزهای با وضعیت قائم در ورق‌های ضخیم را با یک عبور جوش پر کرد. جوشکاری گاز الکتریکی یک روش اتوماتیک جوشکاری است و در آن، هم از الکترود ممتد لخت و هم از الکترود توپودری استفاده شده و با دمیدن گاز و یا استفاده از الکترود توپودری، جوش محافظت می‌شود. در این روش شیار جوش از دو طرف توسط دو کفشک که به وسیله‌ی جریان آب، خنک نگه‌داری می‌شود، احاطه می‌گردد. با ادامه‌ی مراحل جوشکاری کفشک‌ها به سمت بالا حرکت کرده و در نتیجه حوضچه‌ی مذاب از دو طرف به طور کامل محصور شده و از ریزش آن جلوگیری می‌شود.

در شکل ۲- ۵ اساس کار جوشکاری به وسیله‌ی گاز الکتریکی نشان داده شده است.

1- Flux-Cored Arc Welding
2- Electrogas Welding

Scanned with CamScanner

anned with CamScanner



شکل ۲ ـ ۵ ـ اساس کار جوشکاری به وسیله‌ی گاز الکتریکی

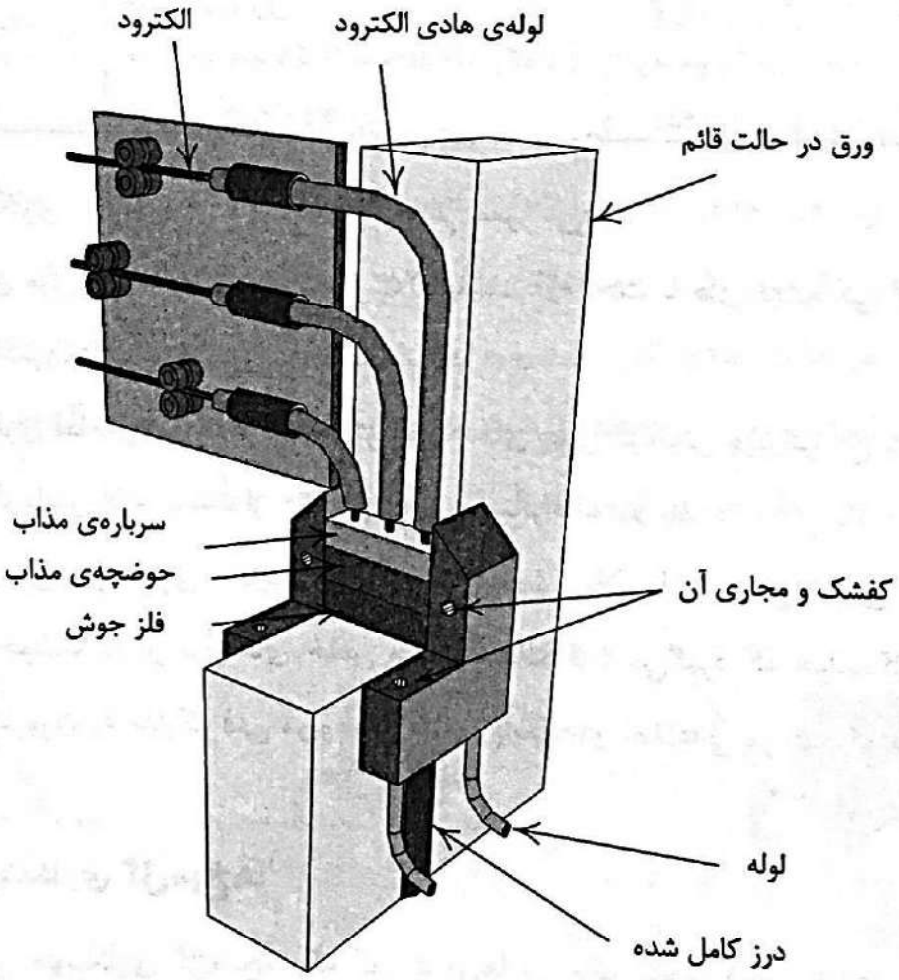
۲ ـ ۳ ـ ۶ جوشکاری سرباره‌ی الکتریکی[1] (ESW)

در این روش، جوشکاری توسط حرارت حاصل از مقاومت سرباره‌ی جوش در مقابل جریان الکتریکی انجام می‌گیرد. سرباره‌ی مذاب علاوه بر حفاظت جوش موجب ذوب مفتول و لبه‌های ورق می‌شود. چون سرباره در حالت جامد هادی الکتریسیته نیست، در نتیجه برای شروع جوشکاری به حرارت قوس الکتریکی برای ذوب سرباره نیاز است. لیکن با توجه به اینکه مراحل اصلی جوشکاری توسط حرارت حاصل از مقاومت سرباره در برابر جریان الکتریکی صورت می‌گیرد، این جوش در طبقه‌بندی جوش قوس الکتریکی قرار نمی‌گیرد.

چون سرعت پیشروی جوشکاری در این روش کم است، نوار جوش حاصل بافت درشتی دارد و در نتیجه طاقت نمونه‌ی زخم‌دار آن کم است. این نوع جوشکاری برای صفحات ضخیم توجیه اقتصادی دارد و با آن می‌توان ورق‌هایی از ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر تا ۴۵ سانتی‌متر را جوش داد. شکل ۲-۶ اساس کار جوشکاری توسط سرباره‌ی الکتریکی را نشان می‌دهد.

1- Electro Slag Welding

آئین‌نامه‌ی جوشکاری ساختمانی ایران، نشریه‌ی شماره‌ی ۲۲۸ از انتشارات دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به منظور جلوگیری از وقوع ترک، حداقل مقدار پیش‌گرمایش و درجه حرارت عبورهای میانی لازم را به استثنای جوشکاری گل‌میخ‌ها به کمک تفنگ مخصوص، جوشکاری گاز الکتریکی و جوشکاری سرباره‌ی الکتریکی، برحسب نوع فولاد و روش جوشکاری توصیه نموده که در جدول ۲-۲ ملاحظه می‌کنید. طبق نشریه‌ی شماره‌ی ۲۲۸ مقادیر مندرج در جدول ۲-۲ در اکثر حالات برای جلوگیری از وقوع ترک کافی است، لیکن در وضعیت‌هایی نظیر گیرداری زیاد، هیدروژن زیاد، حرارت ورودی جوشکاری کم و قرارگرفتن ترکیبات فازی در مرز دانه‌های فولاد که منجر به ساختارهایی با سختی بالا می‌شود، باید دمای پیش گرمایش را افزایش داد.



شکل ۲ ـ ۶ ـ اساس کار جوشکاری توسط سرباره‌ی الکتریکی

Scanned with CamScanner

جدول ۲ ـ ۲ ـ حداقل پیش گرمایش و درجه‌ی حرارت لازم

طبقه	نوع فولاد	روش جوشکاری	مشخصات ورق	
			حداقل ضخامت ورق (mm)	حداقل درجه‌ی حرارت ورق (سانتیگراد)
A	St37 St52	جوش دستی با الکترود روکش‌دار (غیر از الکترودهای کم هیدروژن)	≤ ۲۰	۲۰
			۲۰ < t ≤ ۴۰	۶۵
			۴۰ < t ≤ ۶۵	۱۱۰
			t > ۶۵	۱۵۰
B	St37 St52	جوش دستی با الکترودهای روکش‌دار کم هیدروژن جوش زیرپودری جوش تحت‌حفاظ گاز (الکترودفلزی‌یا تنگستن) جوش با الکترود توپودری	≤ ۲۰	۰
			۲۰ < t ≤ ۴۰	۱۰
			۴۰ < t ≤ ۶۵	۶۵
			t > ۶۵	۱۱۰
C	$F_y \geq ۴۰۰ N/mm^۲$	جوش دستی با الکترود روکش‌دار کم هیدروژن جوش زیرپودری جوش تحت‌حفاظ گاز (الکترودفلزی‌یا تنگستن) جوش با الکترود توپودری	≤ ۲۰	۱۰
			۲۰ < t ≤ ۴۰	۶۵
			۴۰ < t ≤ ۶۵	۱۱۰
			t > ۶۵	۱۵۰

آئین‌نامه‌ی جوشکاری موارد زیر را جهت پیش‌گرمایش مقرر می‌دارد:

۱- در جوشکاری ورق‌ها با ضخامت بزرگتر از ۲۵ میلیمتر که تحت بارهای دینامیکی قرار دارند، فقط باید از الکترودهای کم هیدروژن استفاده نمود.

۲- هر قدر گیرداری قطعه‌ی مورد جوش بیشتر باشد، دمای پیش گرمایش باید افزایش یابد.

۳- دمای پیش گرمایش لازم نیست از ۲۳۰ درجه‌ی سانتیگراد بیشتر باشد.

امروزه روش‌های جوشکاری جدیدی مانند روش جوش پلاسما و جوش لیزری به عنوان روش‌های نوین جوشکاری در سازه‌های خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد که خوانندگان محترم می‌توانند بنا به ضرورت به مدارک فنی مربوطه از طریق پایگاه‌های اطلاعاتی مراجعه کنند.

۲ ـ ۳ ـ ۷ جوشکاری گل‌میخ‌ها[1]

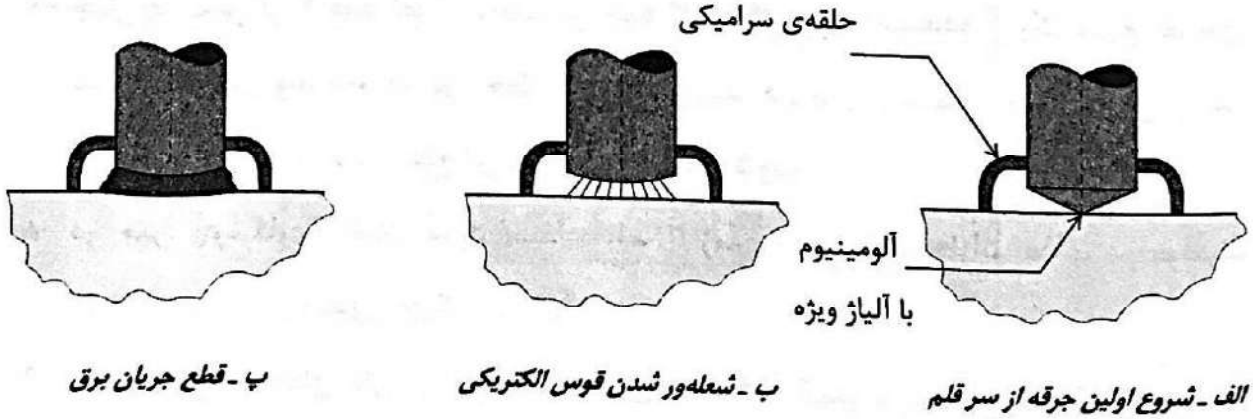
در این بخش جوشکاری گل‌میخ‌ها که کاربرد آن‌ها در جلد پنجم کتاب طراحی سازه‌های فولادی بیان شد به صورت خاص ارائه می‌شود.

1- Studs Welding

گل‌میخ‌ها از رایج‌ترین برش‌گیرها در ساخت تیرهای مرکب، متشکل از نیمرخ‌های فولادی و دال بتنی هستند. گل‌میخ‌ها توسط یک تفنگ مخصوص یا به وسیله‌ی جوش به بال تیرآهن متصل می‌شوند و علاوه بر انتقال برش موجود بین تیر فولادی و دال بتنی نقش مهمی در حفظ یکپارچگی و نیز ممانعت از بلند شدن دال بتنی از روی تیر فولادی ایفا می‌کنند.

روش متداول برای جوش گل‌میخ‌ها به بال تیر یا فلز، جوش قوس گل‌میخ است. گل‌میخ نقش الکترود را در جوشکاری قوسی با الکترود ایفا کرده و در نتیجه قوس الکتریکی بین پایه‌ی گل‌میخ و بال به وجود می‌آید. امتزاج پایه‌ی گل‌میخ و بال تیر توسط حرارت ناشی از قوس الکتریکی حاصل می‌شود. برای کنترل عملیات جوشکاری و حرارت حاصل، گل‌میخ درون یک تفنگ مخصوص قرار گرفته و برای حفاظت حوضچه‌ی مذاب از حلقه‌ی سرامیکی در پای گل‌میخ استفاده می‌شود. شکل ۲-۷ طرز جوشکاری گل‌میخ را نشان می‌دهد.

برای جوشکاری گل‌میخ، آن را داخل یک تفنگ مخصوص قرار داده و جریان برق را برقرار می‌کنند. با کشیدن جزیی قلم به سمت بیرون، قوس الکتریکی ایجاد شده و باعث ذوب هر دو قطعه می‌شود. حوضچه‌ی مذاب در داخل حلقه‌ی سرامیکی تشکیل می‌شود. بعد از لحظه‌ای کوتاه تفنگ حاوی گل‌میخ را بر حوضچه‌ی مذاب فرو می‌کنند تا مقداری از فلز مذاب به صورت ماهیچه‌ای در اطراف تنه‌ی گل‌میخ بیرون زند. پس از فشردن گل‌میخ به حوضچه‌ی جوش عمل جوشکاری انجام و تفنگ برداشته می‌شود. با این عمل و در مدت بسیار کوتاهی، جوش ذوبی با نفوذ کامل بین سطح مقطع گل‌میخ و بال تیر آهن به وجود می‌آید.



شکل ۲ ـ ۷ ـ جوشکاری گل میخ

Scanned with CamScanner

anned with CamScanner

هر چند نکات اجرایی در عملیات جوشکاری و نیز انواع جوش و محدودیت‌های ابعاد آنان در بخش‌های بعدی این فصل ارائه خواهد شد، لیکن برای تکمیل بحث جوشکاری گل‌میخ‌ها، ضوابط اجرایی مندرج در نشریه‌ی ۲۲۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی در این مورد جهت اطلاع خوانندگان ذکر می‌شود.

برای جوشکاری به کمک تپانچه‌ی جوش رعایت نکات اجرایی زیر ضروری است:

۱- در حین جوشکاری، گل‌میخ‌ها باید عاری از هرگونه زنگ، زخم ناشی از زنگ‌زدگی پوسته، چربی، رطوبت و مواد مضر دیگر باشند.

۲- رنگ‌آمیزی، گالوانیزه کردن و اندود کادمیم پایه‌ی گل‌میخ قبل از جوشکاری مجاز نیست.

۳- سطح عضوی که گل‌میخ‌ها به آن جوش می‌شوند باید با برس سیمی و یا هر وسیله‌ی دیگری عاری از هرگونه فلس، رنگ و رطوبت گردد. این‌گونه مواد مضر مانع از انجام جوش مطمئن و خوب می‌شوند.

۴- حفاظ قوسی یا حلقه‌ی سرامیکی حفاظ جوشکاری باید به طور کامل خشک باشد. در صورت مرطوب بودن حلقه‌ی سرامیکی باید آن را قبل از استفاده به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داد تا به طور کامل خشک شود.

۵- حلقه‌ی سرامیکی برای گل‌میخ‌های مدفون در بتن باید شکسته و برداشته شود.

۶- پس از اتمام عملیات جوشکاری، گل‌میخ‌ها باید عاری از هرگونه پیوستگی یا مواد مضری باشند که مانع از عملکرد مورد انتظار آن‌ها خواهد شد. لیکن عدم ذوب در ناحیه‌ی پاشش و شکاف‌های کوچک قابل پذیرش است.

۷- چنان‌چه بیش از ۲ عدد تفنگ مخصوص جوشکاری گل‌میخ با استفاده از یک منبع تغذیه‌ی نیرو به کار می‌روند باید در هر لحظه تنها یک وسیله در جریان عملیات باشد و قبل از آغاز جوشکاری با تفنگ دیگر، منبع انرژی باید از نو آماده شود.

۸- در حین جوشکاری، تفنگ مورد استفاده باید تا زمان سفت شدن فلزات مذاب در موقعیت اولیه‌ی جوشکاری و بدون حرکت نگاه داشته شود.

۹- در شرایطی که دمای فلز پایه از ۱۸- درجه‌ی سانتیگراد کمتر و یا سطح جوشکاری مرطوب است باید از انجام جوشکاری خودداری نمود.

برای جوشکاری گل‌میخ‌ها توسط یکی از روش‌های جوشکاری قوسی با الکترود روکش‌دار، الکترود توپودری و یا با الکترود فلزی تحت حفاظ گاز، رعایت نکات اجرایی زیر ضروری است،

۱- سطوح جوش و مجاور آن باید عاری از هرگونه فلس، گل‌جوش، زنگ‌زدگی، رطوبت، چربی و دیگر مواد مضر باشند.

۲- انتهای گل‌میخ در انجام جوش گوشه باید تمیز باشد.

۳- در انجام جوش گوشه، انتهای گل‌میخ باید دقیقاً مقابل فلز پایه قرار گیرد.

۴- گل‌میخ‌های با قطر ۸ میلی‌متر و بزرگ‌تر باید دارای روکش مناسب به منظور پایداری قوس و جلوگیری از اکسیداسیون در حین جوشکاری باشند. گل‌میخ‌های با قطر کمتر از ۸ میلی‌متر می‌توانند روکش نداشته باشند.

۵- هر گل‌میخ باید دارای یک حلقه‌ی محافظ حرارت از جنس سرامیک یا مصالح مناسب دیگر باشد.

۶- فلز پایه که گل‌میخ‌ها به آن جوش می‌شوند، باید مطابق ضوابط جدول ۲-۲ پیش‌گرم شود.

۷- در جوشکاری گل‌میخ به روش قوس با الکترود روکش‌دار باید از الکترودهای کم هیدروژن با قطر ۴ یا ۵ میلی‌متر استفاده نمود. استفاده از الکترودهای کوچک‌تر برای گل‌میخ‌های با قطر کمتر از ۱۲ میلی‌متر و در وضعیت‌های غیرمتعارف امکان‌پذیر است.

۸- در هنگام جوش گوشه، حداقل بعد جوش گوشه برای گل‌میخ‌های با قطر کوچک باید مطابق جدول ۲-۳ باشد.

جدول ۲ ـ ۳ ـ حداقل بعد جوش گوشه برای گل‌میخ‌های با قطر کوچک

حداقل بعدجوش گوشه (mm)	قطر گل میخ (mm)
۵	۶ـ۱۱
۶	۱۳
۸	۱۶ـ۲۲
۱۰	۲۶

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

۲ـ٤ انواع الکترود و نحوه‌ی انتخاب آن‌ها

انتخاب الکترود تا حدودی بستگی به نوع شدت جریانی دارد که برای مصرف قابل دسترسی است. پس از پیدایش فن جوشکاری به این نکته پی برده شده بود که میله‌ی فلزی که برای انجام جوشکاری به کار می‌رود باید توسط موادی پوشیده شود تا پایداری قوس الکتریکی بهتر و همچنین جوش با کیفیت مناسب‌تری را تولید کند. ایجاد لایه‌ی نازک آهک بر روی سطح میله‌ی فلزی به طور قابل ملاحظه‌ای خواص قوس را بهبود بخشید. در سال ۱۹۵۶ کیلبرگ[1] اولین الکترود پوشش‌دار را معرفی کرد و نشان داد که پوشش علاوه بر پایدار کردن قوس اثرات مثبت دیگری هم دارد. امروزه با پیشرفت فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود دستی، انواع الکترودهای کوتاه روپوش‌دار که مصرف گسترده‌ای دارند، تولید می‌شود که با انواع اولیه آن قابل مقایسه نیست.

پوشش الکترودها دارای چندین نقش اساسی و خصوصیات ویژه به شرح زیر هستند:

۱- پوشش باید پایدارکننده‌ی قوس الکتریکی باشد. این عمل با ایجاد سپر گازی و جدا کردن هوا انجام و موجب تثبیت قوس می‌شود.

۲- پوشش، یک فضای گازی و لایه‌ی سرباره‌ای را به گونه‌ای به وجود می‌آورد که قوس و حوضچه‌ی مذاب جوش را از ناخالصی‌ها و تماس با آتمسفر حفظ می‌کند و مانع سرد شدن سریع جوش می‌شود.

۳- واکنش‌های سرباره ـ مذاب فلز ـ گاز را انجام می‌دهد و با وارد کردن احیاکننده‌ها در فلز جوش باعث بهبود بافت ساختمانی جوش می‌شود.

۴- سرباره باید دارای خواص فیزیکی نظیر چسبندگی، کشش سطحی و .... باشد تا شکل گرده‌ی جوش دارای برآمدگی و صافی مورد نظر باشد.

۵- پس از کنترل سرعت سرد شدن جوش و پس از انجماد آن، سرباره که به گل جوش نیز موسوم است به راحتی از سطح جوش جدا می‌شود. کیفیت الکترودها را معمولاً توسط نرخ فلزی که رسوب می‌دهد، خواص مکانیکی جوش حاصل، هزینه‌ی واحد حجم، وزن فلز رسوب داده شده و آسانی کاربرد آن توسط جوشکار می‌سنجند. در پوشش الکترود مصرفی برای جوشکاری فولاد معمولی، عناصری از قبیل سلولز، بعضی کانی‌ها نظیر اکسید تیتانیم، سنگ آهک، فروسیلیسیم، فرومنگنز، سیلیکات‌های سدیم و پتاسیم به کار می‌روند. پودر آهن نیز در الکترودهای مدرن به مقادیر مختلف ۵ تا ۵۰ درصد در پوشش اضافه می‌شود.

1- Kyellberg

۲ـ٤ـ۱ انواع الکترود برحسب نوع پوشش

برای مدت‌های طولانی در کشور انگلستان الکترودها را برحسب نوع پوشش آن تقسیم‌بندی می‌کردند. تقسیم‌بندی الکترودها برحسب نوع پوشش به شرح زیر است،

الف ـ الکترود سلولزی

پوشش این نوع الکترود از مقدار زیادی سلولز تشکیل شده که در اثر سوختن آن مقدار زیادی هیدروژن جهت محافظت قوس و حوضچه‌ی جوش از آتمسفر تولید می‌شود. حضور گاز هیدروژن در قوس الکتریکی با قدرت یونیزه شدن زیاد، ایجاد ولتاژ بالا در قوس کرده و در نتیجه موجب افزایش انرژی تولید شده گردیده که خود موجب نرخ بالای سوختن و عمق نفوذ مناسب برای جوش می‌شود.

ب ـ الکترود رتیلی

اکسید تیتانیم به صورت طبیعی آن «رتیلی» پوشش اصلی این نوع الکترود است. وجود رتیل و عناصر یونیزه کننده در پوشش الکترود استفاده از آن را آسان کرده و نفوذ متوسط همراه با قوس ملایم و آرام را به همراه خواهد داشت. الکترودهای رتیلی اسیدی دارای خواص مکانیکی مناسب بوده و نفوذ جوش را افزایش می‌دهند. استفاده از این نوع الکترود، قطره‌های جوش را ریزتر کرده و در نتیجه سطح جوش را صاف و پل‌زنی بر روی درز را آسان‌تر می‌کند. الکترودهای رتیلی اسیدی برای جوشکاری عادی در محل‌های نامناسب و جلوگیری از ترک‌خوردگی در حالت گرم به کار می‌روند. الکترودهای رتیلی بازی برای جوشکاری فولادهای مقاوم (با کربن زیاد) و اتصالات با صلبیت زیاد ورق‌های ضخیم مورد استفاده قرار می‌گیرند و خاصیت شکل‌پذیری جوش آن‌ها مناسب بوده و جوش حاصل به صورت قوس گنبدی است. به علت وجود رتیل و عناصر یونیزه‌کننده در پوشش الکترود، این گروه الکترود را می‌توان با جریان متناوب هم به کار برد.

پ ـ الکترود اسیدی

پوشش این نوع الکترودها شامل اکسیدها و کربنات‌های منگنز و آهن و مقداری سیلیسیم است. این پوشش تولید یک سرباره‌ی حجیم و روان کرده و در نتیجه جوش آن دارای ظاهری صاف و تمیز می‌باشد. سرباره‌ی به راحتی از روی جوش جدا شده و از ایجاد ذرات سرباره‌ی حبس شده در جوش‌های با چند پاس می‌کاهد. با این نوع الکترود می‌توان از جریان متناوب و مستقیم استفاده کرد.

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

ت ـ الکترود بازی

الکترود بازی از نظر متالورژیکی مهم‌ترین نوع الکترود است و پوشش آن دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای کربنات کلسیم و فلورید و آهک می‌باشد. به علت میزان رطوبت ناچیز در پوشش الکترود، جوش حاصل دارای حداقل مقدار هیدروژن نسبت به سایر الکترودها است. این نوع الکترود به دلیل تولید فلز جوش با هیدروژن کم برای جوشکاری فولادهای کم آلیاژی که در مقابل ترک‌خوردگی منطقه‌ی مجاور جوش‌حساس هستند بسیار مناسب است. جوش حاصل از الکترودهای بازی دارای مقاومت خوبی در برابر ترک برداشتن گرم بوده و برای فولادهای ضخیم و کربن بالا نیز مناسب است. الکترود بازی شکل‌پذیری جوش را افزایش داده و فلز جوش حاصل دارای خواص مکانیکی خوب در مقابل بارهای ضربه‌ای می‌باشد. استفاده از الکترودهای بازی ممکن است به راحتی سایر الکترودها نباشد، لیکن از آن‌ها می‌توان در تمام وضعیت‌های جریان یکنواخت و متناوب استفاده کرد. چون این نوع الکترود برای جوش با کیفیت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای پائین نگه‌داشتن میزان رطوبت حتی‌الامکان باید آن را در جای خشک نگه‌داری کرد و توصیه می‌شود قبل از استفاده چند ساعتی آن‌ها را به ویژه در مورد جوشکاری فولادهای آلیاژی در اجاق خشک‌کن به مدت ۲ تا ۵ ساعت در دمای ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داد که البته باید به توصیه‌های سازنده‌ی الکترود توجه نمود.

استفاده از الکترودهای مرطوب امکان تردی و ایجاد حباب در داخل جوش را افزایش می‌دهد.

در هرحال لازم است انواع دیگر الکترودها را نیزدر محل‌های خشک که در آن هوا جریان دارد نگهداری و محل در صورت نیاز باید گرم شود. برای مناطق مرطوب توصیه می‌شود الکترودها در کارتن با روکش پلاستیکی ضخیم، سالم و بدون درز نگه‌داری شده و در صورت لزوم قبل از استفاده به مدت ۳۰ دقیقه و در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد در اجاق خشک‌کن قرار داده شوند.

۲ ـ ٤ ـ ۲ انواع الکترود برحسب مقاومت و نحوه‌ی مصرف

آئین‌نامه‌های ASTM ، AWS ، DIN و ISO و نیز آئین‌نامه‌ی جوشکاری ساختمانی ایران (نشریه‌ی شماره‌ی ۲۲۸) الکترودها را براساس مقاومت و نحوه‌ی مصرف آن‌ها طبقه‌بندی و شماره‌گذاری کرده‌اند.

نحوه‌ی شماره‌گذاری آئین‌نامه‌های ASTM و AWS مشابه یکدیگر بوده و آئین‌نامه‌ی جوشکاری ساختمانی ایران نیز این روش را به کار برده است. در این روش شماره‌گذاری که به صورت Eab xx است، E معرف الکترود قوس الکتریکی است.

عدد دو رقمی ab بیان‌گر مقاومت فلز الکترود برحسب ksi است. هر ksi معادل $۷۰/۳ \ kg/cm^۲$ می‌باشد.

عدد دو رقمی xx نشان‌دهنده‌ی حالت‌های قابل جوشکاری (وضعیت جوشکاری) الکترود و عناصر تشکیل‌دهنده در روکش الکترود و نوع آن می‌باشد. در جدول ۲-۴ نمونه‌هایی از الکترود براساس آئین‌نامه‌ی AWS با ذکر شرایط استفاده و کاربرد ارائه شده است [۱] و [۲].

جدول ۲ ـ ٤ ـ نمونه‌هایی از الکترود براساس AWS با ذکر شرایط استفاده و کاربرد

نوع	کد AWS	نوع جریان	وضعیت جوشکاری	نتایج جوش
فولاد معمولی Mild Steel	E6010	DCR	F,V,OH,H	سریع سرد شده، نفوذ عمیق، جوش تخت همه‌ی موارد جوشکاری
	E6011	DCR,AC		
	E6012	DCS,AC		
	E6015	DER,DCS,AC	F,V,OH,H	به مقدار کافی سرد شده، نفوذ کم،
	E6014	DCS,AC	F,V,OH,H	جوش خوب، حداقل جرقه و ترشح
	E6020	DCR,DCS,AC	F,V,OH,H	
	E6024	DCR,DCS,AC	F,H	نرخ رسوب بالا، شکاف عمیق، تک‌پاس
	E6027	DCR,DCS,AC	F,H	پودر آهن‌دار، نفوذ زیاد، نرخ رسوب بالا
	E7014	DCR,DCS,AC	F,H	پودر آهن‌دار، نفوذ کم، سرعت زیاد
	E7024	DCR,DCS,AC	F,V,OH,H F,H	پودر آهن‌دار، نرخ رسوب بالا، تک‌پاسی و چند پاسی
کم هیدروژن	E6015	DCR	F,V,OH,H	جوشکاری فولادها با گوگرد و کربن بالا که‌تمایل به ایجاد حفره‌های گازی و ترکیدگی زیر خط جوش دارند.
	E6016	DCR,AC	F,V,OH,H	
	E6018	DCR,AC	F,V,OH,H	
	E7016	DCR,AC	F,V,OH,H	
	E7018	DCR,AC	F,V,OH,H	
	E7028	DCR,AC	F,H	
فولادهای زنگ‌نزن	E308-15,16	DC,AC	F,V,OH,H	جوشکاری فولادهای زنگ‌نزن ۳۱۰، ۳۰۲، ۳۰۳، ۳۰۴ و ۳۰۸
	E389-15,16	DC,AC	F,V,OH,H	جوشکاری آلیاژ۳۰۹ در کاربرد درجات خاص
	E310-15,16	DC,AC	F,V,OH,H	جوشکاری فولادهای زنگ‌نزن ۳۱۰، ۳۱۴ جایی که خوردگی بالا و درجات سرویس خاص نیاز است.
	E316-15,16	DC,AC	F,V,OH,H	جوشکاری فولادهای زنگ‌نزن ۳۱۶ و جوش با کیفیت بالا شامل کربن کم برای کاهش انتقال کربن به جوش و خوردگی مرز دانه‌ها
	E347-16,16	DC,AC	F,V,OH,H	برای جوشکاری همه فولادهای زنگ‌نزن
فولادهای کم‌آلیاژی	E7011-Al	DCR,AC	F,V,OH,H	برای جوشکاری فولادهای کربن‌مولیبدن
	E7020-Al	DCR,DCS,AC	F	برای فولادهای کم آلیاژی استحکام بالا برای جوشکاری
	E8018-C3	DCR,AC	F,V,OH,H	فولادهای کم آلیاژی استحکام خیلی بالا
	E10013-G	DOS,AC	F,V,OH,H	
	DCR = جریان یکنواخت قطب معکوس DCS = جریان یکنواخت قطب مستقیم AC = جریان متناوب F = تخت، V = قائم، OH = بالای سر یا سقفی، H = افقی			

Scanned with CamScanner

canned with CamScanner

برای سازه‌های متعارف فولادی در شرایط عادی از الکترودهای پوشش‌دار با مشخصات E6013 برای فولاد St37 و با مشخصات E7024 برای فولاد St52 استفاده می‌شود. مجدداً تأکید می‌شود ترکیبات الکترود مصرفی در جوشکاری باید دارای خواص فلز مبنا باشد. هنگامی که خواص فلز مبنا با جوش هماهنگی داشته باشد اصطلاحاً فلز با جوش «سازگار» نامیده می‌شود. نشریه‌ی شماره‌ی ۲۲۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور مشخصات هندسی و مکانیکی الکترودهای سازگار را برحسب مشخصات فلز پایه به شرح مندرج در جدول ۲-۵ ارائه می‌کند.

جدول ۲ ـ ۵ ـ الکترودهای سازگار و مشخصات آن طبق نشریه‌ی شماره‌ی ۲۲۸ [۳]

گروه	مشخصات فلز پایه	مشخصات الکترود سازگار		
		روش جوشکاری و علامت الکترود	تنش تسلیم kg/cm^2	مقاومت‌نهایی kg/cm^2
۱	فولادهای نرمه در حد St37 F_y = ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ kg/cm^2 F_u = ۳۴۰۰ تا ۴۲۰۰ kg/cm^2	جوش‌قوسی‌دستی با الکترود روکش‌دار (SMAW) E60XX E70XX E70XX-X	۳۴۵۰ ۴۱۵۰ ۳۹۰۰	
		جوش قوسی زیر پودری (SAW) F6XX-EXXX F7XX-EXXX F7XX-EXX-XX	۳۳۰۰ ۴۰۰۰	۴۲۰۰ ـ ۵۵۰۰ ۴۹۰۰ ـ ۶۶۰۰
		جوش قوسی با الکترودهای فلزی و تنگستن تحت حفاظ گاز (GMAW,GTAW) ER70S-X	۴۱۵۰	۴۹۰۰
		جوش قوسی با الکترود توپودری (FCAW) E6XT-X E7XT-X	۳۴۵۰ ۴۱۵۰	۴۲۰۰ ۴۹۰۰
۲	فولادهای پر مقاومت آلیاژدار در حد St52 F_y = ۳۰۰۰ تا ۳۸۰۰ kg/cm^2 F_u = ۴۲۰۰ تا ۴۹۰۰ kg/cm^2	جوش‌قوسی‌دستی با الکترود روکش‌دار (SMAW) E7015,E7016 E7018, E7028 E7015-X, E7016-X E7018-X	۴۱۵۰ ۳۹۰۰	۴۹۰۰ ۴۹۰۰
		جوش قوسی زیرپودری (SAW) F7XX-EXXX یا F7XX-EXX-XX	۴۹۰۰ـ۶۶۰۰	۴۰۰۰

		جوش قوسی با الکترود فلزی و تنگستن تحت حفاظ گاز (GMAW, GTAW) ER70S-X	۴۱۵۰	۴۹۰۰
		جوش قوسی با الکترود مغزه‌دار (FCAW) E7XT-X	۴۱۵۰	۴۹۰۰
۳	فولادهای پر مقاومت F_y = ۳۸۰۰ تا ۴۵۰۰ kg/cm^2 F_u = ۴۹۰۰ تا ۵۶۰۰ kg/cm^2	جوش‌قوسی‌دستی‌با الکترود روکش‌دار (SMAW) E8015-X , E8016-X E8015-X	۴۶۰۰	۵۶۰۰
		جوش قوسی زیر پودری (SAW) F8XX-EXX-XX	۴۷۰۰	۵۶۰۰_۶۹۰۰
		جوش قوسی با الکترود مغزه‌دار (FCAW) E8XTX-X	۴۷۰۰	۵۶۰۰_۶۹۰۰
۴	فولادهای پر مقاومت متوسط F_y = ۴۵۰۰ تا ۵۵۰۰ kg/cm^2 F_u = ۵۶۰۰ تا ۷۰۰۰ kg/cm^2	جوش‌قوسی‌دستی با الکترود روکش‌دار (SMAW) E10015-X,E10016-X E10018-X	۶۰۰۰	۶۹۰۰
		جوش قوسی زیرپودری (SAW) F10XX-EXX-XX	۶۱۰۰	۶۹۰۰_۸۳۰۰
		جوش قوسی با الکترود فلزی و تنگستن تحت حفاظ گاز (GMAW,GTAW) ER100S-X	۶۱۰۰_۷۰۰	۶۹۰۰
		جوش قوسی با الکترود مغزه‌دار (FCAW) E10XTX-X	۶۰۰۰	۶۹۰۰_۸۳۰۰
۵	فولادهای خیلی پر مقاومت F_y > ۵۵۰۰ kg/cm^2 F_u > ۷۰۰۰ kg/cm^2	جوش‌قوسی‌دستی با الکترود روکش‌دار (SMAW) E11015-X,E11016-X E1118-X	۶۷۰۰	۷۶۰۰
		جوش قوسی زیرپودری (SAW) F11XX-EXX-XX	۶۸۰۰	۷۶۰۰_۹۰۰۰
		جوش قوسی با الکترود فلزی و تنگستن تحت حفاظ گاز (GMAW,GTAW) ER110S-X	۶۶۰۰_۷۴۰۰	۷۶۰۰
		جوش قوسی با الکترود مغزه‌دار (FCAW) E11XTX-X	۶۷۵۰	۷۶۰۰_۹۰۰۰

Scanned with CamScanner

۲ـ٤ـ۳ انتخاب نوع الکترود

هر چند برای یک جوشکاری خاص می‌توان از چندین نوع الکترود استفاده کرد، لیکن انتخاب الکترود تا حدود زیادی بستگی به نوع جریان مصرفی قابل دسترسی دارد. عوامل و دیگر نکات مؤثر در انتخاب نوع الکترود به این شرح است،

۱ـ ترکیب شیمیایی فلز مورد جوشکاری از عوامل مؤثر در انتخاب نوع الکترود است. به عنوان مثال برای جوش دادن فلزات دارای درصد کربن بالا و مقاومت کششی بیش از $۴۲۰۰ kg/cm^2$ الکترود باید از نوع کم هیدروژن و یا با روکش پودر آهن و هیدروژن پائین انتخاب شود.

۲ـ کیفیت مورد نظر در محل جوش نیز از نکات قابل توجه در انتخاب نوع الکترود است. اگر فاصله‌ی ریشه درز اتصال باز و عمیق باشد باید از الکترودهای مشخصی که سرباره‌ی حجیم تولید می‌کنند، استفاده کرد.

۳ـ وضعیت جوشکاری نیز از موارد مهم در انتخاب نوع الکترود است. در بخش‌های بعدی وضعیت‌های مختلف جوشکاری تشریح خواهد شد. لیکن به عنوان مثال در جوشکاری در حالت قائم[1] و یا بالای سر(سقفی)[2] نوع خاصی از الکترودها قابل استفاده هستند. الکترود ضخیم برای جوشکاری در وضعیت قائم و سقفی مناسب نیست، زیرا کنترل حوضچه‌ی جوش حجیم در این وضعیت جوشکاری مشکل است. حداکثر قطر الکترود قابل استفاده در این وضعیت ۴/۵ میلی‌متر پیشنهاد می‌شود.

۴ـ مقاومت مکانیکی و ضربه‌ای مورد انتظار جوش نیز از عوامل مؤثر در انتخاب نوع الکترود است.

۵ ـ میزان نفوذ جوش و یا عمقی که برای جوش موردنظر است را می‌توان به عنوان عاملی در انتخاب نوع و اندازه الکترود قلمداد کرد.

۶ ـ هزینه‌ی عملیات جوشکاری نیز در انتخاب نوع الکترود مهم است. میزان بازدهی و نرخ رسوب و قیمت الکترود، پارامترهای مهم در برآورد و مقایسه‌ی هزینه‌های جوشکاری می‌باشند. الکترودهای پودرآهن دارای نرخ رسوب بالا و به طور کلی هزینه‌ی عمل کمتری نسبت به سایر الکترودها هستند، هر چند کمی گران‌تر می‌باشند. در هر حال انتخاب اندازه‌ی الکترود از نظر اقتصادی و عملیات جوشکاری برحسب نوع اتصال، ضخامت لایه‌ی جوش، وضعیت جوشکاری، شدت جریان مورد نیاز و مهارت جوشکار پارامتر تعیین‌کننده‌ای است.

1- Vertical Position
2- Overhead Position

به عنوان یک قاعده‌ی کلی نباید از الکترودی که اندازه‌ی آن بزرگ‌تر از ضخامت قطعه است، استفاده نمود.

عموماً جوشکاران الکترود بزرگ‌تر را به علت اینکه می‌توانند جوش را با سرعت بیشتری و با تعداد دفعات تعویض کم‌تری انجام دهند ترجیح می‌دهند و به بیان دیگر علاقه‌مند هستند حتی‌الامکان بزرگ‌ترین اندازه‌ی الکترود را استفاده کنند. در هر حال اندازه‌ی الکترود مصرفی نباید از میزان مجاز تجاوز نماید. در مورد جوشکاری ورق‌های ضخیم، لبه‌های آماده شده که معمولاً به صورت V یا جناغی و K هستند، باید برای اولین عبور جوش از الکترود نازک و برای عبورهای بعدی از الکترودهای ضخیم‌تر استفاده کرد.

۲ ـ ۵ نکات اجرایی و ایمنی جوشکاری

هدف اساسی در جوشکاری دو یا چند قطعه به یکدیگر، دست‌یابی به اتصال بدون عیب است. آماده‌سازی اجزایی که قرار است به یکدیگر متصل شوند اولین ضرورت برای رسیدن به این هدف است. آماده‌سازی را می‌توان در سه مرحله بدین شرح در نظر گرفت،

۱- استقرار صحیح اجزای یک سازه یا اسکلت فلزی کنار یکدیگر برای عملیات جوشکاری دارای اهمیت است. وضعیت‌هایی که برای اتصال دو یا چند قطعه در هنگام استقرار اجزای یک سازه وجود دارد در بخش‌های بعدی ارائه می‌شود.

۲- پخ زدن لبه‌های مورد جوش متناسب با ضخامت ورق و شرایط کار در بعضی از انواع جوش مانند جوش لب به لب برای اتصال ورق‌های ضخیم ضروری است. لبه‌ها با روش‌های گوناگون نظیر شعله، قوس، سنگ و تراش پخ زده می‌شوند و هر یک مستلزم صرف هزینه‌هایی است که در برآورد هزینه‌ی کلی جوش منظور می‌شود.

۳- لازم است کلیه‌ی ناخالصی‌ها و آلودگی‌ها شامل چربی، رنگها، اکسیدها و پوسته‌ها بر روی قسمت‌های مورد جوش به روش‌های شیمیایی و مکانیکی برطرف شود. به بیان دیگر، سطحی که فلز جوش روی آن رسوب می‌کند باید صاف، یکنواخت و عاری از هرگونه پارگی، ترک، زائده و هرگونه ناپیوستگی که اثر سوء بر کیفیت یا مقاومت جوش می‌گذارد باشد.

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

۲ـ۵ـ۱ نکات اجرایی جوشکاری

ضمن توجه به شرایط آماده‌سازی عملیات جوشکاری رعایت نکات اجرایی به شرح زیر جهت دست‌یابی به اتصال بدون عیب مؤثر خواهد بود؛

الف ـ دستگاه جوشکاری حتی‌الامکان نزدیک قطعات واقع شود و سعی گردد تا از مزاحمت و اخلال کابل‌ها در عملیات جوشکاری اجتناب شود.

ب ـ چنان‌چه جوشکاری در فضای بسته انجام می‌شود، شرایط تهویه‌ی هوا به مقدار کافی موجود باشد. جوشکاری در فضای باز نیز مستلزم توجه به جهت و سرعت وزش باد است.

پ ـ بعد از انتخاب الکترود مناسب از نظر نوع و اندازه، مرحله‌ی بعدی تنظیم کردن آمپر و ولتاژ دستگاه جوش متناسب با الکترود و شرایط کار، اتصال کابل زمین به قطعه، نصب الکترود بر روی گیره‌ی الکترود و استفاده از پوشش‌های ایمنی است.

ت ـ قبل از شروع قوس، جوشکار باید در وضعیتی راحت نسبت به کار قرار گیرد تا کمتر احساس خستگی نماید. به عنوان مثال قرار دادن کابل بر روی شانه‌ها می‌تواند از خستگی ساعد و مچ دست بکاهد.

ث ـ پس از شروع قوس الکتریکی که بهتر است ابتدا بر روی ورق‌های قراضه انجام شود جوشکار باید قوس الکتریکی را به داخل محل اتصال جهت دهد تا فلز جوش در محل مورد نظر رسوب داده شود. برای این کار جوشکار باید سه حرکت زیر را همزمان بطور یکنواخت و قابل کنترل انجام دهد:

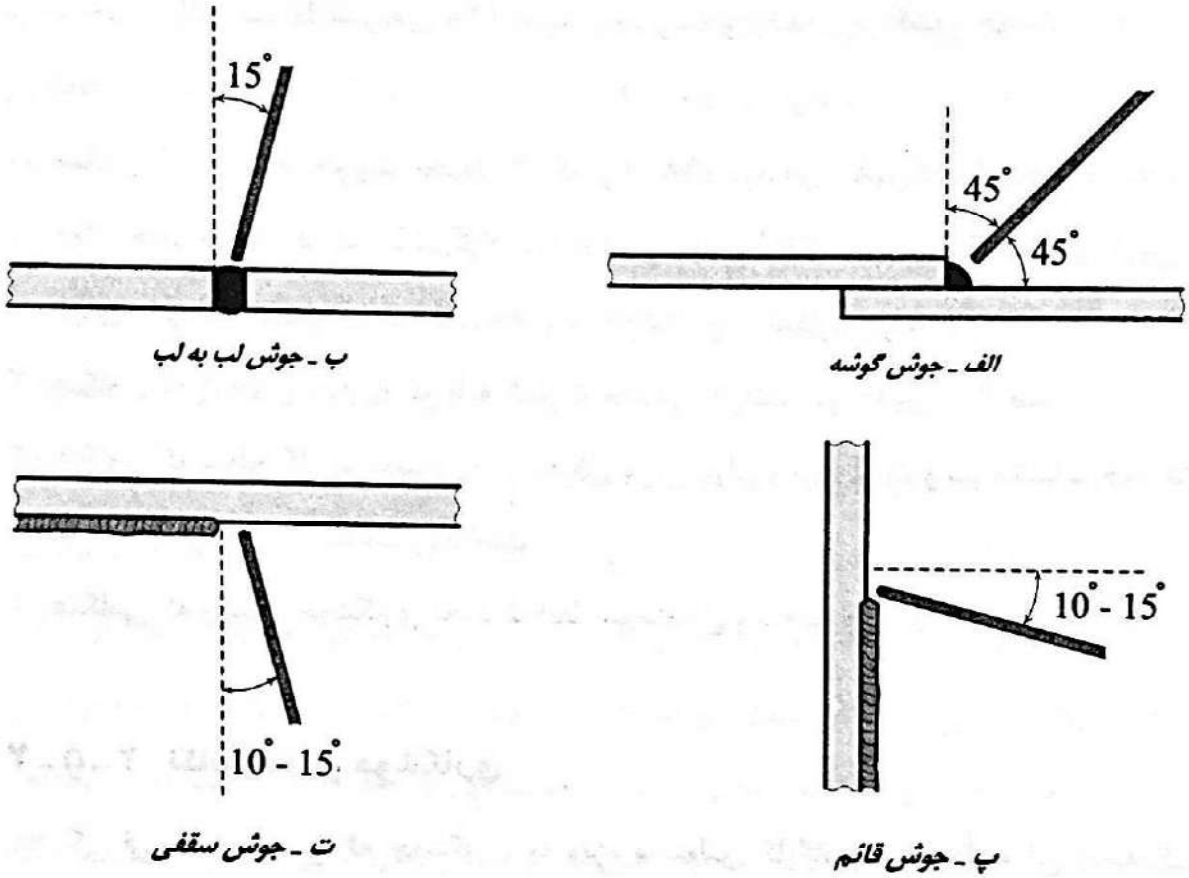
۱- تثبیت فاصله‌ی نوک الکترود با سطح حوضچه‌ی جوش یا انطباق هم‌زمان ذوب الکترود و حرکت آن به سمت جوش؛

۲- حرکت الکترود و قوس در سرتاسر مسیر جوش؛

۳- در صورت لزوم، حرکت‌های زیگزاگی یا موجی متناسب با وضعیت جوش انجام شوند تا نیروی قوس، فلز مذاب را در محل موردنظر هدایت کرده و سرباره را نیز به اطراف جارو کند.

علاوه بر سه حرکت فوق جوشکار باید الکترود را با زاویه‌ی معینی نسبت به سطح قطعه و امتداد جوش نگه دارد.

شکل ۲-۸ زاویه‌ی مناسب الکترود را در چند حالت مختلف جوشکاری نشان می‌دهد.



ب ـ جوش لب به لب

الف ـ جوش گوشه

ت ـ جوش سقفی

پ ـ جوش قائم

شکل ۲ ـ ۸ ـ وضعیت مناسب الکترود در حالات مختلف جوشکاری

وضعیت مناسب الکترود به جوشکار اجازه می‌دهد تا حفره‌ی کاسه‌ای شکل قوسی را مشاهده نموده و از حرکت ناخواسته‌ی سرباره به طرف قوس جلوگیری کند. علاوه بر آن وضعیت صحیح الکترود موجب کاهش ذرات حبس شده‌ی سرباره‌ی جوش و تقلیل سوختگی گوشه‌ای در جوش می‌شود.

ج ـ اگر لازم باشد چندین عبور و لایه‌ی جوش کنار و یا روی هم اجرا شود باید سرباره از روی لایه‌های قبلی کاملاً پاک شود. در مواردی که عبورهای جوش کنار یکدیگر قرار می‌گیرند به منظور حذف زاویه‌ی تندِ دو عبور و کاهش موضع تمرکز تنش، لازم است تا هر عبور بر روی حداقل $\frac{۱}{۳}$ عبور قبلی قرار گیرد.

چ ـ در جوشکاری قطعات نازک بهتر است از جریان الکتریکی مستقیم و الکترود مثبت استفاده شود. در وضعیت قائم عملیات جوش از پائین به بالا انجام می‌گیرد (شکل ۲-۸- پ). زدن خال‌جوش‌ها برای نگه‌داشتن صحیح لبه‌ها باید حتی‌الامکان کوچک، نزدیک به یکدیگر و پشت ورق باشد.

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

در هر حال مطابق ضوابط نشریه‌ی ۲۲۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور جوشکاری در شرایط زیر مجاز نیست،

۱- هنگامی که درجه‌ی حرارت محیط کار کمتر از ۱۸- درجه‌ی سانتی‌گراد است. برای محیط با دمای صفر تا ۱۸- درجه سانتی‌گراد پیشنهاد می‌شود با ایجاد سرپوش و گرم کردن درون آن، دمای محیطی مناسبی حدود ۵ درجه برای جوشکار و جوشکاری فراهم شود.

۲- هنگامی که درجه‌ی حرارت فلز پایه کمتر از مقادیر ذکر شده در جدول ۲-۲ است.

۳- هنگامی که سطح کار مرطوب و یا در معرض بارش باران و برف است و نیز عملیات جوشکاری در معرض وزش باد با سرعت زیاد است.

۴- هنگامی که پرسنل جوشکاری تحت شرایط غیرمتعادل و سخت هستند.

۲ـ۵ـ۲ نکات ایمنی جوشکاری

یکی از مسائل مهمی که جوشکار و به ویژه مسئولین کارگاه باید دقیقاً به آن توجه کنند، رعایت نکات ایمنی در حین عملیات جوشکاری است. عدم آشنایی جوشکار به نکات ایمنی و بهداشتی و نیز سهل‌انگاری در رعایت آن‌ها موجب بروز حوادث ناگوار و خسارات جانی و مالی فراوانی خواهد شد.

در اغلب کشورها، استانداردها و دستورالعمل‌های ایمنی خاص برای جوشکاری تنظیم و ابلاغ می‌شود که بسیاری از آن‌ها مشترک و تقریباً عمومی است و رعایت آن‌ها باعث افزایش سطح ایمنی عملیات جوشکاری خواهد شد.

رعایت نکات ایمنی زیر خصوصاً در ارتباط با جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود دستی جهت کاهش خسارات ناشی از عملیات جوشکاری مؤثر است،

۱- هوای محیط کار عملیات جوشکاری باید توسط دستگاه‌های تهویه‌ی هوا تمیز نگه داشته شود.

۲- چون اشعه‌ی ماوراء بنفش و مادون قرمز پخش شده در قوس الکتریکی هنگام جوشکاری می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری به چشم و حتی پوست بدن وارد کند، از این‌رو لازم است که صورت و چشم جوشکار توسط ماسک‌های مخصوص پوشانده شود. شیشه‌ی رنگی و تاریک با درجه‌ی معین جلوی عبور اشعه‌های مضر را می‌گیرد. میزان تاریکی و لنز این شیشه‌ها

استاندارد است و تا حدودی به اندازه‌ی الکترود بستگی دارد. به عنوان مثال نمره‌ی ۱۰ برای الکترودهای ۱/۵ تا ۳/۷۵ میلی‌متر، نمره‌ی ۱۲ برای الکترودهای ۴ تا ۸ میلی‌متر و نمره‌ی ۱۴ برای الکترودهای ضخیم‌تر مناسب است.

۳- پوست بدن را باید توسط لباس‌های مخصوص شامل پیش‌بند، دستکش، ساعدبند و احتمالاً ساق‌بند پوشاند. لباس مخصوص جوشکاری و ماسک علاوه بر محافظت بدن و صورت از اشعه‌های مضر، پوست بدن را از ذرات و جرقه‌های گداخته‌ی فلز نیز حفظ می‌کند. هم‌چنین بهتر است از کفش‌هایی استفاده شود که در مقابل ذرات مذاب تا حدودی مقاوم باشد.

۴- هنگام تمیز کردن سطح جوش از ذرات سرباره و یا گل جوش که غالباً توسط چکش و یا برس فولادی انجام می‌گیرد باید مراقب بود که این ذرات به چشم و پوست صورت و بدن آسیب نرساند.

۵- رعایت نکات ایمنی و استانداردهای مربوط به کار با وسایل الکتریکی از قبیل نصب و برقراری دستگاه جوش با رعایت استانداردهای مربوطه، دست‌یابی سریع به کلید دستگاه در لحظات بحرانی، قطع جریان برق هنگام تعمیر تجهیزات و وسایل جوشکاری، اتصال کامل دستگاه جوش به زمین و خشک بودن کابل جوشکاری و لباس جوشکار جهت جلوگیری از ایجاد شوک الکتریکی از اهمیت خاصی برخوردار است. عدم رعایت اصول ایمنی و استانداردهای مربوط به کار با وسایل الکتریکی موجب خطرات ناشی از برق گرفتگی یا سوختگی خواهد شد.

۲ـ۶ جوشکاری فولادهای ساختمانی

فولادهای ساختمانی دارای میزان کربن بین ۰/۱۵ تا ۰/۲۹ درصد و حداکثر ۱/۶ درصد منگنز هستند. تنش تسلیم این نوع فولادها بین $۲۳۰۰ kg/cm^۲$ تا $۴۵۰۰ kg/cm^۲$ است. البته با عملیات حرارتی می‌توان به تنش تسلیم $۷۰۰۰ kg/cm^۲$ در این نوع فولادها رسید. فولادهای ساختمانی عموماً با هر نوع روش جوشکاری معمول قابل جوش دادن هستند. نوع فرآیند جوشکاری برحسب ضخامت قطعه، کیفیت مورد درخواست، هزینه و عوامل دیگر فرآیند، انتخاب می‌شود. برای فولادهای تا ۰/۲۹ درصد کربن و حداکثر ۱/۶ درصد منگنز و ضخامت کمتر از ۲ سانتی‌متر، بدون پیش‌گرم کردن و یا پس‌گرم کردن خاص می‌توان جوش کاملاً رضایت‌بخشی را انجام داد (جدول ۲-۲).

Scanned with CamScanner

canned with CamScanner

برای مقادیر بالاتر از ۰/۲ درصد کربن و ۱ درصد منگنز بهتر است از الکترودهای کم هیدروژن استفاده شود. در ورق‌های ضخیم به علت سرد شدن سریع، بهتر است به پیش گرم کردن یا کنترل درجه حرارت بین پاس‌ها توجه خاص شود. به بیان دیگر، هرگاه افزایش مقدار کربن و منگنز با ضخامت زیاد قطعه موردنظر برای جوشکاری توأم شود، توجه و دقت بیشتری برای جلوگیری از ترک‌خوردگی و عوارض جانبی دیگر لازم است. استفاده از الکترودهای کم هیدروژن دارای پوشش قلیایی و خشک، پیش‌گرم کردن، عملیات حرارتی پس از جوشکاری و روش جوشکاری مناسب از جمله تدابیر مناسب برای چنین شرایطی است.

جوشکاری با الکترود دستی یا اصطلاحاً جوش قوس الکتریکی با الکترود روکش‌دار (SMAW) معمول‌ترین روش جوشکاری فولادهای کم‌کربن و نرمه‌ی معمولی است. انواع الکترودهای رده‌ی E60XX و در صورت نیاز به مقاومت بالاتر، E70XX در این نوع فرآیند جوشکاری قابل استفاده است.

جوشکاری با قوس الکتریکی با گاز محافظ (GMAW) به طور وسیعی در جوشکاری فولادهای ساختمانی به کار می‌رود. جوشکاری با قوس الکتریکی زیرپودری (SAW) یکی از معمول‌ترین روش‌های جوشکاری خودکار در اتصالات فلزی و ضخامت‌های نسبتاً بالا در فولادهای ساختمانی است. انواع مختلف مفتول و پودر برای این منظور را می‌توان برحسب ترکیب شیمیایی، ضخامت و تمیزی قطعه‌ی کار و مقاومت مورد انتظار انتخاب کرد. این فرآیند جوشکاری عمق نفوذ را بیشتر و نرخ رسوب را نسبت به دو روش قوس الکتریکی با الکترود روکش‌دار یا گاز محافظ افزایش می‌دهد. ظاهر و خواص مناسب جوش و کاهش تمرکز تنش از مزایای دیگر جوشکاری با قوس الکتریکی زیرپودری است.

برای قطعات کوچک و نسبتاً نازک و نیز برای تعمیرات فولادهای ساختمانی، جوش کاربید با شعله‌ی اکسی‌استیلن یکی از مناسب‌ترین فرآیندهای جوشکاری است. سرمایه‌گذاری کم برای تجهیزات و قابل حمل بودن آن‌ها از مزایای این روش به شمار می‌آید.

۲ـ۷ معایب و نواقص جوش

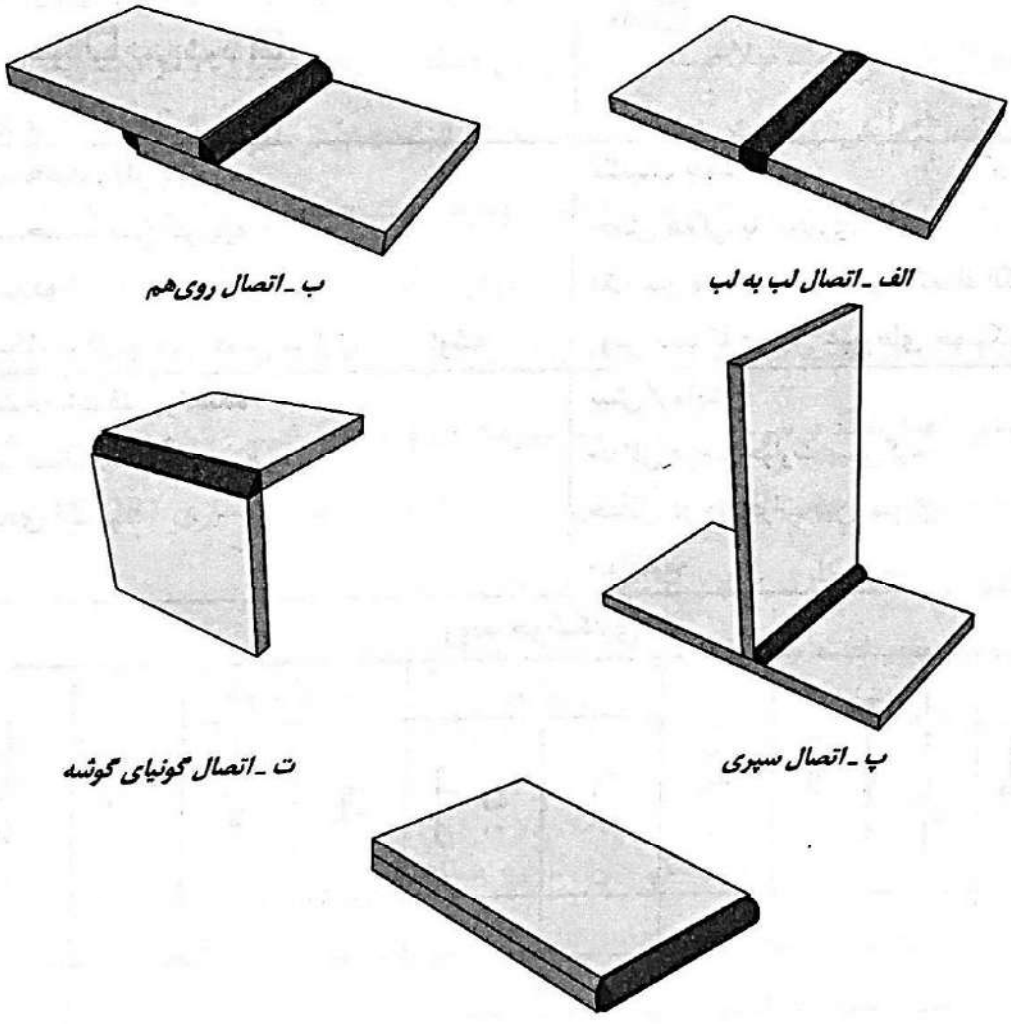
تولید جوش سالم و بدون عیب همراه با کاهش هزینه‌ها از اهداف مورد نظر در عملیات جوشکاری اتصالات سازه‌های فلزی است. خرابی و انهدام و در نتیجه ایجاد خسارت مالی و جانی

۲ـ۹ انواع جوش و اتصالات جوشی

انواع اتصالات جوشی برحسب وضعیت قرارگیری قطعات مورد اتصال نسبت به یکدیگر، وضعیت جوش و انواع جوش طبقه‌بندی می‌شوند.

۲ـ۹ـ۱ اتصالات جوشی از نظر وضعیت قرارگیری اعضای اتصال

پنج نوع اتصال جوشی از نظر وضعیت قرارگیری اعضای مورد اتصال در سازه‌های فولادی رایج‌تر و مورد توجه بیشتر می‌باشد. اتصالات لب به لب[1]، روی‌هم[2]، سپری[3]، گونیا (گوشه)[4] و پیشانی[5] از انواع رایج اتصالات هستند که در شکل ۲-۱۸ نمایش داده شده‌اند.



الف ـ اتصال لب به لب

ب ـ اتصال روی‌هم

پ ـ اتصال سپری

ت ـ اتصال گونیای گوشه

ث ـ اتصال پیشانی

شکل ۲-۱۸- انواع اتصالات جوشی از نظر وضعیت قرارگیری اعضای اتصال

1- Butt
2- Lap
3- Tee
4- Corner
5- Edge

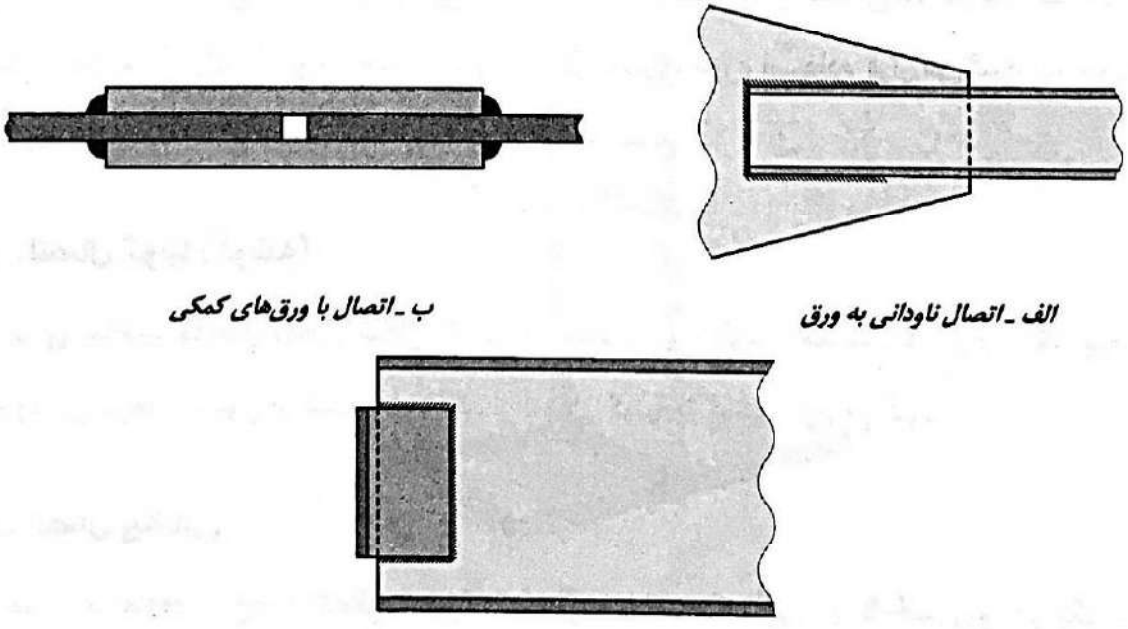
الف ـ اتصال لب به لب

برای اتصال ورق‌های مسطح از اتصال لب به لب استفاده می‌شود. در صورت استفاده از جوش شیاری با نفوذ کامل در اتصال لب به لب، حجم مصالح جوش در این اتصال حداقل بوده و ظاهر مطلوبی دارد. از مزایای دیگر این اتصال عدم خروج از مرکزیت است که عموماً در اتصالات روی‌هم وجود دارد.

از مشکلات اتصالات لب به لب ضرورت آماده‌سازی موضع اتصال به صورت پخ زدن لبه‌های موردنظر و هم‌راستا قرار دادن آن‌ها در موضع جوشکاری است. بنابراین اتصالات لب به لب باید به دقت اجرا و حتی‌المقدور در شرایط کارخانه که امکان نظارت دقیق وجود دارد انجام گیرد.

ب ـ اتصال روی‌هم

ساده‌ترین و معمول‌ترین نوع اتصال، اتصال روی‌هم است. مزیت عمده‌ی اتصال روی‌هم، سادگی اجرا است که در آن به آسانی و بدون نیاز به دقت زیاد می‌توان اعضای مورد نظر را روی هم قرار داد. با جابجا کردن قطعات بر روی یکدیگر حتی می‌توان خطاهای کوچک ساخت را مرتفع و تنظیم طولی مورد نظررا به عمل آورد. در اتصالات روی‌هم نیازی به آماده‌سازی خاص برای لبه‌ها نیست و عموماً با یک برش عادی توسط شعله می‌توان لبه‌ها را آماده جوشکاری نمود. جوش به کار رفته در اتصالات روی‌هم عمدتاً جوش گوشه است.



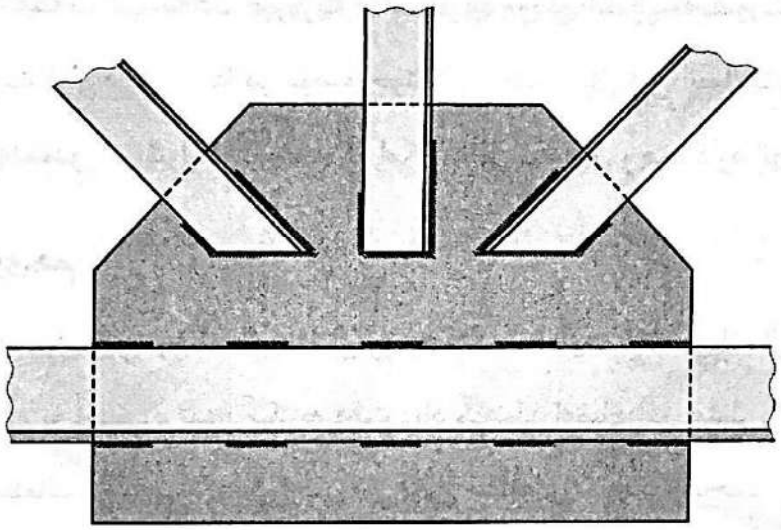
الف ـ اتصال ناودانی به ورق

ب ـ اتصال با ورق‌های کمکی

پ ـ اتصال نبشی به جان تیر

شکل ۲ ـ ۱۹ـ نمونه‌هایی از اتصالات روی‌هم توسط جوش گوشه

از دیگر مزایای اتصالات روی‌هم امکان اتصال ورق‌ها با ضخامت‌های متفاوت می‌باشد. در شکل ۲-۱۹ انواع رایج اتصالات روی‌هم نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۲-۲۰ ملاحظه می‌شود در این نوع اتصال امکان متصل نمودن اعضایی نظیر نبشی و ناودانی به ورق‌های اتصال توسط جوش گوشه به سادگی میسر است.



شکل ۲ - ۲۰ - اتصال اعضای خرپا به ورق

پ ـ اتصال سپری

برای ساخت مقاطع I و T در تیرورق‌ها، اتصال سخت‌کننده‌ها و نشیمن‌گاه تیرهای فولادی که اتصال اعضا به یکدیگر با زاویه انجام می‌شود، اتصال سپری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این نوع اتصال امکان استفاده از جوش گوشه و شیاری فراهم است.

ت ـ اتصال گونیا (گوشه)

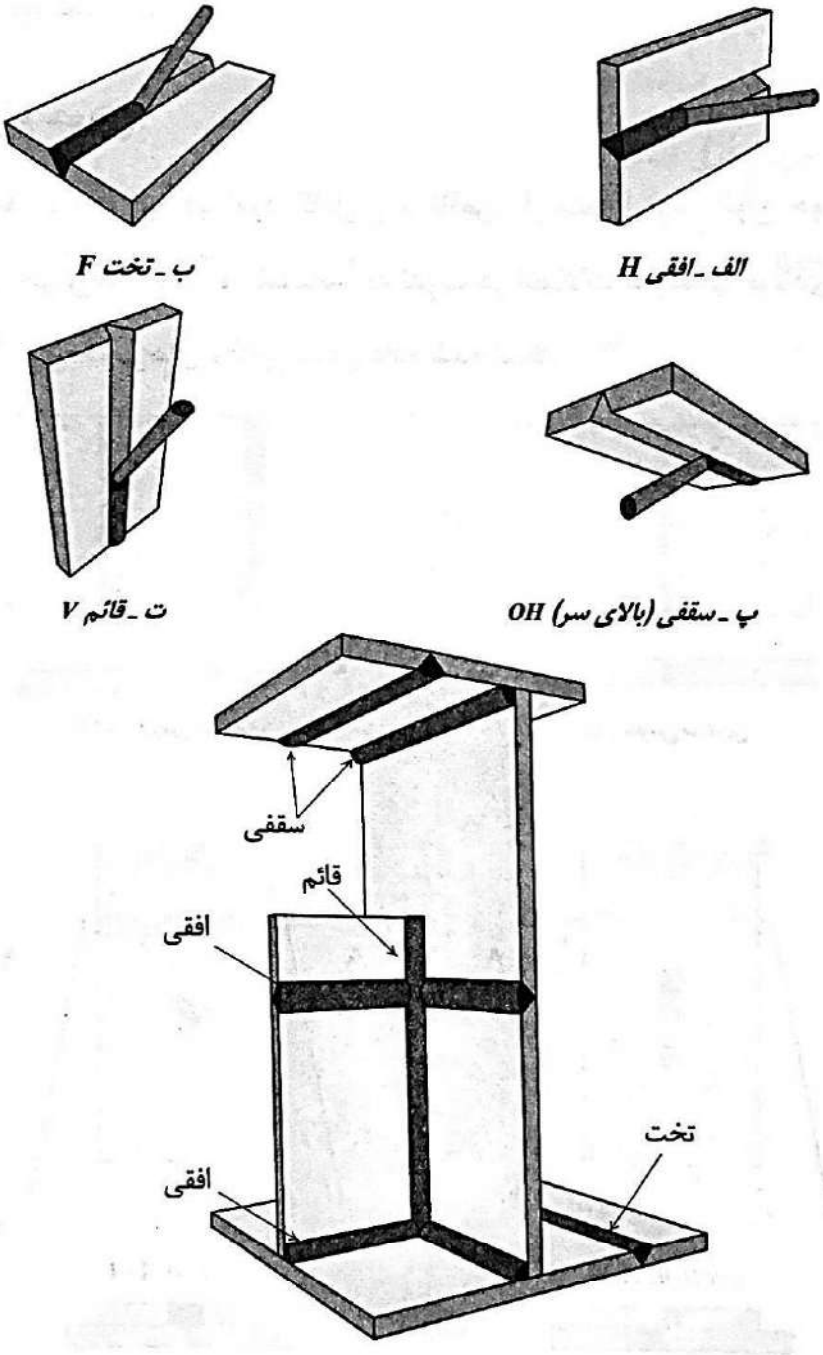
برای ساخت مقاطع قوطی شکل که دارای صلبیت و مقاومت مناسب در برابر لنگر پیچشی موجود در تیرها و ستون‌ها هستند استفاده از اتصال گونیا یا گوشه لازم می‌شود.

ث ـ اتصال پیشانی

مورد استفاده‌ی این نوع اتصال معمولاً به صورت خاص نگه‌داری دو یا چند ورق در یک سطح است و غالباً این نوع اتصال نقش سازه‌ای ندارد. در هر حال در سازه‌ها مواردی پدید می‌آید که استفاده از این نوع اتصال ضروری می‌باشد.

۲ـ۹ـ۲ انواع وضعیت جوشکاری

با توجه به نحوه‌ی قرار گرفتن موضع جوش نسبت به جوشکار، وضعیت‌های تخت[1]، افقی[2]، قائم[3] و بالاسری یا سقفی[4] برای جوش متصور است. در هر یک از وضعیت‌های جوشکاری، اجرای جوش شیاری و گوشه امکان‌پذیر است. در شکل ۲-۲۱ انواع این وضعیت‌ها نشان داده شده است.



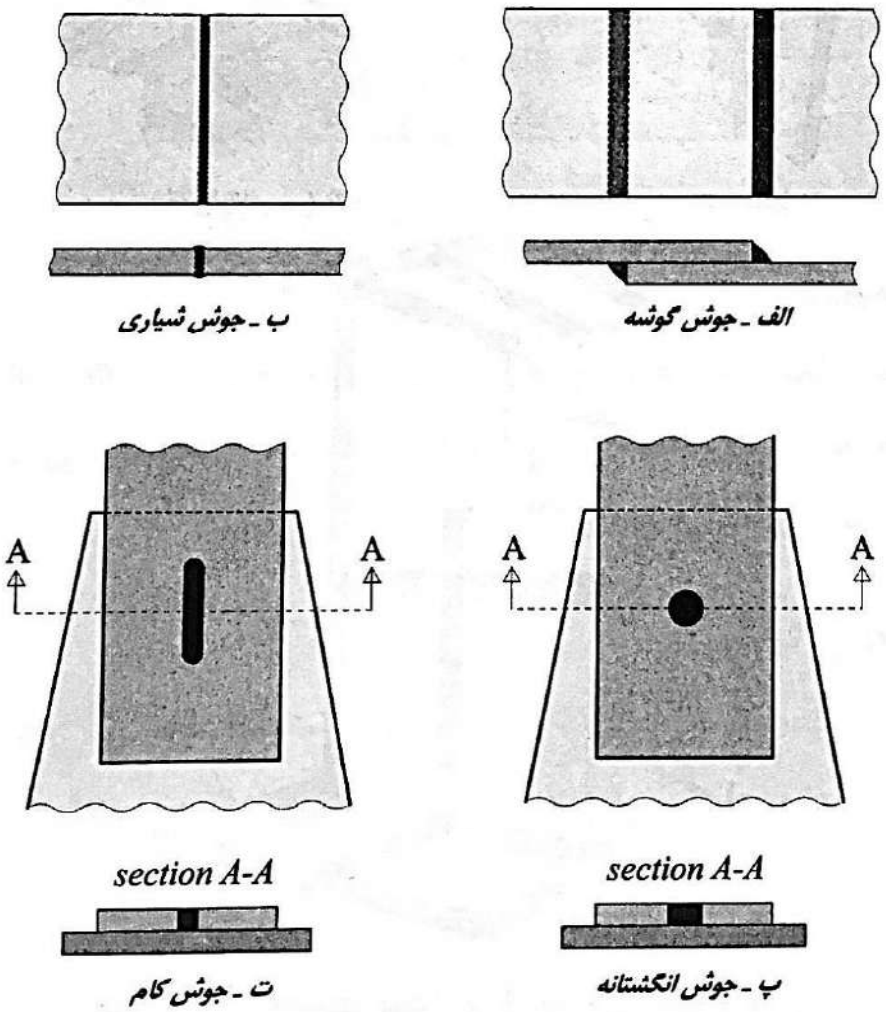
شکل ۲ ـ ۲۱ ـ وضعیت جوشکاری با جوش‌های گوشه و شیاری

1- Flat Position
2- Horizontal Position
3- Vertical Position
4- Overhead Position

جوشکاری در وضعیت تخت مناسب‌ترین و راحت‌ترین وضعیت برای جوشکار است که در آن جوشکار نسبت به موضع جوش تسلط دارد. جوشکاری در وضعیت افقی و قائم به جوشکار ماهر نیاز دارد و در آن از شدت جریان برق کمتری استفاده می‌شود. انجام جوش در وضعیت بالاسری یا سقفی نیاز به مهارت زیاد داشته و به دلیل مشکلات اجرایی به غیر از موارد ضروری، جوشکاری در این وضعیت توصیه نمی‌شود.

۲ـ۹ـ۳ انواع جوش

جوش گوشه[1] و شیاری[2] (با نفوذ کامل و یا ناقص) از متداول‌ترین انواع جوش در سازه‌های فولادی هستند. جوش‌های کام[3] و انگشتانه[4] به ندرت در اتصالات سازه‌های فولادی به کار می‌روند. در شکل ۲-۲۲ انواع جوش‌های مذکور نشان داده شده است.



شکل ۲ ـ ۲۲ ـ انواع جوش

1- Fillet Weld
2- Groove Weld
3- Slot Weld
4- Plug Weld

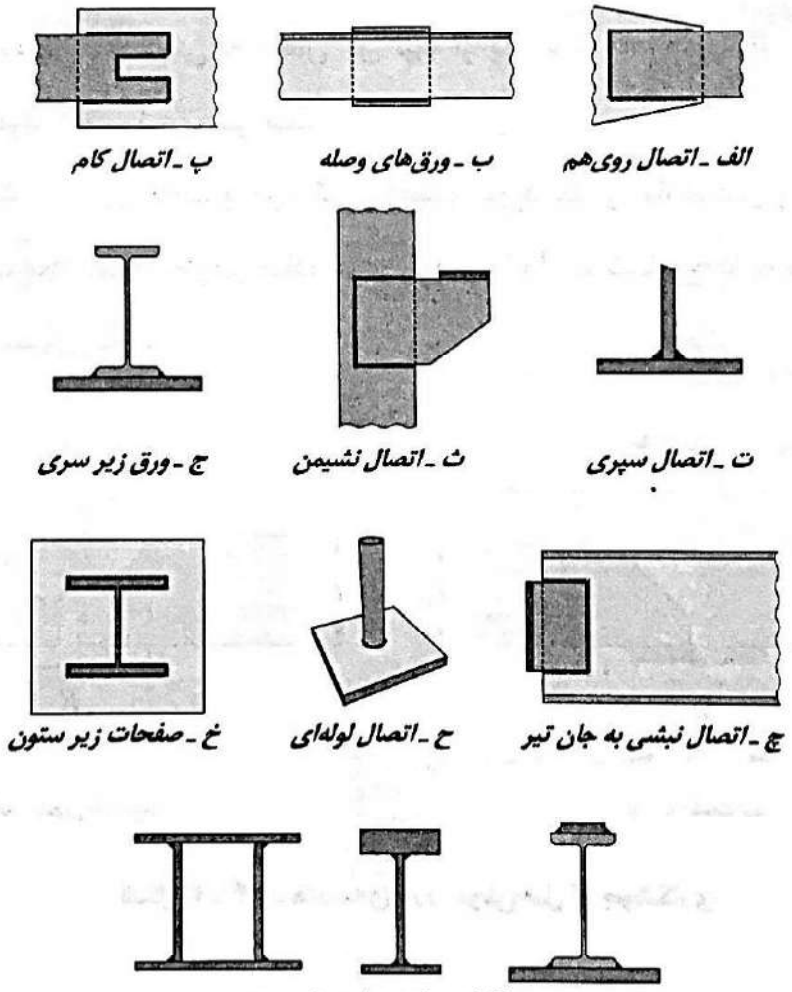
براساس عملکردی که از جوش انتظار می‌رود و نیز نیروهایی که باید متحمل شود نوع آن انتخاب می‌شود.

در اتصالات سازه‌های فولادی استفاده از جوش‌های گوشه بسیار رایج و مرسوم است و نزدیک به ۸۰ درصد اتصالات جوشی توسط جوش گوشه انجام می‌شود. جوش شیاری علی‌رغم کارایی مناسب تنها حدود ۱۵ درصد سهم اتصالات جوشی را به خود اختصاص می‌دهد. جوش‌های کام و انگشتانه و سایر جوش‌های مخصوص سهمی حدود ۵ درصد از اتصالات جوشی را دارند.

در ادامه انواع جوش‌های مذکور تشریح می‌شوند؛

الف ـ جوش گوشه

استفاده از جوش گوشه به لحاظ سهولت در اجرا، اقتصادی بودن و امکان استفاده در اغلب اتصالات، مطلوب و مورد توجه است، زیرا عمده اتصالات روی هم توسط جوش گوشه انجام می‌شود.



شکل ۲ ـ ۲۳ ـ نمونه‌هایی از جوش گوشه و موارد استفاده آن

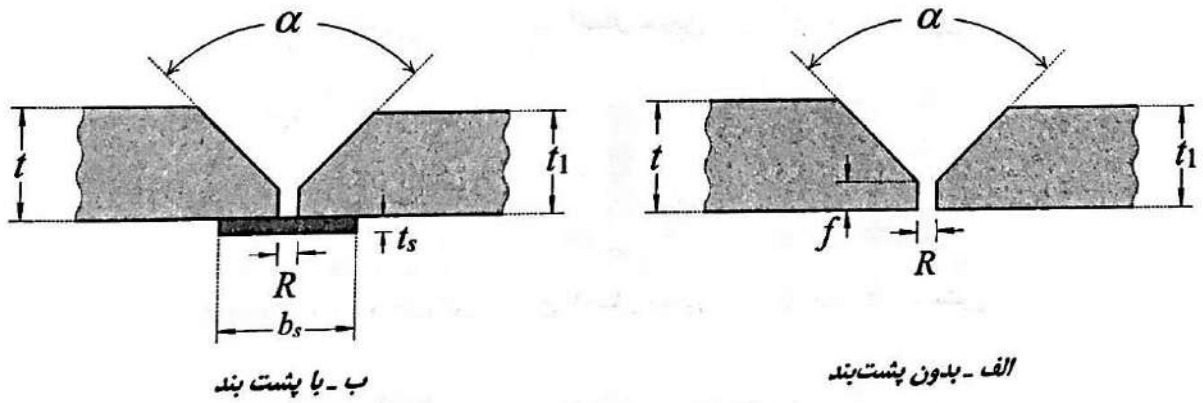
مزایای اتصال روی‌هم و جوش گوشه با یکدیگر تلفیق شده و در عمل یک اتصال آسان و اقتصادی را فراهم می‌کند.

مشکلات اتصالات لب به لب نظیر دقت در یک امتداد قرار دادن ورق‌ها، آماده‌سازی لبه‌ی ورق‌ها و تنظیم آن‌ها که توسط جوش شیاری انجام می‌شود، در جوش‌های گوشه و اتصالات روی‌هم وجود ندارد. در جوشکاری گوشه عموماً نیازی به آمادگی خاص نظیر پخ‌زدن لبه‌ها نمی‌باشد. شکل ۲-۲۳ انواع رایج جوش‌های گوشه و موارد کاربرد آن را در اتصالات جوشی نشان می‌دهد.

ب ـ جوش شیاری

جوش شیاری با نفوذ کامل[1] اغلب به منظور انتقال کامل نیروی اعضایی که به وسیله‌ی این نوع جوش متصل می‌شوند، به کار می‌رود. اتصال بال تیرآهن به بال ستون جهت انتقال کل نیروی فشاری و یا کششی بال به ستون توسط جوش شیاری با نفوذ کامل، یک نمونه از کاربرد این نوع جوش است. در صورتی که لزومی به انتقال کل نیرو از یک عضو به عضو دیگر نباشد استفاده از جوش شیاری با نفوذ ناقص[2] نیز میسر است.

در اجرای جوش شیاری، جفت و جور کردن اعضای مورد نظر و آماده‌سازی و پخ زدن لبه‌های اتصال باید به دقت انجام شود. نحوه‌ی آماده کردن لبه‌ها و اندازه و شکل پخ‌ها به ضخامت ورق‌های اتصالی مورد نظر بستگی دارد.



الف ـ بدون پشت‌بند

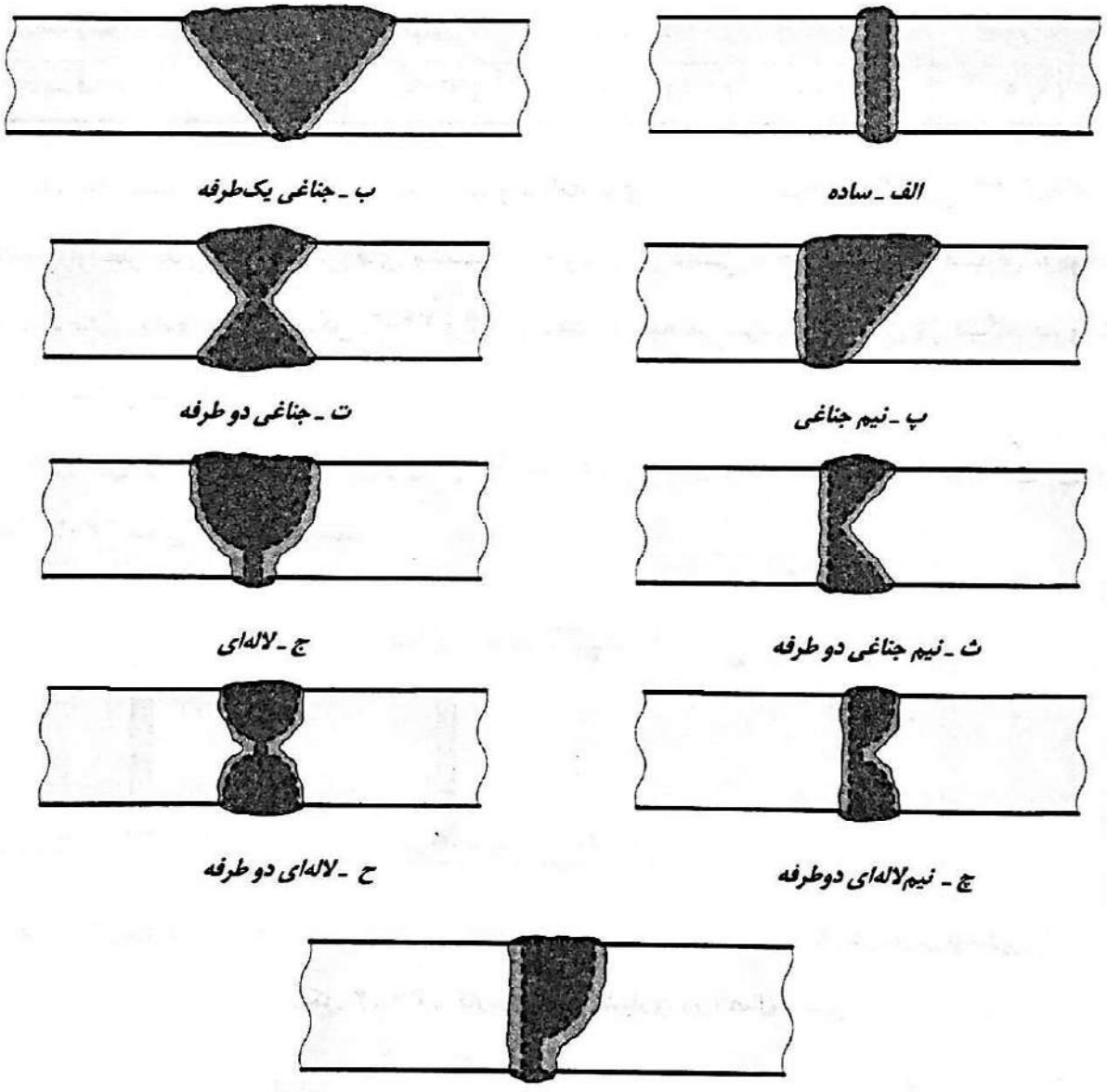
ب ـ با پشت بند

شکل ۲ ـ ۲۴ ـ هندسه‌ی درز جوش قبل از جوشکاری

1- Complete Joint Penetration Groove Weld
2- Partial Joint Penetration Groove Weld

هر چند اجرای جوش شیاری برای اتصالات لب به لب، گونیا و سپری امکان‌پذیر است لیکن استفاده‌ی عمده‌ی جوش شیاری در اتصالات لب به لب است. در اتصالات لب به لب اجرای جوش شیاری با و بدون استفاده از پشت‌بند انجام می‌شود. در شکل ۲- ۲۴ هندسه‌ی درز قبل از جوشکاری با و بدون ورق پشت‌بند مطابق علائم و قراردادهای نشریه‌ی ۲۲۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور نشان داده شده است.

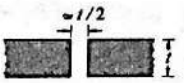
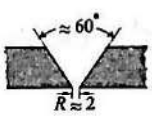
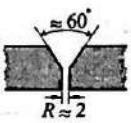
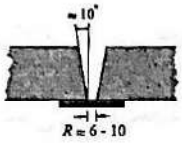
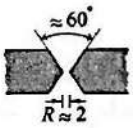
در شکل ۲- ۲۵ انواع درزهای جوش شیاری که هر یک برای اندازه‌ی خاصی از ضخامت ورق مناسب می‌باشد، نشان داده شده است.



شکل ۲ ـ ۲۵ ـ انواع درزهای جوش شیاری

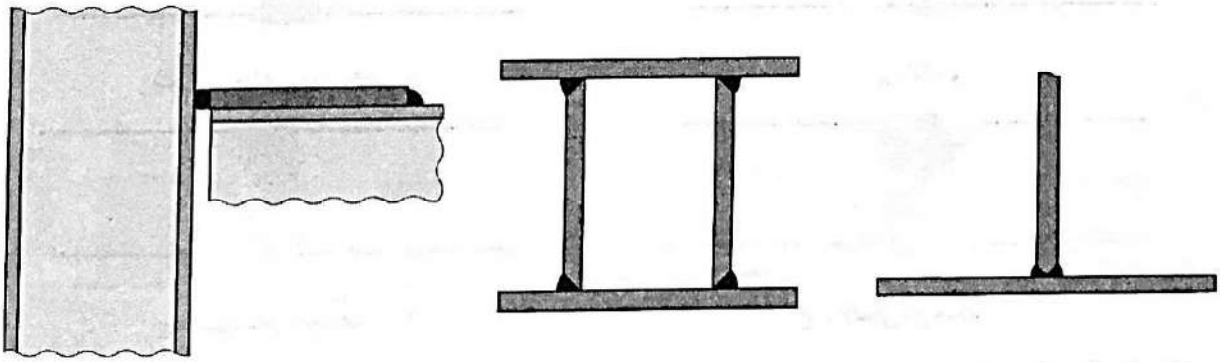
همان‌گونه که اشاره شد، هر یک از انواع درزها برای ضخامت معینی از ورق‌های مورد اتصال مناسب است. در جدول ۲-۶ انواع درزهای جوش‌های شیاری با توجه به ضخامت ورق‌های مورد اتصال همراه با علائم ترسیمی آن نشان داده شده است.

جدول ۲ ـ ٦ ـ انواع جوش شیاری (لب به لب) ـ ابعاد برحسب میلی‌متر

شکل درز جوش					
علامت رسم	جوش ||	جوش V	جوش Y	جوش لگنی	جوش X
ضخامت قطعه	t ≤ ۸	t ≤ ۲۶	t ≤ ۲۶	t ≤ ۲۶	t ≤ ۶۰

نشریه‌ی شماره‌ی ۲۲۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در صفحات ۲۳ الی ۴۲، اطلاعات جامعی از نظر اندازه، انواع و درزهای مناسب در جوشکاری دستی برای جوش‌های شیاری با توجه به ابعاد نشان داده شده در شکل ۲-۲۴ ارائه می‌دهد. توصیه می‌شود خوانندگان در هنگام ضرورت به این جداول مراجعه نمایند.

هم‌چنین از جوش شیاری می‌توان در ساخت اتصال سپری استفاده کرد که نمونه‌های آن در شکل ۲-۲۶ نشان داده شده است.



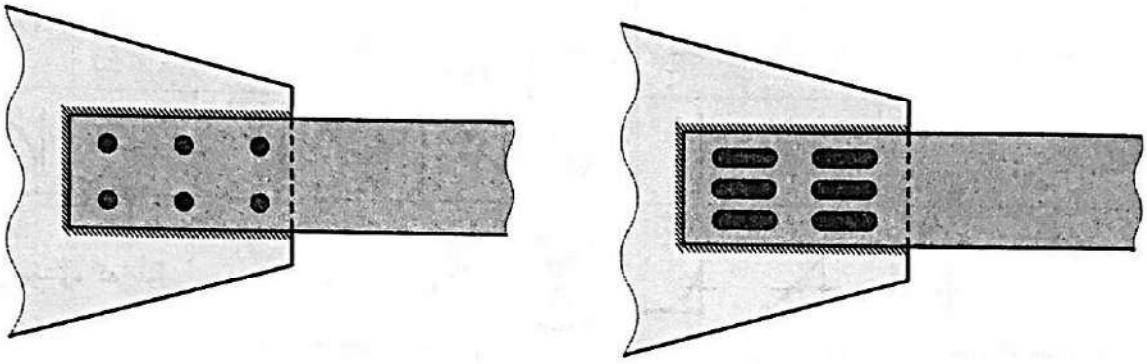
الف ـ اتصال ساق به بال سپری *ب ـ اتصال جان‌ها به بال‌ها* *پ ـ اتصال بال تیر به ستون*

شکل ۲ ـ ۲۶ ـ کاربرد جوش شیاری در اتصال سپری

پ ـ جوش‌های کام و انگشتانه

جوش‌های کام و انگشتانه به تنهایی و یا به صورت ترکیب با جوش گوشه مطابق شکل ۲-۲۷ مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جوش‌های کام و انگشتانه برای انتقال نیروی برشی و جلوگیری از لغزش ورق‌ها به کار می‌روند. برای تقویت ورق و کسب افزایش مقاومت آن در مقابل کمانش موضعی استفاده از جوش‌های کام و انگشتانه مفید است. هم‌چنین در اتصالات روی‌هم هنگامی که اندازه‌ی طول اتصال جوش گوشه محدودیت دارد، استفاده از این نوع جوش‌ها چاره‌ساز خواهد بود. انتهای جوش‌های کام باید به صورت نیم دایره یا قوسی با حداقل شعاعی برابر ضخامت جوش اجرا شود.



الف ـ جوش کام همراه با جوش گوشه *ب ـ جوش انگشتانه همراه با جوش گوشه*

شکل ۲ ـ ۲۷ ـ جوش‌های کام و انگشتانه همراه با جوش گوشه

۲ ـ ۱۰ علائم جوشکاری

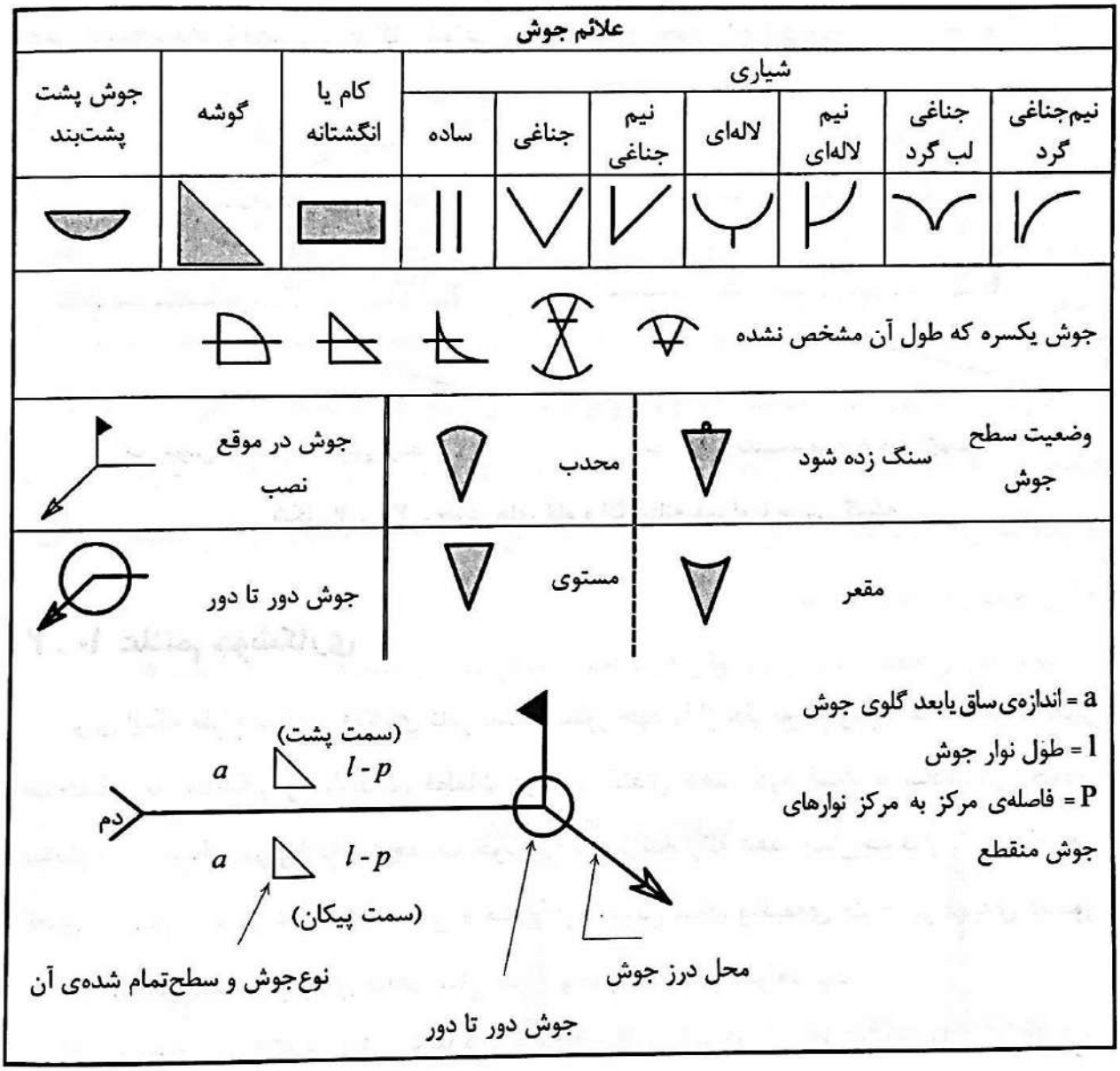
برای اینکه طراح سازه‌ی فولادی قادر باشد منظور خود را از نظر نوع جوش، ابعاد، اندازه و سایر مشخصات به جوشکار و سازنده‌ی قطعات فولادی انتقال دهد، لازم است با ساده‌ترین نحوه‌ی نمایش، پارامترهای مربوط به مشخصات جوش را به سازنده ارائه دهد. چنان‌چه قرار باشد برای هر اتصالی دستورالعمل و علائم اختصاصی و مشروحی تدوین شود، وظیفه‌ی طراح در تهیه‌ی دستور ساخت سنگین شده و برقراری تفاهم میان طراح و سازنده آسان نخواهد بود.

آئین‌نامه‌های جوشکاری نظیر AWS و نیز آئین‌نامه‌ی فولاد آمریکا AISC علائم استاندارد مشترکی را تدوین و عرضه نموده‌اند که براساس آن تهیه‌ی نقشه‌های اجرایی توسط مهندس طراح و ساخت قطعات فولادی توسط سازنده را آسان می‌کند. این دستورالعمل و علائم اختصاری مشخص‌کننده‌ی نوع، اندازه‌ی طول، محل موضع جوش و سایر مشخصات است.

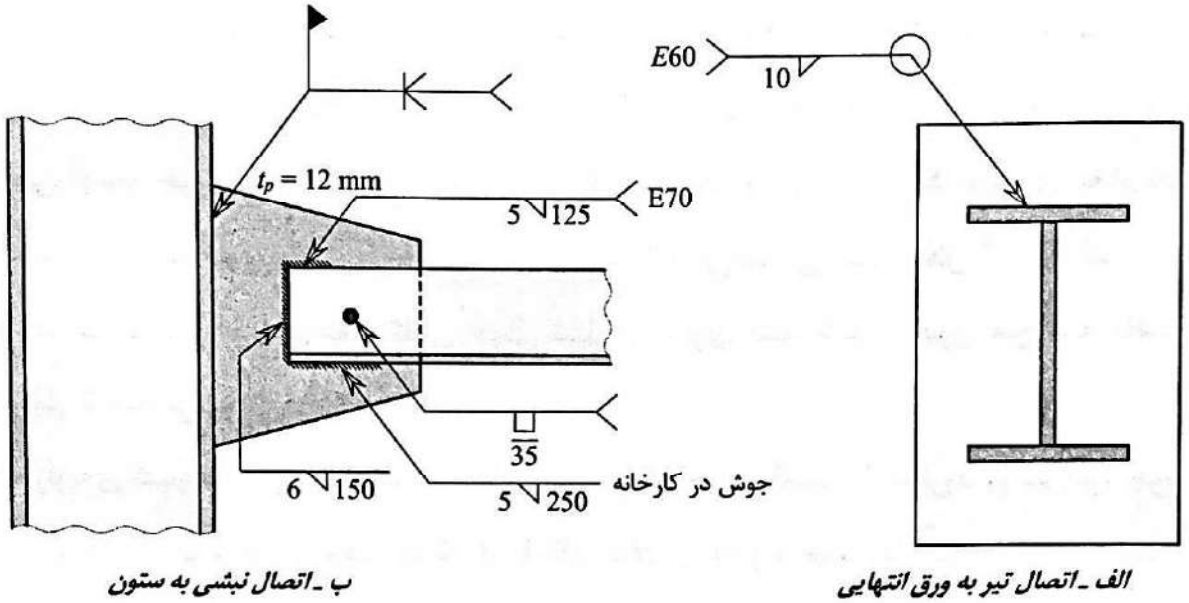
نشریه‌ی شماره‌ی ۲۲۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور علائم قراردادی انواع جوش‌های گوشه، شیاری، انگشتانه و کام همراه با توضیحات لازم را در جدولی در اختیار کاربران قرار داده است.

این علائم عمدتاً در دستورالعمل‌های سایر آئین‌نامه‌های طراحی نیز به همین صورت ذکر گردیده است. در جدول ۲-۷ علائم جوش که از نشریه‌ی مذکور اقتباس شده است، جهت اطلاع خوانندگان محترم آورده شده است.

جدول ۲ ـ ۷ ـ علائم اختصاری جوش



برای آشنایی خوانندگان، یک نمونه نقشه اجرایی که از کتاب طراحی سازه‌های فولادی تألیف سالمون و جانسون اقتباس گردیده است در شکل ۲-۲۸ نشان داده می‌شود.



الف ـ اتصال تیر به ورق انتهایی *ب ـ اتصال نبشی به ستون*

شکل ۲ ـ ۲۸ ـ نمونه‌ای از علائم جوشکاری

در شکل ۲- ۲۸- الف تیر بر ورق انتهایی توسط جوش گوشه‌ی دور تا دور و با الکترود E60 متصل می‌شود. در شکل ۲- ۲۸- ب ورق با ضخامت ۱۲ میلی‌متر توسط جوش شیاریِ نیم جناغیِ دوطرفه، همراه با ترکیب جوش گوشه و ساق نبشی با جوش‌های گوشه با ضخامت ۶ میلی‌متر و طول ۱۵۰ میلی‌متر، ضخامت ۵ میلی‌متر و در طول‌های ۱۲۵ و ۲۵۰ میلی‌متر و نیز جوش انگشتانه در کارخانه و بر روی زمین (خط زیر علامت چهارگوش معرف جوش بر روی زمین است)، به ورق اتصال متصل شده است.

۲ ـ ۱۱ سطح مؤثر جوش و محدودیت اندازه‌ی آن

برای محاسبه‌ی تنش‌های اسمی ناشی از نیروهای وارده بر موضع جوش، محاسبه‌ی سطح مؤثر جوش ضروری است. سطح مؤثر جوش در واقع سطحی است که احتمال وقوع شکست در آن انتظار می‌رود. سطح مؤثر جوش شیاری یا گوشه حاصل‌ضرب اندازه مؤثر گلوی جوش a_e در طول مؤثر جوش L_w است.

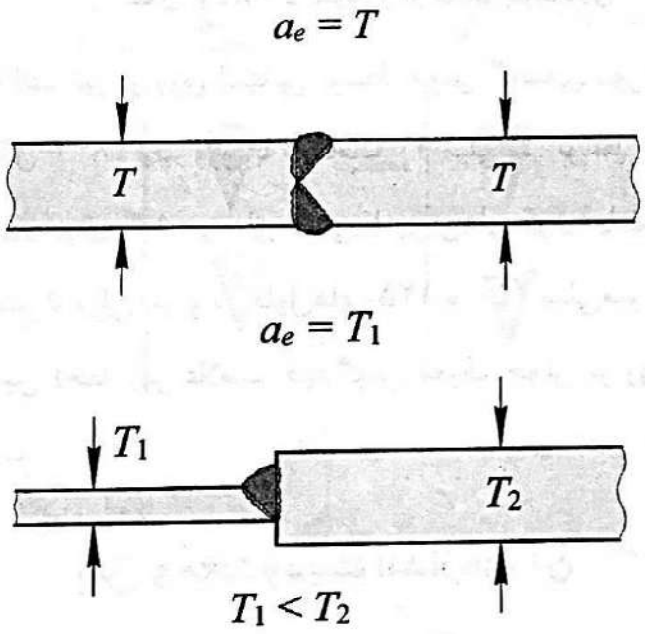
۲ ـ ۱۱ ـ ۱ سطح مؤثر جوش شیاری

سطح مؤثر جوش شیاری برابر حاصل‌ضرب طول مؤثر در بعد مؤثر گلوی جوش است. طول مؤثر جوش برای انواع جوش‌های شیاری با لبه ساده و یا پخ‌دار برابر حاصل‌ضرب عرض قطعه‌ی اتصالی در امتداد عمود بر جهت تنش است. بعد مؤثر گلوی جوش در جوش شیاری با نفوذ کامل برابر با ضخامت ورق نازکتر است و هیچ‌گونه افزایشی به علت وجود تحدب منظور نمی‌شود (شکل ۲-۲۹).

برای جوش شیاری با نفوذ نسبی چنان‌چه زاویه شیار $45° < \alpha < 60°$ باشد و جوشکاری به روش قوس با الکترود روکش‌دار یا زیر پودری انجام شده و یا هنگامی که در وضعیت سربالا و سقفی توسط جوشی تحت حفاظ گاز با الکترود فلزی، جوش قوسی با الکترود توپودری انجام شده باشد، اندازه مؤثر گلوی جوش برابر عمق شیار منهای ۳ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۲-۳۰- الف).

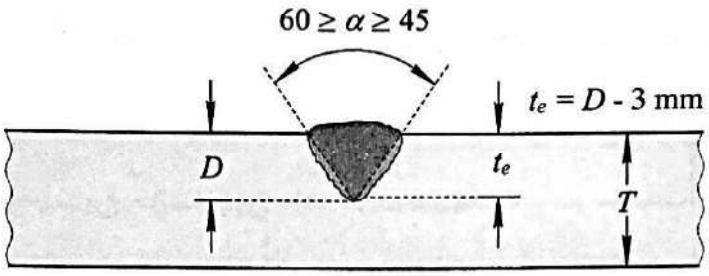
در شرایط زیر اندازه‌ی مؤثر گلوی جوش شیاری مساوی عمق شیار و بدون هیچ‌گونه کاهشی در نظر گرفته می‌شود:

۱- زاویه‌ی شیار مساوی یا بزرگتر از ۶۰ و هنگامی که جوش قوسی با الکترود روکش‌دار، جوش زیرپودری، جوش قوسی تحت حفاظ گاز با الکترود فلزی یا جوش قوسی با الکترود توپودری باشد.

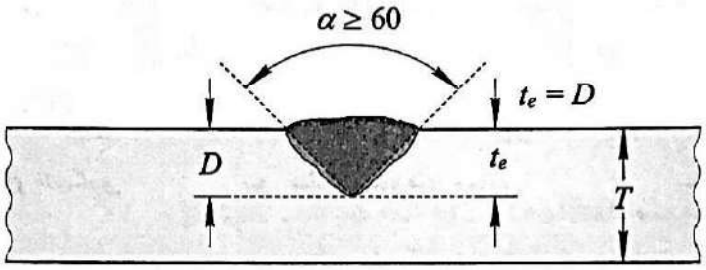


شکل ۲ ـ ۲۹ ـ بعد مؤثر گلوی جوش شیاری با نفوذ کامل

۲- زاویه‌ی شیار بزرگتر یا مساوی ۴۵ درجه بوده و نیز جوش شیاری در وضعیت تخت یا افقی با جوش قوسیِ تحت حفاظ گاز با الکترود فلزی و یا جوش قوسیِ با الکترود توپودری انجام شود. ضخامت مؤثر جوش شیاری بین دو لبه‌ی گرد (مانند شیار بین دو میلگرد) و پائین یک لبه‌ی گرد و لبه‌ی تخت (مانند میلگرد در مجاورت ورق) مطابق شکل ۲-۳۱ است.

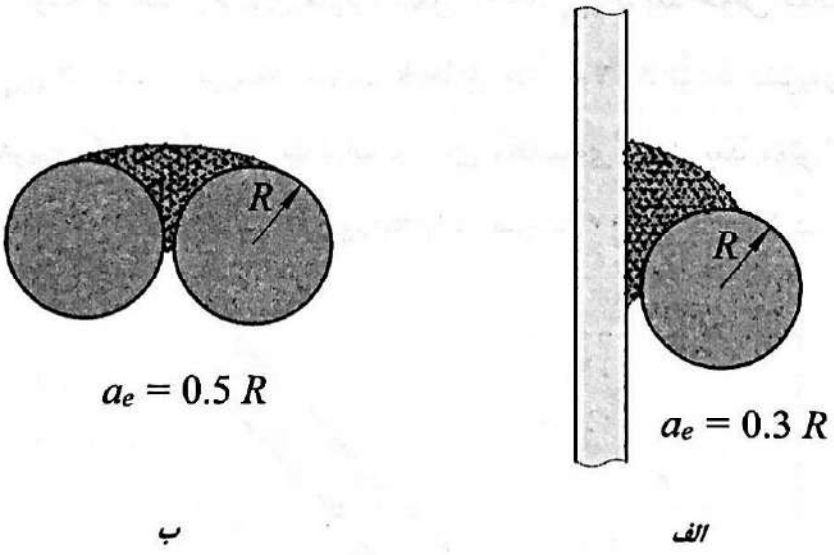


الف



ب

شکل ۲ ـ ۳۰ ـ بعد مؤثر گلوی جوش شیاری با نفوذ نسبی



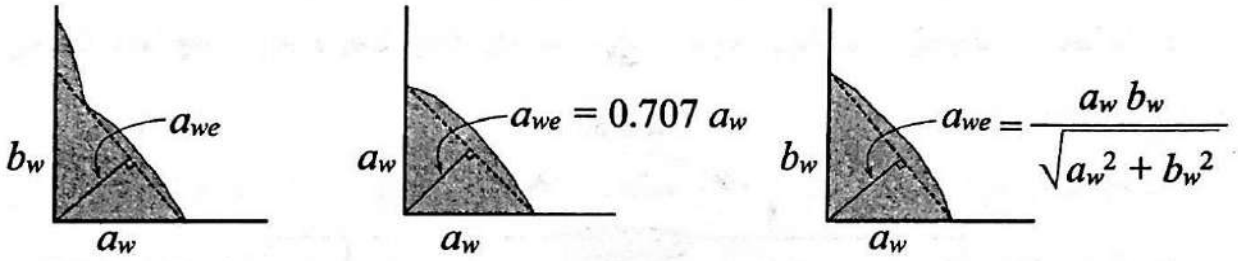
ب الف

شکل ۲ ـ ۳۱ ـ ضخامت مؤثر جوش بین لبه‌های گرد

۲ ـ ۱۱ ـ ۲ سطح مؤثر جوش گوشه

سطح مؤثر جوش گوشه برابر حاصل‌ضرب طول مؤثر در بعد مؤثر گلوی جوش است. طول مؤثر جوش گوشه برابر طول کل نوار تمام اندازه است. نوار تمام اندازه نواری است، که در طول آن اندازه‌ی گلوی جوش ثابت باشد. حداقل طول جوش گوشه باید ۴ برابر اندازه‌ی ساق جوش باشد.

به بیان دیگر اندازه‌ی ساق جوش نباید بزرگتر از $\frac{۱}{۴}$ طول مؤثر آن در نظر گرفته شود. بعد مؤثر گلوی جوش گوشه، کوتاه‌ترین فاصله از ریشه تا سطح هندسه ایده‌آل مقطع جوش است. در شکل ۲-۳۲ اندازه‌ی گلوی مؤثر در چندین حالت نشان داده شده است.

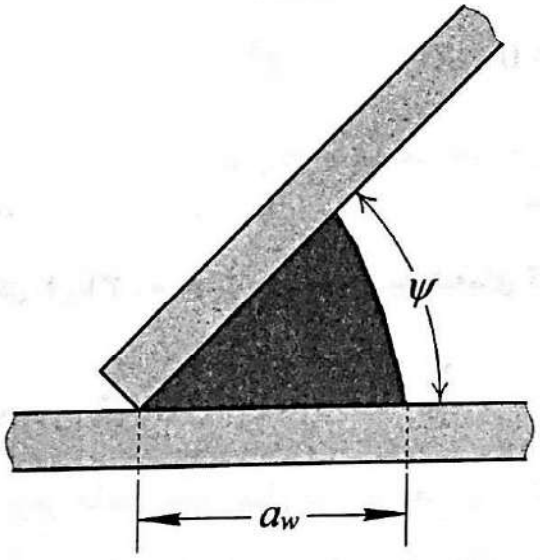


پ ـ جوش با سطح ناصاف ب ـ جوش با ساق‌های مساوی الف ـ جوش با ساق‌های نامساوی

شکل ۲ ـ ۳۲ ـ بعد مؤثر گلوی جوش

در شکل ۲-۳۲ a_{we} بُعد مؤثر گلوی جوش، a_w و b_w اندازه‌ی ساق جوش گوشه نامیده می‌شوند.

برای جوش گوشه در اتصال سپری مورب، شکل ۲-۳۳، $a_{weq.}$ بُعد جوش معادل حالت ۹۰° از رابطه $a_{weq.} = ka_w$ محاسبه می‌شود. ضریب k طبق جدول ۲- ۸ توسط نشریه‌ی ۲۲۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور پیشنهاد شده است. برای محاسبه‌ی a_{we}، بعد مؤثر گلوی جوش در حالت مورب، (شکل ۲-۳۳)، باید اندازه‌ی $a_{weq.}$ را در ضریب ۰/۷۰۷ ضرب کرد.



شکل ۲ ـ ۳۳ ـ جوش گوشه در اتصال سپری مورب

۳ـ۱۱ طبقه‌بندی و شماره گذاری الکترودها طبق AWS

الکترودها برحسب خواص مکانیکی مفتول فولادی، نوع پوشش، و وضعیت جوشکاری طبقه‌بندی و برای شناسایی شماره‌گذاری می‌شوند.

سیستم شماره‌گذاری براساس AWS ، یک عدد چهار یا پنج رقمی می‌باشد که به‌دنبال حرف E قرار می‌گیرند. حرف E مخفف کلمهٔ الکترود است. اولین دو رقم سمت چپ (یا سه رقم اول در سیستم پنج رقمی) حداقل مقاومت کششی مفتول الکترود را برحسب کیلوپوند (هزار پوند) بر اینچ مربع نشان می‌دهد (اگر این عدد در ۷۰ ضرب شود، مقاومت برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به‌دست می‌آید). برای مثال مقاومت کششی الکترود E6010 ، مساوی ۶۰۰۰۰ Psi (۴۲۰۰ kg/cm^2) ، و الکترود E7010 مساوی ۷۰۰۰۰ Psi (۴۹۰۰ kg/cm^2) و الکترود E10010 مساوی ۱۰۰۰۰۰ Psi (۷۰۰۰ kg/cm^2) است. رقم سوم موقعیت جوشکاری را توصیف می‌کند. برای مثال عدد یک در E6010 نشان می‌دهد جوشکاری با این نوع الکترود در همهٔ موقعیت‌ها اعم از تخت، افقی، سربالا و سقفی می‌تواند انجام شود. عدد ۲ از E7020 نشان می‌دهد که این الکترود تنها در جوشکاری درزهای تخت و افقی به‌کار می‌رود. عدد ۳ نشان می‌دهد که الکترود باید تنها در موقعیت جوشکاری تخت به‌کار رود. آخرین رقم نوع جریان و نوع روکش الکترود را تعیین می‌کند. توضیح بیشتر در مورد این سیستم طبقه‌بندی شماره‌ای در جدول‌های ۳ ـ ۴ و ۳ ـ ۵ آمده است.

جدول ۳ ـ ۴ سیستم طبقه‌بندی الکترودها به‌روش AWS

رقم	مفهوم	مثال
۲ یا ۳ رقم اول	حداقل مقاومت کششی	E – 60XX= ۴۲۰۰ kg/cm^2 E – 110XX= ۷۷۰۰ kg/cm^2
رقم بعدی	وضعیت جوشکاری	تمام وضعیت‌ها E – XX1X= تخت و افقی E=XX2X= تخت E=XX3X
رقم آخر	نوع جریان، نوع سرباره، نوع قوس، عمق نفوذ، وجود پودر آهن و هیدروژن در روکش	به‌جدول ۳ ـ ۵ مراجعه شود.

جدول ۳ ـ ۵ مفهوم رقم آخر در

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

علامت شناسایی الکترود

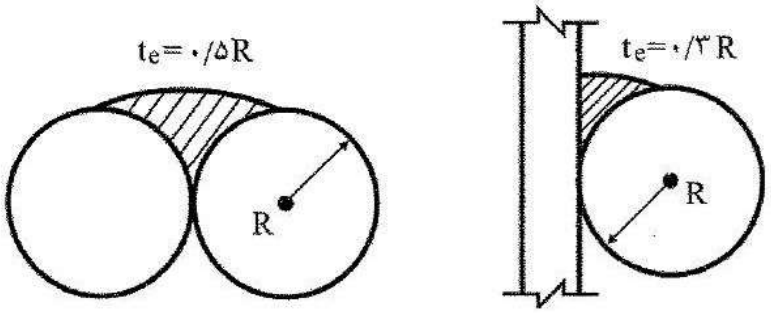
• DCSP = جریان یکسو ـ قطبیت مستقیم • DCRP = جریان یکسو ـ قطبیت معکوس • A.C. = جریان متناوب

۱۰-۲-۹-۲ جوش‌ها

۱۰-۲-۹-۲-۱ جوش‌های شیاری

الف) سطح مقطع موثر: سطح مقطع موثر در جوش‌های شیاری عبارت است از: حاصل‌ضرب طول موثر در ضخامت موثر جوش. طول موثر جوش برابر با طول جوش‌شده و ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ کامل برابر با ضخامت قطعهٔ نازکتر در اتصال لب به لب و ضخامت قطعهٔ جوش شده در اتصال کنج و سپری در نظر گرفته می‌شود. ضخامت موثر در جوش شیاری با نفوذ نسبی برابر با عمق شیار جوش منهای ۳ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی در وضعیتی که بارگذاری متناوب (اثر خستگی) وجود داشته باشد مجاز نیست.

ضخامت موثر جوش شیاری که بین دو لبهٔ گرد (مثل شیار بین دو میلگرد) و یا بین یک لبهٔ گرد و لبهٔ تخت (مثل میلگرد در مجاورت ورق) داده می‌شود، مطابق شکل ۱۰-۲-۹-۲ می‌باشد.



شکل ۱۰-۲-۹-۲ ضخامت موثر جوش‌های شیاری لب گرد

ب) محدودیت: ضخامت موثر در جوش‌های شیاری با نفوذ نسبی نباید از مقادیر مندرج در جدول ۱۰-۲-۹-۱ کمتر شود. حداقل ضخامت موثر با توجه به ضخامت قطعه نازکتر تعیین می‌شود. ضخامت جوش نباید از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده تجاوز کند.

جدول ۱۰-۲-۹-۱ حداقل ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ نسبی

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل ضخامت موثر
تا ۶ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۶ تا ۱۲ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر	۸ میلی‌متر
بیش از ۴۰ تا ۶۰ میلی‌متر	۱۰ میلی‌متر
بیش از ۶۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر	۱۳ میلی‌متر
بیش از ۱۵۰ میلی‌متر	۱۶ میلی‌متر

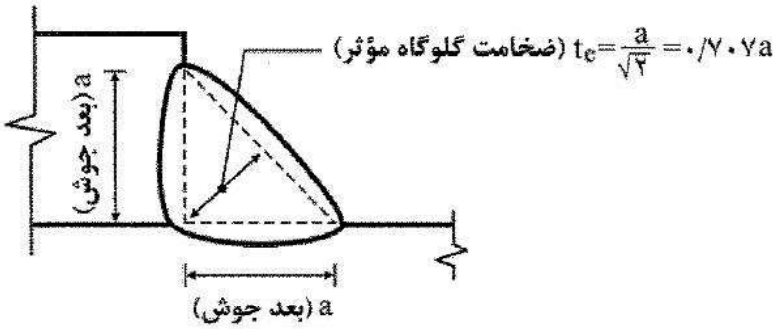
- *در صورتی‌که نتوان ضخامت‌های حداقل فوق را با یک عبور تعیین نمود باید از پیش گرمایش و یا فرآیندهای کم‌هیدروژن استفاده کرد.*
- *برای قطعات با ضخامت بزرگتر از ۴۰ میلی‌متر، پیش‌گرمایش و دستورالعمل جوشکاری باید با مطالعهٔ خاص مورد بررسی قرار گیرد.*

۱۰-۲-۹-۲-۲ جوش‌های گوشه

الف) سطح مقطع موثر: سطح مقطع موثر در جوش‌های گوشه برابر با حاصل‌ضرب طول موثر در ضخامت گلوگاه موثر در نظر گرفته می‌شود.

طول موثر جوش گوشه (به جز جوش‌هایی که در سوراخ و شکاف قرار می‌گیرد) برابر با طول کلی نوار جوش شامل قسمت‌های برگشت خورده می‌باشد.

بعد جوش گوشه (a) اندازه ساق مقطع جوش می‌باشد. طبق شکل ۱۰-۲-۹-۳ ضخامت گلوگاه موثر (t_e) در جوش گوشه برابر کوتاهترین فاصله بین ریشهٔ مقطع جوش تا سطح خارجی آن و به عبارت دیگر برابر ارتفاع وارد بر وتر مثلث مقطع جوش به حساب می‌آید.



شکل ۱۰-۲-۹-۳ ضخامت گلوگاه موثر جوش‌های گوشه

برای جوش‌های گوشه در سوراخ و شکاف، طول موثر برابر با طول محوری (میانتاری) که از مقطع گلوگاه جوش می‌گذرد، در نظر گرفته می‌شود.

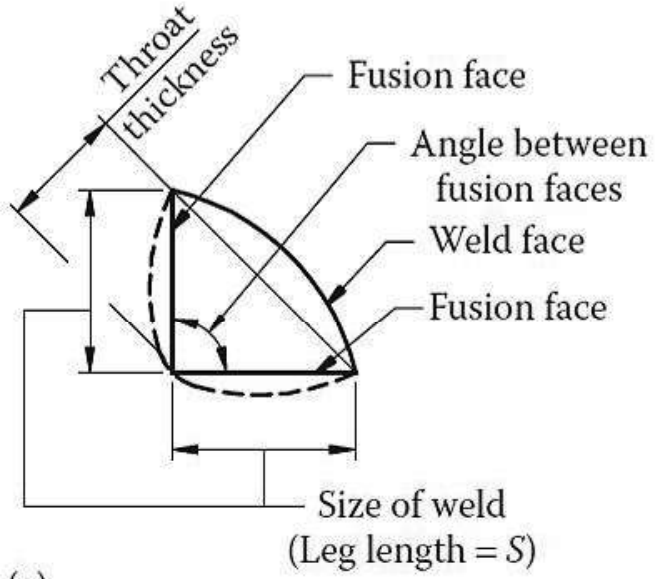
ب) محدودیت‌ها:

۱- حداقل بُعد جوش‌های گوشه نباید از بُعد مورد نیاز برای انتقال بارهای محاسبه شده و اندازه‌های نشان داده شده در جدول ۱۰-۲-۹-۲ کوچکتر انتخاب شود. حداقل بُعد جوش تابع ضخامت قطعهٔ نازکتر می‌باشد و از طرفی نباید بُعد جوش از ضخامت نازکترین قطعهٔ متصل شونده تجاوز نماید.

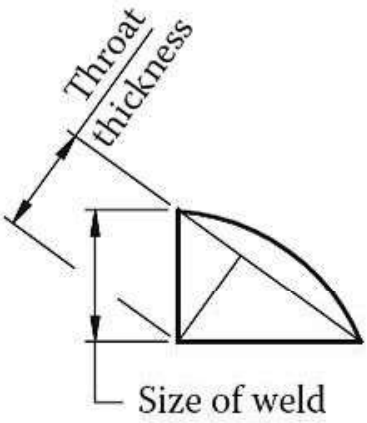
جدول ۱۰-۲-۹-۲ حداقل بُعد جوش گوشه

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل بُعد جوش گوشه (با یک بار عبور)
تا ۶ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۶ تا ۱۲میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰	۸ میلی‌متر

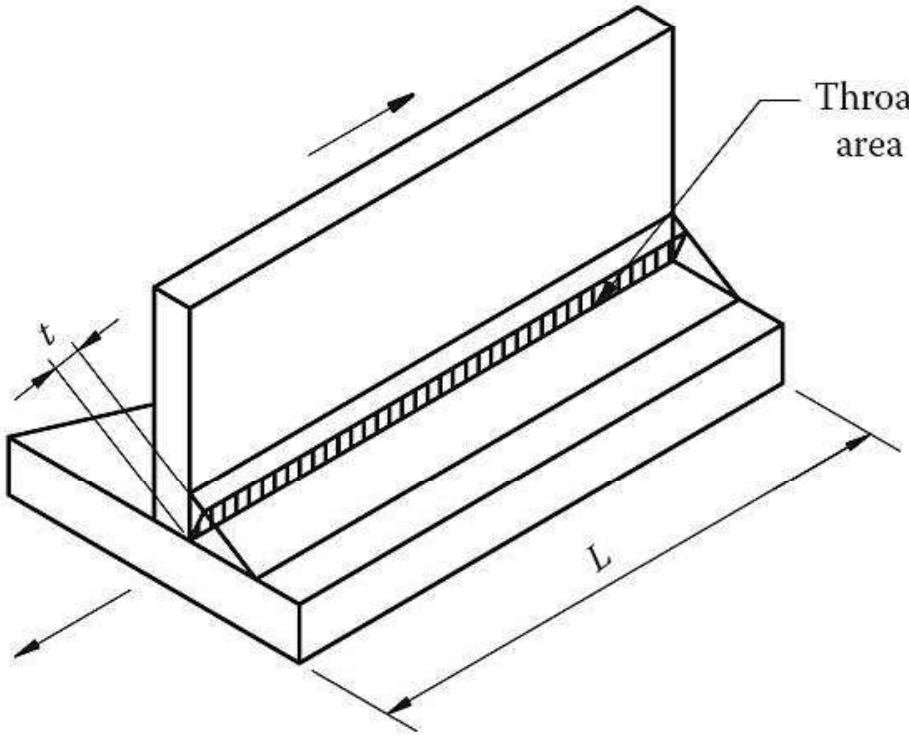
- در صورتی‌که نتوان ضخامت‌های حداقل فوق را با یکبار عبور تأمین نمود، باید از پیش گرمایش و یا فرآیندهای کم هیدروژن استفاده کرد.
- در سازهٔ تحت بار دینامیکی حداقل اندازه جوش ۵ میلی‌متر می‌باشد

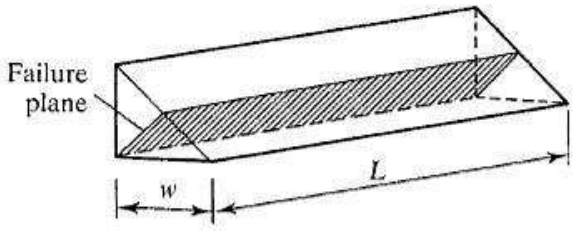

Throat thickness
Fusion face
Angle between fusion faces
Weld face
Fusion face
Size of weld
(Leg length = S)

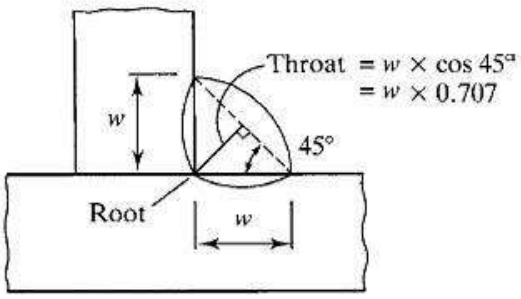
(a)


Throat thickness
Size of weld

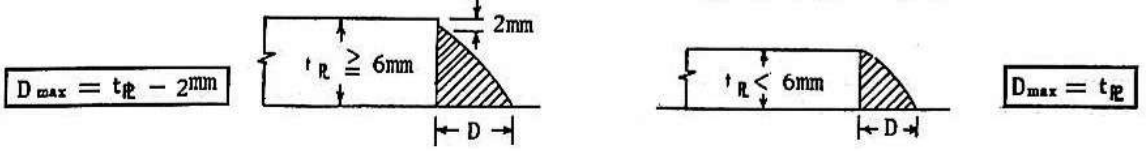
(b)


Throat area
t
L


Failure plane
w
L

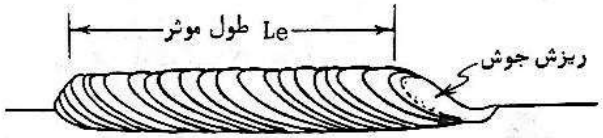

Throat = w × cos 45°
= w × 0.707
w
45°
Root
w

۲- حداکثر بُعد جوش‌های گوشه در لبهٔ قطعات متصل شونده برای قطعات با ضخامت مساوی یا کمتر از ۶ میلی‌متر برابر ضخامت قطعه و برای قطعات با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر برابر ضخامت قطعه منهای ۲ میلی‌متر می‌باشد.

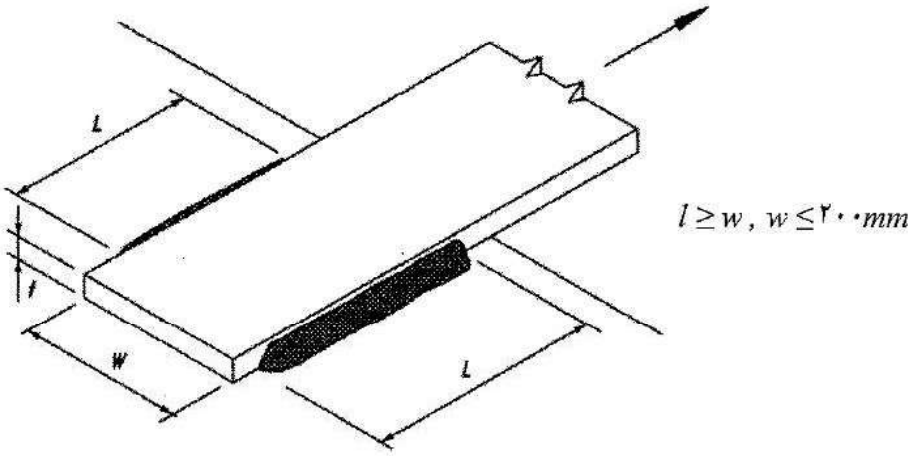


۳- طول موثر جوش‌های گوشه‌ای که برای تحمل تنش‌ها محاسبه شده‌اند نباید از ۴ برابر بُعد جوش کمتر باشد. به عبارت دیگر، بُعد جوش نباید از $\frac{1}{4}$ طول آن تجاوز نماید.

$$D \leqq \frac{L}{4} \quad \text{یا} \quad L_e \geqq 4D \geqq 4^{cm}$$



۴- در اتصال‌های انتهای تسمه‌های کششی اگر از جوش گوشه فقط در لبه‌های طولی و موازی امتداد نیرو استفاده شود، طول جوش هر طرف نباید از فاصلهٔ عمودی بین آنها (تقریباً پهنای تسمه) کمتر باشد و این فاصله نباید از ۲۰۰ میلی‌متر تجاوز کند (شکل ۱۰-۲-۹-۴). برای تأثیر طول جوش در سطح مقطع موثر اعضای کششی به جدول ۱۰-۲-۳-۱ مراجعه شود.



شکل ۱۰-۲-۹-۴ جوش گوشه در انتهای تسمه‌های کششی

۵- در اتصال انتهایی اعضای محوری، طول موثر جوشی که به صورت طولی بارگذاری شده است نباید از ۱۰۰ برابر بعد جوش (a) تجاوز نماید. در صورت نیاز به طول جوش بیش از ۱۰۰ برابر بعد ساق جوش، طول موثر جوش باید با ضریب (β) کاهش داده شود.

$L_e=\beta L$ $\beta=۱/۲ - ۰/۰۰۲ (L/a) \leq ۱/۰$ (۱-۹-۲-۱۰)

که در آن:

L_e= طول موثر جوش

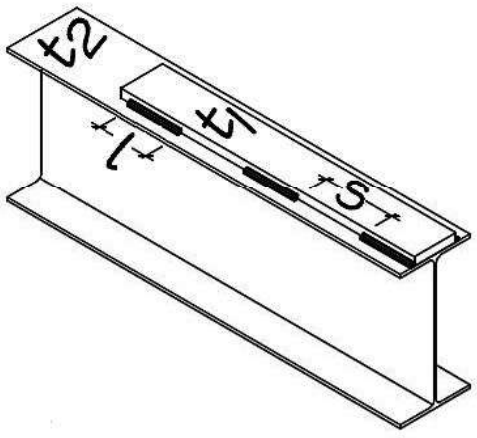
L= طول واقعی جوشی که از قسمت انتهایی جوش به صورت طولی بارگذاری شده است.

a= بُعد ساق جوش

β= ضریب کاهش طول واقعی (اسمی) جوش

برای L/a بزرگتر از ۳۰۰ طول موثر جوش باید برابر ۱۸۰a در نظر گرفته شود.

۶- جوش‌های گوشه منقطع برای انتقال تنش‌های محاسبه شده هنگامی مجاز است که نیروی منتقله از مقاومتی که با جوش پیوسته (سرتاسری) و با حداقل بعد جوش تأمین می‌شود، کمتر باشد. استفاده از این نوع جوش در اتصال جان و بال تیر ورق‌ها، اتصال ورق‌های تقویتی بال، اتصال قطعات سخت‌کننده به جان تیر ورق و برای اتصال اجزای اعضای ساخته‌شده از ورق مجاز می‌باشد. طول موثر قطعات جوش منقطع نباید از ۴ برابر بُعد جوش و از ۴۰ میلی‌متر کمتر باشد. فاصلهٔ آزاد بین قطعات جوش نباید از ۱۶ برابر ضخامت نازکترین قطعهٔ متصل شونده وقتی که در فشار است و از ۲۴ برابر این ضخامت وقتی که در کشش است، بیشتر شود. دراین خصوص به الزامات بندهای ۱۰-۲-۳-۵ و ۱۰-۲-۴-۷-۲ نیز مراجعه شود.



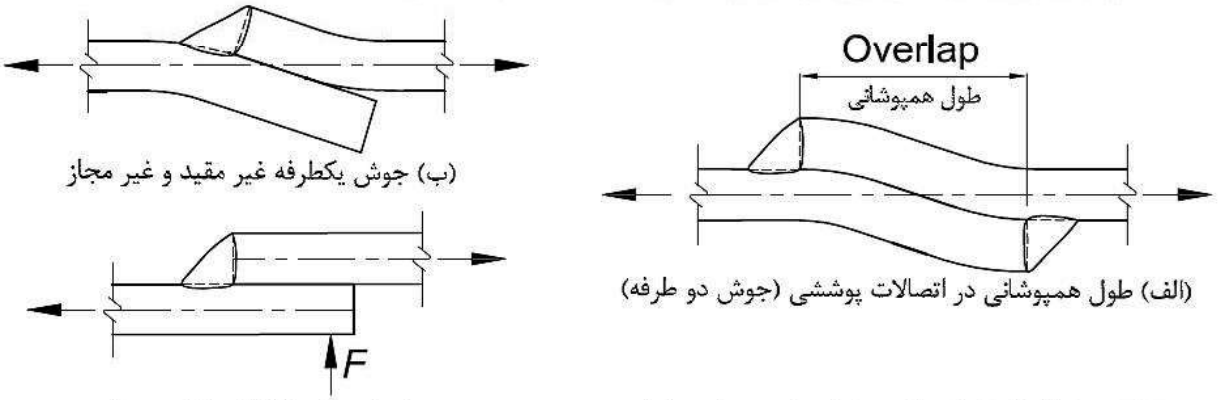
$t_{min} = Min\{t_1 , t_2\}$

$S \leq 16\, t_{min}$ تحت فشار

$S \leq 24\, t_{min}$ تحت کشش

$l \geq Max\{4D, 40mm\}$

۷- در اتصالات پوششی (رویهم) دو قطعه، طول همپوشانی نباید از ۵ برابر ضخامت قطعهٔ نازکتر کمتر باشد و در هیچ حالتی از ۲۵ میلی‌متر کمتر نشود. در اتصالات پوششی که ورق و تسمه‌های تحت اثر تنش‌های محوری را به یکدیگر متصل می‌کند، باید ضلع انتهایی هریک از قسمت‌های متصل شونده، توسط جوش گوشه اتصال یابند (جوش دو طرفه). در وضعیتی که اتصال به اندازه کافی مقید شده باشد یا تغییرشکل خمشی آنقدر محدود باشد که از باز شدن اتصال تحت اثر بار حداکثر جلوگیری شود، می‌توان از جوش یکطرفه استفاده کرد (شکل ۱۰-۲-۹-۵).



(الف) طول همپوشانی در اتصالات پوششی (جوش دو طرفه)

(ب) جوش یکطرفه غیر مقید و غیر مجاز

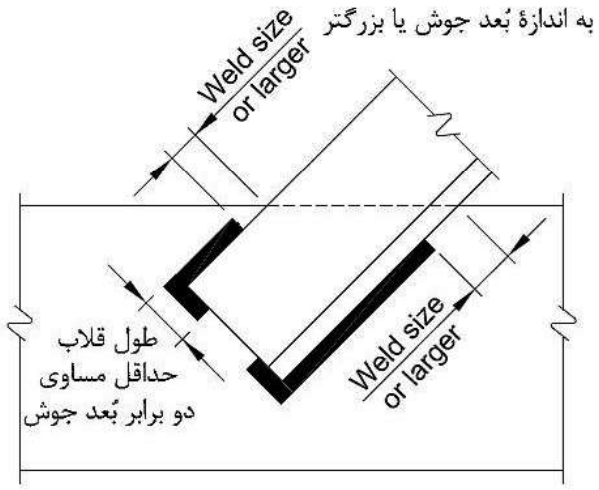
(پ) جوش یکطرفه مقید و مجاز

شکل ۱۰-۲-۹-۵ اتصال پوششی (رویهم) دو قطعه

۸- استفاده از جوش گوشه در لبهٔ سوراخ و شکاف در اتصالات رویهم، به منظور انتقال برش یا جلوگیری از کمانش و یا جدایی قسمت‌های متصل شونده مجاز می‌باشد. جوش‌های گوشه در سوراخ‌ها و شکاف‌ها را نباید به عنوان جوش کام یا انگشتانه در نظر گرفت.

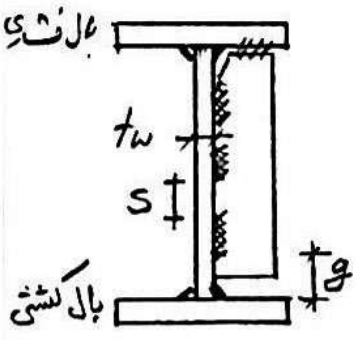
۹- جوش‌های گوشه می‌توانند به انتهای ناحیهٔ اتصال منتهی شده یا قبل از رسیدن به انتهای ناحیهٔ اتصال قطع شوند و یا حتی می‌توان آنها را طوری جوش داد تا به شکل قوطی یا ناودانی در بیاید. مگر در مواردی به شرح زیر که محدودیتی برای آنها وضع شده است.

- در اتصالات پوششی (رویهم) که یکی از قطعه‌های اتصالی تا پشت لبهٔ قطعه اتصالی دیگر که تحت اثر تنش کششی قرار دارد امتداد یافته باشد، جوش گوشه باید در فاصله‌ای بیشتر یا مساوی با بُعد جوش تمام شود (شکل ۱۰-۲-۹-۶).
- کلیهٔ جوش‌های گوشه که در لبهٔ کناری یا ضلع انتهایی عضو انجام می‌شود، باید در انتهای ضلع و بر روی ضلع دیگر برگشت داده شود که به آن قلاب می‌گویند. حداقل طول قلاب ۲ برابر بُعد جوش می‌باشد. این شرط شامل جوش‌های گوشه قائم و جوش‌های گوشه سر بالا در تکیه‌گاه‌های لچکی (براکت) و برای نبشی‌های نشیمن تیر و اتصالات نظیر می‌باشد (شکل ۱۰-۲-۹-۶).



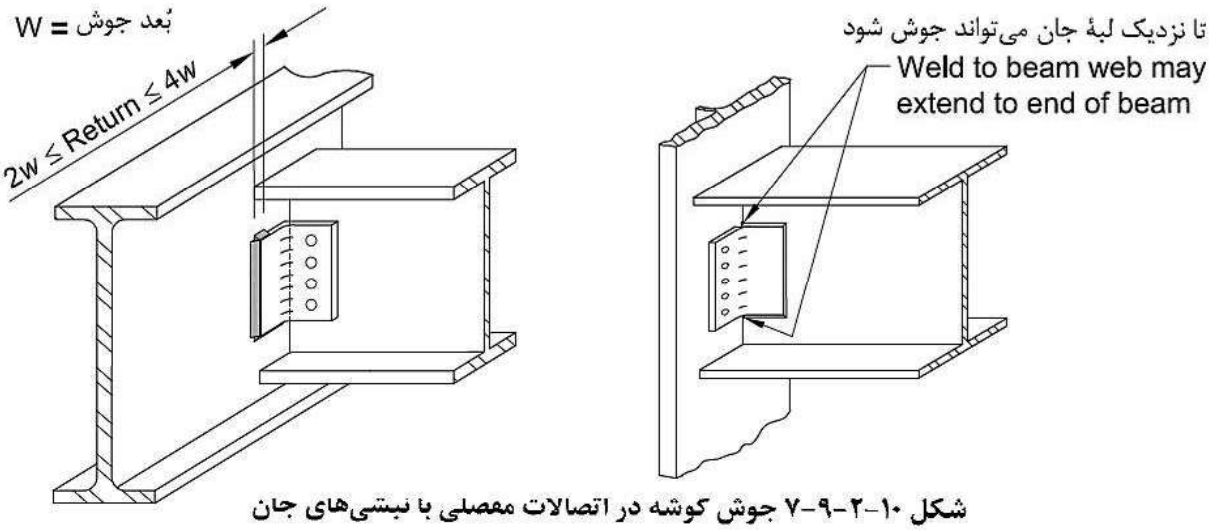
شکل ۱۰-۲-۹-۶ جوش گوشه در انتهای اعضای محوری

- جوش‌های گوشه‌ای که ورق‌های سخت‌کننده عرضی را به جان تیر ورق‌های با ضخامت جان کمتر از ۲۰ میلی‌متر متصل می‌کنند، نباید کمتر از ۴ برابر و بیشتر از ۶ برابر ضخامت جان، از پنجهٔ جان تا جوش جان به بال منتهی شود. مگر در حالتی‌که انتهای ورق سخت کنندهٔ عرضی به بال جوش شده باشد.



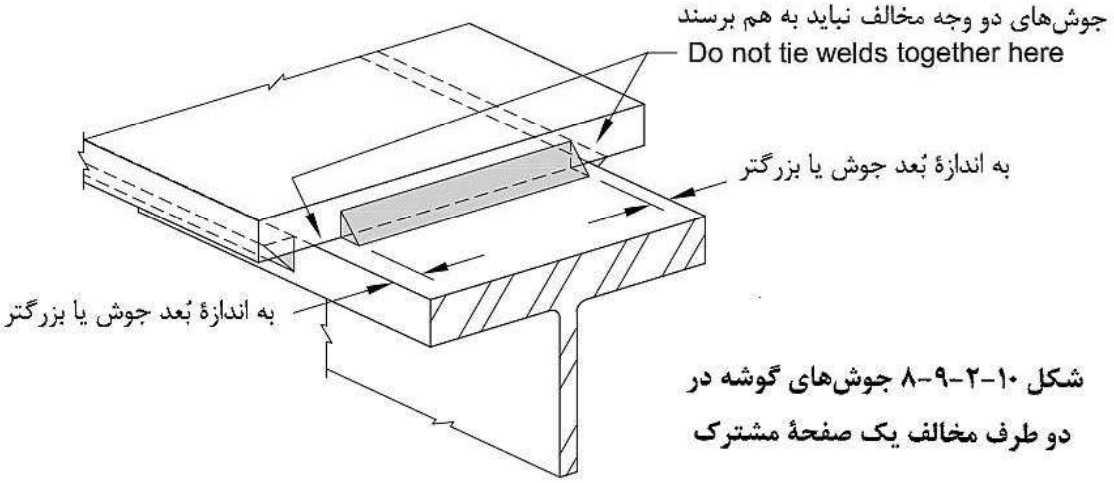
$4t_w \leq g \leq 6t_w$

- در اتصالات مفصلی با نبشی‌های جان، که انعطاف‌پذیری اتصال به مقدار زیادی تابع انعطاف‌پذیری بال برجسته نبشی‌ها می‌باشد، برگشت در انتهای جوش گوشه نباید از ۴ برابر بُعد جوش و نیز نصف پهنای بال نبشی بیشتر باشد. برگشت انتها در جوش گوشه باید در نقشه‌ها و جزئیات اجرایی قید شود (شکل ۱۰-۲-۹-۷).



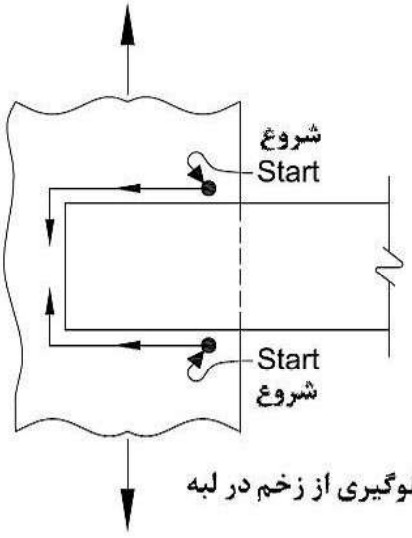
شکل ۱۰-۲-۹-۷ جوش کوشه در اتصالات مفصلی با نبشی‌های جان

- جوش‌های گوشه‌ای که در دو وجه مخالف یک صفحهٔ مشترک ایجاد می‌شود، باید در گوشهٔ مشترک بین دو نوار جوش قطع شوند (شکل ۱۰-۲-۹-۸).



شکل ۱۰-۲-۹-۸ جوش‌های گوشه در دو طرف مخالف یک صفحهٔ مشترک

- در اتصالات پوششی (رویهم) برای جلوگیری از زخم در لبه، انتخاب محل شروع و پایان مسیر جوشکاری باید مورد توجه قرار گیرد (شکل ۱۰-۲-۹-۹).



شکل ۱۰-۲-۹-۹ مسیر مناسب برای جلوگیری از زخم در لبه

۱۰-۲-۹-۲-۳ جوش‌های انگشتانه و کام

الف) سطح مقطع مؤثر: سطح مقطع مؤثر در برش برای جوش انگشتانه و کام مساوی سطح مقطع اسمی سوراخ و شکاف در صفحهٔ برش در نظر گرفته می‌شود.

ب) محدودیت‌ها

۱. استفاده از جوش انگشتانه و کام برای انتقال برش در اتصال‌های پوششی و یا جلوگیری از کمانش در عناصر رویهم آمده در اعضای ساخته‌شده، مجاز می‌باشد.

۲. قطر سوراخ در جوش انگشتانه نباید از ضخامت قطعهٔ سوراخ‌شده به اضافهٔ ۸ میلی‌متر کمتر باشد. همچنین قطر یادشده نباید از قطر حداقل به اضافه ۳ میلی‌متر و یا $2\frac{1}{4}$ برابر ضخامت جوش بزرگتر شود.

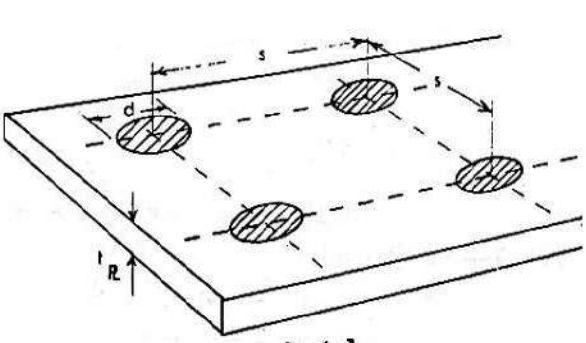
۳. حداقل فاصلهٔ مرکز به مرکز سوراخ‌های جوش‌های انگشتانه ۴ برابر قطر سوراخ می‌باشد.

۴. طول شکاف در جوش کام نباید از ۱۰ برابر ضخامت جوش بیشتر باشد.

۵. پهنای شکاف در جوش کام نباید از ضخامت قطعهٔ بریده شده به اضافه ۸ میلی‌متر کمتر و همچنین از $2\frac{1}{4}$ برابر ضخامت جوش بیشتر باشد.

۶. انتهای شکاف یا باید نیم‌دایره‌ای باشد و یا خطی مستقیم که گوشه‌های آن تبدیل به ربعی از دایره (با شعاعی بزرگتر از ضخامت قطعه حاوی شکاف) می‌شود، باشد. مگر اینکه انتهای شکاف به لبهٔ قطعه منتهی شده باشد.

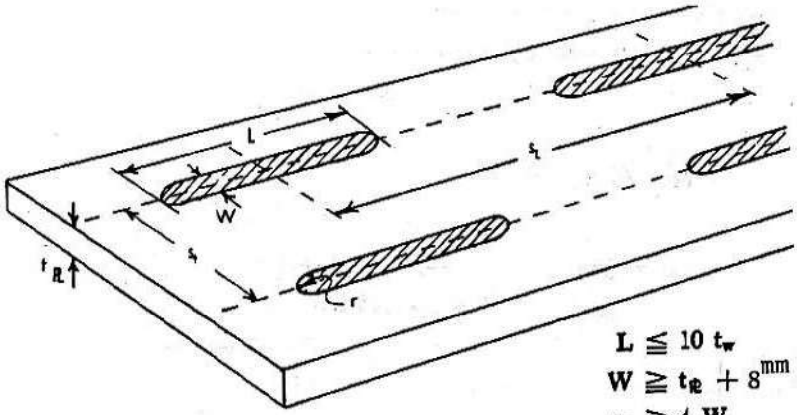
۷. حداقل فاصلهٔ مرکز به مرکز شکاف‌ها در امتداد عمود بر طول، ۴ برابر پهنای شکاف و حداقل فاصلهٔ مرکز به مرکز شکاف‌ها در امتداد طول، ۲ برابر طول شکاف می‌باشد.



$s \geqq 4\,d$

$d \geqq t_R + 8^{mm} < 2.25\,t_w$

t_w = ضخامت جوش



$L \leqq 10\,t_w$

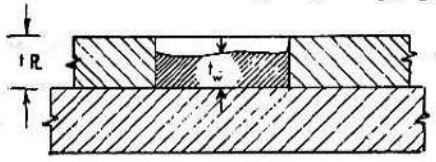
$W \geqq t_R + 8^{mm} \leqq 2.25\,t_w$

$s_T \geqq 4\,W$

$s_L \geqq 2\,L$

$r \geqq t_R$

۸. ضخامت جوش انگشتانه و کام در قطعاتی که ضخامت آنها ۱۶ میلی‌متر و یا کمتر است، باید برابر با ضخامت قطعه باشد. در قطعاتی که ضخامت آنها بیش از ۱۶ میلی‌متر است، ضخامت این جوش باید حداقل $\frac{1}{2}$ ضخامت قطعه باشد و از ۱۶ میلی‌متر نیز کمتر نشود.



$t_R \leqq 16^{mm} \Rightarrow t_w = t_R$

$t_R > 16^{mm} \Rightarrow t_w \geqq \frac{1}{2}\,t_R \geqq 16^{mm}$

۱۰-۲-۹-۲-۴ مقاومت جوش

مقاومت طراحی جوش‌ها مساوی ϕR_n می‌باشد که در آن، ϕ ضریب کاهش مقاومت طبق جدول ۱۰-۲-۹-۳ و R_n مقاومت اسمی جوش می‌باشد که باید به شرح زیر برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی گسیختگی کششی و گسیختگی برشی برای مصالح فلز پایه و حالت حدی گسیختگی برای فلز جوش در نظر گرفته شود.

با توجه به آئین نامه اتصالات بنظر میرسد برای جوش نفوذی تحت کشش و برش ضریب بازرسی باید اعمال شود

الف) بر اساس مصالح فلز پایه

$$R_n = \beta F_{nBM} A_{BM} \qquad (۱۰-۲-۹-۲)$$

ب) بر اساس مصالح فلز جوش

$$R_n = \beta F_{nw} A_{we} \qquad (۱۰ ۲ ۹ ۳)$$

که در آن:

F_{nBm} = تنش اسمی فلز پایه

F_{nw} = تنش اسمی فلز جوش

A_{BM} = سطح مقطع فلز پایه

A_{we} = سطح مقطع مؤثر جوش

β = ضریب بازرسی جوش به شرح زیر:

۱. در صورت انجام آزمایش‌های غیرمخرب نظیر رادیوگرافی و التراسونیک (فراصوتی): $\beta=1$

۲. در صورت انجام جوش در کارخانه (یا شرایط مشابه) و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس ذیصلاح جوش: $\beta=0/85$

۳. در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس ذیصلاح جوش: $\beta=0/75$

۱۰-۲-۹-۲-۵ ترکیب جوش‌ها

اگر از دو یا چند نوع جوش به صورت مجموعه (جوش شیاری، جوش گوشه، جوش انگشتانه و جوش کام) در یک اتصال استفاده شود، برای تعیین مقاومت طراحی مجموعه باید مقاومت طراحی هر یک را جداگانه نسبت به محور مجموعهٔ جوش محاسبه و سپس مقاومت طراحی مجموعه را از مجموع مقاومت‌های طراحی تک تک جوش‌ها تعیین نمود.

جدول ۱۰-۲-۹-۳ مقاومت جوش‌ها

نوع جوش	نوع بار و جهت آن نسبت به محور جوش	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت جوش	ضریب کاهش مقاومت (ϕ)	تنش اسمی (F_{nBm} یا F_{nw})
جوش شیاری با نفوذ کامل و لبه آماده شده	کششی عمود بر مقطع مؤثر	فلز پایه	*مطابق بند مربوطه*	*مطابق بند مربوطه*
	فشاری عمود بر مقطع مؤثر، کششی و یا فشاری موازی با محور جوش	فلز پایه	*مطابق بند مربوطه*	*مطابق بند مربوطه*
	برشی، در مقطع مؤثر	فلز پایه	مطابق فصل ۱۰-۲-۹-۴	مطابق فصل ۱۰-۲-۹-۴
جوش شیاری با نفوذ نسبی	فشاری، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر فشاری، موازی با محور جوش کششی، موازی با محور جوش	فلز پایه	*مطابق بند مربوطه*	*مطابق بند مربوطه*
	کششی در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	بر اساس فلز پایه	۰/۷۵	$F_{nBM}=F_u$
		بر اساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۸	$F_{nw}=۰/۶F_{ue}$
	برشی، در مقطع مؤثر	بر اساس فلز پایه	مطابق فصل ۱۰-۲-۹-۴	
		بر اساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۷۵	$F_{nw}=۰/۶F_{ue}$
جوش گوشه	برشی، در مقطع مؤثر	بر اساس فلز پایه	مطابق فصل ۱۰-۲-۹-۴	مطابق فصل ۱۰-۲-۹-۴
		بر اساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۷۵	$F_{nw}=۰/۶F_{ue}$
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	فلز پایه	*مطابق بند مربوطه*	*مطابق بند مربوطه*
جوش انگشتانه و کام	برشی، موازی سطح برش شونده (روی مقطع مؤثر)	بر اساس فلز پایه	مطابق فصل ۱۰-۲-۹-۴	مطابق فصل ۱۰-۲-۹-۴
		بر اساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۷۵	$F_{nw}=۰/۶F_{ue}$

F_y = تنش تسلیم فلز پایه F_{ue} = تنش نهایی فلز جوش(الکترود مصرفی)

۱۰-۲-۹-۲-۶ الکترودهای سازگار با مصالح فلز پایه

فلز جوش (الکترود مصرفی) باید سازگار با مصالح فلز پایه و مطابق با مقادیر جدول ۱۰-۲-۹-۴ باشد.

جدول ۱۰-۲-۹-۴ الکترودهای سازگار با فلز پایه

تنش تسلیم مصالح فلز پایه (F_y)	مقاومت نهایی کششی فلز الکترود (F_{ue})	نوع الکترود سازگار
تا ۳۰۰ MPa ,$t \le ۱۵mm$	۴۲۰ MPa	E۶۰ یا معادل آن
	۴۹۰ MPa	E۷۰ یا معادل آن
تا ۳۰۰ MPa ,$t > ۱۵mm$	۴۹۰ MPa	E۷۰ یا معادل آن
از ۳۰۰ MPa تا ۳۸۰ MPa	۴۹۰ MPa	E۷۰ یا معادل آن
از ۳۸۰ MPa تا ۴۶۰ MPa	۵۶۰ MPa	E۸۰ یا معادل آن

t = ضخامت فلز پایه

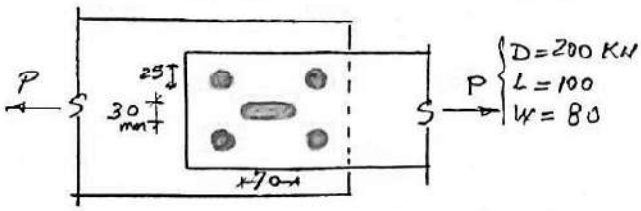
TABLE J2.5
Available Strength of Welded Joints, ksi (MPa)

Load Type and Direction Relative to Weld Axis	Pertinent Metal	ϕ and Ω	Nominal Stress (F_{nBM} or F_{nw}), ksi (MPa)	Effective Area (A_{BM} or A_{we}), in.^{2} (mm^2)	Required Filler Metal Strength Level[a][b]
COMPLETE-JOINT-PENETRATION GROOVE WELDS					
Tension—Normal to weld axis	Strength of the joint is controlled by the base metal.				Matching filler metal shall be used. For T- and corner-joints with backing left in place, notch tough filler metal is required. See Section J2.6.
Compression—Normal to weld axis	Strength of the joint is controlled by the base metal.				Filler metal with a strength level equal to or one strength level less than matching filler metal is permitted.
Tension or compression—Parallel to weld axis	Tension or compression in parts joined parallel to a weld is permitted to be neglected in design of welds joining the parts.				Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.
Shear	Strength of the joint is controlled by the base metal.				Matching filler metal shall be used.[c]
PARTIAL-JOINT-PENETRATION GROOVE WELDS INCLUDING FLARE V-GROOVE AND FLARE BEVEL GROOVE WELDS					
Tension—Normal to weld axis	Base	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	F_u	See J4	Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.
	Weld	$\phi = 0.80$ $\Omega = 1.88$	$0.60F_{EXX}$	See J2.1a	
Compression—Column to base plate and column splices designed per Section J1.4(a)	Compressive stress is permitted to be neglected in design of welds joining the parts.				
Compression—Connections of members designed to bear other than columns as described in Section J1.4(b)	Base	$\phi = 0.90$ $\Omega = 1.67$	F_y	See J4	
	Weld	$\phi = 0.80$ $\Omega = 1.88$	$0.60F_{EXX}$	See J2.1a	
Compression—Connections not finished-to-bear	Base	$\phi = 0.90$ $\Omega = 1.67$	F_y	See J4	
	Weld	$\phi = 0.80$ $\Omega = 1.88$	$0.90F_{EXX}$	See J2.1a	
Tension or compression—Parallel to weld axis	Tension or compression in parts joined parallel to a weld is permitted to be neglected in design of welds joining the parts.				
Shear	Base	Governed by J4			
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{EXX}$	See J2.1a	
FILLET WELDS INCLUDING FILLETS IN HOLES AND SLOTS AND SKEWED T-JOINTS					
Shear	Base	Governed by J4			Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{EXX}$[d]	See J2.2a	
Tension or compression—Parallel to weld axis	Tension or compression in parts joined parallel to a weld is permitted to be neglected in design of welds joining the parts.				
PLUG AND SLOT WELDS					
Shear—Parallel to faying surface on the effective area	Base	Governed by J4			Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{EXX}$	See J2.3a	

[a] For matching weld metal, see AWS D1.1/D1.1M clause 3.3.
[b] Filler metal with a strength level one strength level greater than matching is permitted.
[c] Filler metals with a strength level less than matching are permitted to be used for groove welds between the webs and flanges of built-up sections transferring shear loads, or in applications where high restraint is a concern. In these applications, the weld joint shall be detailed and the weld shall be designed using the thickness of the material as the effective throat, where $\phi = 0.80$, $\Omega = 1.88$ and $0.60F_{EXX}$ is the nominal strength.
[d] The provisions of Section J2.4(b) are also applicable.

مثال ۱. اتصال جوشی زیر را کنترل کنید. الکترود مصرفی E70 و جوشکاری بصورت کارخانه‌ای با بازرسی چشمی V.T. فرض شود

گام ۰) بارگذاری و تحلیل و ترکیب بار



$$\left.\begin{array}{l} 1.4D \rightarrow 280 \\ 1.2D+1.6L \rightarrow 400 \\ 1.2D+L+1.4W \rightarrow 452 \end{array}\right\} \rightarrow P_u = 452\ KN$$

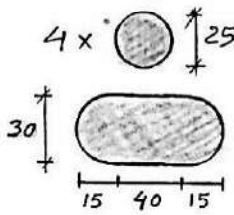
گام ۱) محاسبهٔ مقاومت طراحی جوشها ϕR_n براساس مصالح فلز جوش.

$$E70 \rightarrow F_{uE} = 490\ MPa$$

$$\text{جدول ۱۰-۲-۹-۳ مبحث ۱۰} \rightarrow \begin{cases} \phi = 0.75 \\ F_{nw} = 0.6 F_{uE} = 294\ MPa \end{cases}$$

$$\text{جوش کارخانه‌ای با بازرسی V.T.} \rightarrow \beta = 0.85$$

سطح مقطع مؤثر جوش:



$$\left.\begin{array}{l} 4\times\left(\frac{\pi}{4}25^2\right) = 1963\ mm^2 \\ \pi\times\frac{30^2}{4} + 40\times30 = 1907\ m^3 \end{array}\right\} \rightarrow A_{we} = 3870\ mm^2$$

مقاومت اسمی جوش براساس مصالح جوش $R_n = \beta F_{nw} A_{we} = 967.1\ KN \xrightarrow{\times\phi=0.75} \phi R_n = 725.3\ KN$

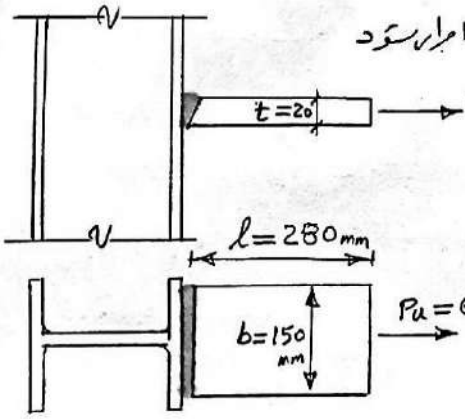
گام ۲) کنترل:

$$P_u = 452 \leq \phi R_n = 725.3\ KN \quad \text{O.K.} \checkmark$$

گام ۳) کنترل اتصال براساس فلز پایه ← مبحث ۱۰ بند (۱۰-۲-۹-۴) ← بعداً گفته خواهد شد.

مثال ۲. جوش شیاری با نفوذ کامل زیر را کنترل کنید. جوش بصورت کارگاهی با V.T اجرا شود

الکترود مصرفی از نوع E70 و فولاد مصرفی از نوع S275 ($F_y = 275$) و $F_u = 410$ (نمایشگال) است.



گام ۱) محاسبهٔ مقاومت طراحی جوش ϕR_n براساس فلز پایه.

جوش تحت اثر کشش محوری بر سطح مؤثر قرار دارد ← سطر اول جدول (۱۰-۲-۹-۳) ←

← فقط فلز پایه باید کنترل شود ← ملاحظه در فصل اعضای کششی:

$$A_{BM} = b.t_e = 150\times20 = 3000\ mm^2 = A_g \quad \text{سطح مقطع فلز پایه.}$$

$$\phi_{t1}.R_{n1} = 0.9\times(F_y.A_g) = 0.9\times275\times A_g = 742.5\ KN \quad \text{تسلیم}$$

$$\phi_{t2}.R_{n2} = 0.75(F_u.A_e) = 0.75\times410\times2550 = 784.1\ KN \quad \text{گسیختگی}$$

$$\xrightarrow{Min} \phi R_n = 742.5\ KN$$

$$A_e = Min\{A_n, 0.85A_g\} = 0.85A_g = 2550\ mm^2$$

گام ۲) کنترل:

$$P_u = 600\ KN \nleq \beta\times\phi R_n = 0.75\times742.5 = 557\ KN.$$

(β: کارگاهی با V.T.)

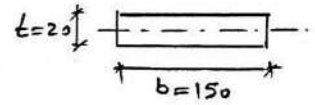
N.G.

مثال ۳. در مثال قبل اگر نیروی P_u بصورت فشاری باشد، با فرض ضریب طول مؤثر $K=1.0$، اتصال را کنترل کنید. جوش توسط آزمایش غیرمخرب کنترل و بازرسی می‌شود.

گام ۱) محاسبهٔ مقاومت طراحی جوش ϕR_n براساس فلز پایه.

جوش تحت اثر فشار عمود بر سطح مقطع موثر قرار دارد ← سطر دوم جدول (۱۰-۲-۹-۳) ← فقط فلز پایه باید کنترل شود ← مراجعه به طرح اعضای فشاری ← بند ۱۰-۲-۹-۴.

$t=20\,mm \rightarrow r_{min}=\frac{t}{\sqrt{12}}=0.3t=6\,mm$



$\lambda=\frac{K.\ell}{r}=\frac{1\times 280}{6}=46.7>25$ ← لاغری ستون زیاد است

$F_e=\frac{\pi^2 E}{\lambda^2}=\frac{\pi^2\times 200000}{(46.7)^2}=905.1\,MPa$ ← فصل ستون‌ها

$\frac{F_y}{F_e}=\frac{275}{905.1}=0.30\leq 2.25 \rightarrow F_{cr}=\left[0.658^{F_y/F_e}\right]F_y=242.5\,MPa$

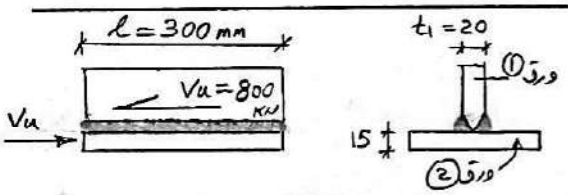
$A_{BM}=150\times 20=3000\,mm^2=A_g$

$R_n=F_{cr}\cdot A_g=727.5\,KN \xrightarrow{\times\phi=0.9} \phi R_n=654.8\,KN$

گام ۲) کنترل:

$P_u=600\,KN \leq \phi R_n=654.8\,KN$ O.K. ✓

مثال ۴. اتصال جوش نفوذی کامل زیر را کنترل کنید. الکترود مصرفی E60 و فولاد مصرفی S235 ($F_u=360\,MPa$، $F_y=235$) فرض می‌شود. جوشکاری بصورت کارخانه‌ای و بازرسی چشمی انجام می‌شود.

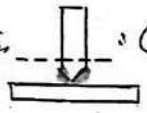


گام ۱) تعیین مقاومت طراحی جوش براساس فلز پایه (ϕR_n)

جوش تحت اثر تنش برشی در مقطع موثر قرار دارد ← سطر سوم جدول (۱۰-۲-۹-۳) ← فقط کنترل فلز پایه.

بند (۱۰-۳-۹-۴-۲) قسمت الف: $R_n=0.6F_y.A_{gv}$ ← $\phi=1$ ← $\phi R_n=1\times 0.6\times 235\times A_{gv}$

- برای ورق ①: مقطع برشی



$A_{BM_1}=A_{gv_1}=\ell\times t_1=300\times 20=6000\,mm^2$

$\phi R_n^{①}=1\times 0.6\times 235\times 6000=846\,KN$

- برای ورق ②

$A_{BM_2}=A_{gv_2}=\ell\times t_2\times 2=300\times 15\times 2=9000\,mm^2$

$\phi R_n^{②}=1\times 0.6\times 235\times 9000=1269\,KN$

گام ۲) کنترل:

- برای ورق ①: $V_u=800\,KN \not\leq \beta\phi R_n^{①}=0.75\times 846=634.5\,KN$ N.G.

- برای ورق ②: $V_u=800\,KN \leq \beta\phi R_n^{②}=0.75\times 1269=951.8\,KN$ O.K. ✓

مثال ۵. در مثال ۲ در صورتیکه جوش شیاری با نفوذ نسبی و با ضخامت مؤثر $te=7mm$ باشد، حداکثر مقاومت P_u را بدست آورید.

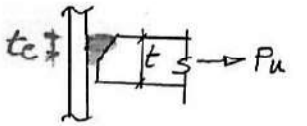
گام ۱) کنترل حداقل ضخامت مؤثر جوش: با توجه به جدول (۱۰-۲-۹-۱): $12<t\leq 20 \rightarrow t_{emin}=6mm$

$te=7 \geq t_{emin}=6$ O.K ✓

گام ۲) محاسبهٔ مقاومت طراحی جوش ϕR_n

سطح مقطع مؤثر جوش: $A_{we}=l_w\times te=b\times te=150\times 7=1050\ mm^2$

سطح مقطع ورق: $A_{BM}=150\times 20=3000\ mm^2$



با توجه به جدول (۱۰-۲-۹-۳):

الف) تعیین ϕR_{n1} براساس ماده پایه: فولاد ورق $F_{nBM}=F_u$ ، $\phi=0.75$

$$\beta\phi R_{n1}=\beta\phi(F_{nBM}\cdot A_{BM})=\beta 0.75(F_u\times A_{BM})=\beta 0.75(410\times 3000)=\beta\times 923=692$$

ب) تعیین ϕR_{n2} براساس فلز جوش (الکترود): الکترود $F_{nw}=0.6F_{ue}$ ، $\phi=0.8$

$$\beta\phi R_{n2}=\beta\phi(F_{nw}\cdot A_{we})=0.75\times\left[0.8(0.6F_{ue}\times A_{we})\right]=0.75\left[0.8(0.6\times 490\times 1050)\right]=185\ KN$$ (E70)

$$\phi R_n=\text{Min}\{\beta\phi R_{n1},\beta\phi R_{n2}\}=18.5\ KN$$

گام ۳) کنترل:

$$P_u\leq\phi R_n=185 \rightarrow \boxed{P_{umax}=185\ KN}$$

مثال ۶. در مثال ۴ اگر جوش شیاری با نفوذ نسبی و با ضخامت مؤثر 6_{mm} در هر طرف باشد اتصال را کنترل کنید.

گام ۱) کنترل حداقل ضخامت مؤثر جوش: با توجه به جدول (۱۰-۲-۹-۱): $12<t_1\leq 20 \rightarrow t_{emin}=6_{mm}$

توجه شود که قطعه ورق ① جوش را شود و ضخامت t_2 منظور نمی‌شود. O.K

هر طرف $te=6mm\geq t_{emin}=6$

گام ۲) محاسبهٔ مقاومت طراحی جوش ϕR_n

با توجه به جدول (۱۰-۲-۹-۳):

الف) تعیین ϕR_{n1} براساس فلز پایه: عیناً مانند مثال ۴:

$$\boxed{\beta\phi R_{n1}=634.5} \leftarrow \text{Min}\begin{cases}\beta\phi R_n^{①}=634.5\ KN\\ \beta\phi R_n^{②}=951.8\end{cases}$$

ب) تعیین ϕR_{n2} براساس فلز جوش (الکترود) $F_{nw}=0.6F_{ue}$ ، $\phi=0.75$

الکترود E60 $\rightarrow F_{ue}=420\ MPa \rightarrow F_{nw}=0.6\times 420=252\ MPa$

جوش گوشه‌ای V.T.6 $\rightarrow \beta=0.75$

$$A_{we}=l_w\times 2te=l\times 2te=300_{mm}\times 2\times 6=3600\ mm^2$$

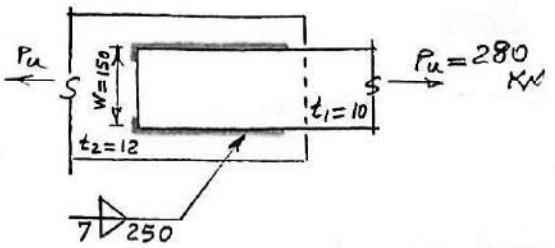
$$\beta\phi R_{n2}=0.75\times 0.75\times R_{n2}=0.75\times 0.75F_{nw}\cdot A_{we}=0.75\times 0.75\times 252\times 3600=510.3\ KN$$

$$\phi R_n=\text{Min}\{\beta\phi R_{n1},\beta\phi R_{n2}\}=510.3\ KN$$

گام ۳) کنترل:

$$V_u=800_{KN}\not\leq\phi R_n=510.3 \quad N.G$$

مثال ۷. اتصال زیر را فقط از لحاظ جوش کنترل کنید. الکترود مصرفی از نوع E60 . جوش بصورت کارگاهی با بازرسی چشمی V.T.



گام ۱) کنترل‌های اندازه‌ی :

$t_{max} = Min\{t_1, t_2\} = 10\,mm$

$D_{min} = 5\,mm$ ← حداقل بعد جوش ← از جدول ۱۰-۲-۹-۲

$D = 7 \geq D_{min} = 5\,mm$ O.K.

- جوش در لبه ورق با ضخامت $12\,mm$ همدت گیرد $\rightarrow t_1 = 10 > 6\,mm \rightarrow D_{max} = 10 - 2 = 8\,mm$

$D = 7 \leq D_{max} = 8\,mm$ O.K.

- کنترل حداقل طول جوش.

$l = 250\,mm \geq 4D = 4 \times 7 = 28\,mm$ O.K.

- جوش فقط در لبه های طولی و موازی نیرو است $\left\{\begin{array}{l} W = 150 \leq 200\,mm \quad \text{O.K.} \checkmark \\ l = 250 \geq W = 150 \quad \text{O.K.} \checkmark \end{array}\right.$

گام ۲) تعیین ϕR_n برای فلز جوش :

$R_n = \beta F_{nw} \cdot A_{we}$

V.T. کارگاهی $\rightarrow \beta = 0.75$

جدول ۱۰-۲-۹-۳ $\left\{\begin{array}{l} \phi = 0.75 \\ F_{nw} = 0.6\,F_{ue} \end{array}\right.$

الکترود E60 $\rightarrow F_{ue} = 420\,MPa \rightarrow F_{nw} = 0.6 \times 420 = 252\,MPa$

$t_e = \frac{\sqrt{2}}{2} D = 0.7 \times 7 = 4.9\,mm$

$l_w = 2 \times l = 500\,mm$

ضخامت گلوگاه موثر، طول موثر جوش $\rightarrow A_{we} = l_w \cdot t_e = 2450\,mm^2$ سطح مقطع موثر جوش

چون $l = 250 \leq 100D = 700\,mm$ بنابراین طول موثر جوش ضریب کاهشی ندارد.

$R_n = \beta F_{nw} \cdot A_{we} = 0.75 \times 252 \times 2450 = 463050\,N = 463.1\,KN$ $\times \phi = 0.75$

$\phi R_n = 347.3\,KN$

گام ۳) کنترل :

$P_u = 280\,KN \leq \phi R_n = 347.3\,KN$ O.K. ✓

مثال ۸. مثال ۷ را به روش شدت نیروی برشی وارزش جوش مجدداً حل کنید.

گام ۱) مانند مثال ۷

گام ۲) ϕr_n برای سر فلز جوش : r_n = ارزش جوش = نیروی متقارم جوش به طول واحد ، با توجه به مثال قبل :

$$r_n = \beta F_{nw} \cdot (1 \times t_e) = \beta F_{nw} \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2} D\right) = 0.75 \times 252 \times 4.9 = 926.1 \ \frac{N}{mm} = 0.9261 \ \frac{KN}{mm}$$

(MPa) N/mm^2 , mm

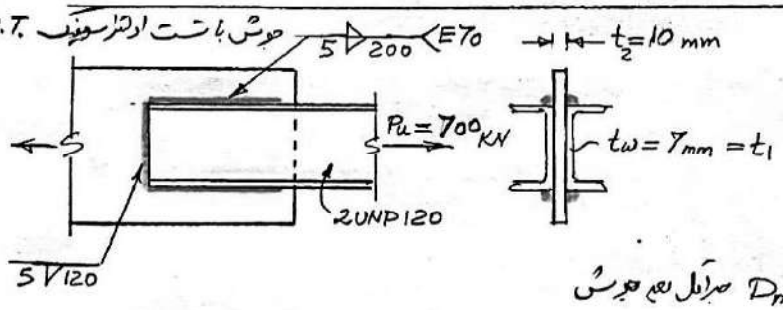
$$\phi r_n = 0.69 \ KN/mm$$

گام ۳) کنترل :

شدت برش نیاز (مقاومت برشی نیاز در واحد طول) (جریان برش نیاز)

$$q_u = \frac{P_u}{l_w} = \frac{280}{500} = 0.56 \ \frac{KN}{mm} \leq \phi r_n = 0.69 \quad O.K. \checkmark$$

مثال ۹. اتصال زیر را کنترل کنید. فقط از نظر جوش



گام ۱) کنترل های اجرایی

$t_{max} = Max\{t_1, t_2\} = 10mm$ —

← جدول ۱۰-۲-۹-۲ ← $D_{min} = 5$ mm حداقل بعد جوش

$D = 5mm \geq D_{min} = 5$ O.K. ✓

- جوش در لبهٔ جان ناودانی صورت نگیرد : $t_1 = 7 > 6mm$ ← $D_{max} = 5$ ← $D = 5 \leq D_{max} = 5$ O.K. ✓

- کنترل حداقل طول جوش ✓

گام ۲) تعیین ϕr_n برای سر فلز جوش :

U.T. تست
1.0
E70
490 MPa

ارزش جوش $r_n = \beta \cdot F_{nw} (1 \times t_e) = 1 \times 490 \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \times 5\right) = 1715 \ \frac{N}{mm} = 1.715 \ \frac{KN}{mm}$

(توجه شود که $l_w < 100D$ است) $\phi r_n = 0.75 \times 1.715 = 1.29 \ KN/mm$

گام ۳) تعیین شدت برش نیاز (نیروی برشی موجود در واحد طول جوش) (جریان برش نیاز)

طول جوش کل $l_w = 2 \times [2 \times 200 + 120] = 1040 \ mm$

$$q_u = \frac{P_u}{l_w} = \frac{700}{1040} = 0.67 \ KN/mm$$

گام ۴) کنترل :

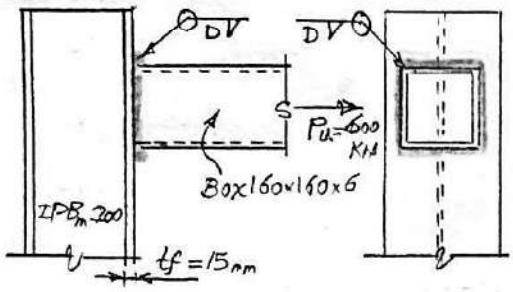
$$q_u = 0.67 \leq \phi r_n = 1.29 \quad O.K \checkmark$$

تذکر : با توجه به اینکه جوش طرح شده بسیار بیش از نیاز می باشد بنابراین برای اقتصادی تر شدن طرح دو راه وجود دارد :

۱) کاهش بعد جوش ← در این مثال شدنی نیست چون $D = D_{max} = D_{min} = 5mm$ است.

۲) کاهش طول جوش ← سمت

مثال ۱۰ جوش گوشه زیر را طرح کنید. جوشکاری در کارخانه با ماشین جوشکاری با الکترود E60 صورت بگیرد.



گام ۱) کنترل های ابعادی

- بعد جوش حداقل. $t_1=6,\ t_2=15 \rightarrow t_{max}=15 \rightarrow D_{min}=6_{mm}$
- بعد جوش حداکثر. چون لبه هیچیک از مقاطع جوش نمی شود، بنابراین محدودیتی برای D_{max} وجود ندارد.
- طول جوش حداقل ؟

گام ۲) محاسبهٔ ϕr_n براساس فلز جوش (ارزش جوش)

$E60 \rightarrow F_{nw}=0.6\times 420=252\ MPa$ ، جوش کارخانه‌ای V.T. $\rightarrow \beta=0.85$

$$r_n=\beta.F_{nw}(1\times t_e)=0.85\times 252\times\frac{\sqrt{2}}{2}D=150D\ \ N/mm \xrightarrow{\times\phi=0.75} \boxed{\phi r_n=0.113D\ \ \frac{KN}{mm}}$$

(mm ↓)

گام ۳) محاسبهٔ شدت برش نیاز (جریان برش نیاز)

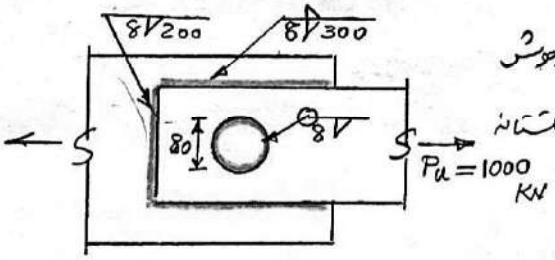
$$q_u=\frac{P_u}{l_w}=\frac{600\ KN}{4\times 160\ mm}=0.938\ \frac{KN}{mm}$$

گام ۴) کنترل :

$$q_u\le\phi r_n \rightarrow 0.938\le 0.113D \rightarrow D_{req.}=8.3mm \begin{cases}\le D_{max} & \checkmark\\ \ge D_{min}=6 & O.K.\checkmark\end{cases}$$

$$\therefore USE\ D=9mm$$

مثال ۱۱. اتصال زیر را فقط از نظر فلز جوش کنترل کنید. الکترود مصرفی E70 و جوش بصورت کارگاهی با V.T. اتصال ۴ سه خط جوش و یک جوش داخل آنگشتانه با قطر 80 میلیمتر است. فرض کنید کنترلهای ابعادی جوابگوست.



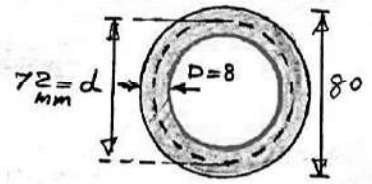
گام ۲) محاسبهٔ ϕr_n براساس فلز جوش . (ارزش جوش)

$E70 \rightarrow F_{nw}=0.6\times 490=294\ MPa$ ، جوش کارگاهی V.T. $\rightarrow \beta=0.75$

$$r_n=\beta.F_{nw}(1\times t_e)=0.75\times 294\times\frac{\sqrt{2}}{2}\times 8=1247\ N/mm=1.247\ KN/mm \xrightarrow{\times\phi=0.75}$$

$$\boxed{\phi r_n=0.935\ KN/mm}$$

گام ۳) محاسبهٔ جریان برش نیاز : با توجه به بند الف) از ۱۰-۲-۹-۲-۲ ، برای محاسبهٔ طول جوش گوشه داخل آنگشتانه باید طول محیط میانگار منظور شود.



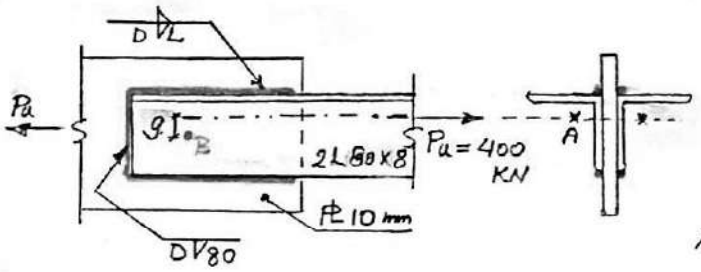
کل $l_w=2\times 300+200+\pi\times 72=1026\ mm$

$$q_u=P_u/l_w=0.975\ KN/mm$$

گام ۴) کنترل :

$$q_u=0.975 \not\le \phi r_n=0.935 \quad N.G.$$

مثال ۱۲ . اتصال جوشی زیر را فقط از نظر ملزم جوش طرح کنید (تعیین D و L) . (الکترود E70 ، X-Ray Test)



گام ۱) کنترلهای آیادی . $\min\{8, 10\} \rightarrow t_{min} = 8mm$ ← $D_{min} = 5mm$

$8mm > 6 \Rightarrow D_{max} = 8 - 2 = 6\ mm$ ← لبه نبشی جوشکاری میشود (ضخامت نبشی 8_{mm} است)

طول جوش حداقل $L \geq 4D$

- در تمام طراحی مطالب بالا را رعایت خواهیم کرد .

گام ۲) تعیین ϕr_n فلز جوش .

$$\left.\begin{array}{l} E70 \rightarrow F_{ue} = 490\ MPa\ ,\ F_{nw} = 0.6F_{ue} = 294\ MPa \\ \text{جوش با تت غیر خرب اشعه X} \rightarrow \beta = 1.0 \end{array}\right\} \phi r_n = 0.75\left(\beta F_{nw} \times \frac{\sqrt{2}}{2} D\right) = 155.9\,D\ \frac{N}{mm}$$

گام ۳) تعیین q_u (جریان برش نیاز)

$$q_u = \frac{P_u}{l_w} = \frac{400{,}000N}{l_w}\ ,\ l_w = 2L + 80\ mm$$

گام ۴) کنترل .

$$q_u = \frac{400{,}000}{l_w} \leq \phi r_n = 155.9\,D$$

$$\Rightarrow D.l_w \geqslant 2565.7\ mm^2$$

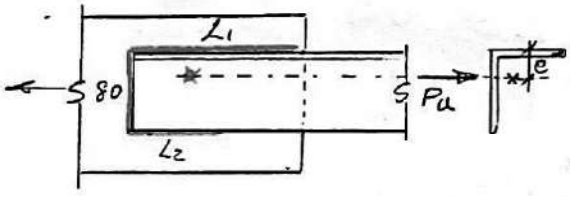
$$D \left\{\begin{array}{l} \leqslant D_{max} = 6mm \\ \geqslant D_{min} = 5 \end{array}\right\} \rightarrow \therefore Try\ D = 6mm$$

$$\Rightarrow l_{w_{req.}} = 427.6mm = 2L + 80 \rightarrow L_{req} = 174mm$$

$$\therefore USE\ L = 175mm\ ,\ D = 6\ mm$$

همانگونه که در شکل ملاحظه می شود بدلیل هم راستا نبودن امتداد مرکز سطح نبشی (A) و مرکز سطح جوش (B) ، بردن محوری g بوجود می آید که باعث ایجاد لنگر ناخواسته $P_u \cdot g$ می شود که تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی جوش را تحت تاثیر قرار می دهد .
این حالت را جوش نامتعادل unbalanced می نامند که نامطلوب است . برای طرح جوش بصورت متعادل (بالانس) لازم است مرکز سطح نبشی و مرکز سطح جوش هم راستا شوند ($g = 0$) .

مثال ۱۳ . مثال قبل را بصورت جوش متعادل طرح کنید .



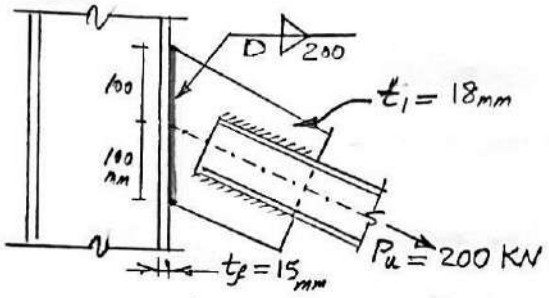
تا گام ۳ مشابه مثال قبل است ؛ $D = 6,\ l_{w_{req}} = 427.6mm$

$$L_1 + L_2 + 80 = 427.6 \Rightarrow \boxed{L_1 + L_2 = 347.6\ mm}\ (1)$$

جدول اشتال ← $L80\times80\times8$ ← $e = 22.6_{mm}$

مرکز سطح جوش ← $e = \dfrac{L_1 \times 0 + L_2 \times 80 + 80 \times 40}{(L_1 + L_2 + 80) = 347.6} = 22.6 \Rightarrow \boxed{L_2 = 58.2\ mm}\ (2) \xrightarrow{(1)} L_1 = 289.4_{mm}$

$$(1), (2) \rightarrow \left\{\begin{array}{l} L_2 = 60\ mm \\ L_1 = 290\ mm \end{array}\right.$$



مثال ۱۴ اتصال جوشی زیر را فقط از نظر جوش طرح کنید. الکترود E80 با تست غیرمخرب اولتراسونیک (U.T.)

گام ۱) کنترل های ابعادی.

$$t_{min} = Min\{t_1, t_2\} = 15_{mm} \xrightarrow[(۲-۹-۲-۱۰)]{\text{جدول}} D_{min} = 6mm$$

با توجه به اینکه لبه هیچیک از قطعات جوش نمی شود، محدودیتی از نظر حداکثر بعد جوش D_{max} نداریم.

گام ۲) تعیین ϕr_n ظرفیت جوش (ارزش جوش)

$E80 \rightarrow F_{uE} = 560\ MPa$

جوش گوشه تحت برش $\xrightarrow[(۳-۹-۲-۱۰)]{\text{جدول}} F_{nw} = 0.6 F_{uE} = 336\ MPa$

تست غیرمخرب $\rightarrow \beta = 1.0$

$$\rightarrow \phi r_n = \phi (\beta F_{nw} \times \frac{\sqrt{2}}{2} D)$$

$$\boxed{\phi r_n = 178.2\, D \quad N/mm}$$

گام ۳) تعیین q_u.

$$l_w = 2 \times 200 = 400mm$$

$$q_u = \frac{P_u}{l_w} = \frac{200{,}000\ N}{400} = 500\ N/mm$$

گام ۴) کنترل:

$$q_u = 500 \leq \phi r_n = 178.2\, D \rightarrow D_{req} = 2.8mm \not\geq D_{min} = 6mm \quad N.G.$$

← راه حل اول: از $D = D_{min}$ استفاده کنیم ← غیراقتصادی است.

← راه حل دوم: از جوش منقطع با بعد $D \geq D_{min}$ استفاده کنیم: مثلاً $D = 7mm$ در نظر

$$\phi r_n = 178.2 \times 7 = 1247.4\ N/mm \xrightarrow{\text{کنترل}} q_u \leq \phi r_n$$

$$\frac{\text{طول جوش لازم}}{\text{کل طول}} = \frac{q_u}{\phi r_n} = \frac{500}{1247.2} = 0.4 = 40\%$$

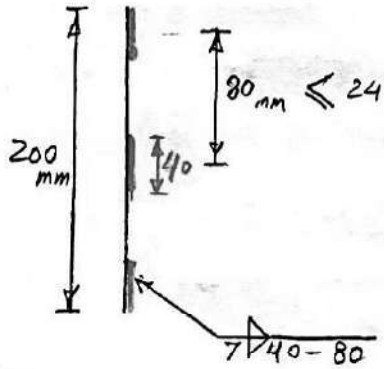
یعنی 40٪ از طول کل 200 mm (2×200) باید جوش شود

طول جوش لازم $= 0.4 \times 200 = 80\ mm$

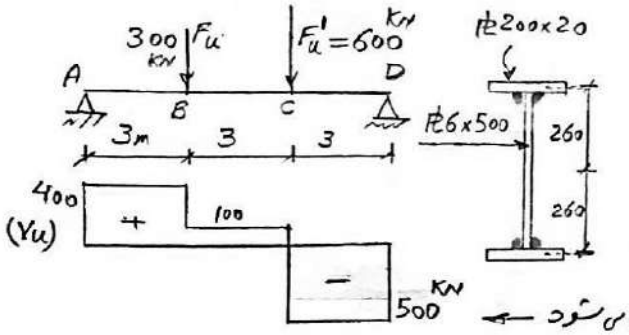
$l \geq Max\{4D = 4 \times 7 = 28,\ 40mm\}$ ✓ حداقل طول هر تکه جوش

← بند ۶ از (۱۰-۲-۹-۲-ب)

$80_{mm} \leq 24\, t_{min} = 24 \times 15 = 360_{mm}$



تمرین: مسئله را با $D = P_{min} = 6$ حل کنید (منقطع)



مثال ۱۵. اتصال جوش جان به بال تیرورق روبرو را طرح کنید

ناحیهٔ CD در این مثال حل می‌شود، بقیه نواحی بعنوان تمرین

الکترود E60، کنترل با ست تیر مغرب

گام ۱) بارگذاری، تحلیل، ترکیب بار: دیاگرام برش مطابق شکل روبرو نتیجه می‌شود ←

گام ۲) تعیین ارزش جوش ϕR_n .

گام ۱) کنترلهای ابعادی: حداکثر بعد جوش محدودیتی ندارد،

$$t_{min} = Min\{6, 20\} = 6 \rightarrow D_{min} = 3\ mm$$

$$E60 \rightarrow F_{ue} = 420\ MPa \rightarrow F_{nw} = 0.6F_{ue} = 252\ MPa$$

ست تیر مغرب $\rightarrow \beta = 1.0$

$$\phi R_n = 0.75(\beta . F_{ue} \times \frac{\sqrt{2}}{2} D) = 133.6D\ N/mm$$

گام ۳) تعیین نیاز جریان برشی.

تنش برشی $\tau = \frac{V_u \cdot Q}{I \cdot b}\ \frac{N}{mm^2}$ ← جریان برشی $q_u = \tau . b = \frac{V_u Q}{I}$

با توجه به مقطع تیرورق:

$$I = 60356.67 \times 10^4\ mm^4$$

در محل اتصال بال به جان، مقدار گشتاور اول سطح بال نسبت به خط خنثی: $Q = (200 \times 20) \times 260 = 1.04 \times 10^6\ mm^3$

در ناحیهٔ CD: $V_{umax} = 500\ KN$ ←

$$q_u = \frac{500 \times 10^3\ N \times 1.04 \times 10^6\ mm^3}{60356.67 \times 10^4\ mm^4} = 861.5\ N/mm$$

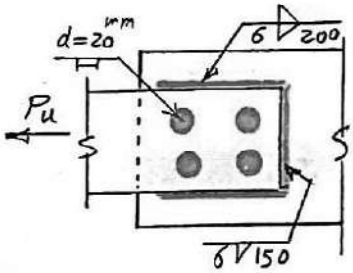
گام ۴) کنترل:

$$q_u = 861.5 \leq \phi R_n = 133.6D\left(\frac{N}{mm}\right) \Rightarrow D_{req} = 6.45\ mm \geq D_{min} = 3\ \text{o.k}$$

$\therefore$ USE $D = 7mm$ پیوسته

تذکر: در این ناحیه چون بعد جوش لازم بیش از D_{min} است تا بعد جوش پیوسته استفاده شود، اگر چه می‌توان D بیشتر و جوش منقطع هم جواب گرفت اما طبق بند ۶۰ از (۱۰-۳-۹-۲) اجازه نداریم.

مثال ۱۶. جوش زیر را کنترل کنید. فرض می‌شود کنترلهای ابعادی جوابگو هستند. الکترود E70، جوش با $\beta = 1.0$



گام ۱) تعیین مقاومت طرح جوش،

$R_n = R_{n1} + R_{n2}$ گوشه + انگشتانه

گوشه $R_{n1} = \beta F_{nw} \times A_{we} = (0.6F_{ue})(l_w \times \frac{\sqrt{2}}{2} D) = 686\ KN$

(490, 550, 6)

انگشتانه $R_{n2} = \beta F_{nw} \times A'_{we} = (0.6F_{ue})(4 \times \frac{\pi}{4} \times d^2) = 616\ KN$

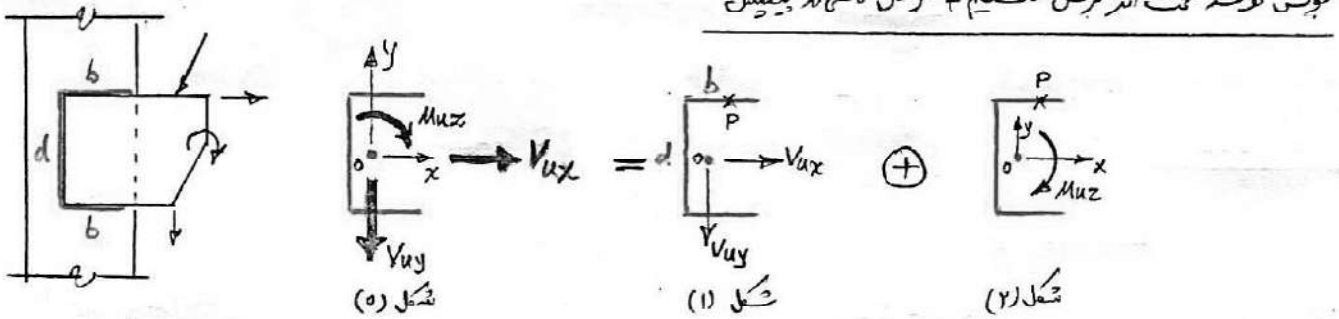
(490, d^2 با d=20)

$$R_n = R_{n1} + R_{n2} = 1302\ KN$$

گام ۲) کنترل.

$$P_u = 900\ KN \leq \phi R_n = 0.75R_n = 976.5\ KN \quad \text{o.k} \checkmark$$

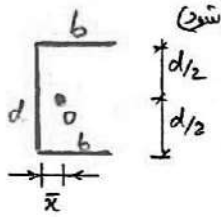
جریان برشی تحت اثر برش مستقیم + برش ناشی از پیچش در جدار نازک



- برای نقطه دلخواه P در شکل (۱) جریان برشی عبارتست از :

$$q^s_{ux} = \frac{V_{ux}}{l_w} \quad N/mm \qquad q^s_{uy} = \frac{V_{uy}}{l_w} \quad N/mm \qquad l_w = 2b + d$$

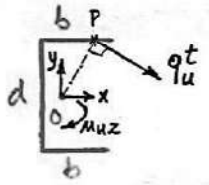
- توجه : o مرکز سطح جوش است (در محاسبه te برابر واحد فرض شده و این اندازه در مقایسه با ابعاد جسم بزرگ می‌شود)



$$\bar{x} = \frac{d\times 0 + 2\times b\times b/2}{2b+d} \rightarrow \bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$$

- در شکل (۲) برای تعیین جریان برشی در نقطه دلخواه P به مختصات (x,y) ، با فرض اینکه : [جهات اتصال صلب هستند + جریان برشی (تنش برشی) متناسب با فاصله P تا نقطه o (طول OP) است + جریان (تنش برشی) عمود بر خط OP و هم جهت با لنگر پیچشی Muz است] داریم :

$$q^t_u \propto OP = \rho = \sqrt{x^2+y^2}$$

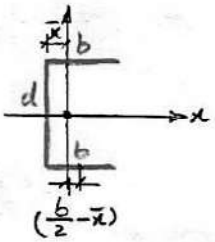


رابطه تعادل لنگرها حول o :

$$\sum M_o = Muz \rightarrow \int_{\Gamma} (q^t_u \times dl)\times \rho = Muz$$

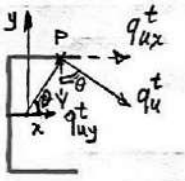
$$q^t_u = \alpha\rho \quad (1)$$

$$Muz = \alpha\int_{\Gamma} \rho^2 dl = \alpha\int_{\Gamma} (x^2+y^2)dl = \left\{\int_{\Gamma} x^2 dl + \int_{\Gamma} y^2 dl\right\}\alpha \quad (2)$$



$$\begin{cases} \widetilde{I}_x = \int_{\Gamma} y^2 dl = 2\times\left(b\times(\frac{d}{2})^2\right) + \frac{1}{12}d^3 = \frac{bd^2}{2} + \frac{d^3}{12} \\ \widetilde{I}_y = \int_{\Gamma} x^2 dl = d\cdot\bar{x}^2 + 2\left[\frac{1}{12}b^3 + b(\frac{b}{2}-\bar{x})^2\right] = \frac{8b^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d} \end{cases}$$

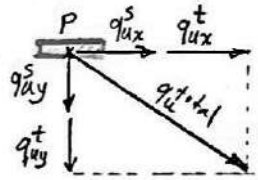
$$\widetilde{I}_P \equiv \widetilde{I}_x + \widetilde{I}_y = \frac{8b^3+6bd^2+d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$$



$$(2) \rightarrow Muz = \alpha\cdot\widetilde{I}_P \rightarrow \alpha = \frac{Muz}{\widetilde{I}_P} \xrightarrow{(1)} \boxed{q^t_u = \frac{Muz\cdot\rho}{\widetilde{I}_P}}$$

$$\begin{cases} q^t_{ux} = q^t_u\cdot\sin\theta = q^t_u\times\frac{y}{\rho} \\ q^t_{uy} = q^t_u\cdot\cos\theta = q^t_u\times\frac{x}{\rho} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q^t_{ux} = \frac{Muz\cdot y}{\widetilde{I}_P} \\ q^t_{uy} = \frac{Muz\cdot x}{\widetilde{I}_P} \end{cases}$$

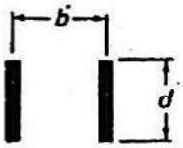
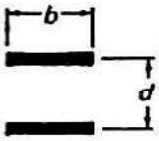
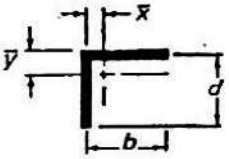
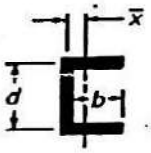
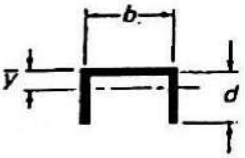
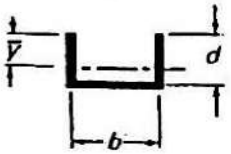
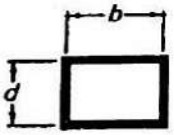
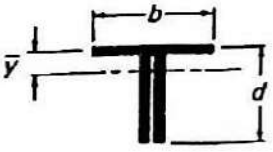
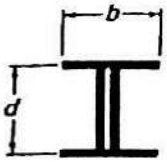
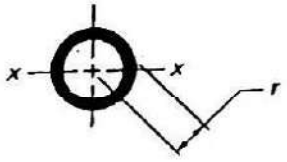
با جمع برداری تنشها (جریانهای) برشی ، مقدار تنش (جریان) برشی کل در نقطه دلخواه P قابل محاسبه است .



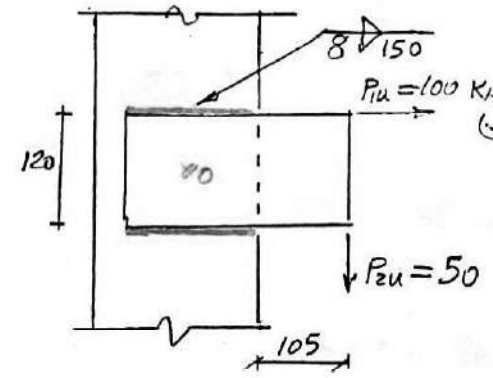
$$q^{total}_u = \sqrt{(q^s_{ux}+q^t_{ux})^2 + (q^s_{uy}+q^t_{uy})^2}$$

برای طرح (کنترل) جوش باید مقادیر q^{total}_u که در نقاط (نقاط دوراز o) اتفاق می‌افتد محاسبه گردد .

Table 5.16.1 Properties of Welds Treated as Lines

Section b = width; d = depth		Section Modulus $\tilde{S} = \tilde{I}_x/\bar{y}$	Polar Moment of Inertia, $\tilde{I}_p$ about Center of Gravity
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. 	$\bar{y}=\frac{d^2}{2(b+d)}$ $\bar{x}=\frac{b^2}{2(b+d)}$	$S=\frac{4bd+d^2}{6}$	$I_p=\frac{(b+d)^4-6b^2d^2}{12(b+d)}$
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. 	$\bar{y}=\frac{d^2}{b+2d}$	$S=\frac{2bd+d^2}{3}$	$I_p=\frac{b^3+6b^2d+8d^3}{12}-\frac{d^4}{2d+b}$
6'. 	$\bar{y}=\frac{bd+d^2}{b+2d}$	$S=\frac{2bd+d^2}{3}\times\frac{d}{b+d}$	$I_p=\frac{b^3+6b^2d+8d^3}{12}-\frac{d^4}{2d+b}$
7. 		$S=bd+\frac{d^2}{3}$	$I_p=\frac{(b+d)^3}{6}$
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. 		$S=\pi r^2$	$I_p=2\pi r^3$

مثال ۱۷ اتصال زیر را فقط از نظر جوش کنترل کنید. فرض شود کنترل‌های ابعادی جوابگو هستند. الکترود مصرفی E70، (جوش کارگاهی با تست اولتراسونیک)

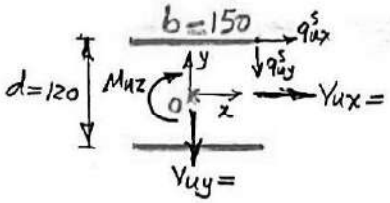


گام ۱) تعیین مرکز سطح جوش و انتقال هندسه‌ها به آن.

با توجه به تقارن مرکز سطح جوش به سادگی تعیین می‌شود. (نقطه O)

$$V_{ux}=P_{1u}=100\ KN \quad , \quad V_{uy}=P_{2u}=50\ KN$$

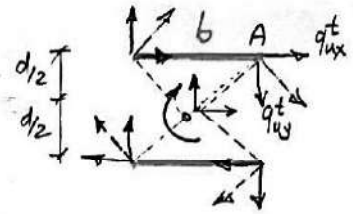
$$M_{uz}=P_{1u}\times\left(\frac{120}{2}\right)+P_{2u}\times\left(105+\frac{150}{2}\right) \rightarrow M_{uz}=15000\ KN.mm$$



گام ۲) محاسبهٔ برش مستقیم. (در هر نقطه)

$$\begin{cases} q^s_{ux}=\dfrac{V_{ux}}{l_w}=\dfrac{100{,}000}{2\times150}=333.3\ N/mm \\ q^s_{uy}=\dfrac{V_{uy}}{l_w}=\dfrac{50{,}000}{2\times150}=166.7\ N/mm \end{cases}$$

گام ۳) محاسبهٔ برش ناشی از پیچش.



با توجه به شکل، نقطه A که در آن مؤلفه‌های برش ناشی از پیچش با q^s_{ux} و q^s_{uy} هم جهت است، نقطه بحرانی خواهد بود.

$$A\begin{cases} x_A=75 \\ y_A=60 \end{cases}$$

$$\tilde{I}_p=\tilde{I}_x+\tilde{I}_y=\left[2\times\left(b\times\left(\frac{d}{2}\right)^2\right)\right]+\left[2\times\left(\frac{1}{12}b^3\right)\right] \rightarrow \tilde{I}_p=\frac{b(3d^2+b^2)}{6}=1{,}642{,}500\ mm^3$$

$$\begin{cases} q^t_{ux}=\dfrac{M_{uz}\cdot y_A}{\tilde{I}_p}=547.9\ N/mm \\ q^t_{uy}=\dfrac{M_{uz}\cdot x_A}{\tilde{I}_p}=684.9 \end{cases}$$

گام ۴) تعیین حاکم‌ترین مقدار q_u^{total} در نقطه A:

$$q_u^{total}=\sqrt{\left(q^s_{ux}+q^t_{ux}\right)^2+\left(q^s_{uy}+q^t_{uy}\right)^2}=\sqrt{(333.3+547.9)^2+(166.7+684.9)^2}$$

$$\boxed{q_u^{total}=1225.5\ N/mm}$$

گام ۵) تعیین لنگر مقاوم جوش ϕr_n.

E70 $\rightarrow F_{ue}=490 \rightarrow F_{nw}=0.6F_{ue}=294$ MPa

تست اولتراسونیک $\rightarrow \beta=1.0$

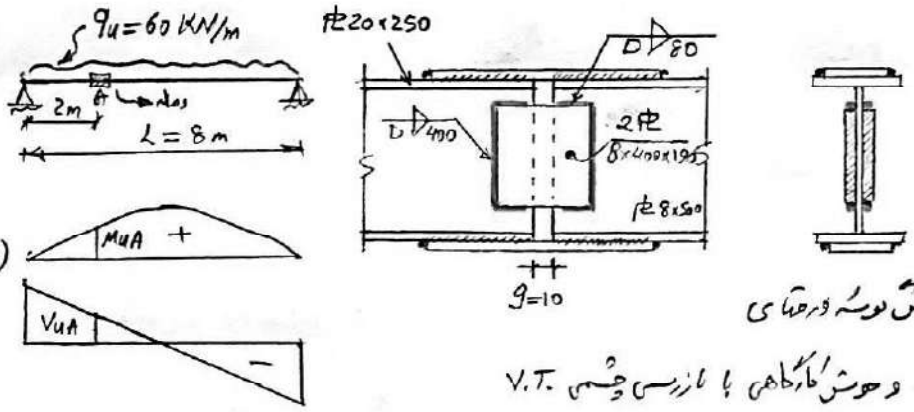
$$\phi r_n=0.75\left(\beta\cdot F_{nw}\times\frac{\sqrt{2}}{2}D\right)=0.75\left(1\times294\times\frac{\sqrt{2}}{2}\times8\right) \rightarrow \boxed{\phi r_n=1247.3\ N/mm}$$

گام ۶) کنترل:

$$q_u^{total}=1225.5\leq\phi r_n=1247.3$$

O.K. ✓

مثال ۱۸



شکل مثال 7.2 اتصالات پیچی ، 16 بازلنز لنگر در نقطه A توسط دو قطار وصله جان منتقل می‌شود . مطلوبست طرح جوش گوشه دو طرف وصله جان . الکترود مصرفی E60 و جوش کارگاهی با بازرسی چشمی V.T.

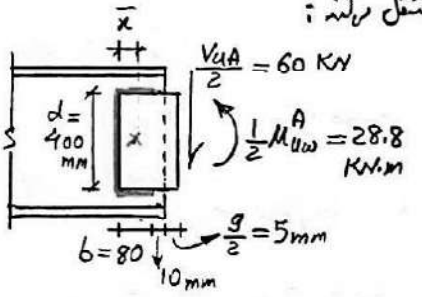
گام ۱) بارگذاری ، تحلیل ، ترکیب بار : در نقطه A برش و لنگر عبارتست از :

$$\begin{cases} V_{uA} = 120 \text{ KN} \\ M_{uA} = 360 \text{ KN.m} \end{cases}$$

گام ۲) تعیین سهم وصله جان در انتقال آن .

$$M_{uw}^{A} = 0.16 \times M_{uA} = 57.6 \text{ KN.m}$$

با توجه به اینکه دو سمت وصله جان دارای هریک نصف V_{uA} و نصف M_{uw}^{A} را منتقل میکند :

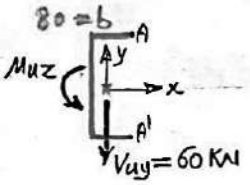


گام ۳) تعیین مرکز سطح جوش و انتقال کلیه نیروها و لنگرها به آن .

$$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d} = 11.4 \text{ mm}$$

$$V_{ux} = 0 \quad , \quad V_{uy} = 60 \text{ KN} \downarrow$$

$$\curvearrowleft M_{uz} = 28.8 \times 10^{6} - 60 \times 10^{3}(5+10+(b-\bar{x})) \rightarrow M_{uz} = 23{,}784{,}000 \text{ N.mm}$$



گام ۴) تعیین جریان برش مستقیم .

$$l_w = 2b + d = 560 \text{ mm}$$

$$q_{ux}^{s} = 0 \quad , \quad q_{uy}^{s} = \frac{V_{uy}}{l_w} = \frac{60{,}000 \text{ N}}{560 \text{ mm}} = 107.1 \text{ N/mm}$$

گام ۵) تعیین جریان برش ناشی از پیچش در نقاط بحرانی A یا A' .

$$A \begin{cases} x_A = b - \bar{x} = 68.6 \\ y_A = 200 \end{cases}$$

$$\tilde{I}_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d} \rightarrow \boxed{\tilde{I}_p = 12{,}001{,}524 \text{ mm}^3}$$

$$\begin{cases} q_{ux}^{t} = \dfrac{M_{uz} \cdot y_A}{\tilde{I}_p} = 396.3 \text{ N/mm} \\ q_{uy}^{t} = \dfrac{M_{uz} \cdot x_A}{\tilde{I}_p} = 135.9 \text{ "} \end{cases}$$

گام ۶) تعیین q_u^{total} در نقطه A .

$$q_u^{total} = \sqrt{(0+396.3)^2 + (107.1+135.9)^2} \rightarrow q_u^{total} = 464.9 \text{ N/mm}$$

گام ۷) تعیین ϕr_n ظرفیت جوش

$$\phi r_n = 0.75 \left(\beta F_{nw} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} D\right) = 100.2D \text{ N/mm}$$

0.75 ← 0.6×420

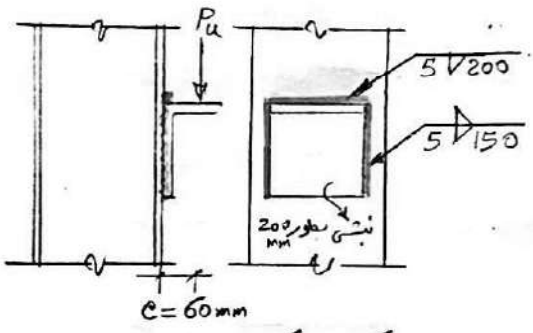
گام ۸) کنترل (طرح)

$$q_u^{total} = 464.9 \leq \phi r_n = 100.2D$$

$$\rightarrow D_{req} = 4.6 \text{ mm} \rightarrow \therefore \text{USE } D = 5 \text{ mm}$$

گام ۹) کنترلهای ابعادی ، D_{max} ، D_{min} ← ترین

جوش گوشه تحت اثر برش + خمش



روش متداول این است که تنش برشی و تنش کششی ناشی از خمش محاسبه می‌شود و با ترکیب برداری آنها تنش (جریان) برآیند بصورت برشی (بعد مشابه) محاسبه می‌گردد.

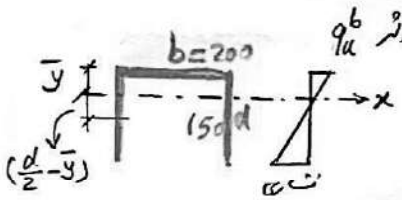
مثال ۱۹ برای جوش نبشی نشیمن به ستون شکل زیر، حداکثر P_u را از نظر جوش محاسبه کنید. الکترود مصرفی E80 جوش بصورت کارخانه‌ای با آزمایش اشعه x. فرض می‌شود کنترلهای ابعادی جوابگوست.

گام ۱) محاسبهٔ جریان برش مستقیم (در هفت نقاط ساده‌ای است (فرض می‌شود))

$$q_u^s = \frac{P_u}{l_w} = \frac{P_u}{500\,mm} \quad N/mm$$

گام ۲) محاسبهٔ جریان (تنش) کششی ناشی از خمش.

مشابه صفحه قبل در نظر گرفته می‌شود و جوش در مقابسه با طول جوشها چشم پوشی می‌شود



$$\bar{y} = \frac{b\times 0 + 2\times d\times d/2}{b+2d} = \frac{d^2}{b+2d} = 45mm$$

$$\tilde{I}_y = b\times\bar{y} + 2\left[\frac{1}{12}d^3 + d\times\left(\frac{d}{2}-\bar{y}\right)^2\right]$$

اساس مقطع کششی:

$$\tilde{S} = \frac{\tilde{I}_y}{\bar{y}} = \frac{2bd+d^2}{3} = 27{,}500\ mm^2$$

جریان کشش حداکثر ناشی از خمش:

$$q_u^b = \frac{M_{ux}}{\tilde{S}} = \frac{P_u\times e}{\tilde{S}} = \frac{P_u\times 60mm}{27{,}500} = 2.182\times10^{-3}P_u \quad N/mm$$

گام ۳) محاسبهٔ برآیند:

$$q_u^{total} = \sqrt{q_u^{s\,2} + q_u^{b\,2}} = \underline{2.96\times10^{-3}P_u} \quad N/mm$$

گام ۴) محاسبهٔ ارزش جوش ϕr_n

$$\phi r_n = 0.75\left(\underbrace{1.0}_{\beta}\cdot F_{nw}\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}\underbrace{(0.6\times560)}_{D}\right) \rightarrow \boxed{\phi r_n = 891\ N/mm}$$

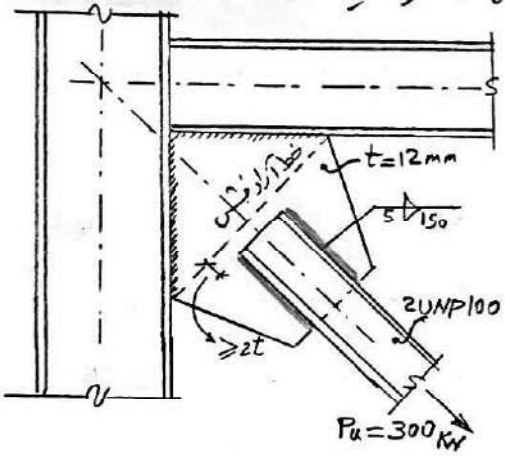
گام ۵) کنترل:

$$q_u^{total} = 2.96\times10^{-3}P_u \le \phi r_n = 891$$

$$\Rightarrow \boxed{P_{u\,max} = 301{,}014\ N}$$

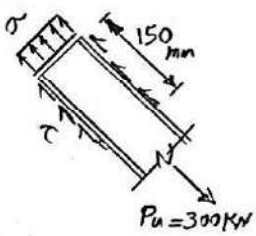
بند (۱۰-۲-۹-۴) مبحث ۱۰ : نواحی تأثید پذیر اجزای اتصال دهنده و وسایل اتصال ـــ ساده اتصالات یعنی

مثال ۲۰ برای اتصال جوشی نشان داده شده برش قالبی و مقاومت کششی را کنترل کنید.



فولاد مصرفی از نوع S235 ($F_u = 360\ MPa$, $F_y = 235\ MPa$)

الف) کنترل برش قالبی.



$$P_u \le \phi R_n$$

$$\phi = 0.75$$

$$R_n = \text{Min}\begin{cases} R_{n1} = 0.6 F_u \cdot A_{nv} + U_{bs}^{1.0} F_u \cdot A_{nt} \\ R_{n2} = 0.6 F_y A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \end{cases}$$

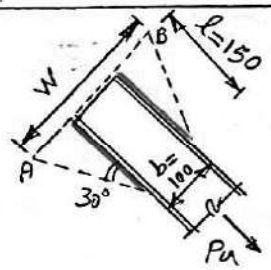
در اتصالات جوشی $A_{nv} = A_{gv}$ است و چون $F_y < F_u$ است، بنابراین R_{n2} کوچکتر از R_{n1} و تعیین کننده است.

$$A_{gv} = 2 \times 150 \times t = 2 \times 150 \times 12 = 3600\ mm^2 \quad , \quad A_{nt} = A_{gt} = 100 \times 12 = 1200\ mm^2$$

$$R_n = R_{n2} = 0.6 \times 235 \times 3600 + 1.0 \times 360 \times 1200 \rightarrow \boxed{R_n = 939.6\ KN}$$

$$P_u = 300\ KN \le \phi R_n = 0.75 \times 939.6 = 705\ KN \quad O.K.\checkmark$$

ب) کنترل مقاومت کششی از عرض موثر ورق استفاده می‌شود.



$$W = b + 2l\,tg30^\circ = 100 + 2 \times 150 \times tg30^\circ = 273\ mm$$

تسلیم: $R_{nt_1} = F_y(W.t) = 235 \times (273 \times 12) = 770\ KN$ ، $\phi_{t_1} = 0.9$

$$\phi_{t_1} \cdot R_{nt_1} = 693\ KN$$

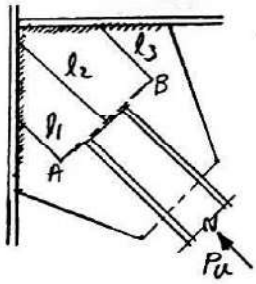
گسیختگی: $R_{nt_2} = F_u(W.t) = 360(273 \times 12) = 1179\ KN$ ، $\phi_{t_2} = 0.75$

$$\phi_{t_2} \cdot R_{nt_2} = 884\ KN$$

$$\phi R_{nt} = \text{Min}\{\phi_{t_1} \cdot R_{nt_1}, \phi_{t_2} \cdot R_{nt_2}\} \rightarrow \boxed{\phi R_{nt} = 693\ KN}$$

کنترل: $P_u = 300\ KN \le \phi R_{nt} = 693 \quad O.K.\checkmark$

مثال ۲۱ . در مثال قبل اگر P_u بصورت فشاری باشد، ورق اتصال را کنترل کنید.



مقادیر طول آزاد کمانش عبارتند از: $l_1 = 120$, $l_2 = 230$, $l_3 = 160\ mm$

$$l = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3} = 170\ mm$$

کنترل کمانش $\rightarrow$ $\lambda = \frac{K.l}{r} = \frac{1.2 \times 170}{0.3t} = \frac{1.2 \times 170}{0.3 \times 12} = 56.7 \ge 25$

$\lambda = 56.7 \xrightarrow{\text{فنری یا مهاری}} F_{cr} = 200.2\ MPa$

$$P_n = F_{cr} \times (W.t) = 656\ KN \rightarrow P_u = 300\ KN \le \phi P_n = 0.9 \times 656 = 590.4 \quad O.K.\checkmark$$