دانـــش جوشـــکاری

قسمت یکم

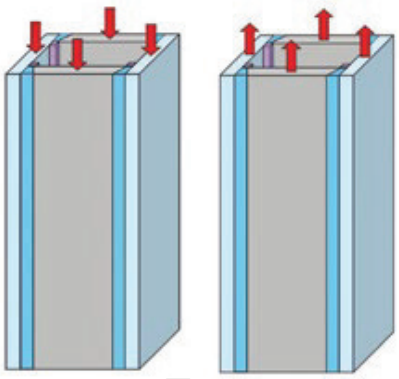
منبع : مجله Modern Steel Construction شمارهٔ اوت سال ۲۰۱۵
نویسنده: دوان میلر(Duane K. Miller)
ترجمه: مهرداد صادقی، امیر رضا زادپور

رعایت چه نکاتی منجر به یک اتصال جوشکاری خوب می‌شود؟ اصول بسیاری وجود دارند که باید برای رسیدن به جوش‌های با طراحی قوی‌تر، کارآمدتر و تحت تنش کم‌تر، به آن‌ها توجه نمود. در بخش نخست از این نوشتار دو بخشی، به هفت مورد از این اصول پرداخته می‌شود.

اصل اول- یک اتصال جوشی خوب، قادر است همهٔ بارهای اعمال شده را از طریق اتصال، به صورت کارآمد منتقل نماید.

اگر اتصال به اندازه کافی قوی نباشد، جنبه‌های دیگر آن، حقیقتاً اهمیتی نخواهد داشت. جوشی که قطعات مختلف فولادی را به یکدیگر متصل می‌کند، باید از نظر اندازه و جنس به گونه‌ای باشد که مقاومت کافی را بسته به کاربرد مورد نظر دارا باشد. همیشه قرار نیست که جوش‌ها مقاومت قطعات متصل شده را افزایش دهند، اما همیشه این انتظار می‌رود که جوش بتواند بارهای وارد شده را از طریق اتصال منتقل کند.

برای انتخاب اندازه مناسب یک جوش باید مشخص شود که چه نیروهایی توسط اتصال منتقل می‌گردد. این امر در مورد اتصالات عرضی نسبتاً ساده است، ولی در اتصالات طولی، شناسایی این مسأله چندان ساده نیست. شکل‌های ۱ تا ۴ را با چهار جوش طولی در نظر بگیرید، قطعات جوش داده شده در این تصاویر مشابه همدیگر هستند، ولی بارهای منتقل شده از اتصالات به طور قابل توجهی با هم تفاوت دارند. در شکل ۱ فرض می‌شود که اتصال به شکل قوطی به عنوان یک آویز عمل کرده و نیروهای کششی به صورت یکنواخت در تمام مقطع توزیع شده‌اند. همان مقطع در شکل ۲ می‌تواند به عنوان ستون تحت بار فشاری قرار گیرد. مطابق AISC 360 برای این گونه اتصالات که تنها تحت کشش یا فشار به موازات جوش هستند، نیازی نیست که روی



شکل ۱ شکل۲

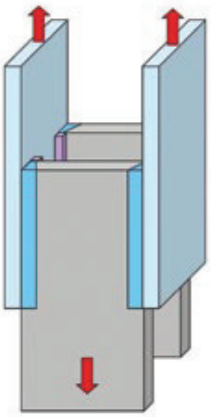
جوش در طراحی حساب جداگانه‌ای شود. جوش در این اتصالات، نقش نگه‌دارندهٔ قطعات را در کنار هم دارد و بار خاصی از طریق اتصال جوشی منتقل نمی‌شود. از آنجا که بیشترین تنش‌هایی که این جوش‌ها باید بتوانند منتقل کنند، از جابجایی و کارگذاشتن قطعات نشأت می‌گیرد، استفاده از جوش شیاری تمام نفوذی در این وضعیت‌ها توجیهی ندارد.

در شکل ۳ همان قطعه مونتاژشده قبلی به‌عنوان یک تیر در معرض خمش قرار گرفته است. بار منتقل شده بین قطعات جان و بال، از نوع نیروی برشی (طولی) بوده و آن‌چه در این میان بحرانی است، برش در سطح مقطع موثر جوش می‌باشد. در این حالت به علت اینکه مقدار تنش برشی بین بال و جان، نوعاً کم است، می‌توان از یک اتصال نیمه‌نفوذی (حتی به صورت متناوب) استفاده نمود.

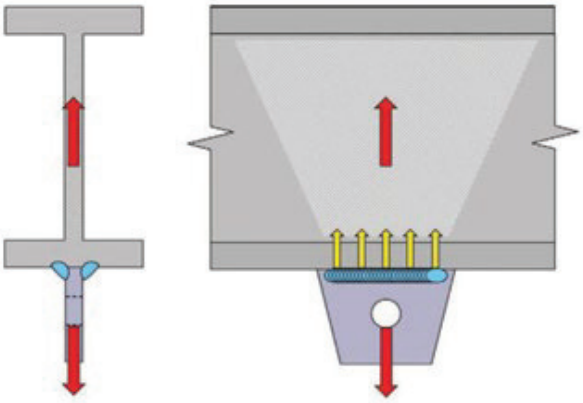
شکل ۴ اتصالی را نشان می‌دهد که در آن از همان آرایش قطعات استفاده شده است، با این تفاوت که در اینجا همهٔ نیروهای کششی از طریق اتصالات جوشی منتقل می‌شود. این

دوان میلر، مدیر بخش مهندسی شرکت لینکلن‌الکتریک، از متخصصان معروف در زمینه دانش جوش‌کاری است. شرکت لینکلن‌الکتریک، در زمینهٔ آموزش، توسعه و ساخت تجهیزات جوش‌کاری فعالیت می‌کند. میلر تحصیلات دورهٔ لیسانس خود را در رشتهٔ مهندسی جوش و دورهٔ فوق‌لیسانس را در رشتهٔ مهندسی مواد به اتمام رسانده و در سال ۱۹۹۷ به کسب درجه دکترای افتخاری علوم نائل گردید. این محقق برجسته یکی از ۱۶۰ کارشناس نویسندهٔ ویرایش یازدهم کتاب مقدس مهندسین مکانیک، دست‌نامهٔ مارک است که اولین بار در سال ۱۹۱۶ منتشر گردید. علاوه بر این دکتر میلر در نگارش فصل‌هایی از کتاب‌های مختلف در زمینه جوش همکاری کرده‌اند. دکتر میلر از متخصصان خوش‌نام در زمینهٔ طراحی و اجرای اتصالات جوشی هستند که مدال‌ها و جوایز معتبری را در طول عمر خود کسب کرده‌اند. مطلبی که در پیش رو دارید بر اساس سخنرانی دکتر میلر در کنفرانس سال ۲۰۱۵ سازندگان ساختمان‌های فلزی آمریکای شمالی و تحت عنوان «اتصالات جوشی: خوب، بد و زشت» تنظیم شده است. این مطلب شامل ۱۴ اصل بوده و در دو بخش تقدیم شما می‌گردد.

شکل ۳



شکل ۴



شکل ۵

وضعیت از لحاظ چگونگی آرایش بار، در مقایسه با آنچه در شکل‌های ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود تفاوت زیادی دارد، اما جزئیات جوش شیاری با نفوذ کامل، یکسان است. در این حالت می‌توان با توجه به در نظر گرفتن میزان بار و طول اتصال از جوش شیاری با نفوذ کامل استفاده نمود. هنگامی می‌توان به یک اتصال جوشی مناسب دست یافت که بار منتقل شده از طریق جوش در طراحی لحاظ شده باشد.

می‌توان گفت که اصل اول در داشتن یک اتصال جوشی خوب، «بهینه بودن» آن است. جوش‌هایی که اندازهٔ آنها از حد نیاز بیشتر است، بهینه نیستند. بهینه نبودن یک اتصال فقط پیامد اقتصادی به همراه ندارد بلکه وقتی یک اتصال جوشی بیش از اندازه جوش داده شود، باعث ایجاد تنش پسماند، پیچیدگی و حتی افزایش احتمال ایجاد ترک و پارگی در اتصال می‌گردد. بنابراین برای سه اتصال اول مثال فوق، استفاده از جوش کاملاً نفوذی توصیه نمی‌گردد.

اصل دوم: یک اتصال جوشی خوب دارای مسیر انتقال بار آشکار و مستقیم است.

تنش‌های موجود در عضو باید از یک عضو به وسیلهٔ جوش به عضو دیگر اتصال، «جریان» یابد. یک اتصال جوشی زمانی مناسب است که این مسیر انتقال بار، واضح و مستقیم باشد. در شکل ۵ بار عمودی از قلاب بوسیله جوش به بال و از طریق بال به جان وارد می‌شود، بار وارده به جوش یکنواخت بوده و مسیر انتقال بار واضح و مستقیم است. در مقابل در شکل ۶، بار از قلاب به وسیلهٔ جوش به بال انتقال می‌یابد ولی بال انعطاف‌پذیر است. بار در یک مرحله به جان انتقال می‌یابد، ولی جوش در امتداد طول خود به‌صورت یکنواخت بارگذاری نشده است. یک جفت سخت‌کننده به کار رفته در شکل ۷، این مشکل را اصلاح می‌کند. به این صورت، مسیر انتقال بار (از قلاب به جوش، از جوش به بال، از بال سخت شده به سخت کننده‌ها، و نهایتاً به جان) واضح می‌باشد.

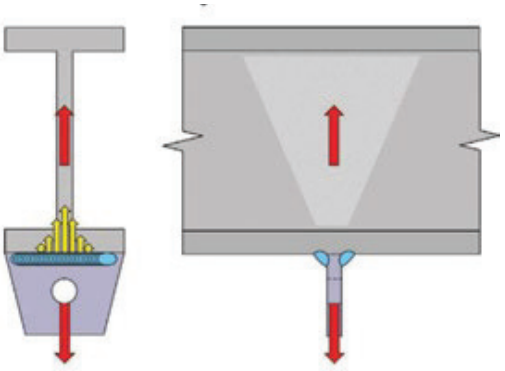
اصل سوم: یک اتصال جوشی خوب، جوش را در منطقه کم‌تنش‌تر قرار می‌دهد.

چنانچه عملی و ممکن باشد، موقعیت جوش‌ها باید در نواحی کم‌تنش قرار بگیرد. با محقق‌شدن این امر، جوش‌ها کمتر در معرض شرایط بحرانی خواهند بود. همچنین از آنجا که این کار موجب کوچک‌تر شدن اندازهٔ جوش‌ها می‌گردد، به لحاظ اقتصادی نیز شایان توجه است.

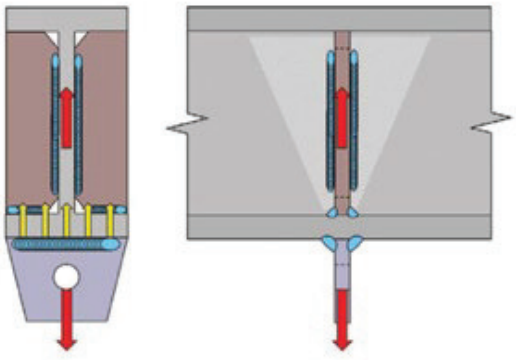
به طور مثال، نواحی اتصال شاه‌تیرهای سراسری می‌تواند در نقاط عطف امتداد طولی عضو قرار گیرد. برای سازه‌های با بارگذاری سیکلی، جزئیات اتصال در انتهای ورق‌های پوششی متشکل از یک ناحیه کم‌تنش می‌باشد، ادامه دادن ورق‌های پوششی تا منطقه با تنش کمتر می‌تواند جزئیات اتصال را قابل قبول نماید.

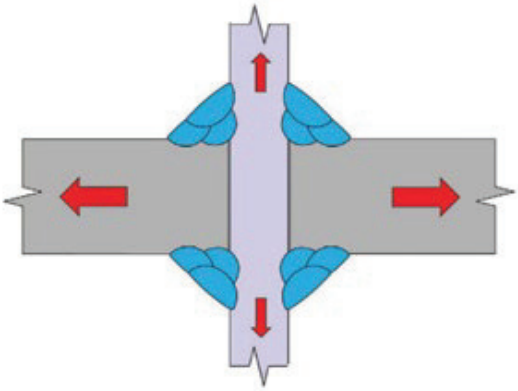
شکل ۸ مثال دیگری را نشان می‌دهد که در آن، قطعه ضخیم‌تر (که احتمالا عضوی با بارگذاری سنگین‌تر است) ناپیوسته بوده و برای انتقال بار در اتصال، اندازهٔ جوش بیشتری مورد نیاز است. ولی در

شکل ۶

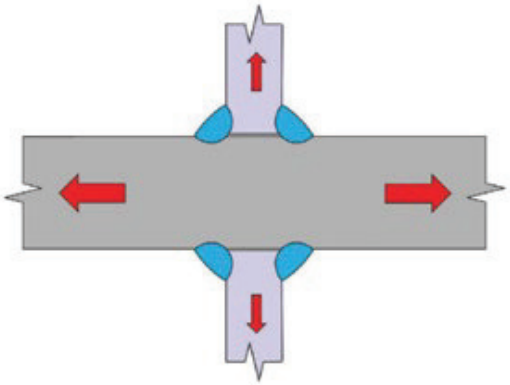


شکل ۷





شکل ۸



شکل ۹

شکل ۹ عضو نازکتر ناپیوسته بوده و این امکان را می‌دهد که با اندازه جوش کمتر، انتقال بار محقق شود.

اصل چهارم: یک جوش خوب نباید باعث ایجاد تمرکز تنش گردد.

برخی جوش‌ها و جزئیات اتصالات جوشی ممکن است باعث ایجاد تمرکز تنش گردند. به عنوان مثال، وجود پشت‌بند فولادی (اگر در کار باقی بماند) می‌تواند باعث تمرکز تنش شود. برای اتصال T نمایش داده شده در شکل ۱۰ یک جوش شیاری با نفوذ کامل را در نظر بگیرید. وجود پشت بند در اتصال T می‌تواند باعث ایجاد تمرکز تنش در محل اتصال لبهٔ پشت‌بند و عضو عمودی گردد. برای حذف این تمرکز تنش آیین‌نامه AISC پیشنهاد برداشتن پشت‌بند را در چنین اتصالاتی داده است. درز نوک به نوک شکل ۱۱ را در نظر بگیرید. در اینجا با وجود عدم آمیختگی کامل بین سطح پشتی قطعات و سطح بالایی پشت‌بند فولادی، از آنجا که این سطح مشترک با تنش‌های وارده موازی می‌باشد، باعث ایجاد تمرکز تنش نگردیده است.

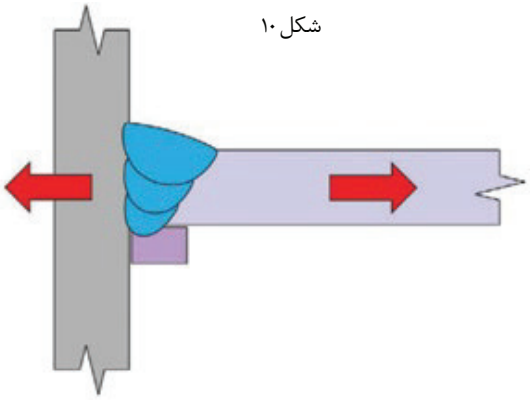
همچنین، وجود پشت‌بندهای فولادی ناپیوسته ممکن است موجب بروز تمرکز تنش (مانند شکل ۱۲) گردد. فصل مشترک ناآمیخته بین قطعات پشت‌بند، موجب بروز ناپیوستگی صفحه‌ای گردیده است. چنانچه مقطع قوطی تحت بارگذاری خمشی قرار گیرد، تنش‌های کششی پدیدآمده در سطح مشترک قطعات پشت‌بند به طور موضعی تشدید می‌گردد. جهت کاهش مشکلات ناشی از ناپیوستگی پشت‌بند در این گونه اتصالات، می‌توان قطعات پشت‌بند را قبل از قرار دادن در محل اتصال جوش، به یکدیگر به‌صورت نفوذ کامل جوش داد. همچنین چنانچه از پشت‌بند سراسری پیوسته استفاده شود، مسأله به کلی حل خواهد شد.

اصل پنجم: یک اتصالی جوشی خوب نباید محصور شده باشد.

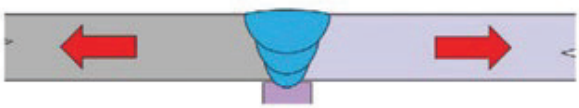
وقتی اتصالی جوشکاری می‌شود، انتظار می‌رود که فلز جوشِ داغ و منبسط شده، و فلز پایهٔ داغ پیرامونی جوش، در حین سرد شدن منقبض گردند. در حین سرد شدن و انقباض فلزجوش، ناحیهٔ خنک‌تر (و منبسط نشده) فلز پایه در مقابل تنش‌های کششی که از طرف فلز جوش تحمیل می‌شود، مقاومت نشان می‌دهد. این مقاومت فلز پایه در برابر تنش‌های تحمیلی، موجب بروز تنش‌های کششی در فلز جوش، و نهایتاً تسلیم آن می‌شود. تسلیم‌شدگی تا جایی ادامه می‌یابد که تنش‌های انقباضی تحمیلی توسط جوش، به وسیلهٔ فلز پایهٔ پیرامونی تحمل گردد. بنابراین با برابر شدن «تنش‌های پس‌ماند در جوش» و «تنش‌های ایجادشده در فلز پایه» تعادل برقرار می‌شود. آنچه به جای می‌ماند، مقادیری تنش پس‌ماند در جوش است که تقریباً مساوی حد تسلیم فلزات درگیر در اطراف آن ناحیه می‌باشد.

اگر اعضای متصل‌شونده بتوانند آزادانه حرکت یا انعطاف لازم را نشان دهند، تنش پسماند با این جابجایی تقلیل خواهد یافت. وقتی اعضا صلب و غیر قابل حرکت باشند، تنش پسماند افزایش می‌یابد. در جوشکاری اعضا تحت قید و بند زیاد، معمولاً فلز جوش یا فلز پایه انعطاف‌پذیر، به جای تسلیم‌شدن، دچار ترک می‌شوند.

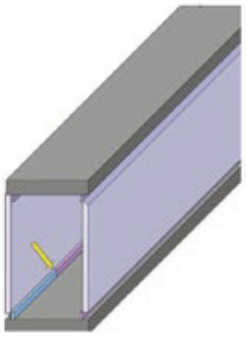
تنش‌های پس‌ماند سه‌بعدی از همه آسیب زننده‌تر بوده و



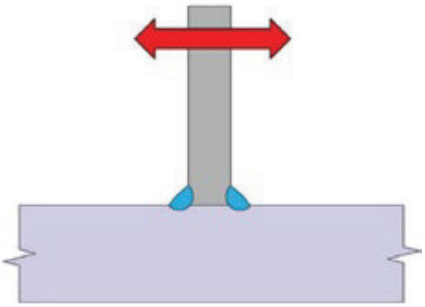
شکل ۱۰



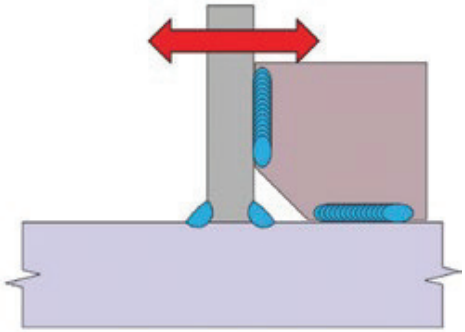
شکل ۱۱



شکل ۱۲



شکل ۱۳



شکل ۱۴

می‌توانند باعث ترک‌خوردگی فولاد انعطاف‌پذیر یا فلز جوش شوند. تخصیص فضای دسترسی مناسب و در جهات مختلف، به پیش‌گیری از تشکیل چنین تنش‌هایی در مقطع جوش کمک می‌کند.

اصل ششم: یک اتصال جوشی خوب، جوش را در معرض خمش قرار نمی‌دهد.

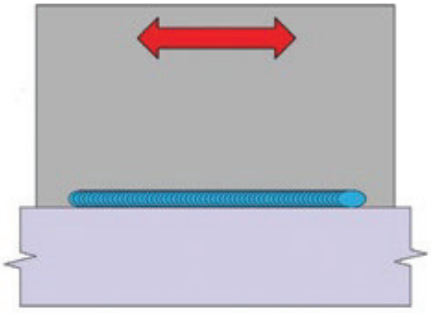
برای فهم مطلب ابتدا باید بفهمیم که این اصل شامل چه مواردی نمی‌باشد! مسلماً ساخت تیرورق با استفاده از جوش‌های در راستای طولی، و تحت خمش قرار دادن تیر امری قابل پذیرش است. اصل ۶ طراحان را از بارگذاری که موجب خمش جوش حول محور طولی آن بشود منع می‌کند (همانگونه که در شکل ۱۳ نشان داده شده است). چنین بارگذاری‌ای کرنش‌ها را در ریشه و پنجهٔ جوش متمرکز می‌نماید. برای جلوگیری از این خمش می‌توان مانند شکل ۱۴ از سخت‌کننده استفاده نمود ، یا مانند شکل ۱۵ جهت‌گیری را به نحوی تغییر داد که جوش تحت بارگذاری برشی قرار گیرد.

اصل هفتم: یک اتصال جوشی خوب از لبه و ریشهٔ جوش محافظت می‌کند.

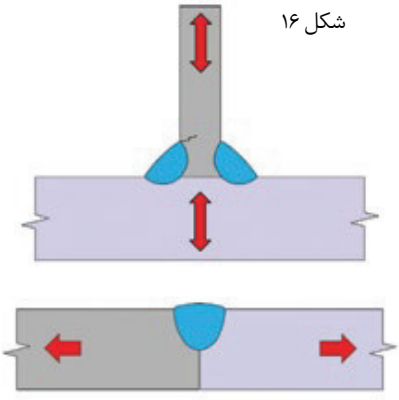
لبه جوش و ریشه می‌توانند باعث ایجاد تمرکز تنش گردند و یک اتصال جوشی مناسب، از این نواحی آسیب‌پذیر محافظت می‌کند. در شکل ۱۸ ریشهٔ جوش نیمه‌نفوذی یک‌طرفه در بارگذاری کششی، بدون حفاظت مانده است. در شکل ۱۹ جوش نیمه‌نفوذی دوطرفه در بارگذاری‌های استاتیکی از حفاظت کافی برخوردار است، ولی در اتصالات تحت بارگذاری سیکلی، سرانجام گسیختگی اتصال با جوش دوطرفه از ریشهٔ جوش آغاز خواهد شد.

علاوه بر تمرکز تنش ایجادشده توسط ریشهٔ جوش، لبه جوش نیز می‌تواند باعث تمرکز تنش گردد. گرچه، سطح مشکلات آن به شدت موارد ناشی از ریشهٔ جوش نمی‌باشد. در کاربردهای حساس به خستگی، حذف تقویت جوش‌های شیاری با نفوذ کامل عرضی، مقاومت در برابر خستگی را از رده‌ی C به رده‌ی B افزایش می‌دهد. ترک‌های ناشی از خستگی در جوش پنجهٔ پشت‌بندهای عرضی انتهای صفحات پوششی آغاز می‌گردد. همچنین ناپیوستگی‌های جوشی متنوعی مانند ترک‌های undercut، overlap و underbead در پنجهٔ جوش متمرکز می‌شوند.

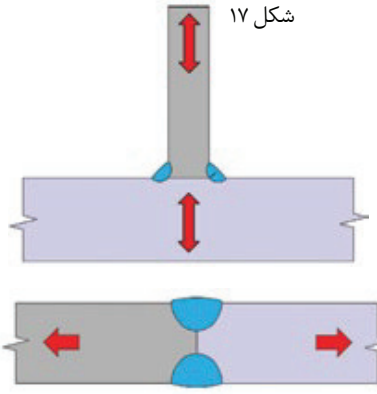
بنا بر این دلایل می‌بایست دقت ویژه‌ای به نحوهٔ طراحی و اجرای ریشه و لبه جوش شود. جزئیات اتصالات جوشی باید به‌منظور اطمینان از اینکه لبه و ریشه مشکل‌ساز نخواهند شد، مورد آزمایش قرار گیرد. اصل ۷ و ۴ ارتباط تنگاتنگی با هم داشته و باید به خاطر بسپاریم که تمرکز تنش تنها وقتی اهمیت دارد که نیرو (یا مؤلفه‌ای از آن) به صورت عمود بر مقطع مورد نظر وارد شده باشد. ریشه و لبهٔ جوش‌های طولی روی تیرورق‌های تحت بارگذاری خمشی، دچار تمرکز تنش در محل این ناپیوستگی‌های هندسی نمی‌شوند.



شکل ۱۵



شکل ۱۶



شکل ۱۷

شکل ۱۸

شکل ۱۹