

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

مطالعات فنی مقدماتی

وصله آرماتورهای فولادی سازه‌های بتن آرمه به روش جوش فشاری گازی (فورجینگ)

مجریان :

بهنام مهرپرور - علی خیرالدین

شماره نشر: گ - ۱۱۵۶

چاپ اول: ۱۴۰۴

عنوان و نام پدیدآور	مطالعات فنی مقدماتی وصله آرماتورهای فولادی سازه‌های بتن‌آرمه به روش جوش فشاری گازی (فورجینگ)/مجریان بهنام مهرپرور، علی خیرالدین
مشخصات نشر	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری	۱۵۴ص: مصور، جدول، نمودار
فروست	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر: گ-۱۱۵۶
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۵۷۴-۳
وضعیت فهرست‌نویسی	فیبا
یادداشت	کتابنامه
موضوع	سازه‌های بتنی -- ایران -- نمونه‌پژوهی
موضوع	Concrete structures -- Iran -- Case studies
موضوع	میل‌گردهای فولادی -- نمونه‌پژوهی
موضوع	Steel bars -- Case studies
موضوع	آهن‌گری و شکل‌دهی -- ایران -- نمونه‌پژوهی
موضوع	Forging -- Iran -- Case studies
موضوع	میل‌گردکناری -- نمونه‌پژوهی
موضوع	Reinforcing bars -- Case studies
شناسه افزوده	مهرپرور، بهنام، ۱۳۶۰-
شناسه افزوده	خیرالدین، علی، ۱۳۴۳-
شناسه افزوده	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
شناسه افزوده	Road, Housing and Urban Development Research Center
رده بندی کنگره	TA۶۸۱/۵
رده بندی دیویی	۶۲۴/۱۸۳۴۰۹۵۵
شماره کتابشناسی ملی	۱۰۳۴۹۴۱۵
وضعیت رکورد	فیبا



نام کتاب: مطالعات فنی مقدماتی وصله آرماتورهای فولادی سازه‌های بتن‌آرمه به روش جوش فشاری گازی (فورجینگ)

مجریان: بهنام مهرپرور - علی خیرالدین

شماره نشر: گ-۱۱۵۶

ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نوبت چاپ: اول

تیراژ: ۲۰۰ جلد

قطع: وزیری

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره انتشارات و چاپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

قیمت: ۱۴۰۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-113-574-3

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۵۷۴-۳

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.
کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر برای مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محفوظ است.

نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شیخ فضل ... نوری، رویروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶ تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۳۸۴۱۳۲
پست الکترونیکی: pub@bhrc.ac.ir فروش الکترونیکی: http://pub.bhrc.ac.ir

سخن مرکز

استفاده از وصله‌های جوش فشاری گازی برای میلگردهای فولادی در سازه‌های بتن‌آرمه به دلیل کیفیت، سرعت اجرا و صرفه اقتصادی، به عنوان یکی از روش‌های کارآمد، کاربرد گسترده‌ای در کشورهای لرزه‌خیز نظیر ژاپن یافته است. به منظور ساماندهی و استانداردسازی استفاده از جوش فشاری گازی (فورجینگ) برای وصله آرماتورهای فولادی در سازه‌های بتن‌آرمه، که در سال‌های اخیر در کشور مورد توجه زیادی قرار گرفته است، با توجه به وجود مسائل و ابهامات مختلف موجود در خصوص کارایی این روش از جمله قابلیت جوش‌پذیری میلگردهای فولادی موجود در ایران، نحوه اجرای این نوع وصله، روش‌های بازرسی و قابلیت کاربرد در سازه‌های شکل‌پذیر در برابر زلزله، این مرکز در قالب یک طرح پژوهشی نسبت به انجام مطالعات فنی مقدماتی به منظور تدوین ضوابط مورد نیاز برای این روش اقدام نموده است. گزارش نهایی این مطالعات توسط کمیته راهبری این طرح که از اعضای کمیته آیین نامه بتن ایران (آبا) تشکیل شده است، به تائید رسیده است. نتایج مطالعات حاضر علاوه بر این که در آشنایی مهندسان و محققان با این روش مفید می‌باشد، می‌تواند در تدوین الزامات استفاده از این روش در سازه‌های بتن‌آرمه مورد استفاده کمیته‌های تدوین مقررات و آئین‌نامه‌ها مربوطه قرار گیرد.

امید است پژوهش حاضر گامی در راستای استانداردسازی روش جوش فشاری گازی در ایران بوده و به ارتقای کیفیت ساخت سازه‌های بتن‌آرمه انجامد. همچنین از تمامی اساتید، مهندسان و محققین درخواست می‌شود هرگونه نظرات و پیشنهادات خود را در خصوص این پژوهش، به مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ارسال نمایند.

غزال راهب

رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

گروه تدوین و مطالعات فنی

مجریان پروژه:

- دکتر بهنام مهرپرور

- دکتر علی خیرالدین

همکاران مطالعات فنی:

- مهندس محمدرضا بیات

- دکتر عاطفه جهان محمدی

- دکتر علی خیرالدین

- دکتر فرهنگ فرحبد

- دکتر فرشید مالک قائینی

- دکتر بهنام مهرپرور

- مهندس منصور نجفی مطیعی

کمیته تخصصی و راهبری:

- دکتر سعید تارپوردیلوی اصل

- دکتر عبدالرضا سروقدمقدم

- دکتر محمد شکرچی زاده

- مهندس علی اصغر طاهری بهبهانی

- دکتر هرمز فامیلی

- مهندس مصطفی کبیری

- دکتر کامیار کرباسی آرانی

- دکتر داود مستوفی نژاد

- مهندس رحیم واعظی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات و مبانی نظری
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ روش‌های وصله آرماتورها
۴	۳-۱ وصله‌های جوشی
۱۳	۴-۱ وصله جوشی فشاری گازی (فورجینگ)
۲۹	۵-۱ مزایا و معایب جوش فشاری گازی
۳۳	فصل دوم: ضوابط موجود در استانداردها و آیین‌نامه‌ها
۳۳	۱-۲ مقدمه
۳۳	۲-۲ ضوابط مبحث نهم مقررات در خصوص وصله آرماتورها
۴۰	۳-۲ ضوابط استاندارد انجمن جوش فشاری ژاپن JPWS و انستیتو وصله آرماتور ژاپن JRJI
۸۳	۴-۲ ضوابط استاندارد نیوزیلند
۸۷	فصل سوم: مرور تحقیقات
۸۷	۱-۳ مقدمه
۸۷	۲-۳ سابقه روش و تحقیقات انجام شده در ژاپن و امریکا
۹۹	۳-۳ مطالعات انجام شده در ایران
۱۰۶	۴-۳ مطالعات انجام شده در نیوزیلند
۱۱۱	۵-۳ مطالعات انجام شده در گره جنوبی
۱۱۲	۶-۳ مطالعات انجام شده در زمینه متالورژی جوش فورجینگ
۱۱۹	فصل چهارم: بررسی آزمایشگاهی جوش‌پذیری میلگردهای تولیدشده در ایران
۱۱۹	۱-۴ مقدمه
۱۱۹	۲-۴ روش تحقیق



۱۲۳ ۳-۴ نتایج آزمون‌های انجام شده بر روی نمونه‌ها

۱۲۹ ۴-۴ نتایج کلی بررسی آزمایشگاهی جوش پذیری میلگردهای تولید شده در ایران

۱۳۱ فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تدوین دستورالعمل وصله جوش فشاری گازی

۱۳۱ ۱-۵ مقدمه

۱۳۱ ۲-۵ تصریح مقررات ملی ساختمان و آئین‌نامه بتن ایران در خصوص وصله جوشی فورجینگ، معیار پذیرش و محل کاربرد آن

۱۳۲ ۳-۵ دستورالعمل انجام جوش فورجینگ

۱۳۳ ۴-۵ معیارهای پذیرش وصله جوشی برای تأیید روش جوشکاری

۱۳۴ ۵-۵ نحوه تأیید وصله‌های جوشی فورجینگ

۱۳۶ ۶-۵ نظامات اداری و استانداردهای مورد نیاز

۱۳۷ مراجع

چکیده

یکی از روش‌های وصله آرماتورهای فولادی در سازه‌های بتن آرمه، استفاده از وصله‌های جوشی است. در میان روش‌های مختلف موجود برای اجرای وصله جوشی میلگردها، استفاده از جوش فشاری گازی^۱ که در ایران بیشتر به نام جوش فورجینگ شناخته می‌شود، به دلیل سرعت، سهولت اجرا و صرفه اقتصادی از محبوب‌ترین و متداول‌ترین روش‌ها در ایران و برخی کشورهای شرق آسیا می‌باشد. ورود این فناوری از بیش از یک دهه پیش به ایران و به دنبال کاربرد گسترده و موفق این روش در کشور ژاپن، صورت پذیرفته است. با توجه به مرجعیت آئین‌نامه‌ها و استانداردهای امریکایی در حوزه سازه‌های بتن آرمه در ایران و عدم اشاره به روش مذکور در مقررات حاکم بر سازه‌های بتن آرمه و نیز آئین‌نامه‌های جوش ایران به تبعیت از الزامات مرجع آنها، همواره چالش‌هایی در رابطه با استفاده و پذیرش این روش وصله آرماتور از سوی جامعه مهندسی در ایران موجود بوده و ابهاماتی در خصوص ضوابط مربوط به آن وجود داشته است. با توجه به ضرورت تدوین یک دستورالعمل مدون برای روش اجرای این نوع وصله‌ها، نحوه بازرسی و آزمون‌های مورد نیاز و معیارهای پذیرش که با توجه به گستردگی و تخصصی بودن موضوع از جنبه‌های سازه‌ای و متالورژی در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و آئین‌نامه بتن ایران مسکوت می‌باشد، مطالعات حاضر به بررسی مسائل فنی و چالش‌های پیش رو برای استانداردسازی این روش به منظور تدوین یک دستورالعمل ملی برای وصله‌های جوش فشاری گازی (فورجینگ) آرماتورها پرداخته است. این مطالعات فنی، پیش‌نیاز تدوین دستورالعمل فوق به عنوان یکی از اسناد پشتیبان مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و آئین‌نامه بتن ایران می‌باشد.

فصل اول گزارش پیش رو به معرفی روش‌های مختلف وصله آرماتورها در سازه‌های بتن آرمه و کلیات مربوط به وصله‌های فورجینگ اختصاص دارد. در فصل دوم، الزامات موجود در استانداردها و آئین‌نامه‌های ملی و بین‌المللی مرتبط با روش جوش فشاری گازی

^۱ Gas Pressure Welding

برای وصله آرماتورها مرور شده است. با توجه به توسعه این روش در کشور ژاپن و کاربرد گسترده آن در این کشور، عمده ضوابط ارائه شده در این فصل با اقتباس از مراجع و استانداردهای ژاپنی گردآوری و ترجمه شده است. فصل سوم گزارش به مرور تحقیقات انجام شده در خصوص موضوع اختصاص داشته و خلاصه‌ای از یافته‌های پژوهشی در همین خصوص در کشورهای ایران، ژاپن، نیوزیلند و سایر کشورها از بیش از سه دهه پیش تا این تاریخ را شامل می‌شود. این یافته‌ها شامل روش‌های جدید اجرا و بازرسی این نوع وصله‌ها، مطالعات صورت گرفته بر روی رفتار سازه‌های اجرا شده با این روش و مطالعات متالورژیکی مرتبط با جوش فشاری گازی می‌باشند. در فصل چهارم، جوش‌پذیری میلگردهای تولیدشده در ایران مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته است. نظر به تولید میلگردها در ایران با هر دو روش آلیاژسازی و عملیات حرارتی (ترمکس) و با توجه به ممنوعیت برخی استانداردها برای جوشکاری میلگردهای تولید شده با عملیات حرارتی، اثر جوشکاری فورجینگ بر روی مشخصات مکانیکی میلگردهای تولیدشده در ایران با انجام مجموعه‌ای از آزمون‌ها بر روی نمونه‌های وصله شده در دستور کار قرار گرفت.

بر اساس مطالعات صورت پذیرفته، به نظر می‌رسد روش جوش فشاری گازی (فورجینگ) می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای وصله آرماتورهای فولادی مورد استفاده قرار گیرد، لیکن با توجه به وابستگی شدید کیفیت وصله انجام شده به مهارت اپراتور و شرایط اجرایی، پیاده‌سازی دستورالعملی برای نحوه اجرا و بازرسی وصله‌های جوشی در کنار وجود نظامی برای استانداردسازی تجهیزات و آموزش عوامل دخیل در این امر، ضروری است.

فصل اول: کلیات و مبانی نظری

۱-۱- مقدمه

سازه‌های بتن‌آرمه به دلیل مزایایی همچون اقتصادی بودن، مقاومت مناسب در برابر آتش، دسترسی آسان به مواد تشکیل‌دهنده، دوام و ...، بخش قابل توجهی از ساخت‌وسازها را در ایران به خود اختصاص داده است. یکی از مسائل اصلی در طراحی و اجرای سازه‌های بتن‌آرمه، جزییات آرماتورگذاری و محل وصله آرماتورها است و عوامل متعددی از قبیل قطر و رده میلگرد، رده بتن و فاصله جانبی بین میلگردها و خاموت‌ها، محل و مشخصات وصله‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مطابق اکثر آیین‌نامه‌های بتن‌آرمه، وصله میلگردها به چهار روش وصله پوششی، مکانیکی، جوشی و اتکایی، قابل انجام است. یکی از روش‌های انجام وصله‌های جوشی، استفاده از جوش فشاری گازی^۱ (GPW) یا فورجینگ می‌باشد که امروزه در ایران مورد توجه زیادی قرار گرفته است. با توجه به مسائل و ابهامات قابل ملاحظه موجود در استفاده از وصله‌های فورجینگ در ایران، هدف از انجام تحقیق حاضر، انجام مطالعات فنی پایه و بررسی پارامترهای مؤثر در اتصال سربه‌سر میلگردها با روش جوشکاری فشاری گازی (GPW) بوده و روش جوشکاری مذکور در خصوص آرماتورهای موجود در ایران و با شرایط اجرایی کشور مورد بررسی دقیق گرفته است.

^۱ Gas Pressure Welding



این مطالعات پیش‌نیاز تدوین دستورالعمل اجرای وصله جوشی فشاری گازی (فورجینگ) آرماتورهای فولادی در سازه‌های بتن‌آرمه می‌باشد.

۱-۲ روش‌های وصله آرماتورها

وصله کردن میلگردها در هنگام اجرای سازه‌های بتن‌آرمه برای دستیابی به میلگرد با طول موردنظر با روش‌های مختلفی مانند کنارهم قراردادن آن‌ها تحت ضوابط خاص، اجتناب‌ناپذیر است. در صورتی که استفاده از وصله در آرماتورها اجتناب‌ناپذیر باشد، باید از اجرای این وصله‌ها در محل لنگر حداکثر (به‌طور مثال در تیرهای ساده در وسط دهانه) پرهیز نمود و تا حد امکان آن‌ها را در محل‌هایی با لنگر خمشی حداقل تعبیه نمود.

از جمله موضوعات مهمی که در تهیه نقشه‌های جزئیات سازه‌های بتن‌آرمه و اجرای سازه مورد توجه قرار می‌گیرد، محل و مشخصات وصله آرماتورها است. عوامل متعددی، محل و مشخصات وصله‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این عوامل شامل قطر میلگرد، تنش تسلیم آرماتور، مقاومت فشاری بتن و فاصله جانبی بین میلگردها و خاموت‌ها می‌باشد (خیرالدین و فامیلی، ۱۳۹۹).

وصله میلگردها در سازه‌های بتن‌آرمه به یکی از روش‌های وصله پوششی^۱، وصله جوشی^۲، وصله مکانیکی^۳ یا وصله اتکایی^۴ انجام می‌شود. در حال حاضر، در اجرای عمده سازه‌های بتن‌آرمه در ایران از وصله پوششی استفاده می‌شود، که در این نوع وصله، انتقال تنش به واسطه بتن انجام می‌شود. علاوه بر آن، درصد قابل توجهی از میزان میلگردهای مصرفی در هر پروژه بابت طول پوشش (اورلپ)^۵ مصرف می‌شود که این روش را از نظر اقتصادی نامطلوب می‌نماید. علاوه بر روش وصله پوششی برای اتصال آرماتورها،

۱ lap splices

۲ welded splices

۳ mechanical splices

۴ end-bearing splices

۵ overlap length



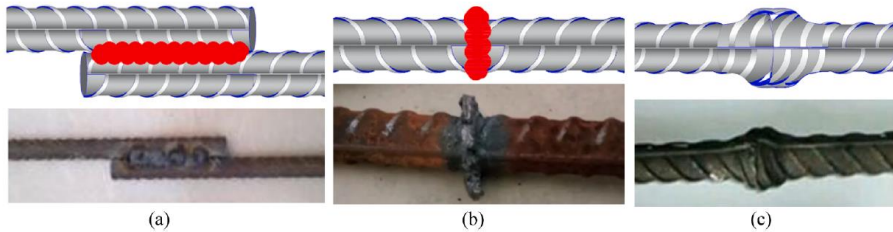
روش‌های دیگری مانند وصله مکانیکی و وصله جوشی وجود دارد که گزینه خوبی برای وصله آرماتورها به جای وصله پوششی می‌باشند. در حقیقت این نوع وصله‌ها عملکرد مستقل از بتن دارند که این ویژگی باعث یکپارچگی بیشتر سازه به هنگام صدمه دیدن بتن خواهد شد. وصله‌های جوشی و مکانیکی معمولاً برای اتصال میلگردهای با قطر بالا و مواردی که نیروی کششی قابل ملاحظه‌ای باید در محل وصله منتقل گردد، استفاده می‌شوند. مطابق اغلب آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی، میلگردهای کششی با قطر بیش از ۳۵ میلی‌متر را نمی‌توان به صورت پوششی وصله کرد. همچنین در اعضای کششی که نقش مهار را در سازه ایفا می‌نمایند، نمی‌توان از وصله پوششی بهره برد. (خیرالدین و فامیلی، ۱۳۹۹).

وصله‌های جوشی و مکانیکی باید قادر به مقاومت در مقابل ۱۲۵ درصد مقاومت تسلیم میلگردها باشند (مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۹).

امروزه استفاده از وصله‌های جوشی و مکانیکی در ایران به علت امتیازات خاص آنها، به مرور رو به افزایش می‌باشد. در وصله پوششی، طول هم‌پوشانی (اورلپ) بسیار بالایی برای میلگردهای با قطر زیاد نیاز است، در مقابل وصله‌های جوشی و مکانیکی علاوه بر سبکی، اقتصادی نیز بوده و سرعت اجرا را افزایش می‌دهد. از مزایای این نوع وصله‌ها می‌توان به سبک‌تر شدن وزن فولاد مصرفی به دلیل وزن ناچیز اتصال نسبت به اتصال پوششی، آرایش منظم آرماتورها و در نتیجه ایجاد فضای مناسب برای بتن‌ریزی مطلوب، ایجاد اتصال یکپارچه آرماتورها و در نتیجه یکپارچه عمل نمودن آرماتور در محل اتصال به هنگام اعمال نیروهای سیکلیک ناشی از زمین لرزه و در امتداد هم قرار گرفتن آرماتورها و در نتیجه انتقال نیرو به طور مستقیم اشاره نمود.

۳-۱ وصله‌های جوشی

این نوع وصله‌ها از نظر انتقال تنش بسیارخوب تلقی می‌شوند، لیکن نیاز به نظارت بیشتری داشته و کیفیت اجرای جوش باید از طریق بازرسی‌های لازم به تأیید دستگاه نظارت برسد.



شکل ۱-۱: انواع وصله جوشی میلگردها

(a) وصله جوشی پهلو به پهلو، (b) وصله جوشی سر به سر و (c) وصله فورجینگ (GPW)

(Dabiri *et al.*, 2022)

مطابق آیین‌نامه بتن ایران، در مواردی که در میلگردها از وصله جوشی استفاده می‌شود،

میلگردها باید تحت آزمایش کشش و خمش قرار گیرند و دارای شرایط زیر باشند:

الف- در آزمایش کشش، مقطع گسیخته شده نباید در محل جوش یا در مجاورت آن باشد.

ب- در آزمایش خمش، منطقه جوش شده نباید دچار ترک خوردگی و یا هر عیب دیگر باشد.

اتصال جوشی میلگردها فقط در مورد آرماتورهایی که حد جاری شدن آنها بیشتر از ۵۰۰ مگاپاسکال نباشد، قابل انجام است و نباید در محل خم میلگردها واقع شود.

نمونه‌های جوش شده نباید دارای تغییر شکل نسبی نظیر گسیختگی کمتر از ۸ درصد محل جوش باشند.

همچنین جوشکاری نباید موجب هیچ‌گونه تغییر در مشخصات مکانیکی فولاد شود.

اتصال آرماتورهای عرضی رکابی‌ها، تنگ‌ها، دوخت‌ها، و رابط‌ها، به آرماتورهای طولی



به وسیله خال جوش مجاز نیست، مگر آنکه از طریق آزمایش اطمینان حاصل شود که صدمه‌ای به میلگردها وارد نمی‌شود (آبا، ۱۴۰۰).

مطابق تفسیر آیین‌نامه بتن ایران، اتصال جوشی آرماتورهای سرد اصلاح شده، جز با روش‌های خاص و مناسب و تحت کنترل دقیق مجاز نیست. جوشکاری باید دور از تغییرات شدید درجه حرارت و در شرایط جوی تقریباً ثابت انجام شود. انجام اتصالات جوشی در دمای زیر صفر درجه سلسیوس مجاز نیست.

استاندارد ISO 17660 فرآیندهای جوشکاری که برای اتصال میلگردهای فولادی به‌کار رفته در بتن استفاده می‌شوند، را مطابق جدول ۱-۱ فهرست می‌نماید. این جدول اکثر روش‌های معمول و مورد استفاده در جوشکاری آرماتور در سازه‌ها را معرفی می‌کند.

جدول ۱-۱: انواع فرآیندهای جوشکاری میلگردها (ISO 17660, 2006)

Welding process	English term	American term
111	manual metal arc welding (metal arc welding with covered electrode)	shielded metal arc welding
114	self-shielded tubular cored arc welding	
135	metal active gas welding (MAG-welding)	gas metal arc welding
136	tubular cored metal arc welding with active gas shield	flux cored arc welding
21	resistance spot welding	
23	projection welding	
24	flash welding	
25	resistance butt welding	
42	friction welding	
47	oxy-fuel gas pressure welding	pressure gas welding

همچنین استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۵۶-۱ که برگرفته از استاندارد بین‌المللی فوق‌الذکر می‌باشد، فرآیندهای مختلف جوشکاری میلگردها را متناسب با نوع اتصال و محدوده قطر اسمی میلگردهای وصله شده به شرح جدول ۱-۲ مشخص نموده است.



جدول ۲-۱: محدودیت‌های قطر میلگرد و نوع اتصال برای فرآیندهای مختلف جوشکاری (استاندارد ۲۱۰۵۶-۱، ۱۳۹۳)

محدوده قطر میلگردهای اتصال جوش داده شده برابر (mm)	نوع اتصال جوش داده شده	فرآیندهای جوشکاری	
۴ - ۲۰	اتصال متقاطع ^۳	۲۱	
		۲۳	
۵ - ۵۰	اتصال لب‌به‌لب	۲۴	
		۲۵	
۶ - ۵۰	اتصال لب‌به‌لب	۴۲	
۶ - ۵۰	اتصال به سایر اجزاء فولادی		
۶ - ۵۰	اتصال لب‌به‌لب	۴۷	
$۱۶ \leq$	اتصال لب‌به‌لب بدون پشت بند	۱۱۱	
$۱۲ \leq$	اتصال لب‌به‌لب با پشت بند دائمی		
۶ - ۳۲	اتصال روی هم ^۱		۱۱۴
۶ - ۵۰	اتصال تسمه‌ای ^۲		۱۳۵
۶ - ۵۰	اتصال متقاطع ^۳		۱۳۶
۶ - ۵۰	اتصال به سایر اجزاء فولادی		

^۳ باید $d_{min} / d_{max} \leq 0.4$ باشد.

با توجه به جداول ۱-۱ و ۲-۱ ملاحظه می‌گردد که فرآیند جوشکاری فشاری گازی، کد ۴۷ مطابق ISO، برای وصله سربه‌سر میلگردها با قطر ۶ تا ۵۰ میلیمتر مناسب است. مطابق مراجع معتبر از جمله آیین‌نامه بتن ایران، اتصال جوشی میلگردها در مقاطع بتنی، به روش‌های زیر انجام می‌شود:

۱-۳-۱ وصله جوشی روی هم^۱ (پهلوی به پهلوی)

در این نوع اتصال دو آرماتور را کنار هم قرار داده و به وسیله نوار جوش به هم متصل می‌کنند، که این نوار ممکن است در یک طرف یا هر دو طرف آرماتورها قرار گیرد. این نوع وصله در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.

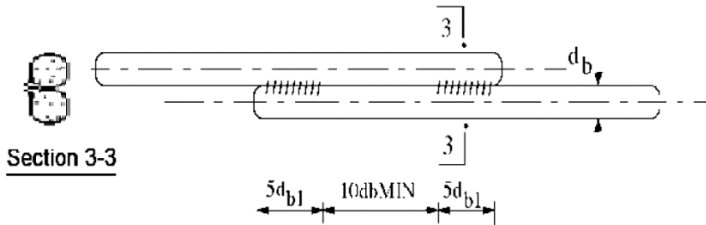


شکل ۲-۱: اتصال روی هم جوشی (خیرالدین علی و فامیلی هرمز، ۱۳۹۹)

^۱ Lap-welded splice



در صورتی که از این نوع اتصال جوشی برای آرماتورهای تقسیم، آرماتورهای جلدی و سایر آرماتورهایی که نقش درجه اول ندارند استفاده شود، می‌توان از این نوع اتصال مطابق شکل ۳-۱ بدون خم کردن آرماتورها استفاده نمود. (تفسیر آبا، ۱۴۰۰)

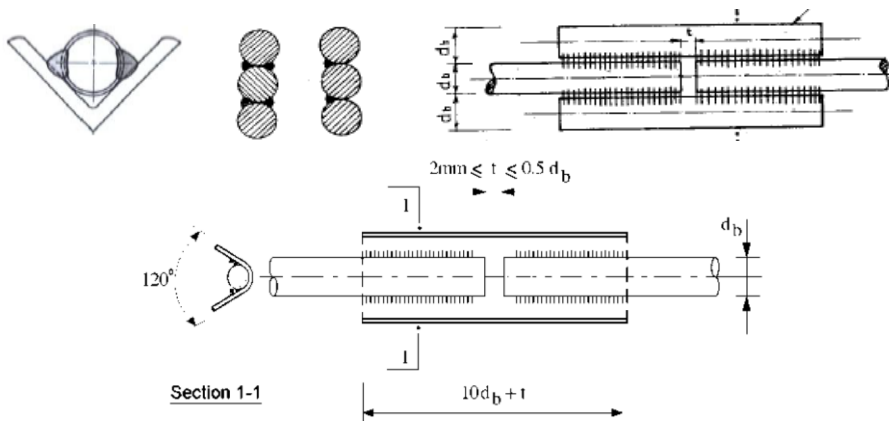


شکل ۳-۱: اتصال روی هم جوشی بدون خم کردن آرماتورها (آبا، ۱۴۰۰)

۳-۲-۱ وصله جوشی سربه‌سر غیر مستقیم (اتصال جوشی با وصله)

در این نوع وصله، ارتباط دو آرماتور به کمک وصله یا وصله‌هایی تأمین می‌شود که روی آنها جوش می‌شوند و دو سر دو آرماتور به هم جوش داده نمی‌شوند. معمولاً وصله‌های جانبی از همان آرماتورهای متصل شونده انتخاب می‌شوند، در غیر این صورت سطح مقطع دو آرماتور وصله نباید از سطح مقطع آرماتور اصلی کمتر باشد. این نوع اتصال با استفاده از تسمه، تسمه خم شده با زاویه ۱۲۰ درجه یا نبشی نیز قابل انجام است.

(شکل ۴-۱)

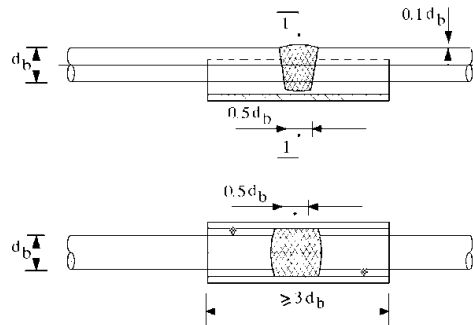


شکل ۴-۱: اتصال جوشی با وصله (وصله جوشی سربه‌سر غیر مستقیم) (آبا، ۱۴۰۰)



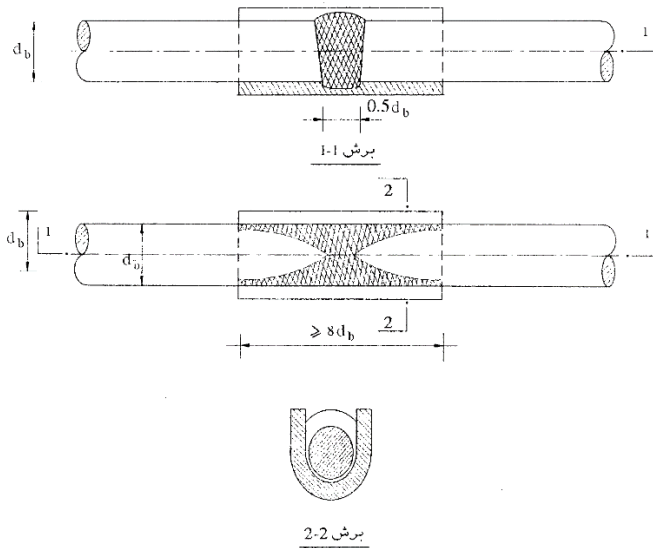
۳-۳-۱ اتصال نوک به نوک با پشت‌بند

این نوع اتصال، با کمک پشت‌بند برای آرماتورهای گرم نورد شده و سرد اصلاح شده، قابل استفاده است. در مورد آرماتورهای گرم نورد شده، می‌توان جوش نوک به نوک را بدون آماده‌سازی سر میلگردها انجام داد. در این صورت باید انتهای دو آرماتور را روی پشت‌بند قرارداد و با چند خال جوش، آنها را به پشت‌بند متصل و سپس حد فاصل دو آرماتور را با جوش پر نمود. پشت‌بند می‌تواند یک قطعه نبشی یا یک قطعه ورق فولادی باشد که به طور مناسب خم شده است. حداقل طول پشت‌بند برای آرماتورها باید مطابق الزامات ارایه شده در آئین‌نامه، محاسبه شود (آب، ۱۴۰۰). در صورتی که قطر آرماتورهای مورد اتصال بیشتر از ۲۴ میلی‌متر باشد، بهتر است قبل از شروع جوشکاری، سر یکی از آرماتورها یا هردوی آنها به زاویه ۳۰ تا ۴۵ درجه، پخ زده شود و سپس جوشکاری مانند حالت بدون آمادگی انجام پذیرد. (شکل ۵-۱)



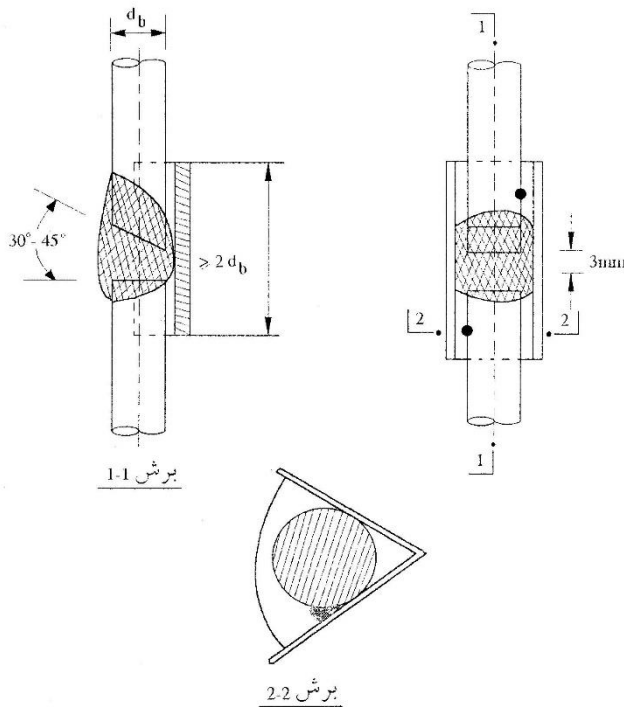
شکل ۵-۱: اتصال نوک به نوک با پشت‌بند (آب، ۱۴۰۰)

آمادگی قسمت سر آرماتورهای سرد اصلاح شده در محل اتصال، الزامی است. در این حالت باید طول پشت‌بند بیشتر از حالت قبل و حداقل ۸ برابر قطر میلگرد باشد. بعد موثر جوش باید مطابق شکل ۱-۶ از طرفین پشت‌بند، به طرف محل اتصال به تدریج افزایش یابد.



شکل ۱-۶: اتصال نوک به نوک با پشت‌بند برای آرماتورهای سرد اصلاح شده (تفسیر آبا، ۱۴۰۰)

در صورتی که آرماتورهای مورد اتصال اعم از گرم نورد شده یا سرد اصلاح شده در وضعیت قائم باشند، باید انتهای فوقانی آرماتور تحتانی، عمود بر محور آن بریده شود و انتهای تحتانی آرماتور فوقانی، به زاویه ۳۰ تا ۴۵ درجه، پخ زده شود. آماده‌سازی سر آرماتورها باید با قیچی مخصوص یا اهر انجام پذیرد. در صورت آماده کردن سر آرماتورها با شعله کاربیت، باید قشر سطح فولاد آسیب‌دیده در اثر حرارت، به کمک سنگ‌زدن زدوده شود. ضخامت قشر زدوده شده در مورد آرماتورهای سرد اصلاح شده، باید حداقل ۳ میلیمتر باشد. (شکل ۱-۷)

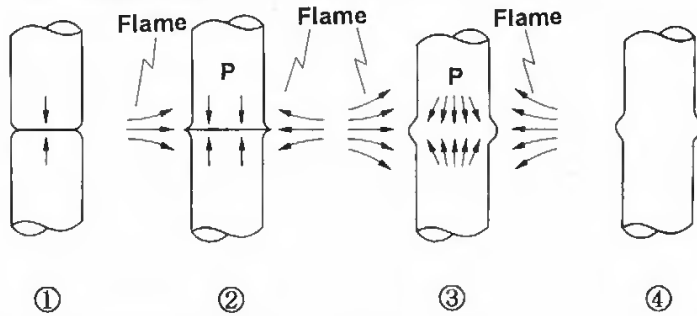


شکل ۱-۷: یخزنی اتصال میلگردها برای وصله نوک به نوک با پشت بند آرماتورهای قائم
(تفسیر آبا، ۱۴۰۰)

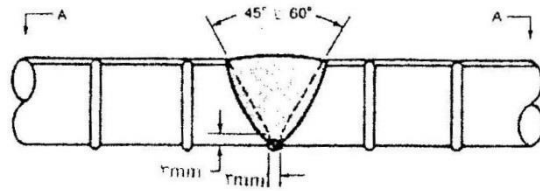
۱-۳-۴ وصله جوشی سر به سر (نوک به نوک) مستقیم

در این روش، دو سر آرماتور بدون استفاده از هیچگونه قطعه واسط، به طور مستقیم به یکدیگر جوش می‌شوند. این نوع وصله، با روش‌های زیر قابل انجام است:

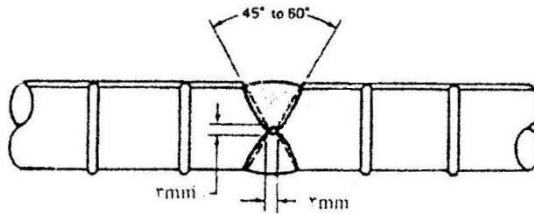
- جوش فشاری گازی (فورجینگ) (شکل ۱-۸)
- وصله جوشی با الکتروود بدون پشت بند (شکل ۱-۹)
- جوش اصطکاکی
- جوش الکتریکی تماسی



شکل ۸-۱: وصله جوشی فشاری گازی (فورجینگ) (Yamamoto et al., 2002)



الف- جوش جناغی V



ب- جوش جناغی دوطرفه X

شکل ۹-۱: وصله جوشی نوک به نوک مستقیم با الکتروود (تفسیر آبا، ۱۴۰۰)

درکشور ژاپن برای انجام وصله جوشی بین میلگردها عمدتاً از سه روش زیر استفاده

می‌شود: (Japan Welding Society, 2024)

۱- جوش فشاری گازی (فورجینگ)^۱

۲- جوش قوس الکتریکی محصورشده^۲

۳- جوش فلاش (جرقه‌ای)^۳

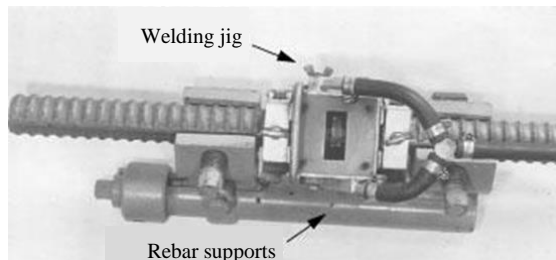
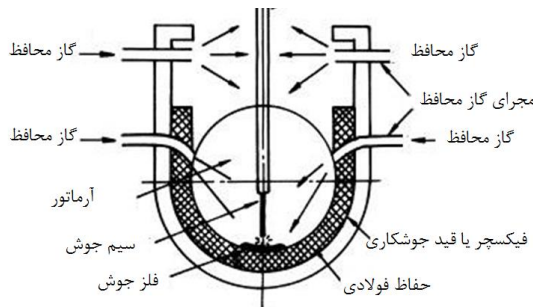
^۱ Gas Pressure Welding (GPW)

^۲ Enclosed Arc (EA) welding

^۳ Flash weld



روش اول عمدتاً برای رده‌های معمول میلگرد و روشهای ۲ و ۳ برای رده‌های بالاتر و فولادهای پرمقاومت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش جوش فشاری گازی (فورجینگ) با استفاده از حرارت ناشی از سوختن گاز اکسی استیلن و همزمان اعمال فشار به دو میلگرد وصله شونده، آرما تورها با یکدیگر ممزوج می‌شوند. در روش ۲ یعنی جوشکاری قوس الکتریکی محصور^۱ (EA) جوش قوسی CO₂ با استفاده از سیم جوش به قطر ۱/۲ میلی‌متر و یک فیکسچر جوش^۲ و کلاهک مخصوص برای حفاظت جوش در برابر باد به کار گرفته می‌شود. تجهیزات مربوط به این روش جوشکاری در شکل ۱-۱۰ نمایش داده شده است. بر خلاف روش جوش فشاری گازی، این روش نیازی به اعمال فشار و آماده‌سازی انتهای میلگردها نداشته و سرعت جوشکاری نیز نسبت به روش فورجینگ بالاتر است.



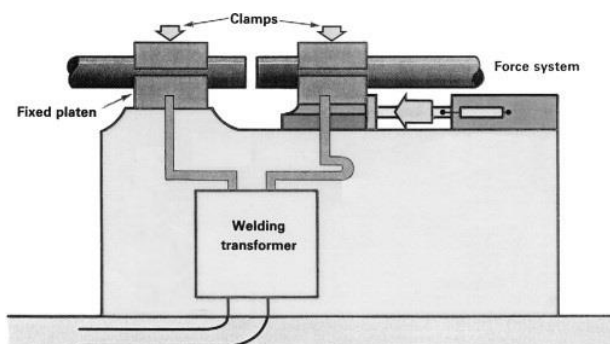
شکل ۱-۱۰: روش جوشکاری نیمه اتوماتیک EA (Japan Welding Society, 2024)

^۱ Enclosed Arc (EA) welding

^۲ welding jig



در روش ۳ یعنی جوش فلاش یا جرقه‌ای، همانگونه که در شکل ۱-۱۰ نشان داده شده است، سطوح انتهایی میلگردها با جریان مدار کوتاه گرم و ذوب شده و سپس با اعمال فشار، امتزاج دو میلگرد با یکدیگر صورت می‌پذیرد. این روش در ژاپن برای اتصال میلگردهای با مقاومت بسیار زیاد (با تنش تسلیم ۶۸۵-۴۹۰ مگاپاسکال) و قطرهای بالای آرماتور مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۱-۱۱: جوشکاری فلاش (جرقه‌ای)

با توجه به اینکه متداول‌ترین روش وصله جوشی میلگردها در ایران، روش جوشکاری فشاری گازی سربه‌سر میلگردها (جوش فورجینگ) است، به همین منظور در این پژوهش به بررسی جنبه‌های مختلف استفاده از این روش پرداخته شده است.

۴-۱ وصله جوشی فشاری گازی (فورجینگ)

جوشکاری گازی^۱ یکی از قدیمی‌ترین روش‌های جوشکاری است که از سال ۱۸۰۰ میلادی تا کنون در صنایع مختلف استفاده می‌شود. در این روش منبع حرارتی، شعله‌ای است که توسط واکنش شیمیایی بین اکسیژن و گاز سوختنی (استیلن، پروپان، هیدروژن یا ...) تولید می‌شود. این فرایند ممکن است با فشار یا بدون فشار، با فیلر یا بدون فیلر، انجام شود.

^۱ Gas Welding



روش جوش فشاری گازی برای اولین بار در سال ۱۹۳۹ برای اتصال ریل‌های راه‌آهن در ایالات متحده بکار گرفته شد. معرفی این روش در ژاپن نیز در اواخر دهه ۱۹۴۰ توسط مؤسسه تحقیقات فنی راه‌آهن ملی ژاپن صورت پذیرفت. در ادامه، روش مذکور برای وصله میلگردهای فولادی در سازه‌های بتن‌آرمه نیز مورد توجه قرار گرفت و در سال ۱۹۵۲ در ساخت یک دیوار حائل در ایستگاه مترو شیویا در توکیو برای وصله میلگردهایی با قطرهای ۱۹ تا ۲۵ میلیمتر به کار گرفته شد که اولین استفاده از جوش فشاری گازی میلگردها در ساخت و ساز ژاپن محسوب می‌شود. در سال ۱۹۵۳، جوش فشاری گازی در ساخت یک پل راه‌آهن در ژاپن مورد استفاده قرار گرفت. متعاقباً در پروژه‌های مختلف ساختمانی در ژاپن از این روش برای وصله آرماتورها استفاده شد و شرکت‌های متعددی برای اجرای جوش فشاری گازی در ژاپن تأسیس شدند، لیکن ساختاری برای تأیید صلاحیت شرکت‌ها و عوامل دخیل در این روش وجود نداشت و تحقیقات در زمینه این نوع وصله‌ها در حال انجام بود. در سال ۱۹۶۳، انجمن جوشکاری فشاری گازی ژاپن^۱ تأسیس شد و یک سیستم تأیید صلاحیت برای جوشکاری فشاری گازی دستی ایجاد نمود. همچنین انجمن جوشکاری فشاری گازی ژاپن، نخستین استاندارد را برای جوشکاری میلگردهای فولادی با این روش تهیه کرد که در حال حاضر هر چهار تا پنج سال تجدید نظر می‌شود. اولین ویرایش این استاندارد در سال ۱۹۷۹ تهیه و تدوین شد که شامل مقرراتی در مورد فناوری جوشکاری فشاری گازی و فناوری بازرسی التراسونیک برای این نوع جوش‌ها بود. جزییات استاندارد نیز با موافقت کمیته‌های مربوطه از جمله انجمن مهندسين عمران ژاپن^۲ و موسسه معماری ژاپن^۳ در آن زمان تهیه شد و از سال ۱۹۷۹ مقررات مربوط به جوش فشاری گازی در آیین‌نامه بتن

۱ JPWS

۲ JSCE

۳ AIJ

ژاپن و مقررات سازه‌های بتن آرمه ژاپن به طور کامل بر اساس استاندارد مذکور وضع گردید. در طول دوره رشد اقتصادی ژاپن در دهه ۱۹۸۰، تعداد پروژه‌های بتن آرمه که در آن از اتصالات جوش فشاری گازی استفاده شد، به طور چشمگیری افزایش یافت. (JRJI, 2005)

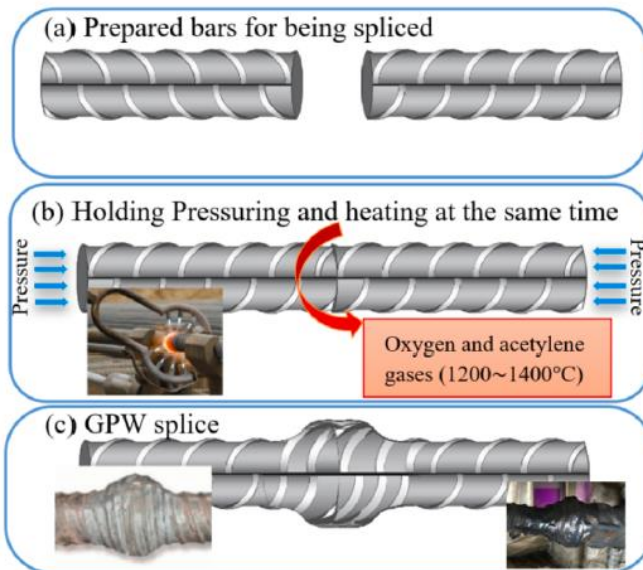


(پ)

شکل ۱-۱۲: الف- ممزوج شدن دو سر میلگرد در اثر فشار و حرارت
 ب- حالت شماتیک جوش فورجینگ، پ- نمونه اتصال سر به سر در محل پروژه
 (خیرالدین و فامیلی، ۱۳۹۹)

در این نوع جوش، میلگردها به صورت سر به سر و بدون هیچ گونه مواد افزودنی، توسط حرارت حاصل از سوختن گاز استیلن و اکسیژن، به دمای حالت خمیری (۱۲۵۰ درجه سانتی‌گراد) می‌رسند و توسط فشار حاصل از سیلندر هیدرولیک به یکدیگر، در هم ادغام

می‌شوند (شکل‌های ۱۲-۱ تا ۱۴-۱). مدت‌زمان در نظر گرفته‌شده برای اتصال (جهت میلگرد با قطر متوسط) حدود ۶۰ ثانیه است (خیرالدین و فامیلی، ۱۳۹۹).



شکل ۱۳-۱: مراحل اتصال به روش GPW - (a) برش و صاف کردن انتهای میلگردها، (b) فشار دادن و گرم کردن و (c) اتصال GPW (Dabiri et al., 2022)



شکل ۱۴-۱: اجرای اتصال میلگردها با جوش فشاری گازی (خیرالدین و فامیلی، ۱۳۹۹)

روش جوش فورجینگ، جزء روش‌های جوشکاری ذوبی کامل به شمار نمی‌آید، بلکه نوعی روش جوشکاری فاز جامد است که عمل اتصال را بدون ذوب کردن کامل فلز پایه، به انجام می‌رساند. پیکربندی مجدد اتم‌ها با حرارت دهی سطحی در دمایی بالاتر



از دمای تبلور مجدد رخ داده و اتصال به کمک تغییر فرم پلاستیک به وجود آمده از به هم فشردگی، ایجاد می‌شود.

مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه)، وصله‌های جوشی فورجینگ نیز همانند سایر وصله‌های جوشی باید قادر به انتقال تنشی حداقل به میزان $1/25$ برابر تنش تسلیم مشخصه میلگرد در کشش و یا فشار باشند. استفاده از وصله جوشی فشاری گازی (فورجینگ)، برای وصله میلگردهای فولادی در سازه‌های بتن‌آرمه به علت سهولت و سرعت اجرا، مورد علاقه پیمانکاران و مجریان ساختمانی می‌باشد. روش جوش فشاری گازی در پنج نوع زیر قابل انجام است:

الف) جوشکاری فشاری گازی دستی^۱:

در روش جوشکاری دستی مطابق شکل ۱-۱۵ اپراتور جوشکار مسئولیت تنظیم و اعمال فشار و حرارت را به صورت دستی بر عهده دارد. لذا نقش جوشکار در کیفیت وصله جوشی حائز اهمیت بالایی می‌باشد.



شکل ۱-۱۵: جوشکاری فشاری گازی دستی

^۱ Manual gas pressure welding



ب) جوشکاری فشاری گازی خودکار^۱:

جوشکاری فشاری گازی با استفاده از دستگاه جوشکاری فشاری گازی به منظور کنترل خودکار گرمایش و اعمال فشار انجام می‌شود (شکل ۱-۱۶).



شکل ۱-۱۶: دستگاه جوشکاری فشاری اتوماتیک (Kanatsu Co. Ltd, Japan)

^۱ Automatic gas pressure welding



پ) جوشکاری فشاری گازی با پیرایش داغ^۱:

در این روش جوشکاری فشاری گازی به منظور بازرسی جوش بلافاصله پس از جوشکاری، گرده جوش مادامی که جوش هنوز داغ است با تیغه مخصوصی برداشته می‌شود. (شکل ۱-۱۷)

Gas Pressure Welding Total System

The hot extrusion gas pressure welding method allows for easy visual non-destructive testing.

Its greatest feature is the ability to visually determine the success or failure on the spot.

Rebar Right-Angle Cutting Machine.

The hot extrusion gas pressure welding method.

Electric hydraulic pump Dedicated Ram Cylinder Heating device (Burner, Gas Mixture Tube, Super Valve, Handfield switch - wireless -) Dedicated Welding Base Oxygen Acetylene gas

The hot extrusion gas pressure welding method consists of four processes.

- 1 Start heating.
- 2 Gas pressure welding completed
- 3 In the middle of extrusion.
- 4 Extrusion completed.

Criteria for pass
After extrusion, visually inspect the surface and ensure there are no cracks or dents.

Handling of non-conforming parts
Perform re-heating and re-pressurization followed by another extrusion, and then conduct pass/fail determination again.

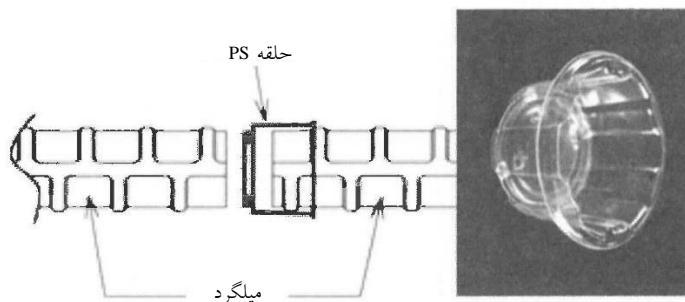
شکل ۱-۱۷: جوشکاری فشاری با پیرایش داغ و مراحل انجام آن (Daia Corporation)

^۱ Gas pressure welding by hot trimming (hot-punching/hot-extrusion)



ت) جوشکاری فشاری با گاز طبیعی:

در این روش جوشکاری از گاز طبیعی به جای استیلن به عنوان سوخت برای تأمین حرارت استفاده شده و یک حلقه پلیمری^۱ به عنوان ماده کاهنده برای جلوگیری از اکسیداسیون انتهای آرماتورها به کار می‌رود. استفاده از گاز طبیعی ضمن کاهش آلاینده‌گی در مقایسه با روش معمول استفاده از گاز اکسی استیلن، احتمال پس زدن شعله (بک فایر^۲) را بسیار کمتر می‌نماید. مطابق شکل ۱-۱۸ حلقه PS در انتهای میلگرد قرار می‌گیرد و با اعمال حرارت تجزیه شده و گاز حاصل مانع اکسایش در انتهای میلگردها می‌شود. (JSCE, 2020)



شکل ۱-۱۸: جوشکاری فشاری با گاز طبیعی و حلقه PS پلیمری (JSCE, 2020)

ث) جوشکاری فشاری گازی با گاز مخلوط هیدروژن/ اتیلن:

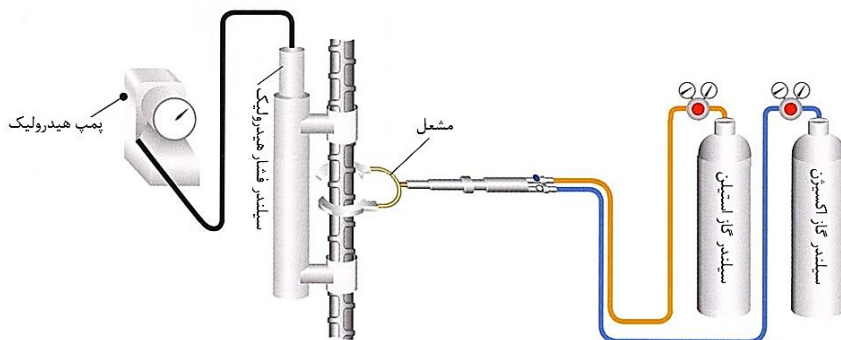
در این روش جوشکاری از گاز مخلوط هیدروژن/ اتیلن استفاده می‌شود. در مقایسه با روش جوشکاری فشاری گازی که در آن از گاز اکسی استیلن استفاده می‌شود، در این روش احتمال پس زدن شعله (بک فایر) کمتر بوده و همچنین احتمال انفجار مخزن، مشابه کپسول‌های استیلن در روش معمول جوش فشاری گازی با گاز اکسی استیلن وجود نخواهد داشت. (JSCE, 2020)

^۱ PS ring

^۲ Backfire



هر پنج روش فوق جزء روش‌های جوشکاری گازی می‌باشد که در آن دو سر میلگرد، جهت اتصال در شرایط دمایی پایین تر از دمای ذوب فلز (دمای خمیری شدن فلز-جوش خمیری) قرار گرفته و توسط فشار وارده، در هم ادغام می‌شوند. در این روش، حرارت لازم جهت رسیدن به این دما به وسیله سوختن گاز در مشعل‌هایی شامل چند خروجی شعله (نازل)، جهت یکنواخت کردن حرارت در کلیه سطوح ناحیه اطراف اتصال میلگرد، حاصل می‌شود. در سه روش اول که از گاز اکسی استیلن استفاده می‌نمایند، دو مخزن گاز استیلن و اکسیژن توسط شیرها و فشارسنج‌های تعبیه شده بر روی مخزن‌ها که فشار لازم هر گاز را تأمین می‌کنند، از طریق شیلنگ‌های مجزا، گاز را به مشعل می‌رسانند. گازها درون مشعل با هم مخلوط شده و به صورت مخلوط از آن خارج می‌گردند. گاز خارج شده قابلیت اشتعال دارد و توسط یک فندک مشتعل شده و با تنظیم نسبت گازهای استیلن و اکسیژن بر روی بدنه مشعل، می‌توان ویژگی‌های شعله را که بستگی به کاربرد می‌تواند بسیار مهم باشد، تنظیم نمود. (شکل ۱-۱۹)



شکل ۱-۱۹: شمای مشعل و کپسول‌های گاز اکسیژن و استیلن (Hokuriku Gas Assetsu Co.)

اجزاء دستگاه جوش فورجینگ سربه سر میلگردها در روش دستی به شرح زیر است:

۱. آره یا دستگاه برش سرد میلگرد
۲. کلمپ یا گیره نگهدارنده میلگرد



۳. یونیت هیدرولیک یا دستگاه اعمال فشار

۴. سیلندر هیدرولیک

۵. مشعل جوش سربه‌سر فشاری گازی (فورجینگ) میلگرد و متعلقات آن

۶. کپسول‌های گاز اکسیژن و استیلن و مانومترها

۱- آره یا دستگاه برش سرد میلگرد

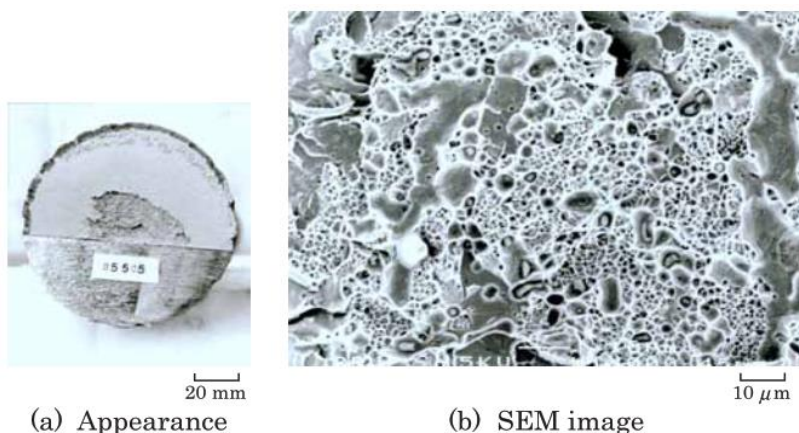
در جوشکاری با دستگاه جوش فورجینگ سربه‌سر میلگرد، یکی از مهمترین نکات اجرایی وضعیت دو سر میلگردهایی است که قرار هست در هم فورج شوند. قبل از فرآیند جوشکاری، باید مقطع میلگرد، عمود بر راستای میلگرد بریده شود تا اکسید آهن از سطح مقطع میلگرد برداشته شود و سطح میلگردها کاملاً صاف و صیقلی، بدون خوردگی، له‌شدگی، زنگ‌زدگی و خلل و فرج شود. برای این کار باید از ابزار مناسب استفاده شود. استفاده از سنگ فرز می‌تواند مقداری ناخالصی‌های صفحه تیغه برش را به فلز پایه وارد کند، پس بهتر است که برشکاری به روش سرد صورت پذیرد. (خیرالدین و شیرین سخن، ۱۳۹۶)

این دستگاه به این دلیل برش سرد نامیده می‌شود که حین برشکاری توسط آن، جرقه‌ای تولید نمی‌شود و سطح برش داده شده، داغ نمی‌شود. همچنین دارای گیره و تکیه‌گاهی است که میلگرد در آن قرار می‌گیرد و قفل می‌شود و سطح برش کاملاً صاف، صیقلی و عمود بر محور میلگرد به دست می‌آید و هیچ‌گونه خطای انسانی نیز در آن رخ نمی‌دهد. با توجه به اینکه دمای ذوب اکسید آهن بالاتر از دمای ذوب فولاد است، وجود اکسید آهن در سطح میلگرد باعث می‌شود تا دو میلگرد به خوبی در هم ادغام نشوند و اتصال حاصل از این فرآیند، ضعیف خواهد بود. با توجه به آزمایش‌های صورت گرفته توسط محققان ژاپنی، وجود اکسیدهای فلزی مثل Fe_2O_3 و MnO و SiO_2 باعث می‌شود تا ناحیه جوشکاری شده تحت آزمایش خمش دچار شکست تخت شود. همچنین اکسیدهای



فلزی در سطح مقطع میلگرد، باعث کاهش مقاومت و ناهمگن شدن فلز جوش خواهند شد. (خیرالدین و طیبی فرد)

در صورت وجود اکسید فلزی و سایر ناخالصی‌ها در سطح تماس دو میلگرد، باید با ابزار مناسب مثل برس سیمی روی سطح تماس میلگردها تمیز شود. در شکل ۱-۲۰ آثار مخرب اکسیدهای فلزی و ناخالصی در منطقه جوش که می‌تواند منجر به شکست مسطح^۱ در محل جوش شود، نشان داده شده است.



(a) Appearance

(b) SEM image

شکل ۱-۲۰: شکستگی مسطح مشاهده شده در سطح شکست در آزمایش خمش
(Yamamoto *et al*, 1998)

لذا برای انجام برشکاری، باید از دستگاه مخصوص استفاده شود و استفاده از سایر تجهیزات برش مانند سنگ فرز، آره لنگ، آره آتشی و ... باعث ایجاد ناخالصی در مقطع جوش شده و استحکام جوش را تحت تأثیر قرار خواهد داد. بعد از انجام برشکاری به روش سرد، بلافاصله باید عملیات جوشکاری را آغاز نمود، زیرا میلگرد برش خورده مستعد زنگ‌زدگی مجدد می‌باشد.

^۱ Flat fracture



شکل ۱-۲۱: دستگاه برش سرد

۲- کلمپ یا گیره نگهدارنده میلگرد

به منظور هم راستا نمودن میلگردها، باید از گیره مخصوص برای این کار استفاده نمود. همچنین اگر میلگردها در یک راستا نباشند، انتقال تنش به خوبی انجام نگرفته و باعث کاهش ظرفیت باربری وصله می شود.

این تجهیز، از دو فک (ثابت و متحرک)، کلگی، پیچ‌های نگهدارنده، پیچ‌های تنظیم و فنر تشکیل شده که وظیفه آن در راستای هم قرار دادن دو سر میلگرد فورج شونده می باشد.



شکل ۱-۲۲: گیره نگهدارنده میلگرد

۳- یونیت هیدرولیک یا دستگاه اعمال فشار

یونیت هیدرولیک برقی از یک محفظه روغن، پمپ هیدرولیک، شیر کنترل جریان و شیر کنترل فشار تشکیل شده است و وظیفه آن ایجاد نیرو به وسیله فشار روغن، توسط سیلندر هیدرولیک می‌باشد. این پمپ دارای یک درجه است، که مقدار فشار تولیدی را برحسب مگاپاسکال، psi یا bar نشان می‌دهد. فشار تولیدی توسط این پمپ، بسته به قطر میلگردها باید تنظیم گردد.

در کنار این پمپ، یک گیج روغن وجود دارد، که میزان روغن موجود در دستگاه را نشان می‌دهد. در این پمپ، یک ورودی در بالا، که برای ریختن روغن هیدرولیک داخل مخزن، و یک خروجی در پایین، جهت تخلیه و خروج (جهت تعویض روغن مستهلک شده) تعبیه شده است.



پمپ هیدرولیک دارای کنترل برقی بوده و با سوئیچ کنترل روی مشعل امکان تنظیم فشار را برای اپراتور فراهم می‌سازد. برخی از پمپ‌های هیدرولیک امکان کنترل اتوماتیک فشار را نیز به منظور اعمال یک پروتکل معین اعمال فشار، فراهم می‌سازند. در شکل ۱-۲۳ (الف) نمونه‌ای از پمپ هیدرولیک با کنترل دستی و در شکل ۱-۲۳ (ب) چند نمونه پمپ با کنترل اتوماتیک نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۱-۲۳: پمپ هیدرولیکی، (الف) برای کنترل فشار به صورت دستی
(ب) برای کنترل اتوماتیک فشار (JRJI, 2009)



۴- سیلندر هیدرولیک

این سیلندر از یک پوسته، پیستون و فنر تشکیل شده و دارای سه زائده می‌باشد که درون کِلگی، فک متحرک و گیره کار قرار می‌گیرد. این سیلندر از طریق یک شیلنگ فشار قوی حاوی روغن، به یونیت هیدرولیک و دستگاه ایجاد فشار، متصل می‌شود.



شکل ۱-۲۴: سیلندر هیدرولیک

۵- مشعل جوش سربه‌سر فشاری گازی (فورجینگ) میلگرد و متعلقات آن

وظیفه این بخش از دستگاه، اختلاط دو گاز اکسیژن و استیلن و تنظیم مقدار گازها به کمک شیرهای تنظیم روی آن می‌باشد. بر روی مشعل جوش دستگاه، دو شیر وجود دارد که برای تنظیم دبی خروجی اکسیژن و گاز استیلن می‌باشد. مشعل توسط دو شیلنگ به کپسول‌های اکسیژن و استیلن متصل می‌شود.

۱- شیرهای یک‌طرفه (فلاش‌بک‌ها): الزاماً در ابتدای مشعل نصب می‌شوند و وظیفه آنها ممانعت از ورود شعله به داخل شیلنگ‌ها و مخازن گاز می‌باشد. در صورت عدم استفاده از مشعل‌هایی که قابلیت اتصال این تجهیز به آنها وجود ندارد، عواقب خطرناکی متوجه دستگاه جوش سربه‌سر فشاری گازی میلگرد و اپراتور آن خواهد بود.

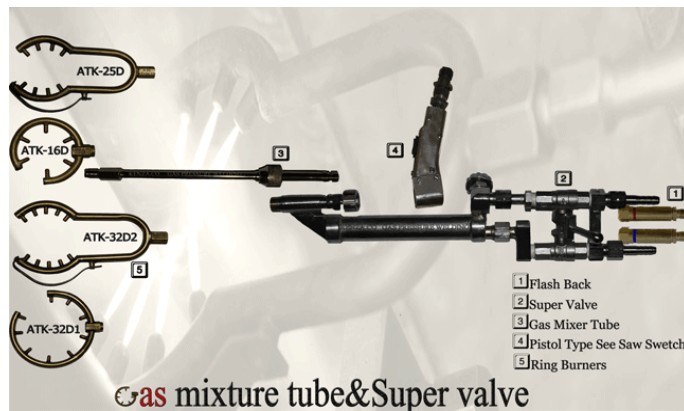
۲- شیر اصلی مشعل: این تجهیز جهت راحتی کار و هم‌زمانی در باز و بسته کردن مخازن گازهای استیلن و اکسیژن می‌باشد.



۳- لوله اختلاط: این تجهیز جهت مخلوط کردن و ایجاد جریان بدون اغتشاش گازهای مصرفی به کار می‌رود.

۴- دسته مشعل و کلید فرمان: این تجهیز جهت تسلط اپراتور جوش به عملیات جوشکاری و صدور فرمان به پمپ هیدرولیک، جهت اعمال فشار در مراحل مختلف عملیات فورجینگ، طراحی و ساخته شده است.

۵- حلقه آتش یا نازل جوش: این تجهیز به گونه‌ای طراحی شده که شعله‌های خروجی از آن کاملاً دور میلگردهای فورج شونده را احاطه کرده و دمای یکنواختی را در آنها ایجاد می‌نماید. بسته به قطر میلگردها، اندازه‌های مختلفی از این تجهیز (۵ نازل، ۸ نازل و ۱۰ نازل) طراحی و ساخته شده است.



شکل ۱- ۲۵: انواع سر مشعل برای قطرهای مختلف میلگرد

(مقصودی و طغرلی پور، ۱۳۹۵)



۵-۱ مزایا و معایب جوش فشاری گازی

۱-۵-۱ مزایای جوش فورجینگ

امروزه استفاده از وصله‌های جوشی به ویژه فورجینگ به علت امتیاز خاص خود، به مرور رو به افزایش می‌باشد. با توجه به آنکه این گونه وصله‌ها، درصد آرماتورها و تراکم میلگردها را در مقطع کاهش می‌دهد، بتن‌ریزی را به‌ویژه در اتصالات آسان می‌نماید. با توجه به اینکه در اتصال پوششی، طول هم‌پوشانی بسیار بالایی برای میلگردهای با قطر زیاد نیاز است، اتصال فورجینگ باعث اقتصادی شدن طرح نیز خواهد شد. همچنین به علت در امتداد هم قرار گرفتن آرماتورها و در نتیجه انتقال نیرو به طور مستقیم، از ایجاد خروج از محوریت در محل وصله، جلوگیری می‌گردد. در اتصال پوششی، عامل ایجاد پایداری اتصال، وجود بتن است. به عبارت دیگر بتن به عنوان یک میانجی یا واسطه عمل کرده و در صورت صدمه دیدن بتن، اتصال پوششی از هم خواهد پاشید، ولی در اتصال جوشی، وصله آرماتورها وابستگی به کیفیت بتن نداشته و همین ویژگی باعث پایداری بیشتر سازه به هنگام آسیب عضو بتن آرمه می‌گردد. از دیگر مزایای روش جوشکاری سربس فشاری گازی (فورجینگ) میلگرد می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (خیرالدین و فامیلی، ۱۳۹۹):

- کاهش وزن آرماتور مصرفی به علت حذف طول پوشش (اورلپ) و صرفه‌جویی در مصرف میلگرد به میزان ۱۵ تا ۳۰ درصد
- اجرای بهتر بتن به علت کاهش تراکم آرماتورها و امکان و بیره کردن بهتر به علت کاهش حجم آرماتورها
- عدم خروج از محوریت در محل وصله
- حفظ یکپارچگی در محل وصله
- کاهش هزینه حمل و نقل به علت کاهش مواد مصرفی



- افزایش مقاومت در محل اتصال به علت افزایش قطر
- توانایی ایجاد اتصال با حداقل طول
- حفظ خواص متالورژیکی آرماتورها
- امکان اتصال میلگردهای با قطرهای مختلف
- قابلیت اجرای آسان (از نقطه نظر تجهیزات موردنیاز، نیروی انسانی مورد نیاز و ...)
- سرعت اجرای بالا
- امکان اتصال میلگردهای پرت
- قابلیت اجرای وصله جوشی در تمامی حالت‌ها
- عدم نیاز به برق سه فاز

۱-۵-۲ معایب جوش فورجینگ

پس از وقوع زلزله Kobe در ژاپن، عملکرد نامطلوبی از آرماتورهای وصله شده به روش فورجینگ گزارش شد. علی‌رغم انجام جوش‌ها به دست اپراتورهای زبده ژاپنی و نظارتی دقیق بر انجام این جوش‌ها و انجام آزمایش‌های کنترلی، نتایج حاصل از این روش قابل‌اطمینان نبود (EQE International, 1995). به همین دلیل در آیین‌نامه‌های ژاپن برای انجام وصله آرماتورها به این روش، ضوابط و دستورالعمل‌های بسیار دقیق و سخت‌گیرانه‌ای در اجرا و بازرسی وضع شد که منجر به بهبود قابل ملاحظه کیفیت وصله‌های جوش GPW پس از آن گردید.

به‌طورکلی با توجه به عدم امکان کنترل دقیق پارامترهای موثر در این روش و دخالت عوامل متعدد انسانی در انجام جوش‌کاری، در صورت عدم بازرسی و کنترل کیفیت در فرآیند جوشکاری، قابلیت اعتماد به این روش کاهش می‌یابد.

عوامل مؤثر در کاهش قابلیت اطمینان به این روش مختصراً به شرح زیر می‌باشد:

- نیاز به مهارت اپراتور جوشکاری



- عدم اجرا و یا اجرای ناقص دستورالعمل‌های و استانداردهای موجود
- عدم امکان کنترل حرارت شعله اکسی‌استیلن
- تقریبی بودن زمان حرارت دهی به آرماتورها در حین حرارت دادن، با توجه به تجربه اپراتور
- رفتار متفاوت میلگردها در برابر حرارت دهی، به دلیل تنوع و عدم یکنواختی پروسه تولید آنها

فصل دوم:

ضوابط موجود در استانداردها و آیین نامه‌ها در خصوص وصله جوشی فورجینگ آرماتورها

۱-۲ مقدمه

در این فصل ابتدا ضوابط موجود در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان «طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه- ویرایش پنجم، ۱۳۹۹» و «آیین‌نامه بتن ایران- آبا، ۱۴۰۰» و «آیین‌نامه ACI 318» در خصوص وصله آرماتورها با تاکید بر وصله‌های جوشی، مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه، استانداردهای موجود در ایران و سایر کشورها برای اجرای وصله‌ها با روش جوش فشاری گازی مرور شده است.

۲-۲ ضوابط مبحث نهم مقررات در خصوص وصله آرماتورها

۱-۲-۲ جزئیات انواع وصله‌ها در مبحث نهم

در فصل ۹-۲۱ مبحث نهم، الزامات وصله پوششی برای انتقال نیرو بین میلگردهای آجدار، سیم‌های آجدار، میلگردهای آجدار سردار و شبکه آرماتور سیمی آجدار و ساده جوشی، و وصله مکانیکی و جوشی برای انتقال نیرو بین میلگردهای آجدار، آمده است. مطابق الزامات این بخش برای سیم‌های آجدار، میلگردهای آجدار سردار و شبکه آرماتور سیمی آجدار، صرفاً استفاده از وصله پوششی مجاز شمرده شده است و وصله‌های



مکانیکی و جوشی فقط برای میلگردهای آجدار مجاز است.

مطابق بند ۹-۲۱-۴-۱-۲ این مبحث، استفاده از وصله پوششی برای میلگردهای با قطر بیش از ۳۴ میلی‌متر مجاز نبوده و برای این میلگردها ضروری است از وصله جوشی یا مکانیکی استفاده شود. به صورت استثناء وصله فشاری برای میلگردهای با حداکثر قطر ۴۲ میلی‌متر به میلگردهای با قطر ۳۴ میلی‌متر و کمتر، با تأمین شرایطی مجاز شمرده شده است.

بند ۹-۲۱-۴-۷ شرایط وصله مکانیکی و جوشی میلگردهای آجدار در کشش و فشار را بیان کرده است. مطابق ضوابط این بند، استفاده از وصله‌های جوشی عمدتاً برای میلگردهای با قطر ۲۰ میلی‌متر و بیش‌تر، توصیه شده است. همچنین در وصله‌های جوشی برای میلگردهای با قطر زیاد، استفاده از اتصال سربه‌سر مستقیم با جوش نفوذی ارجح شمرده شده است.

مطابق بند ۹-۲۱-۴-۶، از نظر مقاومت، وصله مکانیکی یا جوشی باید قادر به انتقال تنشی حداقل برابر با ۱/۲۵ برابر تنش تسلیم میلگرد در کشش و یا فشار باشد. این ضابطه مشابه با ضابطه آیین‌نامه آمریکا (ACI 318) تا سال ۲۰۱۹ و آیین‌نامه کانادا (CSA A23.3) می‌باشد. همچنین مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان وصله‌های مکانیکی در دو گروه ۱ و ۲ طبقه‌بندی می‌شوند. وصله‌های مکانیکی گروه ۱ باید قادر به انتقال تنشی حداقل برابر با ۱/۲۵ برابر تنش تسلیم میلگرد در کشش و فشار بوده و وصله‌های مکانیکی گروه ۲ باید علاوه بر دارا بودن شرایط وصله‌های گروه ۱ قادر به تحمل مقاومت گسیختگی کشش اسمی آرماتورهای وصله شده باشند.

ویرایش ۲۰۲۵ آیین‌نامه ACI 318 با تغییرات قابل ملاحظه‌ای در الزامات وصله‌های مکانیکی و جوشی آرماتورها، ضمن معرفی سه رده L، G و S برای وصله‌های مکانیکی، در خصوص وصله‌های جوشی مقاومت حداقل برابر با مقاومت نهایی مشخصه میلگرد وصله شده را الزام نموده است. مطابق ضوابط جدید ACI 318 برای وصله‌های مکانیکی



کلاس L صرفاً معیار مقاومت مطرح شده است؛ در حالیکه وصله‌های مکانیکی کلاس G و S علاوه بر معیار مقاومت باید تحت آزمون‌های چرخه‌ای و نیز از نظر شکل‌پذیری مورد ارزیابی قرار گیرند. لذا کاربرد وصله‌های مکانیکی کلاس L در موقعیت‌هایی که امکان تسلیم آرماتورها وجود دارد، ممنوع شده است. همچنین در ویرایش ۲۰۲۵ وصله‌های جوشی مشابه وصله‌های مکانیکی کلاس L در نظر گرفته شده‌اند و محدودیت‌های مشابهی برای آن وضع گردیده است. لازم به ذکر است که وصله‌های جوشی در ACI 318 مطابق با الزامات AWS D1.4 با استفاده از روش‌های مختلف جوشکاری قوسی بوده و در AWS D1.4 به تکنیک جوش فشاری گازی (فورجینگ) پرداخته نشده است. در مدارک ژاپنی از جمله آیین‌نامه وصله‌ها و آنکرهای این کشور (JSCE, 2020) وصله‌های جوشی^۱ و وصله‌های جوش فشاری گازی^۲ در دو دسته متفاوت مطرح شده‌اند و الزامات وضع شده برای این دو نوع وصله با یکدیگر متفاوت است.

مطابق بند ۹-۲۱-۶-۷-۷ مبحث نهم، یک در میان بودن میلگردهای با وصله مکانیکی یا جوشی در هر مقطع از عضو، به جز در اعضای کششی، نظیر عضو کششی قوس‌ها، عضو کششی که بار را به تکیه‌گاهی در تراز بالاتر منتقل می‌کند و عضو کششی خرپاها، الزامی نیست.

۲-۲-۲ محدودیت‌های کاربرد وصله‌ها

مطابق بند ۹-۱۲-۶-۴-۱ مبحث نهم در ستون‌های بتن آرمه استفاده از وصله‌های پوششی، مکانیکی، جوشی سربه‌سر و اتکایی مجاز است. لذا مطابق مقررات ملی ساختمان، وصله جوشی آرماتورهای ستون، حتماً باید از نوع سربه‌سر باشد.

۱ Welded joints

۲ Gas pressure welding joints



در وصله آرماتورهای یکپارچگی سازه‌ای تیرها، باید موارد زیر رعایت شود:

- ۱- آرماتورهای لنگر خمشی مثبت در تکیه‌گاه و یا مجاورت آن وصله شوند.
- ۲- آرماتورهای لنگر خمشی منفی در وسط دهانه و یا مجاورت آن وصله شوند.
- ۳- وصله آرماتورهای یکپارچگی باید به صورت تمام مکانیکی، تمام جوشی، و یا وصله پوششی کششی از نوع B (وصله با طول همپوشانی $1.3 l_d$) باشد.

مطابق بند ۹-۲۰-۵-۳-۲ در قاب‌های با شکل‌پذیری متوسط، محل وصله آرماتورهای طولی ستون، باید در خارج از ناحیه اتصال تیر به ستون باشد.

در قاب‌های با شکل‌پذیری زیاد (ویژه) مطابق بند ۹-۲۰-۶-۲-۸ وصله‌های جوشی در میلگردهایی که نیروی ناشی از زلزله را تحمل می‌نمایند، نباید در فاصله کمتر از دو برابر ارتفاع مقطع عضو از بر اتصال تیر به ستون، و یا مقاطع بحرانی که در آنها احتمال تسلیم آرماتورها وجود دارد، واقع شده باشند. به استناد بند ۹-۲۰-۶-۲-۷ در این نواحی، استفاده از وصله مکانیکی گروه یک نیز ممنوع است، ولی استفاده از وصله‌های مکانیکی گروه دو در صورتی که رده آرماتورها S400 یا S420 باشد، در هر نقطه مجاز است.

در قاب‌های با شکل‌پذیری زیاد (ویژه) جوش کاری خاموت‌ها، تنگ‌ها، قطعات جاگذاری شده، و مشابه آنها، به آرماتورهای طولی که کاربرد محاسباتی دارند، مجاز نمی‌باشد.

ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در خصوص محل کاربرد وصله‌های مکانیکی و جوشی منطبق بر ضوابط ویرایش ۲۰۱۹ آیین‌نامه ACI 318 است. همانگونه که در بخش قبل ذکر شد، ویرایش ۲۰۲۵ آیین‌نامه ACI 318 تغییرات قابل ملاحظه‌ای در الزامات وصله مکانیکی و جوشی آرماتورها اعمال نموده است. مطابق الزامات این ویرایش صرفاً استفاده از وصله‌های مکانیکی رده G و S در قاب‌های خمشی ویژه مجاز شمرده می‌شود و کاربرد وصله‌های مکانیکی رده L ممنوع است. همچنین در قاب‌های خمشی ویژه استفاده از وصله‌های مکانیکی رده S در هر نقطه مجاز است، ولی استفاده از وصله‌های



مکانیکی رده G در ناحیه اتصال و در فاصله دو برابر ارتفاع مقطع عضو از بر اتصال تیر به ستون ممنوع است. در قاب‌های خمشی متوسط و معمولی، محدودیت کاربرد وصله‌های رده L مشابه با محدودیت‌های وصله‌های مکانیکی رده G در قاب‌های خمشی ویژه است. همانگونه که در بخش پیشین اشاره شد، وصله‌های جوشی در ویرایش ۲۰۲۵ آیین‌نامه ACI 318 هم ارز با وصله‌های مکانیکی کلاس L در نظر گرفته شده و محدودیت‌های مشابهی برای آن در نظر گرفته می‌شود. لذا مطابق ویرایش جدید این آیین‌نامه استفاده از وصله‌های جوشی در قاب‌های خمشی ویژه مجاز نیست و در قاب‌های خمشی متوسط و معمولی در ناحیه اتصال و در فاصله دو برابر ارتفاع مقطع عضو از بر اتصال تیر به ستون ممنوع است. همانگونه که ذکر شد الزامات آیین‌نامه ACI 318 در خصوص وصله‌های جوشی انجام شده با روش جوشکاری قوسی بوده و روش جوش فشاری گازی (فورجینگ) را در بر نمی‌گیرد. رویکرد آیین‌نامه‌های ژاپنی به وصله‌های جوشی^۱ و وصله‌های جوش فشاری گازی^۲ متفاوت بوده و عموماً وصله‌های GPW در رده وصله‌های کلاس A قرار می‌گیرند. بنابراین با توجه تفاوت دو روش و مشخصات وصله حاصل و نیز عدم کاربرد گسترده وصله‌های جوش فشاری گازی در ایالات متحده، تعمیم محدودیت‌های ویرایش ۲۰۲۵ آیین‌نامه ACI 318 در خصوص وصله‌های جوشی به وصله‌های GPW باید مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرد.

۳-۲-۲ جوش‌پذیری آرماتورها

مطابق بندهای ۹-۴-۷-۱، ۲ و ۳، شرایط جوش‌پذیری آرماتورهای مورد استفاده در بتن آرمه و حداقل دمای مورد نیاز پیش‌گرم و انجام عملیات جوش‌کاری، باید بر مبنای استانداردهای ملی ایران به شماره‌های ۳۱۳۲ و ۱-۲۱۰۵۶ باشند و عملیات

۱ Welded joints

۲ Gas pressure welding joints



جوش کاری در دمای ۱۸- درجه سلسیوس و پایین تر نباید انجام شود. بعد از پایان جوش کاری نیز، باید اجازه داد تا آرماتور به طور طبیعی سرد شود. شتاب دادن به فرآیند سرد شدن، مجاز نمی باشد. مطابق آیین نامه بتن ایران، حداقل دمای پیش گرمایش میلگردها بستگی به کربن معادل و قطر میلگرد داشته و به شرح جدول ۲-۱ است.

جدول ۲-۱: دمای پیش گرمایش میلگردها در فرآیند جوشکاری (آب، ۱۴۰۰)

دمای پیش گرم اولیه	قطر اسمی میلگرد، میلی متر	کربن معادل، %
نیاز ندارد	۳۶ تا	تا ۰/۴۰
۱۰	۳۶ تا ۵۰	
نیاز ندارد	۳۶ تا	از ۰/۴۱ تا ۰/۴۵
۱۰	۳۶ تا ۵۰	
نیاز ندارد	۲۰ تا	از ۰/۴۶ تا ۰/۵۵
۱۰	از ۲۰ تا ۳۶	
۹۰	۳۶ تا ۵۰	
۴۰	۲۰ تا	از ۰/۵۶ تا ۰/۶۵
۹۰	از ۲۰ تا ۳۶	
۱۵۰	۳۶ تا ۵۰	
۱۵۰	۲۰ تا	از ۰/۶۶ تا ۰/۷۵
۲۰۰	از ۲۰ تا ۵۰	
۲۶۰	از ۲۲ تا ۵۰	بیشتر از ۰/۷۵

۲-۲-۴ شرایط وصله فورجینگ (نظر کمیته تخصصی مبحث نهم)

در سال ۱۴۰۰، کمیته تخصصی مبحث نهم مقررات ملی ساختمان با توجه به استعلام های متعدد جامعه مهندسی در خصوص ضوابط و شرایط وصله ی آرماتورها به روش جوشکاری فشاری گازی (فورجینگ)، توضیحات اولیه ی زیر را در این خصوص ارائه نمود:

- فورجینگ نوعی وصله جوشی می باشد و باید کلیه ضوابط مربوط به وصله های جوشی مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش پنجم، ۱۳۹۹) در آن رعایت گردد. شرایط جوشکاری آرماتورهای مورد استفاده در بتن آرمه و حداقل دمای مورد



نیاز پیش گرمایش و انجام عملیات جوشکاری باید بر مبنای استانداردهای ملی ایران به شماره‌های ۳۱۳۲ و ۲۱۰۵۶-۱ باشند. ضمناً جوش میلگردها در وصله جوشی باید الزامات (اجرایی) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان را تأمین نماید.

- وصله‌های جوشی باید قادر به انتقال تنشی حداقل برابر با ۱/۲۵ برابر تنش تسلیم مشخصه میلگرد در کشش و یا فشار باشند. در وصله فورجینگ، در هر مقطع از عضو باید حداکثر ۵۰٪ میلگردها و به صورت یک در میان وصله شوند.

- مطابق ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش پنجم، ۱۳۹۹) وصله‌های جوشی در میلگردهایی که نیروی ناشی از زلزله را تحمل می‌نمایند، نباید در فاصله‌ی کم‌تر از دو برابر ارتفاع مقطع عضو از بر اتصال تیر به ستون، و یا مقاطع بحرانی که در آنها احتمال تسلیم آرماتورها وجود دارد، واقع شده باشند. رعایت ضابطه‌ی فوق در سازه‌های با شکل‌پذیری کم، ضروری نیست.

- فرآیند بازرسی، نظارت و کنترل وصله‌ی فورجینگ باید در سه مرحله قبل از عملیات جوشکاری، در حین عملیات جوشکاری و بعد از جوشکاری و بر اساس استاندارد ملی ۲۲۴۴۲ (سال ۱۳۹۶) تحت عنوان «فولاد برای تسلیح بتن- اتصال میلگردهای فولادی جوشکاری شده به روش فشاری گازی- روش آزمون و معیار پذیرش» یا استانداردهای ژاپنی JIS Z 3120 و JIS Z 3881 صورت گیرد. بعد از عملیات جوشکاری باید تست‌های غیرمخرب مانند آزمون نفوذ و آزمون التراسونیک انجام گیرد. همچنین برای دریافت گزارش تأیید دستورالعمل جوشکاری، انجام تست مخرب مطابق استاندارد مربوطه مانند آزمون خمش و کشش میلگرد وصله شده، الزامی است.

- بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، در صورتی که قرار است در میلگردها از وصله جوشی استفاده شود، باید این میلگردها تحت آزمایش جوش‌پذیری قرار

گیرند. در این آزمایش نمونه‌های جوش شده باید تحت آزمایش کشش و خمش قرار گیرند. در آزمایش خمش، زمانی میلگرد از نظر جوش‌پذیری قابل قبول تلقی می‌گردد که پس از خم کردن، ترکی در منطقه جوش شده و خود جوش به وجود نیاید.

- شرکت‌های مجری عملیات فورجینگ و دستگاه‌های مورد استفاده در این عملیات باید توسط مراجع ذیصلاح تأیید شده باشند. برای تأیید صلاحیت جوشکاران، تأیید صلاحیت کارگاه و تأیید دستورالعمل جوشکاری مورد نظر، تهیه گواهی صلاحیت جوشکار، دستورالعمل جوشکاری و گزارش تأیید دستورالعمل جوشکاری الزامی است. استفاده از تجهیزات برشکاری و لبه‌سازی با اړه تنگستنی مخصوص دور پایین، در این روش جوشکاری الزامی می‌باشد. داشتن گواهینامه جوشکاری برای مجری الزامی است.

۲-۳ ضوابط استاندارد انجمن جوش فشاری ژاپن JPWS^۱ و انستیتو وصله آرماتور ژاپن JRJI^۲

استاندارد انجمن جوش فشاری ژاپن (JPWS) در موضوع GPW که در سال ۲۰۰۲ منتشر شده است، ملاحظات جوش سربه‌سر میلگردهای تولیدشده مطابق استاندارد JIS G 3112 را که با اعمال فشار و حرارت شعله اکسی‌استیلن گرم و در هم ممزوج می‌شوند، ارائه می‌نماید. از سال ۲۰۰۸ این موسسه تحت عنوان انستیتو وصله آرماتور ژاپن (JRJI) فعالیت می‌نماید تا مقررات یکپارچه‌ای برای انواع وصله‌های میلگرد (شامل وصله‌های مکانیکی و جوشی) وضع شود. انستیتو JRJI در سال ۲۰۰۹ ویرایش جدیدی برای ضوابط وصله‌های جوش فشاری گازی آرماتورها بر اساس بازنگری استاندارد قبلی منتشر شده

^۱ Japan Pressure Welding Society (JPWS)

^۲ Japan Reinforcing Bar Joints Institute (JRJI)



توسط JPWS منتشر نمود. خلاصه‌ای از الزامات وضع شده در ویرایش‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۹ این استاندارد در ادامه آمده است.

به منظور یکپارچه‌سازی ضوابط و الزامات وصله‌های جوشی و مکانیکی آرماتورها، انواع وصله‌های کلاس SA، A، B و C که در استانداردهای ژاپن برای کوپلرها وضع گردیده بود، به وصله‌های جوشی نیز تعمیم یافت. انواع کلاس‌های وصله آرماتور در ضوابط کشور ژاپن به شرح جدول ۲-۲ می‌باشد:

جدول ۲-۲: کلاس‌های وصله آرماتور در ضوابط ژاپن (JRJI, 2019)

مشخصات	کلاس وصله
وصله‌ای که مشخصات یکسانی از نظر مقاومت، سختی و شکل‌پذیری با فلز مبنا داشته باشد.	* کلاس SA
وصله‌ای که مشخصات یکسانی از نظر مقاومت و سختی با فلز مبنا داشته، ولی از جنبه‌های دیگر تا حدودی ضعیف‌تر است.	کلاس A
وصله‌ای که مشخصات یکسانی از نظر مقاومت با فلز مبنا داشته، ولی از جنبه‌های دیگر تا حدودی ضعیف‌تر است.	کلاس B
وصله‌ای که از نظر مقاومت و سختی از فلز مبنا ضعیف‌تر است.	کلاس C

* برای این کلاس علاوه بر تست کشش می‌گردد وصله شده، یک تست بارگذاری بر روی عضو دارای وصله نیز لازم است.

مطابق استاندارد فوق، تمامی وصله‌های جوشی GPW باید مقاومت کششی استاندارد آرماتور مبنا را برآورده سازند. به علاوه، وصله‌های جوشی کلاس A باید الزامات استاندارد JRJS 0002 را نیز به شرح زیر برآورده نمایند:

- الف) تنش تسلیم آرماتور وصله شده، بیش از مقدار استاندارد نظیر آرماتور مبنا باشد.
- ب) آرماتور وصله شده باید تحت بارگذاری مکرر کششی در ناحیه پلاستیک گسیخته نشود تا ازدیاد طول کافی در فلز مبنا رخ دهد.
- پ) شکست کششی وصله جوشی باید خارج از صفحه جوش رخ دهد.



۲-۳-۱ الزامات عمومی جوش GPW در استاندارد ژاپن

پرسنل مخصوص جوشکاری برای اجرای این عملیات باید حسب مورد بر اساس استاندارد JIS Z 3881 تأیید صلاحیت شده و بازرسان انجام آزمایش‌های التراسونیک جوش، مطابق استاندارد JIS Z 3062 تأیید صلاحیت می‌شوند.

در فرآیندهای اجرای این نوع از جوشکاری در کشور ژاپن، ذکر شده است که پیمانکار موظف است در ابتدا برنامه فعالیت‌های مورد نیاز برای این جوشکاری را به مهندس ناظر اعلام نماید و تأیید وی مبنی بر موافقت با انجام جوشکاری را اخذ نماید. این برنامه فعالیت باید شامل اطلاعات مربوط به موقعیت‌های اجرای جوش GPW و انجام مراحل کنترل کیفیت (QC) باشد که توسط پیمانکار انجام می‌شود. لازم به ذکر است اجرای جوش GPW برای آرماتورهای پیش‌ساخته باید با جزئیات کامل توسط پیمانکار، تولید کننده میلگرد و شرکت اجراکننده جوش، مورد بحث قرار گرفته باشد.

شرکت اجرا کننده جوش‌های GPW باید دارای مسئول هماهنگ کننده جوشکاری رده ویژه یا ۱^۱ باشد و تأییدیه‌های لازم را از ارگان‌های ذیربط اخذ کرده باشد.

نوع میلگردهایی که برای اتصال به یکدیگر با این روش جوشکاری در نظر گرفته شده‌اند و موقعیت اجرای این جوش‌ها در طول میلگردها باید براساس ضوابط و نقشه‌های اجرایی باشد. در شرایطی که این موقعیت‌ها در نقشه‌ها نیامده باشد، لازم است تأیید ناظر سازه اخذ شود. به طور معمول موقعیت جوش GPW باید در جایی تعیین شود که میزان تنش‌های ناشی از بار کم باشد.

^۱ Special-Class or Class 1 pressure welding coordination personnel



۲-۳-۲ رده و قطر مناسب میلگردها برای جوش فورجینگ

در استاندارد انجمن جوش فشاری ژاپن، رده‌های مناسب برای میلگردهایی که می‌توان آنها را با روش GPW وصله کرد، بر اساس استاندارد JIS G 3112، مطابق جدول ۲-۳ تعیین شده است. برای انجام جوش فورجینگ قطر اسمی میلگردها باید ۱۶ میلی‌متر یا بیشتر باشد.

جدول ۲-۳: رده میلگردهای معرفی شده در استاندارد (2004) JIS G 3112

رده میلگرد	دسته‌بندی میلگرد
SR235	میلگرد ساده
SR295	
SD295A	میلگرد آجدار
SD295B	
SD345	
SD390	
SD490	

همچنین ترکیب رده‌های مختلف میلگرد با هم، در اتصال با جوش GPW باید مطابق با جدول ۲-۴ باشد. همانگونه که در جدول ۲-۴ مشاهده می‌شود، اتصال جوشی میلگردهای غیر هم‌رده عموماً در صورتی مجاز است که دو آرماتور وصله شونده حداکثر یک رده با یکدیگر اختلاف داشته باشند.

میلگردهای با قطرهای مختلف، صرفاً در صورتی امکان وصله با جوش فشاری گازی را دارند که تفاوت قطر آنها کمتر از ۷ میلی‌متر باشد. دلیل محدودیت فوق، اختلاف ظرفیت حرارتی میگردها در قطرهای متفاوت است، که در اختلاف قطرهای بالا عملیات فورجینگ را دچار مشکل می‌سازد. بطور استثنا اتصال میلگردهای D41 و D51 به یکدیگر مجاز



شمرده شده است. در صورت اجرای جوش فشاری گازی به صورت اتوماتیک، اتصال میلگردها با قطر متفاوت مجاز نمی‌باشد.

جدول ۲-۴: ترکیب رده‌های مختلف میلگرد در جوش فشاری گازی (JRJI, 2009)

رده‌های میلگرد قابل وصله با جوش فورجینگ	رده میلگرد
SR235, SR295	SR235
SR235, SR295	SR295
SD295A, SD295B, SD345	SD295A
SD295A, SD295B, SD345	SD295B
SD295A, SD295B, SD345, SD390	SD345
SD345, SD390, SD490*	SD390
SD390, SD490*	SD490*

* قبل از اجرای جوش، آزمون‌های لازم باید بر روی میلگردهای SD490 انجام شود.

میلگردها باید با منظور کردن کاهش طولی معادل یک برابر قطر میلگرد در موقعیت جوشها بریده یا آماده‌سازی شوند، به نحوی که پس از اجرای جوشها، آرماتورها در موقعیت مطابق نقشه‌های اجرایی قرار گیرند.

۲-۳-۳ گاز مناسب برای اجرای جوش فشاری گازی

اکسیژن مصرفی در روش جوش فشاری گازی باید مشخصات مندرج در استاندارد JIS K 1101 یا معادل آن را برآورده نموده و با درجه خلوص بیش از ۹۹/۵٪ باشد. رنگ کپسول اکسیژن سیاه می‌باشد.

استیلن مصرفی در روش جوش فشاری گازی، باید مشخصات مندرج در استاندارد JIS K 1902 (استیلن محلول) یا معادل آن را برآورده نموده و با درجه خلوص بیش از ۹۸٪ باشد. رنگ کپسول استیلن محلول، قهوه‌ای یا قرمز می‌باشد.



کیسول بدون درز برای گاز تحت فشار، باید مطابق استاندارد JIS B 8241 باشد.

۲-۳-۴ تجهیزات تولید گاز و مجاری عبور گاز

برای شیر استیلن، شیلنگ، مانومترها و ... در استاندارد JRJI، استانداردهای ذیل مشخص شده است:

- استاندارد JIS B 8244: شیرهای سیلندر استیلن محلول
- استاندارد JIS B 8246: شیرهای کیسولهای گاز تحت فشار
- استاندارد JIS B 6803: تنظیم کننده های فشار برای جوشکاری، برش و فرآیندهای مربوطه
- استاندارد JIS B 6805: اتصالات شیلنگ لاستیکی برای تجهیزات برش و جوشکاری
- استاندارد JIS K 6333: شیلنگ لاستیکی برای اکسیژن
- استاندارد JIS K 6334: شیلنگ لاستیکی برای استیلن

۲-۳-۵ تجهیزات اجرای دستی جوش فشاری گازی

تجهیزات مورد نیاز برای اجرای جوش فشاری گازی به صورت دستی شامل مشعل، گیره نگهدارنده میلگرد و دستگاه اعمال فشار است. استاندارد واحدی برای مجموعه دستگاه های مورد استفاده در جوش فورجینگ وجود ندارد؛ لیکن عملکرد کل دستگاه باید از طریق ساخت نمونه های آزمایشی به تأیید برسد.

(۱) مشعل:

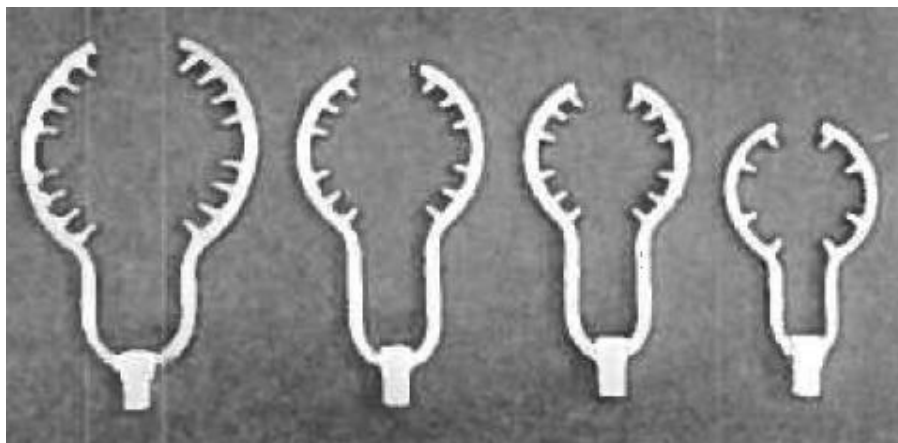
- مشعل، شامل لوله اختلاط گاز و نازل، باید مطابق با تایپ B1 یا B2 استاندارد JIS 6801 (لوله های دمنده برای جوشکاری استیلنی دستی) باشد.
- ظرفیت لوله های دمنده باید با ظرفیت نازل سازگار باشد.



- نازل باید پایداری کافی را برای شعله تأمین نماید و قابلیت تأمین و تحمل درجه حرارتی که مناسب جوشکاری میلگرد است را داشته باشد.

- روزنه‌ها باید به نحوی جانمایی شده باشند که حرارت یکنواخت را در سطح پیرامونی میلگرد ایجاد نماید. اهمیت نازل در اعمال حرارت یکنواخت به منظور جلوگیری از **overheat** موضعی و نیز دربرگرفتن کل محیط میلگرد برای جلوگیری از اکسیداسیون در انتهای میلگردها است.

- اندازه سر مشعل باید متناسب با قطر میلگرد باشد. اندازه کوچک منجر به پس زدن شعله^۱ (بک‌فایر)، به دلیل نزدیکی شعله به میلگرد و اندازه بیش از حد مشعل، منجر به حرارت ناکافی خواهد شد. در شکل ۱-۲ چند نمونه نازل استاندارد نمایش داده شده است.



شکل ۱-۲: نمونه‌هایی از سر مشعل فورجینگ برای آرماتورهای با قطرهای مختلف

(JRJI, 2009)

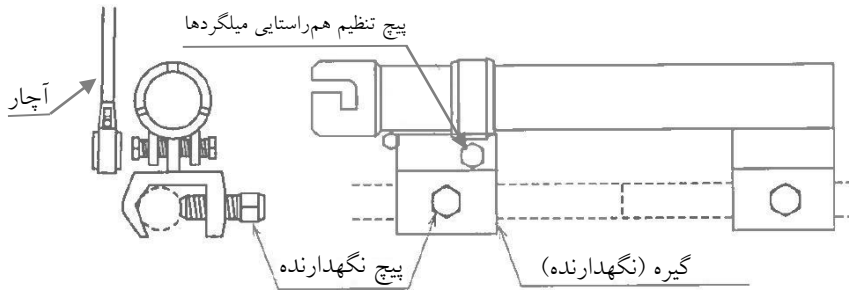
(۲) گیره (کلمپ) نگهدارنده میلگرد

- گیره‌ها باید قادر باشند ضمن نگهداری میلگردهای وصله شونده به صورت هم راستا و جلوگیری از لغزش حین کار، فشار کافی را به آن اعمال نمایند. در شکل ۲-۲ طرح

۱ Backfire



شماتیک یک نوع از گیره‌های مورد استفاده در فورجینگ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲: طرح یک نوع از گیره‌های مورد استفاده در فورجینگ (JRJI, 2009)

- گیره نگهدارنده میلگرد باید قدرت کافی برای گرفتن میلگرد را داشته باشد، کار با آن راحت باشد، مکانیزم اجرایی آن به نحوی باشد که امکان حرکت متناسب با فشار محوری ایجاد شده در میلگرد در حین اجرا فراهم شود و همچنین خروج از مرکزیت یا خمش در طول فرآیند اجرای جوش اتفاق نیافتد.

- گیره نگهدارنده نباید به میلگرد نگهداری شده آسیب برساند. لذا باید از پیچ‌های با سر مخصوص استفاده گردد که منجر به ایجاد آسیب روی میلگرد نشوند. (شکل ۲-۳)



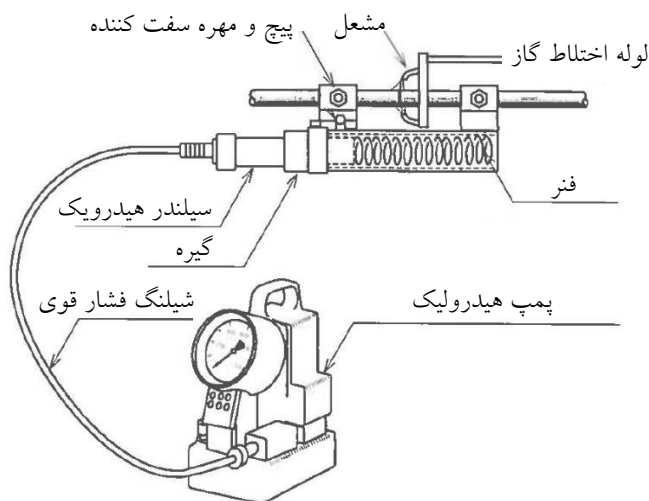
شکل ۲-۳: نمونه‌هایی از سر پیچ‌های قابل استفاده برای نگهداری میلگرد در حین فورجینگ

(JRJI, 2009)

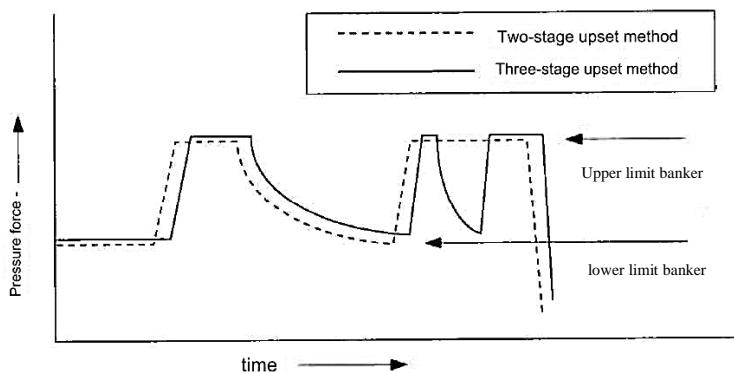


(۳) دستگاه اعمال فشار

- پمپ هیدرولیک باید دارای سوئیچ کنترل الکتریکی بر روی مشعل باشد تا امکان اعمال همزمان حرارت و فشار در زمانهای لازم برای جوشکار فراهم باشد. در شکل ۲-۴ یک نمونه دستگاه اعمال فشار، شامل پمپ هیدرولیک و سیلندر هیدرولیک و در شکل ۲-۵ دو نوع پروتکل اعمال فشار دو مرحله‌ای و سه مرحله‌ای برای انجام جوش فورجینگ نمایش داده شده است.



شکل ۲-۴: دستگاه اعمال فشار جوش فورجینگ (JRJI, 2005)



شکل ۲-۵: پروتکل اعمال فشار دو مرحله‌ای و سه مرحله‌ای برای انجام جوش فورجینگ

(JRJI, 2009)



- دستگاه اعمال فشار باید قابلیت اعمال فشار کافی در جهت محوری میلگرد را در طول مدت زمان جوشکاری با ظرفیت حداقل ۳۰ مگاپاسکال روی مقطع میلگرد (مقطع اسمی) داشته باشد.

- برای میلگردهای SD490 (معادل S500 در ایران) باید ظرفیت پمپ هیدرولیک حداقل ۴۰ مگاپاسکال بوده و به علاوه دارای قابلیت تنظیم فشار بیشینه و کمینه باشد.

(۴) دستگاه برش

مطابق استاندارد JRJI باید از دستگاه برش سرد عمودبُر (شکل ۲-۶) برای آماده‌سازی سطوح میلگرد به منظور جوش فورجینگ استفاده شود. میلگرد باید مطابق یکی از مدل‌های موجود در لیست دستگاه‌های مورد تأیید این استاندارد باشد. فهرست مورد تأیید سال ۲۰۰۹ استاندارد JRJI در جدول ۲-۵ (الف) آمده است.



شکل ۲-۶: دستگاه برش سرد عمودبُر (JRJI, 2009)

جدول ۲-۵ (الف): فهرست دستگاه‌های برش مورد تأیید استاندارد JRJI

Certified device name	Scope of certification	Certified Company
SDC-25A type	D10~D25	Daia Co., Ltd.
SDC-32C type	D19~D32	
SDC-38A type	D19~D38	
SDC-51E type	D32~D51	



همچنین در استاندارد JRJI مشخصات تیغه‌های برش مورد تأیید و نیز پوشش‌های خاص ضد زنگ قابل استفاده برای جوش فورجینگ مطابق جدول‌های ۲-۵(ب) و ۲-۵(ج) ذکر شده است.

جدول ۲-۵ (ب): مشخصات تیغه‌های برش مورد تأیید استاندارد JRJI

Certified device name	Scope of certification	Certified Company
SDC-25 type SDC-32 type SDC-38 type SDC-51 type	D10~D25 D19~D32 D19~D38 D32~D51	Daia Co., Ltd.
FD-135A	D25, D32, D35	Motoyuki Co., Ltd.
YSD-135AT	D19-D32	Yamashin Saw Co., Ltd.

جدول ۲-۵ (ج): مشخصات پوشش‌های خاص ضد زنگ مورد تأیید استاندارد JRJI

Certified device name	Scope of certification	Certified Company
Protective agent	D19~D51	Dai Nippon Paint Co., Ltd. & Suyama Kogyosho Co., Ltd. Hokuriku Gas Pressure Welding

۳-۶ تجهیزات اجرای اتوماتیک جوش فشاری گازی

تجهیزات اجرای جوش فشاری گازی به روش اتوماتیک باید توسط انجمن جوش فشاری گازی ژاپن تأیید شود و در انطباق با ملاحظات ارزیابی تخصصی این تجهیزات که توسط این انجمن تعیین شده است، باشد.

۳-۷ تجهیزات اجرای جوش فشاری گازی با پیرایش داغ^۱

تجهیزات پیرایش داغ برای اجرای جوش فشاری گازی باید شامل تجهیزات اجرای جوش به صورت دستی و تیغه‌های برش برای پیرایش داغ در ناحیه جوشکاری باشد.

^۱ Hot shearing (Hot trimming)



(۱) پایه نگهدارنده میلگرد باید مجهز به تیغه‌های برش دولبه که قادر به بریدن گرده جوش بلافاصله بعد از جوشکاری است، باشد.

(۲) تجهیزات تأمین حرارت و فشار باید مطابق ضوابط تعیین شده در زیربند «تجهیزات اجرای دستی جوش فشاری گازی» باشد.

۲-۳-۸ شرکت‌های مجری جوش GPW

بر اساس استاندارد JRJI انجام عملیات جوش فورجینگ آرماتورها باید لزوماً به واسطه شرکت‌های مجری جوش فشاری گازی و توسط جوشکاران ذیصلاح صورت پذیرد. در این استاندارد دو نوع شرکت مجری جوش تعریف شده است:

شرکت مجری جوش فشاری گازی^۱: شرکت تخصصی مجری جوش فشاری گازی که در قرارداد با پیمانکار اصلی، اجرای جوش‌های GPW را برعهده دارد.

شرکت مجری جوش فشاری گازی کلاس A^۲: شرکت مجری جوش فشاری گازی که توانایی آن برای انجام وصله فورجینگ کلاس A، توسط JRJI تایید شده است.

۲-۳-۹ پرسنل جوشکاری GPW

مطابق استاندارد JRJI عوامل اجرایی برای انجام جوشکاری فشاری گازی در دو سطح به شرح زیر تعریف می‌شوند:

(۱) مسئول هماهنگ کننده جوشکاری: این شخص برنامه اجرایی و زمانبندی برای کار ارائه داده و همزمان، تضمین کیفیت و مدیریت ایمنی را مدنظر قرار داده و راهنمایی‌های لازم را در فرآیند معمول دارد. همچنین باید در نهایت تأیید نماید که جوشکاری اجرا شده براساس برنامه اجرایی انجام شده است.

۱ Pressure welding company

۲ Class A pressure welding company



۲) جوشکار دارای صلاحیت حرفه‌ای: این شخص انجام عملیات جوش سر به سر فشاری گازی آرماتورها رازیر نظر مسئول هماهنگ کننده جوشکاری برعهده دارد و براساس صلاحیت اعطا شده به جوشکار، حوزه کاری و محدودیت‌های فعالیت جوشکار شامل حداکثر رده و قطر میلگرد قابل جوشکاری توسط وی مطابق جدول استاندارد تعیین می‌شود.

کارفرما باید در ابتدا اطلاعات نیروهای انسانی شامل نام، تصویر، رده صلاحیت و شماره گواهی صلاحیت اعضای گروه جوشکاری را به صورت مکتوب در اختیار ناظر مسئول پروژه قرار دهد و تأییدیه لازم برای انجام فعالیت را اخذ نماید.

جوشکار حرفه‌ای صاحب صلاحیت در اجرای جوش GPW به روش دستی

اعمال حرارت و فشار در روش اجرای دستی جوش GPW باید توسط جوشکار حرفه‌ای صاحب صلاحیت انجام شود. بر اساس صلاحیت اعطا شده به جوشکار، رده میلگرد و قطر آن تعیین و محدودیت‌های لازم بر فعالیت جوشکار مطابق جدول ۲-۶ اعمال می‌باشد.

جدول ۲-۶: حوزه صلاحیت جوشکار GPW در روش اجرای دستی (JRJI, 2009)

محدودیت‌های فعالیت جوشکار		رده
قطر میلگرد	رده میلگرد	صلاحیت
حداکثر قطر ۲۵ mm - معادل قطر اسمی D25	SR235, SR295 SD295A, SD295B, SD345, SD390	سطح ۱
حداکثر قطر ۳۲ mm - معادل قطر اسمی D32	SR235, SR295 SD295A, SD295B, SD345, SD390	سطح ۲
حداکثر قطر ۳۸ mm - معادل قطر اسمی D38	SR235, SR295 SD295A, SD295B, SD345, SD390, SD490	سطح ۳
حداکثر قطر ۵۰ mm - معادل قطر اسمی D51	SR235, SR295 SD295A, SD295B, SD345, SD390, SD490	سطح ۴



بر همین اساس، برای اعطای صلاحیت به جوشکاران فورجینگ آرماتور در ایران، جدول ۷-۲ به شرح زیر پیشنهاد می‌شود:

جدول ۷-۲: صلاحیت جوشکاران جوش GPW آرماتور در ایران (پیشنهادی)

محدودیت‌های فعالیت جوشکار		پایه گواهینامه
قطر میلگرد	رده میلگرد	
حداکثر قطر ۲۵ میلی‌متر	S340 , S400 (A-II , A-III)	پایه ۳
حداکثر قطر ۳۲ میلی‌متر	S340 , S400 (A-II , A-III)	پایه ۲
حداکثر قطر ۵۰ میلی‌متر	S340 , S400 , S500 (A-II , A-III, A-IV)	پایه ۱

جوشکار حرفه‌ای صاحب صلاحیت در اجرای اتوماتیک جوش GPW

اشخاصی که به‌عنوان مسئول اجرای اتوماتیک جوش GPW فعالیت می‌کنند، باید دارای صلاحیت جوشکاری اتوماتیک باشد. براساس صلاحیت اعطا شده به جوشکار اتوماتیک، رده میلگرد و قطر آن تعیین و محدودیت‌های لازم بر فعالیت او مطابق جدول ۸-۲ اعمال می‌شود.

جدول ۸-۲: محدوده فعالیت جوشکار صاحب صلاحیت در اجرای اتوماتیک جوش GPW (JRJI, 2009)

محدودیت‌های فعالیت جوشکار		رده صلاحیت بر اساس ماشین
قطر میلگرد	رده میلگرد	
حداکثر قطر ۳۲ mm - معادل قطر اسمی D32	SR235, SR295 SD295A, SD295B, SD345, SD390	اتوماتیک - سطح ۲
حداکثر قطر ۳۸ mm - معادل قطر اسمی D38	SR235, SR295 SD295A, SD295B, SD345, SD390, SD490	اتوماتیک - سطح ۳
حداکثر قطر ۵۰ mm - معادل قطر اسمی D51	SR235, SR295 SD295A, SD295B, SD345, SD390, SD490	اتوماتیک - سطح ۴



جوشکار حرفه‌ای صاحب صلاحیت در اجرای جوش GPW با پیرایش داغ

جوشکار اجرای جوش فشاری گازی با پیرایش داغ باید دارای صلاحیت مربوطه باشد. بر اساس صلاحیت اعطا شده، رده میلگرد و قطر آن تعیین و محدودیت‌های لازم بر فعالیت او مطابق جدول ۲-۶ اعمال می‌شود.

در اجرای جوش فشاری گازی با پیرایش داغ دستیارهای برشکار باید به کار گرفته شوند و این دستیارها باید دانش و تجربه لازم در این موضوع را داشته باشند.

۲-۳-۱۰ آمادگی‌های قبل از جوشکاری GPW

۲-۳-۱۰-۱ تهیه مستندات تأیید صلاحیت

کارفرما باید مستندات تأیید صلاحیت جوشکار را به شرح زیر در اختیار ناظر مسئول پروژه قرار دهد. این مستندات باید در صورت لزوم، قابلیت ارائه در مراحل بعدی را داشته باشند.

الف) صلاحیت سرپرست/ناظر جوش فشاری گازی یا گواهی دوره آموزش کامل جوش فشاری گازی

ب) گواهی مهارت در اجرای دستی جوش GPW

ج) گواهی مهارت در اجرای اتوماتیک جوش GPW

د) گواهی مهارت در اجرای جوش GPW با پیرایش داغ

۲-۳-۱۰-۲ نگهداری تجهیزات اجرای جوش فشاری گازی

تجهیزات و ابزار مورد استفاده در اجرای جوش فشاری گازی باید به طور کامل بازرسی و نگهداری شود و عملکرد متعارف آنها در زمان‌های مختلف کنترل و تأیید شود.



۲-۳-۱۰-۳ آماده‌سازی سطح نهایی برای جوش فشاری گازی

(۱) چنانچه میلگردهای مصرفی در دو انتها دارای خم باشد، باید قبل از فورجینگ، بخش دارای انحناء بریده شود.

(۲) سطوح انتهایی میلگردهایی که قرار است به هم جوش شوند باید الزاماً توسط دستگاه برش سرد عمودبر میلگرد بریده شوند. (مطابق لیست دستگاه‌های مورد تأیید JRJI)

(۳) میلگردها باید در همان روزی که قرار است جوش فشاری گازی اجرا شود، آماده‌سازی شوند و جوشکار دارای صلاحیت، باید شرایط را بلافاصله قبل از اجرای جوشکاری تأیید کند؛ مگر آنکه پوشش محافظت‌کننده خاص ضدزنگ مورد تأیید روی سطوح انتهایی اعمال شده باشد.

(۴) در شرایطی که چربی یا روغن، رنگ، خمیر سیمان یا سایر مصالح در پیرامون سطح انتهایی میلگردهایی که قرار است به هم جوش شوند وجود داشته باشد، این مواد باید قبل از برش با استفاده از برس‌های سیمی پاک شوند. چنانچه این مواد در سطح انتهایی میلگردهایی که قرار است به هم جوش شوند وجود داشته باشد، باید به طور کامل برداشته شوند.

۲-۳-۱۰-۴ شرایط آب و هوا

(۱) در فصول سرما، باید عایق نمودن حرارتی محفظه‌های استیلن و اکسیژن و تنظیم‌کننده‌های فشار مورد توجه قرار گیرد. گرم کردن کپسول‌ها باید با استفاده از آب گرم یا هیتر برقی مخصوص انجام شده و از گرم کردن با شعله جداً خودداری شود. در دمای بالا، کپسول‌های استیلن و اکسیژن باید در برابر تابش مستقیم نور خورشید محافظت شوند و درجه حرارت کپسول‌ها همواره کمتر از ۴۰ درجه سلسیوس حفظ شود.

مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه) عملیات جوشکاری میلگردها در دمای ۱۸- درجه سلسیوس و پایین‌تر نباید انجام شود. پیشنهاد

می‌شود مشابه با الزامات (اجرایی) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی)، ممنوعیت جوشکاری فورجینگ در دمای محیط کار کمتر از ۱۰- درجه سلسیوس لحاظ شود.

(۲) در درجه حرارت‌های بالا، محفظه‌های استیلن و اکسیژن باید در برابر تابش مستقیم نور خورشید محافظت شوند.

(۳) اجرای جوش نباید در باد شدید انجام شود. (توصیه: کمتر از 2 m/s، ممنوعیت: باد با سرعت بیش از 4 m/s) در صورتی که اطمینان حاصل شود که با ایجاد محافظت در برابر باد، امکان اجرای کار وجود دارد، پس از تأیید دستگاه نظارت اجرای جوش بلامانع است.

(۴) به طور کلی اجرای جوش GPW نباید در برف و باران انجام شود. در صورتی که اطمینان حاصل شود که با محافظت مناسب امکان اجرای کار وجود دارد، پس از تأیید دستگاه نظارت اجرای جوش GPW بلامانع است.

۲-۳-۱۰-۵ ملاحظات ایمنی

(۱) در اجرای جوش GPW، «مقررات ایمنی و بهداشت کار» و مقررات و الزامات مربوط به گاز تحت فشار، باید مورد توجه قرار گیرند.

(۲) تأمین داربست و سکوی کار ایمن در موقعیت اجرا، تا بتوان از وضعیت قرارگیری ایمن تکنسین جوش و تجهیزات در حین جوشکاری اطمینان حاصل نمود. این امر علاوه بر جنبه ایمنی از نظر تأثیر بر کیفیت جوشکاری بسیار ضروری است.

(۳) هرگونه خطر ناشی از گاز و انفجار باید در تجهیزات تأمین گاز و مشعل مورد بررسی قرار گیرد.

(۴) لازم است تمهیدات محافظ برای جلوگیری از ریختن مواد (فلز) مذاب و حفاظت در برابر شعله در هنگام اجرای جوش به کار گرفته شود.



(۵) کارگرانی که فعالیت‌های مرتبط با انجام آزمون‌ها و یا تعویض تیغه‌های برش را انجام می‌دهند باید از قبل به طور ویژه آموزش دیده باشند.

(۶) پیش‌بینی تمهیدات لازم برای تهویه فضایی که جوش فورجینگ در آن انجام می‌شود، ضروری است.

(۷) ملاحظات زیر باید در استفاده از گازهای استیلن و اکسیژن مدنظر قرار گیرد:

الف- شیر کپسول اکسیژن در زمان استفاده باید کاملاً باز باشد.

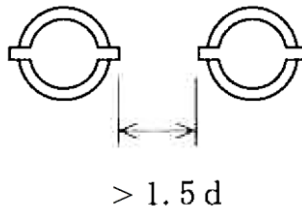
ب- فشار گاز اکسیژن نباید بیشتر از 7 bar باشد.

ج- شیر کپسول استیلن نباید بیشتر از ۱/۵ دور باز شود.

د- فشار گاز استیلن نباید بیشتر از 1 bar باشد.

۲-۳-۱۰-۶ ملاحظات اجرایی

(۱) حداقل فاصله آزاد بین میلگردها باید به اندازه‌ای باشد که مانعی برای تجهیزات جوش فورجینگ ایجاد نشود. (شکل ۲-۷)



شکل ۲-۷: حداقل فاصله آزاد میلگردها برای انجام جوش فورجینگ (JRJI, 2009)

(۲) در حالت کلی لزوم انجام یک در میان وصله‌های جوشی، با توجه به آزمایشات انجام شده روی مجموعه‌ای از تیرها و ستون‌ها و عدم مشاهده تفاوت قابل ملاحظه در ظرفیت باربری آنها از سال ۱۹۹۴ در الزامات حذف شده است. البته در خصوص انجام وصله در ناحیه بحرانی اعضا (در مجاورت اتصال) محدودیت‌هایی در این خصوص در مراجع ژاپنی موجود است.



(۳) با توجه به اینکه پس از انجام جوش فورجینگ طول آرماتورها حدود 1 db کوتاه می‌شود، توجه به نحوه بستن قفسه آرماتورها ضروری است. مطابق تجربیات قبلی در صورت بستن آرماتورها با سیم آرماتوربندی مشکلی از این لحاظ به وجود نخواهد آمد؛ لیکن در خصوص شبکه‌های جوش شده باید تمهیدات ویژه‌ای برای این موضوع در نظر گرفته شود.

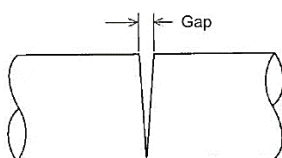
۳-۱۱- مراحل جوشکاری و نحوه اعمال فشار و حرارت در روش اجرای دستی جوش فورجینگ

فرآیند و روش زیر باید در مراحل گرمایش و اعمال فشار در اجرای دستی جوش فشاری گازی مد نظر قرار گیرد:

۱- پس از برش میلگردها، دو میلگردی که باید به هم متصل شوند، مطابق شکل ۲-۸ به گیره بسته شوند. در این مرحله باید اطمینان حاصل شود که فضای خالی بین سطوح انتهایی دو میلگردی که باید بهم جوش شوند از ۲ میلیمتر بیشتر نشود (شکل ۲-۹). همچنین ناهم‌راستایی یا انحنا بین دو میلگرد وجود نداشته باشد.



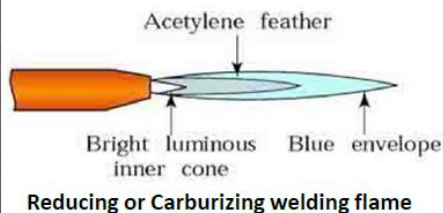
شکل ۲-۸: نحوه بستن میلگردها به گیره در جوشکاری فورجینگ



Gap: 2mm or less

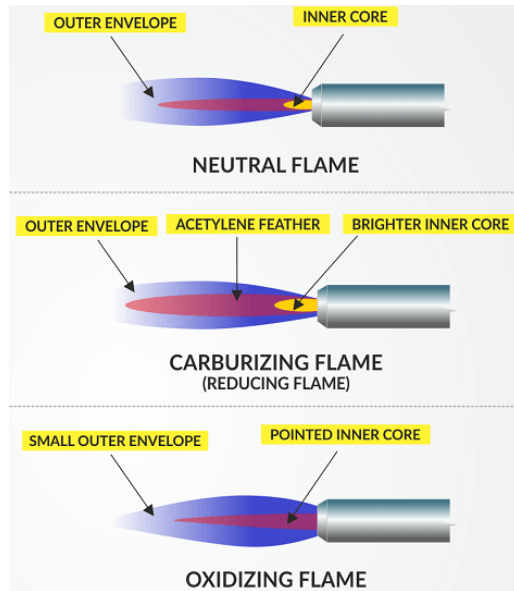
شکل ۲-۹: رواداری فاصله بین میلگردهای وصله شونده با جوش فورجینگ (JRJI, 2009)

۲- فشار حداقل ۳۰ مگاپاسکال در راستای محور آرماتورها به سطح مقطع فلز پایه (مساحت اسمی میلگردهای آجدار) وارد شود. اعمال حرارت با استفاده از شعله کاهنده (شعله بلند یا شعله کربوره مطابق شکل ۲-۱۰) فقط در سطح تماس میلگردها (به منظور جلوگیری از اکسیداسیون انتهای میلگردها) تا اطمینان از بسته شدن فاصله بین دو میلگرد صورت پذیرد.



شکل ۲-۱۰: شعله کاهنده (شعله بلند، احیایی یا کربوره) (Weldguru, n.d.)

۳- پس از اطمینان از پُر شدن فاصله بین دو میلگرد، لازم است همزمان با اعمال فشار، اعمال حرارت با شعله خنثی (شعله کوتاه مطابق شکل‌های ۲-۱۱ و ۲-۱۲) با حرکت رفت و برگشتی مشعل در ناحیه‌ای به طول دو برابر قطر میلگرد در طرفین درز جوش (به منظور اعمال حرارت یکنواخت و پیشگیری از ذوب سطح میلگرد) انجام پذیرد.

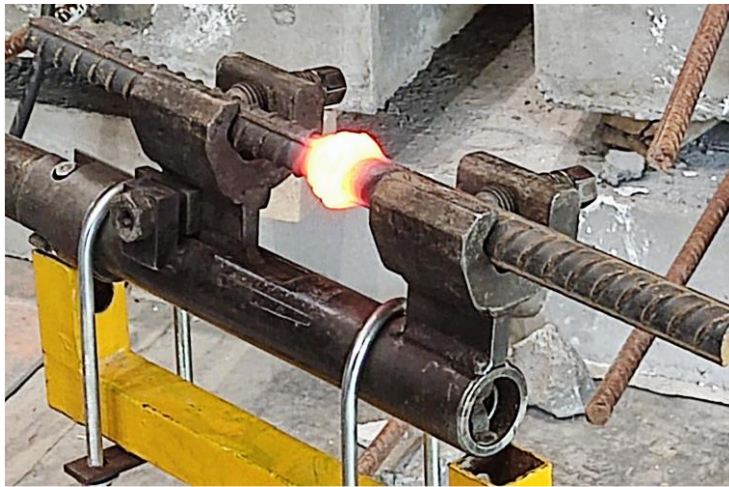


شکل ۲-۱۱: مقایسه شعله ختی (شعله کوتاه)، شعله کاهنده (بلند یا کربوره) و شعله اکسیدکننده (Chaitanya, 2024)



شکل ۲-۱۲: شعله ختی (شعله کوتاه) (JRJI, 2009)

۴- اعمال فشار نهایی حداقل ۳۰ مگاپاسکال به میلگردها برای شکل دهی به گرده جوش انجام شود. قطر گرده جوش نباید از $\frac{1}{4}$ برابر قطر میلگرد و طول آن نباید از $\frac{1}{1}$ برابر قطر میلگرد کمتر بوده و فرم کلی آن با انحنای ملایم باشد (شکل ۲-۱۳). در مورد میلگردهای SD490 (معادل S500 در ایران) فشار نهایی باید حداقل ۴۰ مگاپاسکال و حداقل فشار در طول پروسه جوشکاری باید ۲۵-۲۰ مگاپاسکال بوده و قطر گرده جوش نباید از $\frac{1}{5}$ برابر قطر میلگرد و طول آن نباید از $\frac{1}{2}$ برابر قطر میلگرد کمتر باشد.



شکل ۲-۱۳: ظاهر جوش پس از اعمال فشار نهایی در جوش فورجینگ

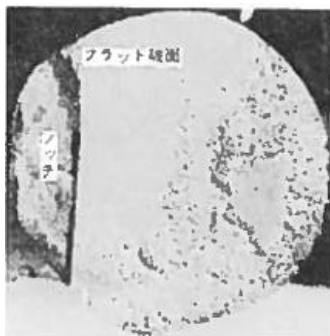
- ۵- گیره نگهدارنده میلگرد باید بعد از آنکه درخشش (سرخ‌خی) ناشی از حرارت در ناحیه جوش از میان رفت، از میلگرد جدا شود.
- ۶- در صورت بروز هرگونه مشکل در مشعل نظیر برگشت شعله (بک‌فایر) که منجر به منقطع شدن پروسه جوشکاری شود، چنانچه بروز مشکل قبل از بسته شدن درز جوش باشد، باید ناحیه جوش شده بریده شده و مجدداً جوشکاری ادامه یابد. لیکن در صورتی که مشکل پس از بسته شدن درز جوش رخ دهد، چون احتمال تشکیل لایه اکسید روی انتهای میلگردها وجود نخواهد داشت، اعمال حرارت مجدد و ادامه کار بلامانع است.



۲-۳-۱۲ بازرسی

وصله‌های جوشی فورجینگ آرماتورهای فولادی باید به لحاظ عاری بودن از عیوب مختلف مورد بازرسی قرار گیرند. برخی از عیوب معمول جوش در میلگردهای وصله شده با روش جوش فورجینگ به شرح زیر می‌باشند:

الف) شکست مسطح^۱ در سطح تماس میلگردهای جوش شده که به دلیل وجود اکسیدهای فلزی در سطح تماس بوده و به علت برش نامناسب یا گرمایش اولیه ضعیف رخ می‌دهد (شکل ۲-۱۴). این نوع شکست یکی از متداول‌ترین عیوب جوش فورجینگ در صورت عدم رعایت اصول اولیه در نحوه برش و اعمال حرارت است که در سال‌های ابتدایی توسعه روش فورجینگ منجر به شکست‌های متعددی در این نوع وصله شده است.



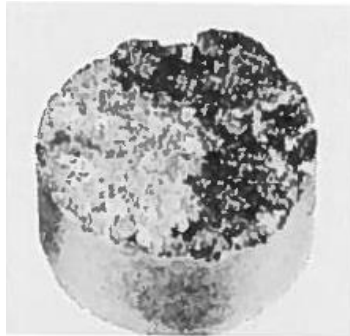
شکل ۲-۱۴: شکست مسطح در وصله جوش فورجینگ (JRJI, 2009)

ب) درشت دانگی^۲ در محل جوش که عمدتاً به دلیل حرارت‌دهی بیش از حد^۳ در محل وصله رخ می‌دهد (شکل ۲-۱۵).

۱ Flat fracture

۲ Coarse grains

۳ Overheat



شکل ۲-۱۵: درشت دانگی در محل جوش (JRJI, 2009)

ج) عیوب ناشی از فلز پایه همانند وجود ترک، وجود سرباره و ... در میلگرد وصله شده که در اثر اعمال فشار در حین تشکیل گرده فورجینگ تشدید خواهد شد.
د) شکست ترد به دلیل آسیب و اثرات زخم ناشی از سفت کردن پیچ‌های غیر استاندارد گیره (کلمپ) بر روی میلگرد وصله شده (شکل ۲-۱۶)



شکل ۲-۱۶: شکست ترد به دلیل صدمه ناشی از پیچ‌های گیره مورد استفاده در جوش فورجینگ (JRJI, 2009)

۲-۳-۱۲-۱ روش‌های بازرسی جوش GPW

بازرسی وصله‌های جوشی فورجینگ شامل بازرسی چشمی برای تمام جوش‌ها و تست التراسونیک به صورت نمونه‌برداری موردی است. با توجه به استفاده گسترده از تست التراسونیک در ژاپن و قابلیت اعتماد به این روش، الزام انجام تست کشش برای بازرسی جوش‌ها از سال ۱۹۹۹ حذف گردیده است؛ مگر برای میلگردهای با قطر کمتر از ۱۹ میلیمتر که برای آن تست التراسونیک مورد تأیید وجود ندارد. همچنین با توجه به



زمان کوتاه بین انجام جوش فورجینگ و بتن‌ریزی، زمان‌بندی انجام بازرسی‌ها حائز اهمیت است.

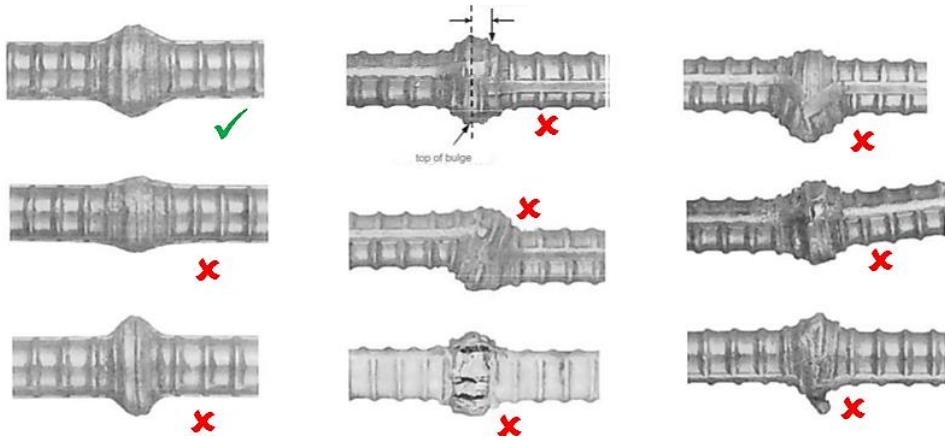
مطابق استاندارد ژاپن، جوش‌های انجام شده توسط شرکت مجری جوش فورجینگ (که طرف قرارداد مستقیم با کارفرما نیست)، مستقیماً توسط دستگاه نظارت بازرسی نمی‌شود؛ بلکه پیمانکار کل بازرسی جوش‌ها را انجام می‌دهد و ناظر کارفرما بازرسی را تأیید می‌کند. بازرسی باید توسط بازرسان معرفی شده توسط دستگاه نظارت مسئول انجام شود. زمان انجام بازرسی توسط دستگاه نظارت تعیین می‌شود و باید در برنامه کاری پروژه قرار گیرد.

ارزیابی چشمی الزاماً باید به‌طور کامل و برای تمام وصله‌های جوشی فورجینگ صورت پذیرد. لیکن آزمون التراسونیک به صورت نمونه‌گیری تصادفی انجام می‌پذیرد.

۲-۳-۱۲-۲ بازرسی چشمی (VI)

(۱) موارد بازرسی

بازرسی چشمی الزاماً باید به‌طور کامل و برای ۱۰۰٪ جوش‌ها صورت پذیرد. مواردی که در ارزیابی چشمی باید مورد بررسی قرار گیرد، شامل قطر و طول گرده جوش در موقعیت جوشکاری شده، هم‌راستا بودن میلگردهای جوش شده با یکدیگر، خمیدگی در موقعیت جوشکاری شده و ... می‌باشد. در شکل ۲-۱۷ عیوب قابل تشخیص در بازرسی چشمی نشان داده شده است.



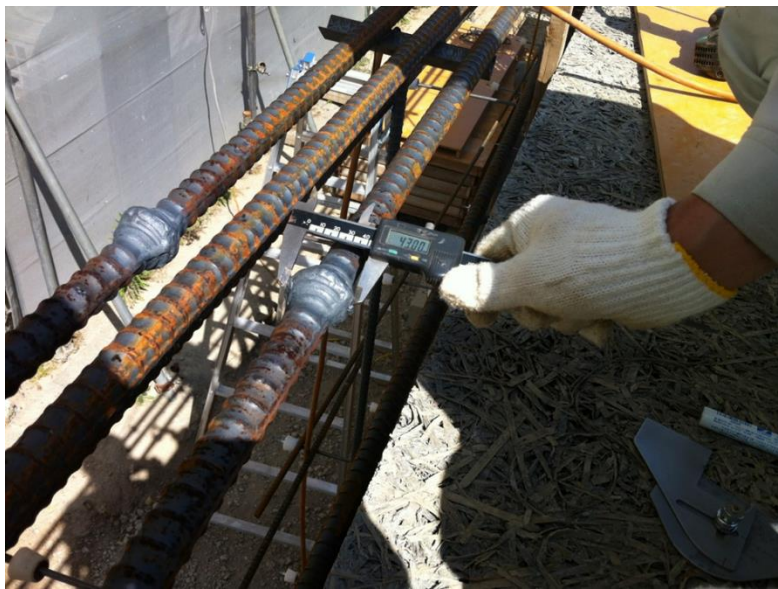
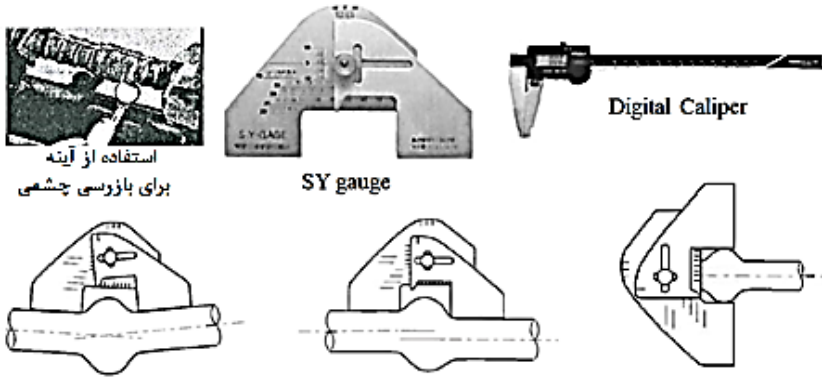
شکل ۲-۱۷: عیوب قابل تشخیص در بازرسی چشمی (JRJI, 2009)

(۲) روش ارزیابی

این ارزیابی باید به صورت چشمی انجام شود و کولیس، اِشِل و سایر ابزارهای مربوطه برای بازرسی مورد نیاز است. در شکل ۲-۱۸ برخی از ابزار مورد استفاده در بازرسی چشمی نشان داده شده است. در کشور ژاپن برای بازرسی چشمی، استفاده از یک ابزار اندازه‌گیری خاص (SY gauge) برای کنترل هم‌راستایی میلگردهای وصله شده مطابق شکل ۲-۱۸ متداول می‌باشد.

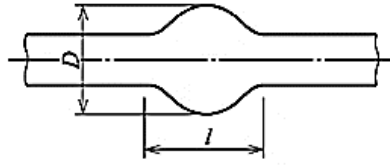
(۳) معیارهای پذیرش

الف- قطر گرده جوش (پارامتر D، مطابق شکل ۲-۱۹) نباید کمتر از $1/4$ برابر قطر میلگرد (کوچکترین قطر از بین دو میلگرد جوش شده به هم) باشد. لازم به ذکر است این مقدار در میلگردهای SD490 (معادل S500 در ایران) معادل $1/5$ برابر قطر می‌باشد.



شکل ۲-۱۸: ابزار مورد استفاده در بازرسی چشمی (JRJI, 2005)

ب- طول گرده جوش (پارامتر l مطابق شکل ۲-۱۹) نباید کمتر از $1/1$ برابر قطر میلگرد باشد و فرم کلی موقعیت جوشکاری باید با انحنای ملایم باشد. لازم به ذکر است این مقدار در میلگردهای SD490 (معادل S500 در ایران) معادل $1/2$ برابر قطر می باشد.

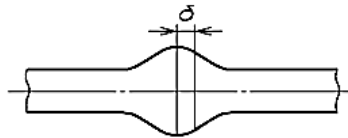


$$D \geq 1.4 d_b \text{ (1.5 for SD490)}$$

$$l \geq 1.1 d_b \text{ (1.2 for SD490)}$$

شکل ۲-۱۹: قطر و طول برآمدگی در موقعیت جوش شده (D و L) (JRJI, 2009)

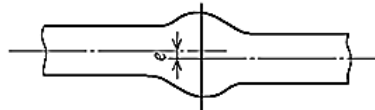
ج- میزان انحراف درز جوش (پارامتر δ ، مطابق شکل ۲-۲۰) نباید بیشتر از 0.25 قطر میلگرد باشد.



$$\delta \leq 0.25 d_b$$

شکل ۲-۲۰: میزان انحراف درز جوش (JRJI, 2009)

د- میزان ناهم‌راستایی دو میلگرد جوش شده (پارامتر e مطابق شکل ۲-۲۱) نباید بیشتر از $\frac{1}{5}$ قطر میلگرد (کوچک‌ترین قطر از بین دو میلگرد جوش شده به هم) باشد.

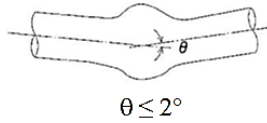


$$e \leq 0.2 d_b$$

شکل ۲-۲۱: میزان ناهم‌راستایی دو میلگرد نسبت به یکدیگر (JRJI, 2009)



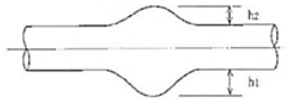
ه- زاویه ناهم راستایی دو میلگرد جوش شده (پارامتر θ مطابق شکل ۲-۲۲) نباید بیشتر از ۲ درجه باشد.



$$\theta \leq 2^\circ$$

شکل ۲-۲۲: میزان ناهم راستایی دو میلگرد نسبت به یکدیگر

و- اختلاف اندازه گرده جوش در دو سمت (پارامتر h_2-h_1 مطابق شکل ۲-۲۳) نباید بیشتر از $\frac{1}{5}$ قطر میلگرد (کوچک ترین قطر از بین دو میلگرد جوش شده به هم) باشد.



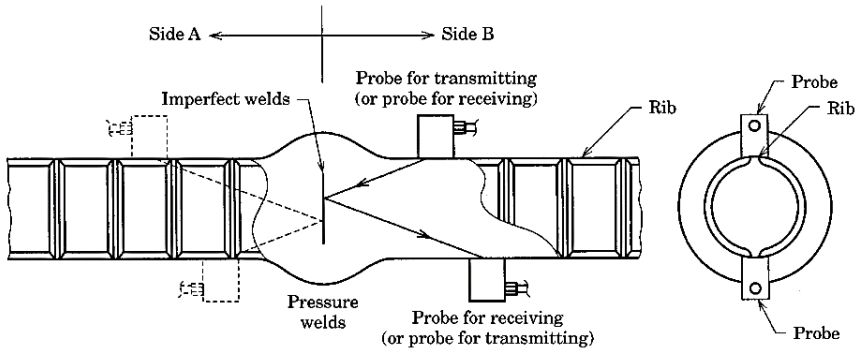
$$h_1 - h_2 \leq 0.2d_b$$

شکل ۲-۲۳: اختلاف اندازه گرده جوش در دو سمت (JRJI, 2009)

۲-۳-۱۲-۳ ارزیابی با تست التراسونیک (UT)

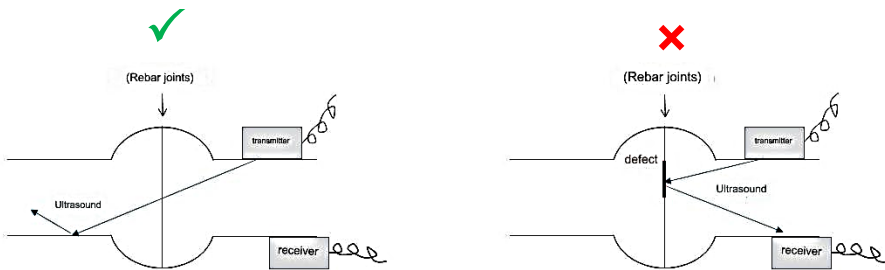
ارزیابی به روش تست التراسونیک باید براساس استاندارد JIS Z 3062 با عنوان «روش‌ها و معیارهای پذیرش تست التراسونیک برای جوش فشاری گازی میلگردهای آجدار» انجام شود. مطابق استاندارد مذکور آزمون باید با استفاده از دو پراب التراسونیک فرستنده و گیرنده زاویه‌ای به روش اسکن K^۱ صورت پذیرد (شکل ۲-۲۴).

۱ Two- angled probe K-scanning method



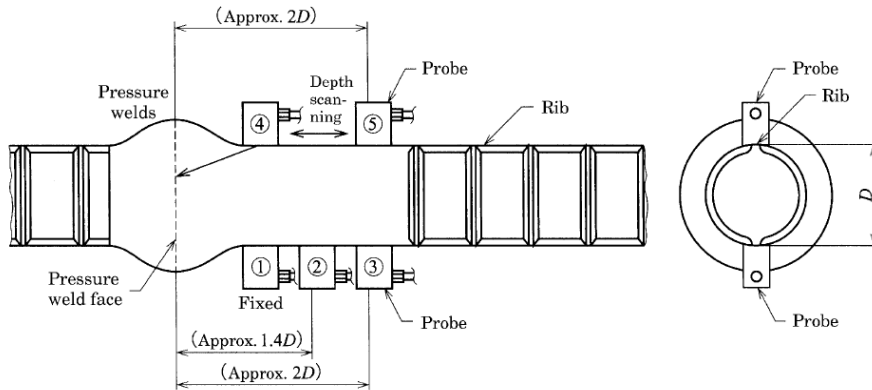
شکل ۲-۲۴: آزمون التراسونیک با استفاده از دو پراب برای وصله فورجینگ آرماتورها
(JIS Z 3062, 2009)

همانگونه که در شکل ۲-۲۵ نمایش داده شده است، در صورت عدم وجود ناپیوستگی و هرگونه عیب در جوش و در سطح تماس میلگردها هیچگونه سیگنال اکو توسط پراب دریافت کننده سیگنال، ثبت نخواهد شد. در صورت وجود عیب در سطح تماس میلگردها میزان قدرت پالس دریافت شده، نشان دهنده بزرگی عیب جوش می باشد.



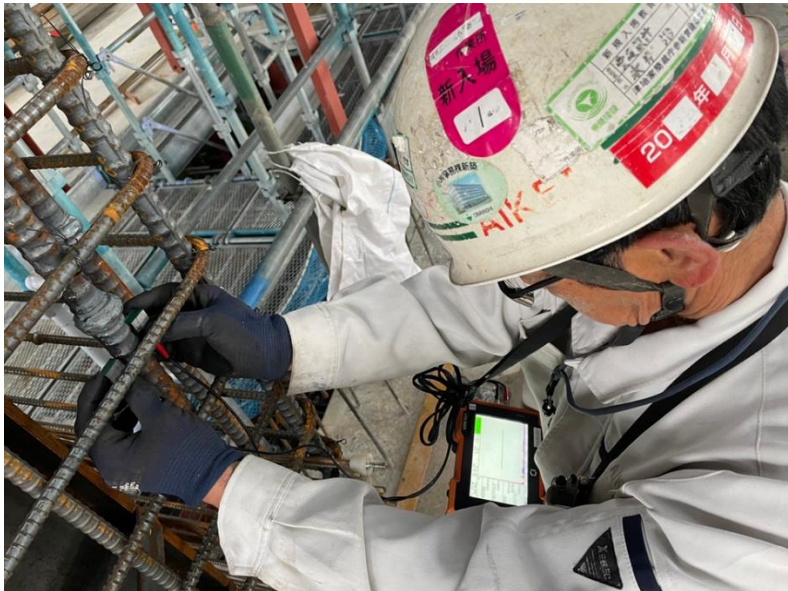
شکل ۲-۲۵: تشخیص عیب جوش فورجینگ آرماتورها در آزمون التراسونیک
(Aisoken Co., Ltd)

مطابق شکل ۲-۲۶ برای انجام آزمون در ابتدا یکی از پرابها در نقطه ۱ در نزدیکی محل جوشکاری قرار می گیرد. روبش عمق توسط پراب دوم در محدوده ای بین نقطه ی ۴ در نزدیکی محل جوشکاری و نقطه ی ۵ که به اندازه ی 2D با مرکز جوش فاصله دارد انجام می شود.



شکل ۲-۲۶: روش اسکن (رویش) در آزمون التراسونیک با استفاده از دو پراب (JIS Z 3062, 2009)

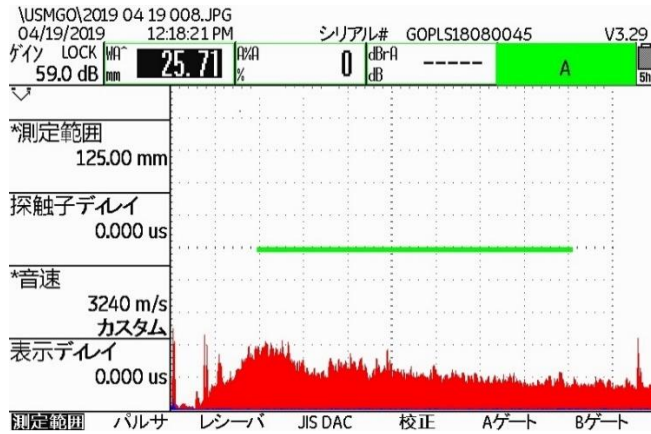
در گام دوم یکی از پراب‌ها در نقطه‌ی ۲ در فاصله‌ی تقریباً $1.4D$ از مرکز جوشکاری قرار می‌گیرد. روبش عمق توسط پراب دوم در محدوده‌ای بین نقطه‌ی ۴ در نزدیکی محل جوشکاری، و نقطه‌ی ۵ در فاصله‌ی تقریباً $2D$ از مرکز جوشکاری انجام می‌شود. در گام آخر یکی از پراب‌ها در نقطه‌ی ۳ در فاصله‌ی تقریباً $2D$ از مرکز جوشکاری قرار می‌گیرد. روبش عمق توسط پراب دوم در محدوده‌ای بین نقطه‌ی ۴ در نزدیکی محل جوشکاری، و نقطه‌ی ۵ در فاصله‌ی تقریباً $2D$ از مرکز جوشکاری انجام می‌شود. سرعت روبش باید 60 میلیمتر بر ثانیه یا کمتر باشد. صلاحیت بازرس این تست توسط انستیتو اتصالات میلگرد ژاپن (JRJI) و طبق قوانین مهارتی برای ارزیابی جوش فشاری گازی از طریق تست التراسونیک تعیین می‌شود. در شکل ۲-۲۷ نحوه‌ی انجام تست التراسونیک (UT) برای وصله فورجینگ آرماتورها نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۷: انجام تست التراسونیک (UT) برای وصله فورجینگ آرماتورها

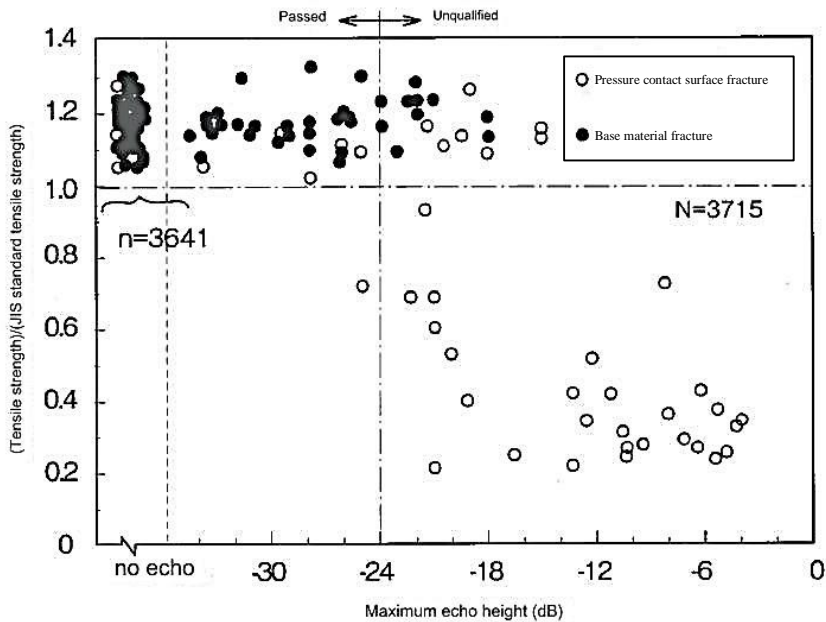
(Aisoken Co., Ltd)

در صورتی که بازرسی التراسونیک در طرفین جوش فشاری طبق معیارهای پذیرش، منجر به تشخیص هیچ‌گونه "سیگنال اکو" نشود، کیفیت جوشکاری قابل قبول تلقی می‌شود. معیار پذیرش یا عدم پذیرش جوش طبق استاندارد برابر 24 dB - است و در صورت مشاهده سیگنال اکو بیش از این مقدار، جوش مورد پذیرش قرار نخواهد گرفت. برای این منظور پس از تنظیم سطح مرجع مطابق روش استاندارد، تنظیم سطح پذیرش که با کاهش سطح پالس مرجع به میزان 24 دسی‌بل به دست می‌آید، انجام می‌شود (شکل ۲-۲۸).



شکل ۲-۲۸: تنظیم سطح پذیرش در تست التراسونیک (Aisoken Co., Ltd)

معیار -24 dB برای پذیرش جوش فورجینگ در تست التراسونیک براساس نتایج بررسی مقاومت کششی و تست التراسونیک ۳۷۱۵ نمونه کارگاهی در ژاپن تعیین شده است (شکل ۲-۲۹).



شکل ۲-۲۹: نتایج تست های کشش و التراسونیک ۳۷۱۵ نمونه کارگاهی در ژاپن (JRJI, 2009)



الف- نمونه برداری

نمونه برداری تصادفی باید حداقل برای ۳۰ جوش در هر «بخش تحت بازرسی^۱» انجام شود. هر «بخش تحت بازرسی» شامل جوش‌های انجام شده توسط یک اکیپ کاری در یک روز است، که حدود ۲۰۰ جوش (بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ جوش) را شامل می‌شود. به عبارت دیگر حدوداً ۱۵٪ جوش‌ها با آزمون UT بررسی می‌شوند.

ب- معیار تأیید یا عدم تأیید یک بخش تحت بازرسی

در صورتی که از ۳۰ نمونه بررسی شده با UT تعداد نمونه‌های رد شده بیش از یک مورد نباشد، آن بخش بازرسی شده مورد تأیید خواهد بود و اگر دو مورد یا بیشتر باشد، آن بخش مورد تأیید نخواهد بود.

پ- بخش‌های تأیید نشده در بازرسی

بخش‌هایی که در بازرسی، کیفیت تأیید شده داشته باشند، مورد پذیرش قرار می‌گیرند. در بخش‌های تأیید نشده، ۱۰٪ جوش‌ها باید UT شوند و جوش‌هایی که تست را پاس کنند، پذیرفته می‌شوند. در بازرسی تمامی جوش‌ها، نحوه برخورد با جوش‌های تأیید نشده باید مطابق بند ۲-۳-۱۲-۴ صورت پذیرد.

ت- تعلیق یا از سرگیری فعالیت جوشکاری در بخش‌های تأیید نشده

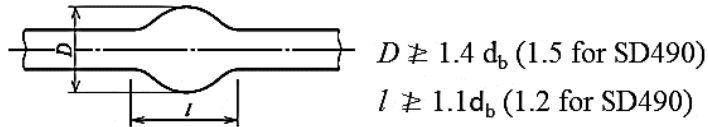
چنانچه یک بخش مورد بازرسی در تست التراسونیک تأیید نشود، یا بیش از ۱۰٪ جوش‌ها در بازرسی چشمی رد شوند، اجرای جوشکاری در آن بخش باید متوقف شود. برای ادامه کار، دلیل ایجاد و بروز مشکل در کیفیت جوشکاری باید بررسی شود، راهکارهای لازم برای جلوگیری از تکرار مشکلات، برآورد و کنترل شده و تأیید دستگاه نظارت برای ادامه و از سرگیری کار اخذ شود.



۲-۳-۱۲-۴ نحوه برخورد با جوش‌های تأیید نشده

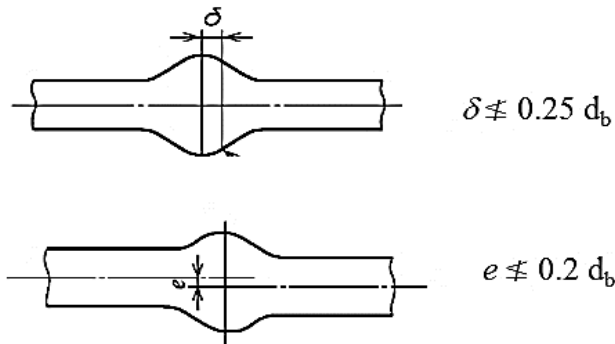
(۱) جوش‌های تأیید نشده در بازرسی چشمی

الف- در صورتی که قطر و/یا طول گرده جوش کمتر از مقادیر تعیین شده باشد، باید با اعمال فشار و حرارت مجدد هندسه مورد نظر تامین شود. (شکل ۲-۳۰)



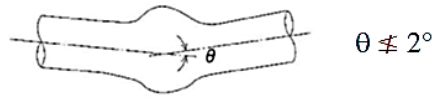
شکل ۲-۳۰: عدم انطباق قطر/طول گرده جوش با مقادیر استاندارد (JRJI, 2009)

ب- در صورتی که انحراف درز جوش یا ناهم‌راستایی می‌لگردها از حد مجاز بیشتر شود، جوش باید بریده شده و جوش فشاری گازی مجدد انجام شود. این جوش باید توسط بازرسی چشمی و تست التراسونیک ارزیابی شود. (شکل ۲-۳۱)



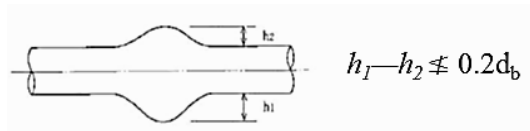
شکل ۲-۳۱: عدم انطباق انحراف درز جوش یا ناهم‌راستایی می‌لگردها با حد مجاز (JRJI, 2009)

پ- در صورتی که خم بیش از مقدار مجاز در موقعیت جوشکاری وجود داشته باشد، محل جوش باید با حرارت مجدد اصلاح شده و با بازرسی چشمی کنترل شود. (شکل ۲-۳۲)



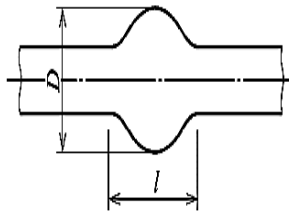
شکل ۲-۳۲: خم بیش از مقدار مجاز در موقعیت جوشکاری
(JRJI, 2009)

ت- در صورتی که اختلاف اندازه گرده جوش در دو سمت بیش از مقدار مجاز باشد، محل جوش شده باید بریده شده و جوش مجدد انجام شود. (شکل ۲-۳۳)



شکل ۲-۳۳: اختلاف اندازه گرده جوش در دو سمت بیش از حد مجاز (JRJI, 2009)

ث- در صورتی که گرده جوش دارای شیب زیاد (لبه‌دار) باشد ($D/l > 1.6$) جوش باید بریده شده و جوش مجدد انجام شود. (شکل ۲-۳۴)



شکل ۲-۳۴: گرده جوش لبه‌دار (JRJI, 2009)

ج- در شرایطی که ترک‌های حرارتی یا تورفتگی و بیرون‌آمدگی روی گرده جوش ایجاد شده باشد، موضع جوشکاری شده باید بریده شده و جوش مجدد انجام شود. این جوش باید توسط بازرسی چشمی و تست التراسونیک ارزیابی شود.



(۲) جوش‌های تأیید نشده در تست التراسونیک

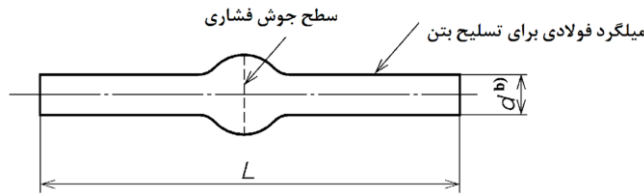
در مورد تمامی جوش‌های تأیید نشده در تست التراسونیک باید محل جوشکاری شده، بریده شده و جوش مجدد انجام شود. این جوش باید توسط بازرسی چشمی و تست التراسونیک ارزیابی شود و به تأیید دستگاه نظارت برسد.

۲-۳-۱۳ روش آزمون و معیار پذیرش جوش فشاری گازی آرماتورهای فولادی مطابق استاندارد JIS3120 ژاپن

استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۴۴۲ (برگرفته از استاندارد ژاپن JIS3120) با عنوان "فولاد برای تسلیح بتن- اتصال میلگردهای فولادی جوشکاری شده به روش فشاری گازی- روش آزمون و معیار پذیرش" در سال ۱۳۹۶ تصویب و به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر شده است.

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش آزمون و معیار پذیرش اتصال جوش شده فشاری گازی میلگردهای فولادی به کار رفته برای تسلیح بتن، با استفاده از جوشکاری فشاری گازی دستی، جوشکاری فشاری گازی خودکار و جوشکاری فشاری گازی با پیرایش داغ است.

در این استاندارد، قطعه آزمون با شکل و ابعاد مطابق شکل ۲-۳۵ و جدول ۲-۹ در نظر گرفته شده و بر روی آن جوشکاری فشاری گازی انجام می‌شود و برای انجام آزمون کشش یا خمش، باید از قطعات آزمون قبول شده در آزمون چشمی استفاده می‌شود. برای قطعات آزمون خمش ساخته شده با جوشکاری فشاری گازی دستی یا خودکار، به منظور خمش مناسب قطعه آزمون، گرده در طرف تماس با سنبه تا سطح ماده اصلی برداشته می‌شود.



شکل ۲-۳۵: قطعه آزمون برای اتصال جوشی فشاری گازی (JIS Z 3120, 2014)

جدول ۲-۹: ابعاد قطعه آزمون برای اتصال جوشی فشاری گازی (استاندارد ۲۲۴۴۲، ۱۳۹۶)

طول L میلی متر	قطعه آزمون
$[8d^3 + \text{طول استقرار در گیره}]$ یا بیشتر	قطر قطعه آزمون کشش
$[10d + 100]$ یا بیشتر اما کمتر از ۳۰۰ mm نباشد	قطر قطعه آزمون خمش

یادآوری:

(a) وقتی قطر نامی ۲۵ mm یا بیشتر برای میلگردهای آج دار باشد و وقتی قطر استاندارد مشخص شده در جدول ۱ استاندارد JIS G 3191 برای میلگردهای ساده بیش از ۲۵ mm باشد، $8d$ یا $5d$ عوض شود.

(b) d به قطر استاندارد مشخص شده در جدول ۱ استاندارد JIS G 3191 برای میلگردهای ساده یا به قطر نامی برای میلگردهای آج دار در JIS G 3112 (استاندارد ملی ایران به شماره ۳۱۳۲) ارجاع می دهد.

۲-۳-۱۳-۱ بازرسی چشمی

بازرسی چشمی باید روی جوش فشاری به صورت چشمی یا با تجهیزات (مانند ورنیه، پرگار، خطکش مدرج) به منظور بررسی قطر و طول گرده جوش؛ جابجایی سطح؛ ناهم راستایی محور مرکزی میلگرد تسلیح؛ خمش جوش فشاری، تحدب جزئی؛ تاب برداشتن قابل ملاحظه، چاله‌ای شدن یا ترک ناشی از اضافه گرمایش بیش از حد، انجام شود. قطعات آزمون هنگامی در آزمون چشمی قبول می‌شوند که تمامی قطعات، معیارهای پذیرش استاندارد را مطابق بند ۲-۳-۱۱-۲ برآورده نمایند.

۲-۳-۱۳-۲ آزمون کشش

آزمون کشش باید مطابق با استاندارد JIS Z 2241 انجام شود. برای به دست آوردن استحکام کششی اتصال، از سطح مقطع عرضی نامی مشخص شده در استاندارد JIS G 3112 برای میلگردهای آجدار، یا از سطح مقطع عرضی مشخص شده در استاندارد

JIS G 3191 برای میلگردهای ساده استفاده شود. هنگامی قطعات آزمون در آزمون کشش قبول می‌شوند که تمامی قطعات ویژگی‌های مشخص شده در استاندارد JIS G 3112 را برآورده کنند.

۲-۳-۱۳-۳ آزمون خمش

آزمون خمش باید با روش خمش فشاری مشخص شده در استاندارد JIS Z 2248 انجام شود. زاویه خمش باید 45° یا بیشتر، و شعاع داخلی باید مطابق با استاندارد JIS G 3112 باشد. هنگامی قطعات آزمون در آزمون خمش قبول می‌شوند که تمامی قطعات جوش فشاری که تا زاویه 45° خم می‌شوند، بدون ترک سطحی باشند.

۲-۳-۱۳-۴ آزمون مجدد

آزمون مجدد را می‌توان وقتی قطعات آزمون در آزمون کشش یا خمش به یکی از دلایل زیر مردود شوند، تنها یک بار انجام داد.

الف- شکست آزمون ناشی از شرایط مواد آزمون (مانند آخال، ترک خوردگی، حفره لوله‌ای و گود افتادگی)؛

ب- شکست آزمون ناشی از خرابی خارجی قطعه آزمون حین آماده‌سازی؛

پ- شکست آزمون ناشی از عملیات نادرست؛

ت- شکست آزمون ناشی از ترک در زاویه خمش کمتر از 45° در قسمت دیگر سطح جوش فشاری.

برای هر قطعه آزمون رد شده، یک قطعه آزمون از سایر اتصالات آماده شده تحت شرایط یکسان نمونه‌برداری شود.



۲-۳-۱۳-۵ سایر الزامات

اتصال میلگردهای با رده متفاوت: برای شعاع خمش رده‌های مختلف میلگرد، مشخصات میلگردهای تسلیح با استحکام پایین‌تر باید اعمال شود.

اتصال میلگردهای با قطرهای متفاوت: برای قطرهای متفاوت، مشخصات برای میلگردهای تسلیح با قطر کوچکتر باید اعمال شود.

ثبت اطلاعات: پس از آزمون، موارد زیر باید ثبت شود:

الف- شناسه جوشکاری؛

ب- نام جوشکار فشاری (شرکت)؛

پ- روش جوشکاری فشاری؛

ت- تاریخ آزمون؛

ث- ارزشیابی ارزیابی؛

ج- نام سازنده، طبقه‌بندی و شناسه‌گذاری میلگرد تسلیح؛

چ- سایر اطلاعات.

۲-۳-۱۴ الزامات وصله‌های کلاس A در استاندارد JRJI

همانگونه که در بخش ۲-۳-۱ ذکر شد در ویرایش ۲۰۰۹ استاندارد JRJI و ویرایش‌های بعدی استاندارد برخلاف ویرایش ۲۰۰۲ استاندارد JPWS که صرفاً یک نوع وصله جوش فورجینگ را شامل می‌شد، دو کلاس برای وصله‌های فورجینگ تعریف شده است:

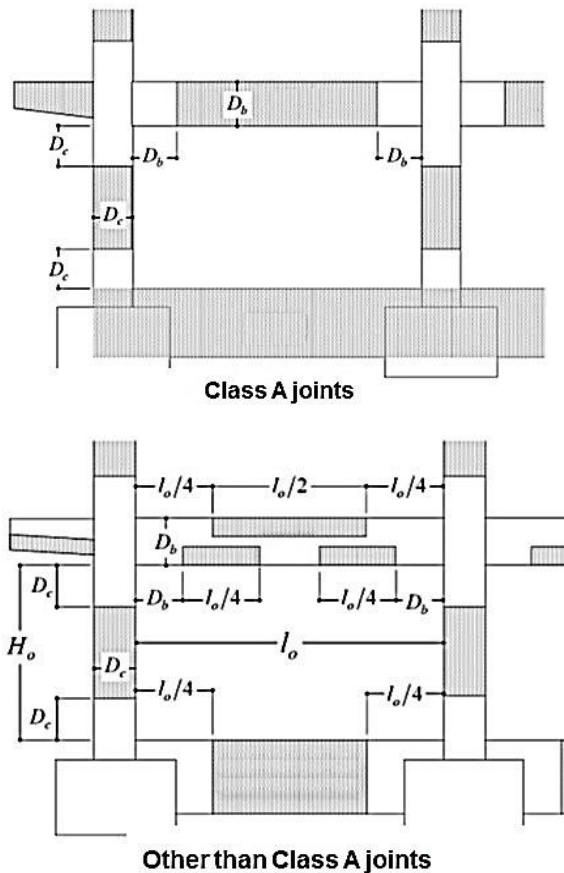
۱) وصله‌های GPW معمولی: که فقط معیار مقاومت برای آن تعیین شده است و کاربرد آنها تنها در نواحی از سازه که آرماتورها تحت نیروهای کششی بزرگ قرار نمی‌گیرند، مجاز است.

۲) وصله‌های GPW کلاس A: که علاوه بر معیار مقاومت باید معیارهای شکست



نهایی در فلز پایه، رفتار پایدار تحت بارهای سیکلیک و ازدیاد طول نسبی کافی قبل از گسیختگی را نیز برآورده سازند و کاربرد آنها در نواحی از سازه که آرماتورها تحت نیروهای کششی بزرگ قرار می‌گیرند، نیز امکان‌پذیر است.

شکل ۲-۳۶ محل کاربرد دو نوع وصله GPW فوق‌الذکر را در قسمت‌های مختلف سازه نمایش می‌دهد.



شکل ۲-۳۶: محل کاربرد وصله‌های GPW معمولی و وصله‌های GPW کلاس A

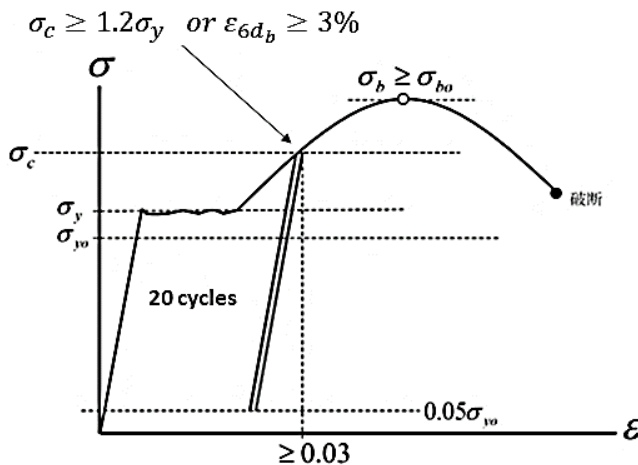
(JRJS 0007, 2017)

به‌طور کلی در وصله‌های GPW کلاس A علاوه بر معیار مقاومت، باید شکل‌پذیری لازم نیز تأمین شود. عملکرد این نوع وصله‌ها باید مطابق JRJS 0002 با استفاده از تست



کششی چرخه‌ای و تست خمش ارزیابی شود. محل شکست این نوع وصله‌ها در آزمون کشش نباید در سطح تماس جوش باشد.

برای تأیید عملکرد وصله‌های کلاس A جوشی یک آزمون بارگذاری چرخه‌ای کششی با ۲۰ بار تکرار بین ۱/۲ برابر تنش تسلیم واقعی و ۰/۰۵ تنش تسلیم اسمی نمونه مورد نیاز است. پروتکل بارگذاری استاندارد JRJS 0008 در شکل ۲-۳۷ نشان داده شده است. شایان ذکر است که برای تأیید وصله‌های مکانیکی به عنوان کلاس A علاوه بر آزمون کشش، دو آزمون چرخه‌ای کششی - فشاری الاستیک و غیرالاستیک نیز در این استاندارد تعریف شده است.



شکل ۲-۳۷: پروتکل بارگذاری تست سیکلیک کششی برای وصله‌های جوشی (JRJS 0008, 2017)

برای پذیرش وصله فورجینگ به عنوان کلاس A باید معیارهای زیر برآورده شود:

$$(1) \text{ معیار تنش تسلیم: } \sigma_y \geq \sigma_{y0}$$

$$(2) \text{ معیار مقاومت نهایی: } \sigma_b \geq \sigma_{b0}$$

تبصره: در صورتی که شکست به جای فلز پایه، در محل جوش باشد (به غیر از سطح تماس میلگردها)، باید شرط زیر نیز برآورده شود:

$$\sigma_b \geq 1.35 \sigma_y \text{ (1.30 } \sigma_y \text{ for SD490)}$$



اجرای وصله‌های کلاس A باید توسط شرکت مجری جوش فشاری گازی کلاس A صورت پذیرد. جوشکاری وصله‌های کلاس A الزاماً باید توسط تکنسین دارای گواهینامه سطح ۳ یا ۴ انجام شود. برای هر پروژه و برای تمامی جوشکاران انجام حداقل ۳ مورد آزمون پیش از ساخت^۱ بر روی بزرگترین قطر میلگرد وصله شونده ضروری است. آزمون پیش از ساخت شامل بازرسی چشمی به اضافه آزمون خمش (مطابق JIS 3120) یا آزمون کششی سیکلیک (مطابق JRJS 0002) است.

بازرسی وصله‌های GPW کلاس A همانند وصله‌های GPW معمولی شامل بازرسی چشمی برای تمام جوش‌ها و تست التراسونیک به صورت نمونه‌برداری موردی است. معیار پذیرش یا عدم پذیرش جوش، طبق استاندارد برابر 26 dB- است که نسبت به معیار پذیرش سایر وصله‌های فورجینگ به میزان 2 dB سختگیرانه‌تر است. نمونه‌برداری تصادفی برای آزمون التراسونیک باید مانند سایر وصله‌ها حداقل ۳۰ مورد جوش از هر «بخش تحت بازرسی»^۲ (حدود ۲۰۰ جوش انجام شده در یک شیفت کاری) باشد؛ در صورتی که از ۳۰ نمونه تست شده تعداد نمونه‌های رد شده صفر باشد، آن بخش مورد تأیید قرار گرفته و با یک مورد جوش رد شده در تست التراسونیک، آن بخش مورد تأیید نخواهد بود. در بخش‌های تأیید نشده، ۱۰۰٪ جوش‌ها باید UT شوند و جوش‌هایی که تست را پاس کنند، مورد پذیرش قرار خواهند گرفت. چنانچه یک «بخش تحت بازرسی» در تست التراسونیک تأیید نشود، یا بیش از ۵٪ جوش‌ها در بازرسی چشمی رد شوند اجرای جوشکاری در آن بخش باید متوقف شود. برای ادامه کار، دلیل ایجاد و بروز مشکل در کیفیت جوشکاری باید بررسی شود، راهکارهای لازم برای جلوگیری از تکرار مشکلات برآورد و کنترل شده و تأیید دستگاه نظارت برای ادامه و ازسرگیری کار اخذ

^۱ Pre-construction test

^۲ Inspection Lot



شود. جوش‌های تأیید نشده باید بریده شوند و جوش مجدد انجام شود. جوش‌های مجدد باید توسط بازرسی چشمی و تست التراسونیک ارزیابی شود.

۲-۴ ضوابط استاندارد نیوزیلند

۲-۴-۱ انواع وصله جوشی

مطابق استاندارد سازه‌های بتنی نیوزیلند NZS 3101 وصله‌های جوشی در دو کلاس طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- وصله جوشی «استحکام کامل^۱»: وصله‌ای است که در آن میلگردها به صورت سربه‌سر جوش داده می‌شوند تا مقاومت کششی به اندازه مقاومت نهایی میلگرد را تأمین نمایند.

۲- وصله جوشی «استحکام بالا^۲»: وصله‌ای است که در آن میلگردها با اتصال پوششی جوشی یا جوش سربه‌سر متصل می‌شوند تا مقاومت کششی به اندازه مقاومت تسلیم مشخصه میلگرد را تأمین نمایند.

این استاندارد برای وصله جوشی سربه‌سر در آرماتورها با تنش تسلیم مشخصه بیش از ۴۵۰ مگاپاسکال تصریح می‌نماید که وصله این رده آرماتورها نباید به عنوان وصله استحکام کامل طبقه‌بندی شود، مگر اینکه آرماتورها به تنش تسلیم نرسیده یا آزمایش نمونه میلگرد اصلی با پروسه جوشکاری مورد استفاده، نشان دهد که شکست میلگرد خارج از ناحیه جوش اتفاق می‌افتد.

۱ Full strength

۲ High strength

۲-۴-۲ کاربرد انواع وصله جوشی

مطابق استاندارد نیوزلند، وصله‌های جوشی با استحکام کامل را می‌توان در هر موقعیتی استفاده کرد. برای سایر وصله‌ها دیگر محدودیت‌های زیر اعمال می‌شود:

(الف) هیچ بخشی از وصله نباید در ناحیه اتصال تیر به ستون، یا در فاصله یک برابر ارتفاع مؤثر عضو از محل مفصل پلاستیک بالقوه در تیر قرار گیرد، که در آن تغییر جهت تنش در میلگردهای وصله شده ممکن است رخ دهد.

(ب) در ستون‌های قاب‌های خمشی، مرکز وصله باید در یک چهارم میانی ارتفاع طبقه باشد، مگر اینکه با روش‌های مشخص شده در پیوست D استاندارد NZS 3101 بتوان نشان داد که از تشکیل مفصل پلاستیک جلوگیری می‌شود.

۳-۴-۲ جوشکاری آرما تورها

مطابق استاندارد سازه‌های بتنی نیوزیلند NZS 3101 و نیز استاندارد جوشکاری میلگرد استرالیا و نیوزیلند AS/NZS 1554.3 جوشکاری میلگردهای تولید شده با عملیات حرارتی (فرآیند کوئنچ و تمپر) مجاز نیست.

۴-۴-۲ الزامات جوشکاری فشاری گازی میلگردها در استاندارد نیوزیلند

روش انجام جوش فشاری گازی تحت عنوان flame pressure welding و بازرسی آن در آیین‌نامه جوشکاری میلگردهای استرالیا و نیوزیلند AS/NZS 1554.3 آمده است که مشابه با مراحل این روش در استانداردهای ژاپنی است.

روش جوشکاری باید قبل از شروع جوشکاری میلگردها تأیید شود. پیمانکار باید روش جوشکاری و تنظیمات دستگاه برای هر رده و قطر میلگرد را در سندی به عنوان «روش جوشکاری^۱» فهرست نماید.

^۱ welding procedure sheet



این رویه باید شامل موارد زیر باشد:

الف) فشار اعمالی

ب) مدت زمان گرمایش

ج) نوع مشعل

د) فشار گاز

تأیید روش جوشکاری باید با تهیه مجموعه‌ای از نمونه وصله‌های آزمایشی میلگردها مطابق با مشخصات میلگردهای مورد استفاده و آزمایش نمونه‌ها انجام می‌شود. آزمایش‌های کنترل تولید^۱ برای اطمینان از اینکه اتصالات همچنان با الزامات کیفی مطابقت دارند، باید به شرح زیر انجام شود:

الف) در شروع هر شیفت تولید، دو جوش باید توسط هر جوشکار ساخته شود، که یکی از آنها باید تحت آزمایش خمش و دیگری تحت آزمایش کشش قرار گیرد.

ب) در طول شیفت، حداقل یک جوش دیگر باید توسط هر جوشکار انجام شود که باید تحت آزمایش کشش قرار گیرد.

فصل سوم: مرور تحقیقات

۱-۳ مقدمه

این فصل به شناسایی و بررسی مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در خصوص وصله آرماتورهای فولادی در سازه‌های بتن‌آرمه به روش جوش فشاری گازی (فورجینگ) شامل مطالعات انجام شده در ایران و نیز مطالعات خارجی که عمدتاً شامل مطالعات صورت پذیرفته در کشورهای ژاپن و نیوزیلند می‌باشد، پرداخته است. جمع‌آوری اطلاعات و بررسی کتابخانه‌ای مدارک علمی مرتبط با موضوع فورجینگ آرماتورها از جنبه سازه‌ای و نیز جنبه متالورژی مورد توجه قرار گرفته است.

۲-۳ سابقه روش و تحقیقات انجام شده در ژاپن و امریکا

استاندارد مربوط به اتصال فورجینگ میلگردها که امروزه از آن به عنوان مرجع اجرا و کنترل استفاده می‌شود، حاصل بازننگری‌ها و تجربیات عینی بوده که در طول بیش از شصت سال و در خلال زلزله‌های مختلف ژاپن تکمیل و مورد آزمون واقعی قرار گرفته است.

در خصوص یکی از این تجربیات بسیار مهم می‌توان به زلزله کوبه ژاپن اشاره کرد، که در ژانویه سال ۱۹۹۵، شهر ۵ میلیون نفری کوبه را لرزاند. از جمله سازه‌هایی که در



این زلزله به شدت تخریب شد، سیستم شاهراه هانشین (شکل شماره ۳-۱) بود که در آن از تکنولوژی جوش فشاری گازی میلگرد در ستون‌های پل استفاده شده بود.



شکل ۳-۱: شکست بخشی از پل بزرگراهی هانشین در زلزله کوبه ۱۹۹۵

(Ghosh, 1995)

گوش (Ghosh) و همکاران در جریان مشاهدات خود پس از وقوع زلزله کوبه و در قالب گزارشی، به شکست مکرر این نوع جوش‌ها در پل‌های قدیمی و موارد کمتر شکست این نوع جوش‌ها در ساختمان‌های قدیمی، در مقایسه با پل‌ها اشاره نمودند؛ در حالی که همین گزارش، شکست جوش‌های فورجینگ میلگردها در ساخت و سازهای جدید را بسیار نادر گزارش نموده است (Ghosh, 1995). گزارش ویژه منتشر شده توسط Ghosh در ژورنال pci علت شکست وصله‌های جوشی ستون‌ها را عمدتاً ضعف اولیه در انجام این فرآیند جوشکاری دانسته که مشخصاً با تکامل این روش و بازنگری استانداردهای مربوطه در سازه‌های جدیدتر، گسیختگی این نوع وصله جوشی نادر بوده است. همچنین گزارش EQE در خصوص زلزله کوبه نیز به شکست وصله‌های فورجینگ اجرا شده در یک مقطع در پل بزرگراهی هانشین اشاره دارد (شکل ۳-۲)؛ هرچند که شکست وصله‌های جوشی پس از شکست برشی ستون رخ داده و عامل خرابی پل نبوده است (EQE International, 1995).



شکل ۳-۲: شکست وصله‌های فورجینگ در پل بزرگراهی هانشین - زلزله کوبه ۱۹۹۵

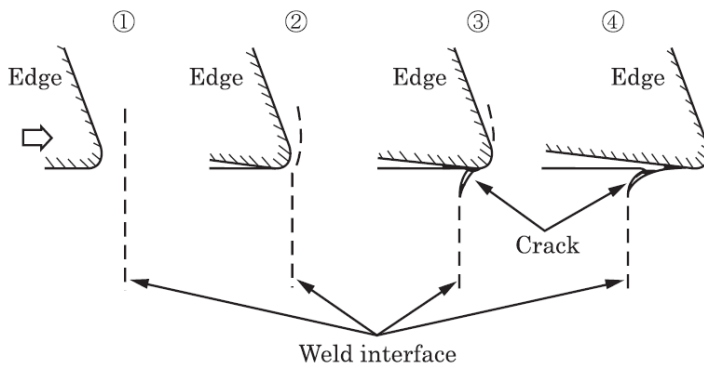
(EQE International, 1995)

با توجه به شکست‌های مشاهده شده در وصله‌های فورجینگ طی زلزله ۱۹۹۵ کوبه و لزوم کنترل کیفیت بالاتر بر روی این نوع جوش‌ها، یاماموتو و همکاران روش برداشتن گرده جوش با پیرایش داغ (هات پانچ یا هات تریم^۱) را برای بازرسی جوش، بلافاصله پس از جوشکاری، پیشنهاد نمودند (Yamamoto et al., 2002). در کشور ژاپن اغلب وصله‌های میلگردها با استفاده از وصله جوشی فشاری گازی صورت می‌پذیرد، که دلیل این امر کارایی بهتر این روش نسبت به سایر روش‌ها عنوان شده است. بازرسی با استفاده از تست اولتراسونیک UT که به طور گسترده‌ای برای جوشکاری فورجینگ در کشور ژاپن مورد استفاده قرار گرفته است، با مشکلاتی شامل عدم امکان بازرسی بخش بیرونی‌تر محل تماس میلگردهای جوش شده و لزوم وقفه زمانی برای خنک شدن جوش‌ها پیش از انجام آزمایش، مواجه است. با توجه به موارد فوق از یک سو و از سوی دیگر حجم بالای جوش‌ها و نیاز به انجام تعداد زیادی آزمایش و نیز مدفون شدن جوش‌های آرماتورها در بتن که امکان بازرسی جوش‌ها را در آینده غیرممکن می‌سازد، روش‌های جایگزین برای اطمینان از کیفیت این جوش مد نظر قرار گرفته است.

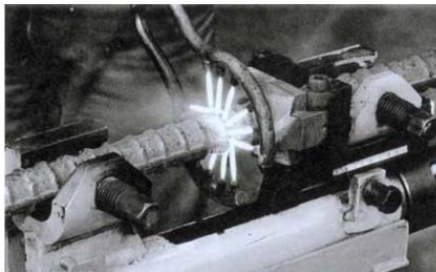
^۱ Flash removal by Hot Shearing (Hot trim or Hot punch)



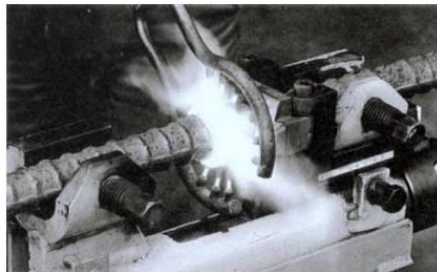
در روش «برداشتن گرده اضافی جوش با برش داغ» (هات پانچ یا هات تریم) با حذف قسمت برجسته (گرده جوش) بلافاصله پس از جوشکاری توسط ابزار برش خاصی که روی دستگاه جوشکاری فورجینگ نصب شده است، این امکان به جوشکار داده می‌شود که بازرسی چشمی جوش را انجام داده و هرگونه نواقص در سطح جوش را مشاهده نماید (شکل‌های ۳-۳ تا ۳-۷).



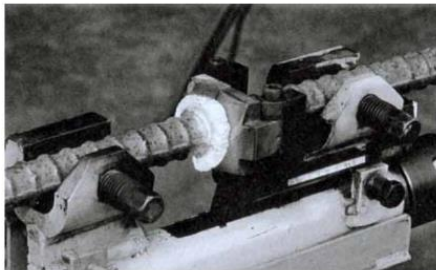
شکل ۳-۳: تصویر شماتیک مراحل روش هات پانچ (Yamamoto *et al.*, 2002)



(a) Gas pressure welding (early stage)



(b) Gas pressure welding (final stage)



(c) Start of hot shearing



(d) Finish of hot shearing

شکل ۳-۴: مراحل روش هات پانچ (Yamamoto *et al.*, 2002)



شکل ۳-۵: ظاهر سطح جوش قابل قبول پس از هات پانچ (Yamamoto *et al.*, 2002)



شکل ۳-۶: نمونه‌ای از ترک مشاهده شده روی سطح جوش پس از هات پانچ (Yamamoto *et al.*, 2002)



شکل ۳-۷: نمونه‌ای از نواقص مشاهده شده ناشی از حرارت بیش از حد^۱ حین جوشکاری بر روی سطح جوش پس از هات پانچ (Yamamoto *et al.*, 2002)

در این پژوهش قابلیت اطمینان بازرسی با استفاده از روش هات پانچ در مقایسه با تست‌های UT و PT بررسی گردید. کارایی این روش در مقایسه با سایر روش‌های بازرسی، نشان دهنده قابلیت اطمینان بالاتر روش هات پانچ در مقایسه با روش‌های یادشده می‌باشد. جدول ۳-۱ نتایج بررسی قابلیت اعتماد روش هات پانچ را در ارزیابی کیفیت جوش فورجینگ آرماتور در مقایسه با روش التراسویک و رنگ نافذ بر روی یک جامعه آماری متشکل از ۱۳۵ وصله جوشی نشان می‌دهد. همانگونه که در جدول مذکور مشخص است، درصد خطای روش پیرایش داغ (هات پانچ) در ارزیابی کیفیت جوش‌ها

^۱ overheat

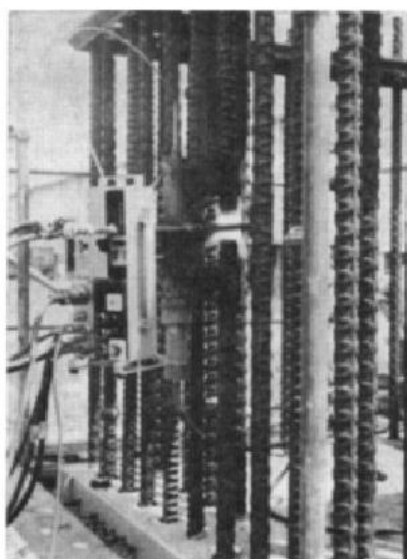


حدود ۸٪ بوده است که تقریباً نصف دو روش ارزیابی دیگر، یعنی آزمون التراسونیک و تست رنگ نافذ می‌باشد.

جدول ۳-۱: نتایج بررسی قابلیت اعتماد روش هات پانچ را در ارزیابی کیفیت جوش فورجینگ آرماتور در مقایسه با روش التراسونیک و رنگ نافذ (Yamamoto *et al.*, 2002)

	Hot shearing method		Ultrasonic method		Penetrant method	
	Acceptable	Unacceptable	Acceptable	Unacceptable	Acceptable	Unacceptable
Qualified	61	1	59	3	62	0
Disqualified	10	63	19	54	23	50
Misjudgment ratio	(10+1)/135=8.1%		(19+3)/135=16.3%		(23+0)/135=17.0%	

تاکنون و همکاران، روش اتوماتیک جوشکاری فشاری گازی را در سال ۱۹۷۷ در کشور ژاپن برای آرماتورهای با قطر بالا توسعه دادند (Takano *et al.*, 1977). با توجه به استفاده گسترده از روش GPW برای وصله آرماتورها در کشور ژاپن و وابستگی شدید این روش به مهارت نیروی کار و شرایط کارگاهی، به منظور بهبود کیفیت و قابلیت اعتماد وصله‌های جوشی GPW، سیستم جوشکاری اتوماتیک با این روش ابداع گردیده است. این سیستم شامل یک دستگاه پرتابل و ادوات کنترل مربوطه به منظور اعمال کنترل مرحله‌ای بر فرآیند جوشکاری است. در شکل ۳-۸ تصاویر دستگاه جوش اتوماتیک در حال انجام جوشکاری میلگردهای قائم و افقی یک سازه بتن‌آرمه نمایش داده شده است.

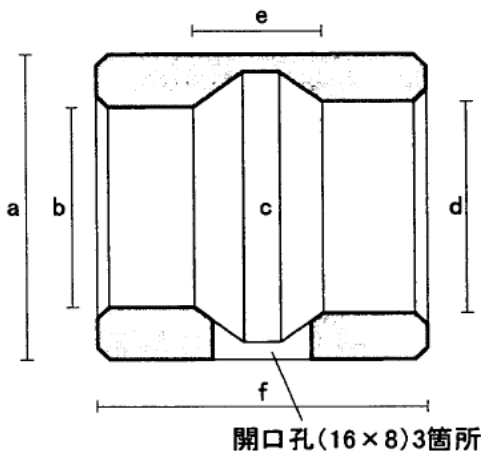
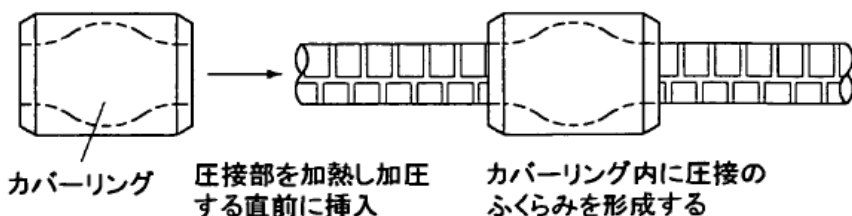


شکل ۳-۸: دستگاه جوش اتوماتیک در حال انجام جوش میلگردهای قائم و افقی سازه بتن‌آرمه (Takano *et al.*, 1977)



آزمایشات بر روی وصله‌های جوشی اجرا شده با دستگاه فوق‌الذکر نشان دهنده کیفیت قابل قبول این روش و نیز دستگاه مورد استفاده بوده است (Takano et al., 1977).

میتسویی (۲۰۰۲) برای جوشکاری فشاری گازی میلگردهای مقاومت بالا، یک روش جدید با استفاده از یک سیلندر توخالی با تقعر داخلی مطابق شکل ۳-۹ برای قرار گرفتن روی جوش قبل از اعمال فشار و تشکیل گرده جوش ابداع نموده و کفایت روش فوق برای جوشکاری میلگردهای SD490 نشان داده شد (Mitsui et al., 2002).



	a	b	c	d	e	f
D25	46	30	38	32	19	50
D29	52	34	46	36	21	54

(mm)

شکل ۳-۹: دستگاه پیشنهادی میتسویی و همکاران برای جوش فورجینگ

(Mitsui et al., 2002)



ناریهارا و همکاران در سال ۲۰۰۴ عملکرد وصله‌های جوشی GPW آرماتورها را بر اساس مطالعات کمیته وصله آرماتور در «انجمن جوش فشاری ژاپن»^۱ مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌های بارگذاری کششی چرخه‌ای و آزمایش‌های خمش انجام شده توسط این کمیته بر روی وصله جوشی فشاری گازی آرماتورها، نشان می‌دهد که تقریباً تمامی وصله‌های جوشی فشاری گازی با معیارهای استاندارد JPWS عملکرد مناسبی برای وصله یک‌درمیان^۲ در ناحیه مفصل پلاستیک یا وصله هم‌راستا^۳ در ناحیه خارج از مفصل پلاستیک عضو دارد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که برای وصله میلگردهای مقاومت بالا رده SD490، در نظر گرفتن ملاحظات اضافی دیگری نیز ضروری می‌باشد (Narihara *et al.*, 2004). در زمان انجام این پژوهش در کشور ژاپن، دستورالعمل شماره ۱۴۶۳ دولت^۴ و الزامات وصله‌های آرماتورها در استانداردهای این کشور، تأیید عملکرد وصله‌ها را از طریق انجام تست الزام می‌نموده است.

مطابق استانداردهای ژاپن، وصله‌ها در چهار کلاس SA، A، B و C طبقه‌بندی می‌شوند. عملکرد وصله‌ها بر اساس معیارهای مقاومت، سختی، ازدیاد طول و لغزش ارزیابی می‌شوند. طبقه‌بندی وصله‌های آرماتورها مطابق مرجع ژاپنی «دستورالعمل طراحی، ساخت و ارزیابی وصله و مهارهای میلگردهای فولادی»^۵، در چهار کلاس به شرح زیر است (Ishibashi *et al.*, 2007):

(۱) وصله‌های کلاس SA که از نظر مقاومت، سختی، جذب انرژی و ... معادل فلز پایه (میلگرد وصله شونده) هستند.

۱ The subcommittee for the performance of splices in JPWS

۲ alternate

۳ aligned

۴ Ministry of Construction Notification No. 1463-2000

۵ Recommendations for Design, Fabrication and Evaluation of Anchorages and Joints in Reinforcing Bars [2007]

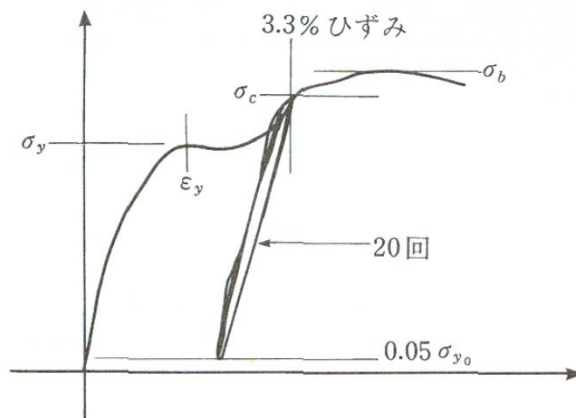


۲) وصله‌های کلاس A که صرفاً از نظر مقاومت و سختی معادل فلز پایه (میلگرد وصله شونده) بوده، لیکن از سایر جنبه‌ها مانند جذب انرژی و شکل‌پذیری، دارای کیفیت پایین‌تری هستند.

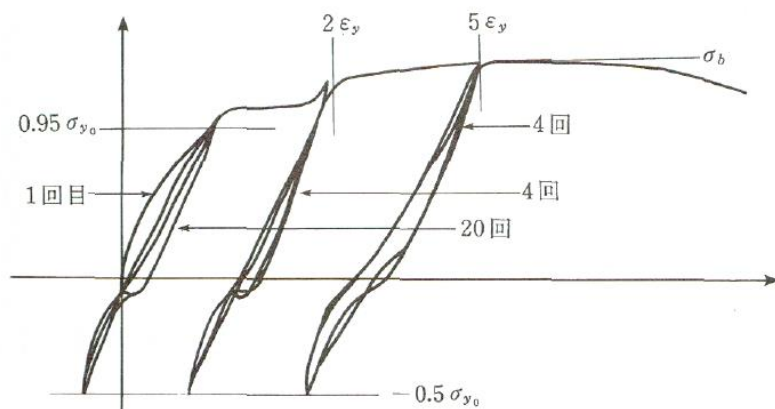
۳) وصله‌های کلاس B که صرفاً مقاومت معادل میلگرد وصله شونده دارند.

۴) وصله‌های کلاس C که مقاومتی کمتر از مقاومت میلگرد وصله شونده دارند.

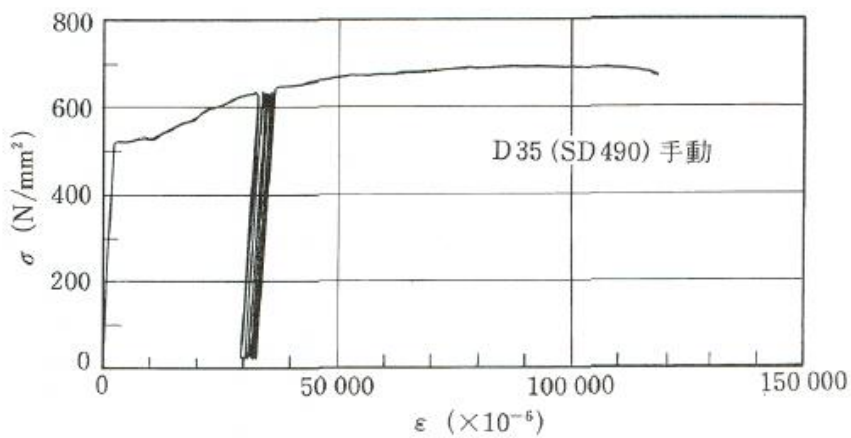
طبق مطالعات انجام شده توسط ناریهارا و همکاران بر روی وصله‌های جوشی میلگردهای رده SD345، SD390 و SD490 با قطرهای ۲۵ تا ۵۱ میلیمتر، میلگردهای تست شده، معیارهای پذیرش تست‌های سیکلیک مربوط به کلاس SA را برآورده ساخته‌اند؛ ولی نمونه‌های SD490 در تست خمش پذیرفته نشده‌اند (Narihara et al., 2004). نتایج تحقیقات ناریهارا و همکاران در شکل‌های ۳-۱۰ تا ۳-۱۳ و جداول ۳-۲ و ۳-۳ نشان داده شده است.



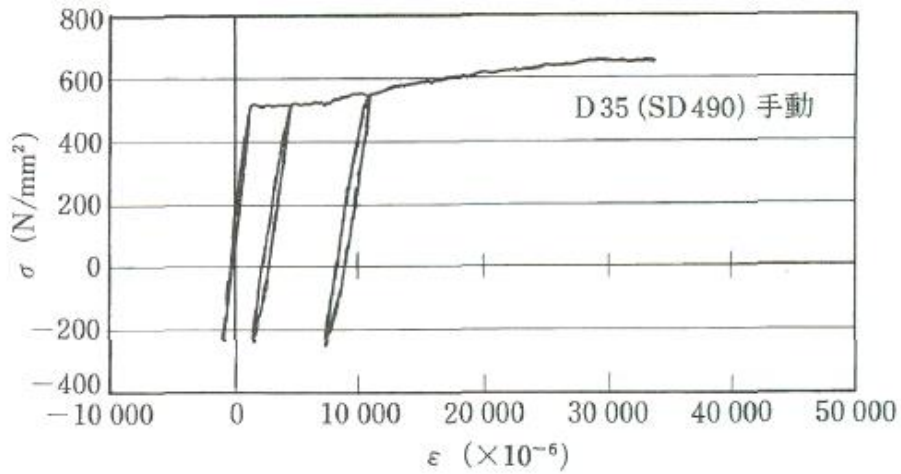
شکل ۳-۱۰: پروتکل بارگذاری سیکلیک یک جهته آرماتورها (Narihara et al., 2004)



شکل ۳-۱۱: پروتکل بارگذاری سیکلیک آرماتورها در ناحیه الاستوپلاستیک (Narihara et al., 2004)



شکل ۳-۱۲: نمونه‌ای از نتایج آزمایش سیکلیک یک جهته (Narihara et al., 2004)



شکل ۳-۱۳: نمونه‌ای از نتایج آزمایش سیکلیک در ناحیه الاستوپلاستیک (Narihara et al., 2004)

جدول ۳-۲: نتایج تست سیکلیک یک جهته (Narihara et al., 2004)

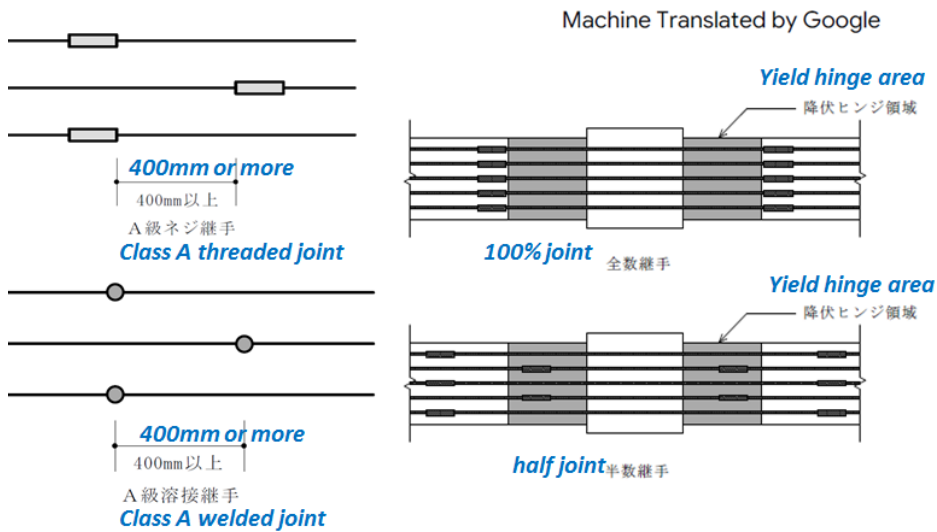
	呼び名	鋼種	降伏点 σ_y (N/mm ²)	引張強さ σ_b (N/mm ²)	破断位置	ϵ_y ($\times 10^{-6}$)
手 動 圧 接	D 25	SD 345	397	570	母材	1 829
	D 29	SD 345	392	566	母材	—
		SD 390	442	639	母材	—
	D 35	SD 390	428	627	母材	—
		SD 490	521	686	母材	2 214
	D 41	SD 390	444	629	母材	—
		SD 490	518	691	母材	—
	D 51	SD 345	394	570	母材	—
熱 間 押 抜	D 25	SD 345	397	570	母材	1 818
	D 29	SD 345	395	565	母材	—
		SD 390	439	628	母材	—
	D 35	SD 390	428	624	母材	—
		SD 490	516	683	母材	2 288



جدول ۳-۳: نتایج تست سیکلیک در ناحیه الاستوپلاستیک (Narihara et al., 2004)

呼び名	鋼種	試験材番号	一方向繰返し試験	弾性域正負繰返し試験					塑性域正負繰返し試験					破断強度	破断位置
				剛性		すべり量		すべり量 (2ε _y 時)			すべり量 (5ε _y 時)				
				ε _y (×10 ⁻⁶)	1 _c E (N/mm ²)	20 _c E (N/mm ²)	20 _c E/1 _c E	20 _c δ _s (mm)	4 _c ε _s (×10 ⁻⁶)	4 _c ε _s /ε _y	4 _c δ _s (mm)	8 _c ε _s (×10 ⁻⁶)	8 _c ε _s /ε _y		
			—	—	≥0.85	≤0.3	—	≤0.5	≤0.3	—	≤1.5	≤0.9	≥σ ₅₀	母材	
D 25	SD 345	DA-1 (12)	—	206 000	207 000	1.00	0.0	21	0.0	0.0	221	0.1	0.0	578	母材
		DA-2 (14)	—	241 000	259 000	1.07	0.0	205	0.1	0.0	340	0.2	0.1	588	母材
		DA-3 (16)	—	310 000	264 000	0.85	0.0	-52	0.0	0.0	83	0.0	0.0	606	母材
		平均	1 829				0.0							591	—
		DE-1 (11)	—	407 000	389 000	0.96	0.0	217	0.1	0.1	436	0.2	0.1	691	母材
D 35	SD 490	DE-2 (12)	—	225 000	226 000	1.00	0.0	295	0.1	0.1	467	0.2	0.1	695	母材
		DE-3 (14)	—	203 000	199 000	0.98	0.0	84	0.0	0.0	382	0.2	0.1	696	母材
		DE-4 (16)	—	208 000	211 000	1.01	0.0	214	0.1	0.1	337	0.2	0.1	691	母材
		平均	2 214											694	—

اوگاتا (2015) در مقاله‌ای در خصوص طراحی وصله‌های مکانیکی و جوشی آرماتورها در دو کلاس SA و A، وصله‌های جوشی را با توجه به وابستگی کیفیت آن به مهارت جوشکار، صرفاً در کلاس A طبقه‌بندی نموده است. البته وصله‌های مکانیکی می‌توانند در هر دو کلاس SA و A اجرا شوند. همچنین محل وصله‌های کلاس A در مجاورت ناحیه بحرانی اعضای بتن‌آرمه، مطابق شکل ۳-۱۴ پیشنهاد شده است (Ogata, 2015).



شکل ۳-۱۴: محل کاربرد وصله‌های کلاس A در سازه‌های بتن‌آرمه (Ogata, 2015)



ایشیباشی (۲۰۰۷) و هیسادا (۲۰۲۰) مروری بر ویرایش‌های مختلف «راهنمای طراحی و اجرای مهارها و وصله‌های آرماتورها»^۱ منتشر شده توسط انجمن مهندسان عمران ژاپن^۲ منتشر نمودند (Hisada et al., 2020 & Ishibashi et al., 2007). اولین ویرایش سند مذکور در سال ۱۹۸۲ در ژاپن منتشر شد و متعاقباً در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۲۰ بازنگری گردید. این راهنما شامل ضوابط و الزامات مهارهای مکانیکی، وصله‌های GPW، وصله‌های جوشی و وصله‌های مکانیکی آرماتورها است. مطابق ویرایش ۲۰۲۰ سند فوق‌الذکر، وصله‌های مکانیکی در کلاس‌های C الی SA و وصله‌های جوشی در کلاس‌های C الی A طبقه‌بندی می‌شوند. ضمن آنکه وصله‌های GPW می‌توانند در کلاس SA نیز قرار گیرند (Hisada et al., 2020).

۳-۳ مطالعات انجام شده در ایران

شریبتدار و همکاران در پژوهشی در دانشگاه سمنان به مقایسه تجربی رفتار تیرهای بتن‌آرمه ساخته شده با استفاده از وصله پوششی و وصله جوشی GPW در چهار نمونه با ابعاد و آرماتور یکسان پرداختند (Sharbatdar et al., 2018). چهار نمونه مورد بررسی شامل نمونه شاهد (بدون وصله)، نمونه با ۱۰۰٪ وصله پوششی، نمونه با ۱۰۰٪ وصله جوشی و نمونه با ۵۰٪ وصله جوشی می‌باشند. نتایج آزمایشات، نشان‌دهنده افزایش شکل‌پذیری نمونه‌های تیرهای بتن‌آرمه در اثر وصله جوشی GPW بوده است. خلاصه‌ای از نتایج بدست آمده در پژوهش فوق بر روی نمونه‌های بدون وصله، با ۱۰۰٪ وصله پوششی، با ۱۰۰٪ وصله جوشی و نمونه با ۵۰٪ وصله جوشی در جدول ۳-۴ آمده است (Sharbatdar et al., 2018).

^۱ Recommendation for Design, Fabrication and Evaluation of Anchorages and Joints in Reinforcing Bars [2007, 2020]

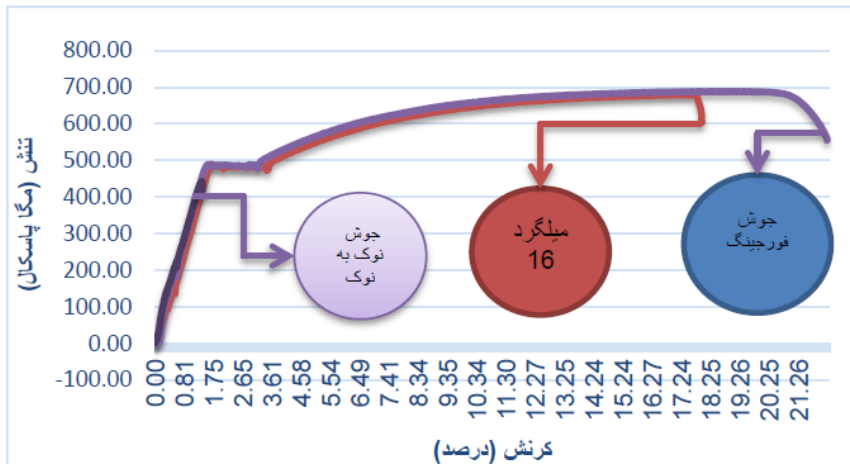
^۲ JSCE



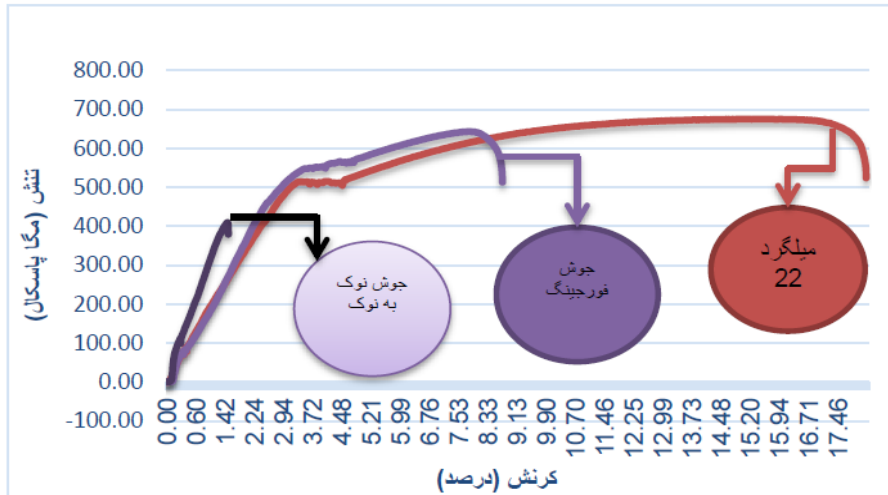
جدول ۳-۴: اثر وصله پوششی و وصله جوشی بر رفتار تیرهای بتنی (Sharbatdar et al., 2018)

Number	Name	P_{cr} (kN)	Δ_{cr} (mm)	P_{yr} (kN)	Δ_y (mm)	P_{max} (kN)	P_u (kN)	Δ_u (mm)
1	BR	39	3.12	229	11.41	260	221	8073
2	BOV	47	2.25	249	13.83	262	223	88.53
3	BF50	47	4.1	221	4.18	280	238	73.99
4	BF100	44	0.77	238	8.82	258	219	92.91

وطن دوست و میرزاخانی (۱۴۰۰) در پژوهشی به ارزیابی و مقایسه جوش نوک به نوک با الکتروود و جوش فورجینگ برای وصله میلگردهایی در سه قطر مختلف پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که جوش نوک به نوک هم به لحاظ رفتاری و شکل پذیری و هم به لحاظ تنش جاری شدگی نتوانسته نیازهای آیین‌نامه‌ای را برآورده نماید. در قطرهای مورد بررسی میلگرد با قطر کمتر، جوش فورجینگ و بخصوص جوش نوک به نوک بهتری داشته و بیشتر به نتایج مورد انتظار نزدیک است. برخی نتایج پژوهش فوق در شکل‌های ۳-۱۵ و ۳-۱۶ ارائه شده است.

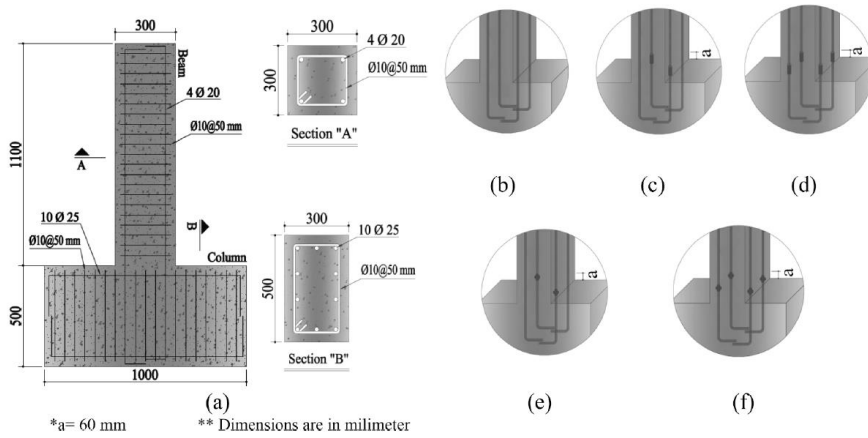


شکل ۳-۱۵: مقایسه رفتار نمونه‌های میلگرد ۱۶ (وطن دوست و میرزاخانی، ۱۴۰۰)



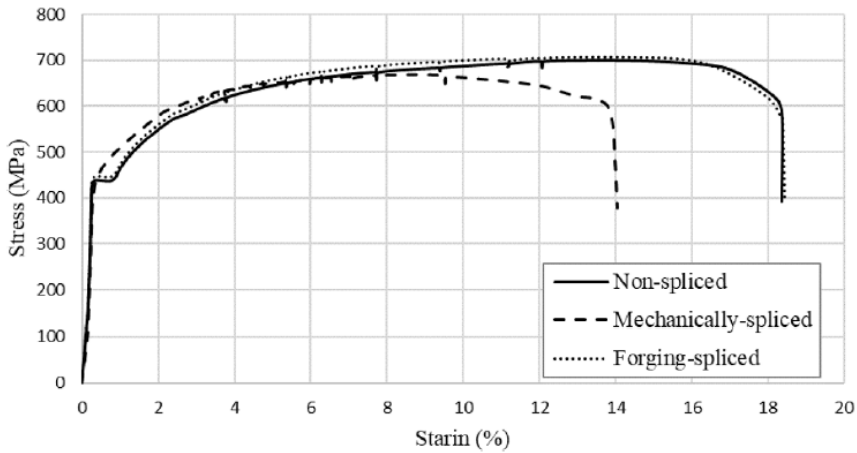
شکل ۳-۱۶: مقایسه رفتار نمونه‌های میلگرد ۲۲ (وطن دوست و میرزاخانی، ۱۴۰۰)

خیرالدین و دبیری (۲۰۲۰) عملکرد سیکلیک اتصال تیر به ستون بتن‌آرمه با وصله‌های فورجینگ و مکانیکی را مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. پنج نمونه اتصال تیر به ستون بتن‌آرمه با انواع متفاوت وصله ساخته شده و مورد آزمایش تحت بار محوری و سیکلیک قرار گرفتند. اثر نوع وصله و نیز مقدار وصله در مقطع بتن‌آرمه بر سختی، شکل‌پذیری و میزان جذب انرژی مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۳-۱۷ جزئیات نمونه‌های مورد بررسی در پژوهش خیرالدین و دبیری، نمایش داده شده است. همچنین منحنی رفتاری نمونه میلگردهای بدون وصله، میلگردهای با وصله مکانیکی و میلگردهای وصله شده با روش فورجینگ در شکل ۳-۱۸ و منحنی پوش بار- تغییر مکان جانبی نمونه‌های بررسی شده در این پژوهش در شکل ۳-۱۹ نمایش داده شده‌اند.



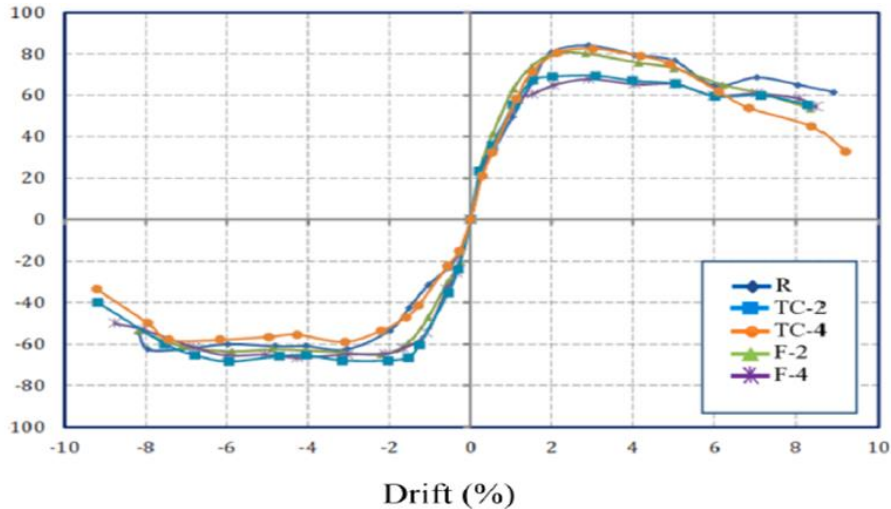
شکل ۳-۱۷: جزئیات نمونه‌های مورد بررسی در پژوهش خیرالدین و دبیری

(Kheyroddin & Dabiri, 2020)



شکل ۳-۱۸: منحنی تنش- کرنش نمونه میلگردهای بدون وصله، با وصله مکانیکی و فورجینگ

(Kheyroddin & Dabiri, 2020)



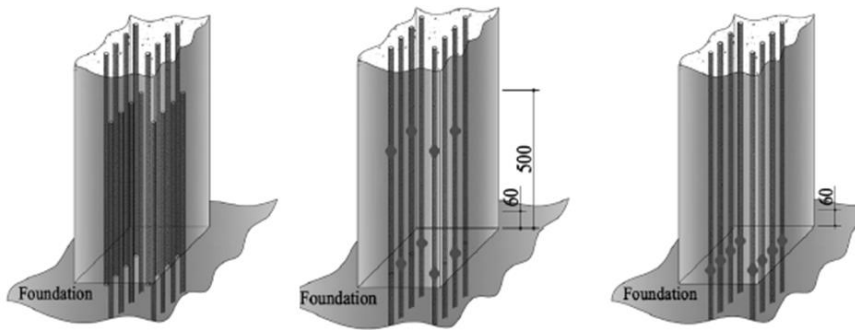
شکل ۳-۱۹: منحنی پوش بار- تغییر مکان جانبی نمونه‌های بررسی شده

(Kheyroddin & Dabiri, 2020)

در شکل ۳-۱۹ نمونه R نمونه شاهد (بدون وصله)، نمونه TC2 نمونه با وصله مکانیکی در ۲ میلگرد اصلی (۵۰٪)، نمونه TC4 نمونه با وصله مکانیکی در ۴ میلگرد اصلی (۱۰۰٪)، نمونه F2 نمونه با وصله فورجینگ در ۲ میلگرد اصلی (۵۰٪) و نمونه F4 نمونه با وصله فورجینگ در ۴ میلگرد اصلی (۱۰۰٪) هستند.

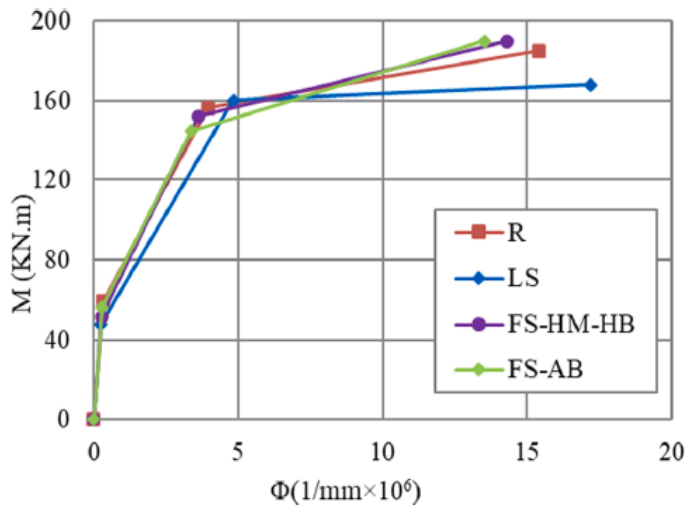
نتایج پژوهش فوق نشان‌دهنده کفایت و قابلیت اعتماد روش فورجینگ برای وصله آرماتورهای فولادی است؛ در حالی که وصله‌های مکانیکی احتمال دارد رفتار ناحیه اتصال سازه بتن‌آرمه را به میزان قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهند (Kheyroddin & Dabiri, 2020).

همچنین خیرالدین و همکاران (۲۰۲۱) رفتار ستون‌های بتن‌آرمه با وصله پوششی یا فورجینگ را با مطالعه تجربی تحت بارگذاری چرخه‌ای بررسی نمودند. نمونه‌های بررسی شده در این پژوهش به همراه نتایج حاصل شده به ترتیب در شکل‌های ۳-۲۰ و ۳-۲۱ نمایش داده شده است (Kheyroddin et al, 2021).



شکل ۳-۲۰: جزئیات ستون‌های مورد بررسی در پژوهش خیرالدین و همکاران

(Kheyroddin *et al.*, 2021)



شکل ۳-۲۱: مقایسه رفتار ستون‌های با وصله پوششی و جوش فورجینگ

(Kheyroddin *et al.*, 2021)

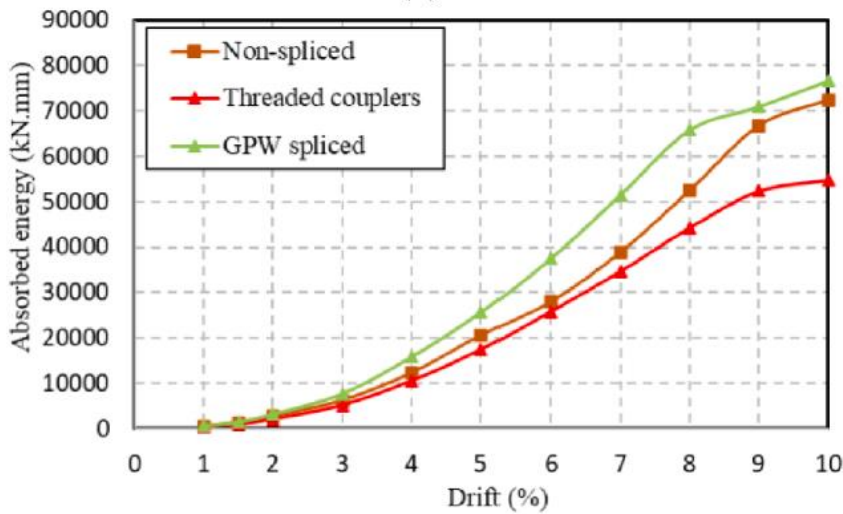
دبیری و همکاران (۲۰۲۲) در یک مقاله مروری، تحقیقات انجام شده در خصوص انواع وصله‌ها، از جمله وصله‌های جوشی را بررسی کردند. در این مقاله به حجم کم تحقیقات انجام شده در زمینه وصله‌های جوشی در مقایسه با وصله‌های پوششی و مکانیکی اشاره شده است. یکی از مهم‌ترین نتایج مورد اشاره در تحقیقات، رفتار بهتر المان‌های بتن‌آرمه ساخته شده با وصله جوشی نسبت به وصله پوششی و مکانیکی بوده است. دستیابی به

وصله جوشی فورجینگ با کیفیت قابل قبول، نیازمند نیروی کاری ماهر جوشکار می‌باشد. فشار، حرارت و یا زمان ناکافی در این پروسه جوشکاری می‌تواند منجر به شکست وصله‌های اجرا شده گردد (شکل ۳-۲۲)؛ که نمونه‌هایی از آن در زلزله ۱۹۹۵ کوبه در ژاپن مشاهده شده است (Dabiri et al., 2022).



شکل ۳-۲۲: وصله جوش فورجینگ نامناسب: الف) خروج از محوریت غیر قابل قبول (ب) فشار ناکافی (پ) حرارت ناکافی (Dabiri et al., 2022)

مقایسه نتایج حاصل شده در تحقیقات پیشین در خصوص عملکرد وصله‌های پوششی، مکانیکی و جوشی فورجینگ، نشان دهنده عملکرد بهتر وصله‌های جوشی و مکانیکی در مقایسه با وصله‌های پوششی می‌باشد. مقایسه وصله‌های مکانیکی و جوشی با توجه به کمبود تحقیقات انجام پذیرفته در حال حاضر با قطعیت امکان‌پذیر نیست؛ لیکن تحقیقات محدود انجام شده نشان دهنده این است که عملکرد وصله جوشی فورجینگ در مقایسه با وصله‌های مکانیکی بهتر بوده است (Dabiri et al., 2022). در شکل ۳-۲۳ جذب انرژی اتصال تیر به ستون بدون وصله، با استفاده از کوپلر مکانیکی و با استفاده از وصله جوش فورجینگ با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.



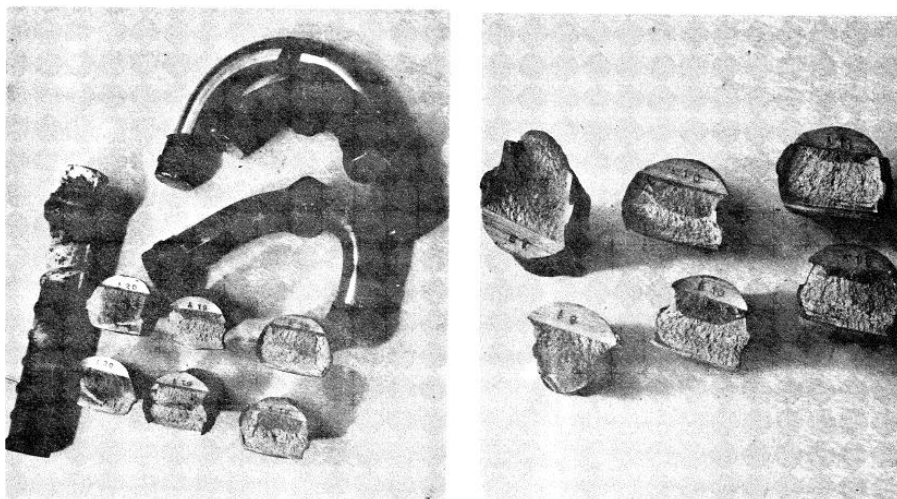
شکل ۳-۲۳: مقایسه جذب انرژی اتصال تیر به ستون بدون وصله، با استفاده از کوپلر مکانیکی و با استفاده از وصله جوش فورجینگ (Dabiri *et al.*, 2022)

۳-۴ مطالعات انجام شده در نیوزیلند

آرمسترانگ به بررسی استفاده موفقیت آمیز از روش فورجینگ برای بالغ بر ۳۰۰۰ وصله در میلگردهای یک ساختمان ۸ طبقه در کشور نیوزیلند و نحوه کنترل کیفیت این نوع جوش پرداخته است (Armstrong, 1971). شرایط لازم برای انجام صحیح روش و نیز آزمایشات لازم برای بازرسی این نوع جوش بررسی شده است. مطابق ضوابط New Zealand Ministry of Works وصله‌های جوشی باید مقاومتی بیش از مقاومت واقعی میلگرد (متفاوت از مقاومت مشخصه) داشته باشند. به دلیل گرمای ورودی^۱ بالای این نوع جوش، خنک شدن آن در هوای آزاد برخلاف جوشکاری با الکتروود به آهستگی صورت می‌پذیرد، که جوشکاری میلگردها با این روش را به سهولت امکان‌پذیر می‌سازد. این گزارش همچنین حاوی نتایج آزمایشات تأیید کفایت جوش و

^۱ heat input

گزارش متالورژیکی حاوی میکروگراف‌های نشان دهنده میزان کربن‌زدایی^۱ و ارزیابی جوش‌ها می‌باشد. آزمایشات انجام شده، نشان دهنده امکان کاهش یا حذف لایه دکرپوره^۲ در فولاد رده HY60 استاندارد NZS می‌باشد. لایه دکرپوره می‌تواند باعث ایجاد شکست مسطح^۳ در میلگردها شود که در آزمایش خمش نمونه‌های متعددی از آن مشاهده شده است (شکل ۳-۲۴).



شکل ۳-۲۴: شکست مسطح در نمونه‌ها (Armstrong, 1971)

این نوع شکست که مشخصه آن سطح صاف و خاکستری روشن در بخشی از سطح شکست است، نتیجه وجود ناخالصی‌های اکسیدی در درز جوش می‌باشد. لذا لایه دکرپوره باید فقط به ناحیه گرده جوش محدود شود و بخش مرکزی سطح جوش عاری از دکرپوریزاسیون باشد تا پیوند مستحکمی در محل جوش ایجاد شود. برای این منظور تمهیداتی از قبیل برش میلگردها بلافاصله قبل از انجام جوشکاری، تمرکز شعله کاهنده

^۱ decarburization

^۲ decarburized band

^۳ flat fracture



بر درز جوش در فاز ابتدایی پروسه جوشکاری برای محافظت حداکثری در مقابل نفوذ هوا به فلز گداخته و بستن درز جوش در حداقل زمان ممکن برای حداقل نمودن تشکیل لایه اکسیدی ضروری است. همچنین آزمایش کشش بر روی نمونه‌های تراشکاری شده، با قطر 1/16 in کمتر از قطر اسمی میلگرد در ناحیه گرده جوش، تعریف شده است. شکست این نمونه در بر محل جوش یا مجاورت آن بوده و لذا تنش نهایی کششی تحمل شده توسط مقطع کاهش یافته (که صفحه جوش در میانه طول آن قرار دارد) را اندازه‌گیری می‌کند. در کنترل وصله جوشی به عنوان جوش تمام-مقاومت، آزمایش بر روی اضافه مقاومت ناشی از افزایش سطح مقطع در محل گرده جوش حساب نمی‌شود (Armstrong, 1971).

شولز و رابرتز (۲۰۰۰) تأیید اتصال جوشی دو رده میلگرد جدید مقاوم در برابر زلزله 300 E و 500 E را بر اساس استانداردهای استرالیا و نیوزیلند به انجام رساندند. مشخصات مکانیکی میلگردهای مسلح کننده بتن، مطابق استاندارد نیوزیلند، در جدول ۳-۵ ارائه شده است. در جدول ۳-۵ حداقل مقدار نسبت مقاومت نهایی به تنش تسلیم (R_m/R_e) برای این منظور است که اطمینان حاصل شود که پس از تسلیم و افزایش طول میلگرد و قبل از شکست نهایی، تأمین شکل‌پذیری مورد نیاز در سازه امکان‌پذیر است. همچنین محدود کردن حداکثر مقدار (R_m/R_e) برای اطمینان از این است که سخت‌شوندگی کرنش^۱ فولاد منجر به اضافه مقاومت^۲ بیش از حد در عضو سازه نشود که این مسئله در طراحی بر اساس ظرفیت، حائز اهمیت می‌باشد. بر اساس استاندارد جوشکاری آرماتور استرالیا و نیوزیلند (AS/NZ 1554.3)، وصله جوشی دو

۱ strain hardening

۲ overstrength

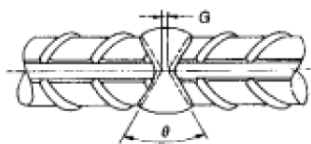
رده میلگرد فوق‌الذکر علاوه بر جوابگویی مقاومت میلگردهای جوش‌شده، باید نسبت مقاومت نهایی به تنش تسلیم ۱/۱۵ را نیز برآورده نماید (Scholz & Roberts, 2000).

جدول ۳-۵: مشخصات مکانیکی میلگردهای مسلح کننده مطابق استاندارد نیوزیلند

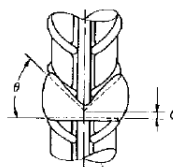
(NZS 4671, 2019)

Characteristic property	Specified value					Type of specified value
	250N ^a	500L ^b	500N	300E (Seismic)	500E (Seismic)	
Yield stress (MPa) $R_{ek,L}$	≥ 250	≥ 500	≥ 500	≥ 300	≥ 500	$C_{VL}; P = 0.95$
	—	≤ 750	≤ 650	≤ 380	≤ 600	$C_{VL}; P = 0.05$
Ratio $(R_m/R_e)_{k,L}$	≥ 1.08	≥ 1.03	≥ 1.08	≥ 1.15	≥ 1.15	$C_{VL}; P = 0.90$
	—	—	—	≤ 1.50	≤ 1.40	$C_{VL}; P = 0.10$
Uniform elongation (%) $A_{gt,k,L}$	≥ 5.0	≥ 1.5	≥ 5.0	$\geq 15.0^c$	≥ 10.0	$C_{VL}; P = 0.90$
	—	—	—	$\geq 12.0^d$	—	—

مشخصات نمونه وصله‌های سربه‌سر جوشی آزمایش شده در این پژوهش و نتایج آزمایش‌های انجام شده در شکل ۳-۲۵ و جدول ۳-۶ ارائه شده است. همچنین مشخصات نمونه وصله‌های غیرمستقیم و پوششی جوشی آزمایش شده در پژوهش مذکور به همراه نتایج حاصل شده، در شکل ۳-۲۶ و جدول ۳-۷ ارائه شده است.



Double V butt splice BD-3a (AS 1554.3)



Double-bevel butt splice BD-5 (AS 1554.3)

شکل ۳-۲۵: وصله‌های سربه‌سر جوشی تست شده توسط شولز و رابرتز

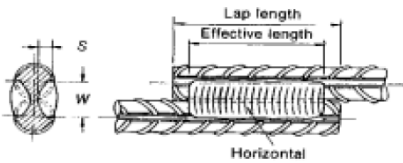
(Scholz & Roberts, 2000)



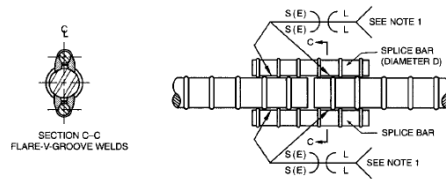
جدول ۳-۶: نتایج تست وصله‌های سربه‌سر جوشی

(Scholz & Roberts, 2000)

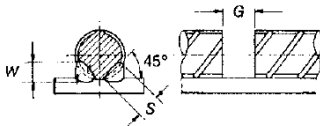
Process	Specimen No E Grade - Bar ϕ - Ident. No.	Electrode Classifi- cation	UTS N/mm ²	YS N/mm ²	Tensile/ yield Ratio	Overall Elongation %	Place of Fracture
MMAW	300-32-b1-C	E41 12-0	471	306	1.54	20	HAZ
MMAW	300-32-b16-W	E4818	481	311	1.55	27	55, from weld
MMAW	500-32-b7-W	E6215	647	510	1.27	21	30mm from weld
MMAW	500-32-b8-C	E5518	649	510	1.27	24	40mm from weld
GMAW	300-16-BD3a-F2.1	W50	448	331	1.35	15	Next to HAZ
GMAW	300-24-BD3a-H2.5	W50	458	316	1.45	17	Next to HAZ
GMAW	500-16-BD3a-F2.19	W55	691	534	1.29	18	Next to HAZ
GMAW	500-25-BD3a-H2.23	W55	703	562	1.25	15.5	Next to HAZ



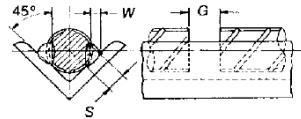
Double lap splice L-a (AS 1554.3)



Indirect butt joint two splice bars (ANSI / AWS D1.4)



Indirect butt splice with flat backing BI-1a (AS 1554.3)



Indirect butt splice with angle backing BI-1b (AS 1554.3)

شکل ۳-۲۶: وصله‌های پوششی جوشی و غیرمستقیم تست شده توسط شولز و رابرتز

(Scholz & Roberts, 2000)

جدول ۳-۷: نتایج تست وصله‌های پوششی و غیرمستقیم

(Scholz & Roberts, 2000)

Joint Type	Process	Specimen No E-Grade - Bar ϕ -Ident. no	Electrode Classifi- cation	UTS N/mm ²	YS N/mm ²	Tensile/ Yield Ratio	Overall Elongation ³ %
Lap joint	MMAW	300-32-L28-C	E4112-0	454	311	1.46	8
Lap joint	MMAW	300-32-129-W	E4818	441	305	1.45	10
Lap joint	MMAW	500-32-L23-C	E5518	547	510	1.07	4
Lap joint	MMAW	500-32-L24-W	E6215	528	509	1.04	4
Indirect butt splice flat backing "	GMAW	300-16-BI-1b-V	W50	485	328	1.48	10
	GMAW	300-24-BI-1b-F	W50	481	318	1.51	14
	GMAW	500-16-BI-1b-F	W55	706	537	1.31	5
	GMAW	500-25-BI-1b-V	W55	709	556	1.27	5
Indirect butt Splice flat backing "	GMAW	300-16-BI-1a-F	W50	480	328	1.46	13
	GMAW	300-24-BI-1a-F	W50	477	305	1.57	19
	GMAW	500-16-BI-1a-F	W55	701	542	1.29	7
	GMAW	500-25-BI-1a-F	W55	590	560	1.05	3



۳-۵ مطالعات انجام شده در گره جنوبی

لی و همکاران در سال ۲۰۰۱ طی مطالعه‌ای در کشور گره جنوبی، شرایط لازم برای بهبود کیفیت جوش فشاری گازی میلگردهای فولادی را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه که بر روی میلگردهای با قطر ۳۲ میلیمتر، جوش شده در شرایط کارگاهی، صورت پذیرفته است، با بررسی نمونه‌هایی تحت آزمایش‌های کشش، خمش، خستگی، بررسی ماکرو و میکرواستراکچر مقطع میلگرد، پیشنهاداتی برای بهبود روش برش میلگرد پیش از انجام عملیات جوشکاری، ارائه شده است (Ku Lee et al., 2001).

پارک و همکاران یک روش مبتنی بر پارامترهای مودال را برای بازرسی وصله‌های جوشی آرماتورها توسعه دادند. روش فوق بر اساس تعیین تغییر سختی از روی تغییر پارامترهای مودال، مقاومت جوش را برآورد می‌نماید (Park et al., 2006). یکی از مهم‌ترین مشکلات در وصله‌های جوشی کنترل کیفیت وصله جوش شده است، لذا در سال ۲۰۰۶ در تحقیق انجام‌شده توسط سایان پارک و همکارانش، یک نوع تست غیر مخرب برای تست وصله آرماتورها پیشنهاد شد. هدف از این تست بررسی کیفیت جوش، با استفاده از پارامتر معین به روش غیر مخرب است که به این منظور تعداد ۲۷ نمونه میلگرد وصله شده با جوش، ابتدا تحت یک جریان الکتریکی - مغناطیسی با فرکانس خاص قرار گرفتند و نمودار موج هرکدام به دست آمد و در مرحله بعد همان نمونه‌ها تحت کشش مستقیم تست شدند و در نهایت یک رابطه بین شکل عبور جریان از میلگرد (نمودار موج) و مقاومت کششی میلگرد به دست آمد، بنابراین با عبور آن جریان از هر میلگرد وصله شده به روش جوشی، می‌توان مقاومت کششی آن را پیش‌بینی کرد (Park et al., 2006).

دئوک سئو مطالعه‌ای بر روی عملکرد دستگاه جوش فشاری گازی اتوماتیک ابداع شده در گره جنوبی انجام داد. با وجود مقبولیت روش جوش فورجینگ برای وصله میلگردهای



با قطر بیش از ۲۹ میلیمتر در کشور ژاپن، از آنجا که این روش در کشور کره جنوبی به دلیل کمبود نیروی کار ماهر، چندان مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، دستگاه جوش اتوماتیک فورجینگ توسعه یافته و در این مطالعه عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. عملکرد دستگاه ساخته شده در کره جنوبی از نظر معیارهای بازرسی چشمی جوش GPW بررسی شد و نشان‌دهنده رضایت‌بخش بودن نتایج مطابق استانداردهای KS D 0244 و JIS Z 3120 بوده است (Deok-Seok, 2008).

۳-۶ مطالعات انجام شده در زمینه متالورژی جوش فورجینگ

در سال ۱۹۸۶ یابه مشخصات مکانیکی و جوش‌پذیری GPW^۱ میلگردهای تولیدشده با استفاده از کوره قوس الکتریکی را در مقایسه با میلگردهای تولیدشده با روش کوره بلند مورد مطالعه قرار داد (Yabe, 1986). مقادیر N، Cr، Cu و سایر عناصر در میلگردهای تولیدشده با استفاده از کوره قوس الکتریکی بیشتر از این مقادیر در میلگردهای تولیدشده با روش کوره بلند می‌باشد. هرچند مشخصات کششی و خمشی دو نوع میلگرد تفاوت چندانی ندارد، لیکن مقادیر تست طاقت (شارپی) در دمای پایین میلگردهای کوره الکتریکی، پایین‌تر است. همچنین شرایط جوش‌پذیری این نوع میلگردها نیز با میلگردهای کوره بلند متفاوت است. هرچند نتایج پژوهش فوق نشان‌دهنده این است که با تنظیم شرایط جوشکاری، امکان ایجاد یک اتصال مناسب برای این نوع میلگردها فراهم می‌باشد (Yabe, 1986).

مصطفی و همکاران (۲۰۱۶) طی پژوهشی با موضوع بهینه‌سازی پارامترهای جوش آرماتور، تأثیر عوامل متالورژیکی مانند ساختار میلگرد، ترکیب شیمیایی، قطر میلگرد و پیش‌گرمایش را بر ریزساختار و مشخصات مکانیکی وصله‌های جوشی مورد مطالعه و بهینه‌سازی قرار دادند (Moustafa et al., 2016). این مطالعه به مقایسه جوش‌پذیری

۱ Gas-pressure-weldability

میلگردهای گرم نورد شده در مقایسه با میلگردهای تولیدشده با عملیات حرارتی (ترمکس) با استفاده از جوش SMAW سربه‌سر و نیز اتصال روی هم جوشی پرداخته است.



شکل ۳-۲۷: مقطع میلگرد ترمکس، لایه مارتنزیت خارجی در کنار لایه بینیت میانی و هسته فریت و پرلیت (Moustafa *et al.*, 2016)

براساس نتایج این مطالعه، طول موثر وصله پوششی جوش شده برای میلگردهای گرم نورد شده (H^1) کوچکتر از میلگردهای ترمکس (Q^2) است، که به دلیل پایین تر بودن کربن معادل میلگردهای ترمکس ($Ceq=0.38\%$) در مقایسه با میلگردهای گرم نورد شده ($Ceq=0.60\%$) می‌باشد. کربن معادل بالاتر در میلگردهای H تشکیل لایه‌های پرلیت و بینیت بالایی را در ناحیه HAZ تسهیل نموده و منجر به افزایش مقاومت وصله در میلگردهای H شده است (جدول ۳-۸).

جدول ۳-۸: ترکیب شیمیایی نمونه میلگردهای مورد مطالعه توسط مصطفی و همکاران (Moustafa *et al.*, 2016) (H: گرم نورد شده، Q: ترمکس)

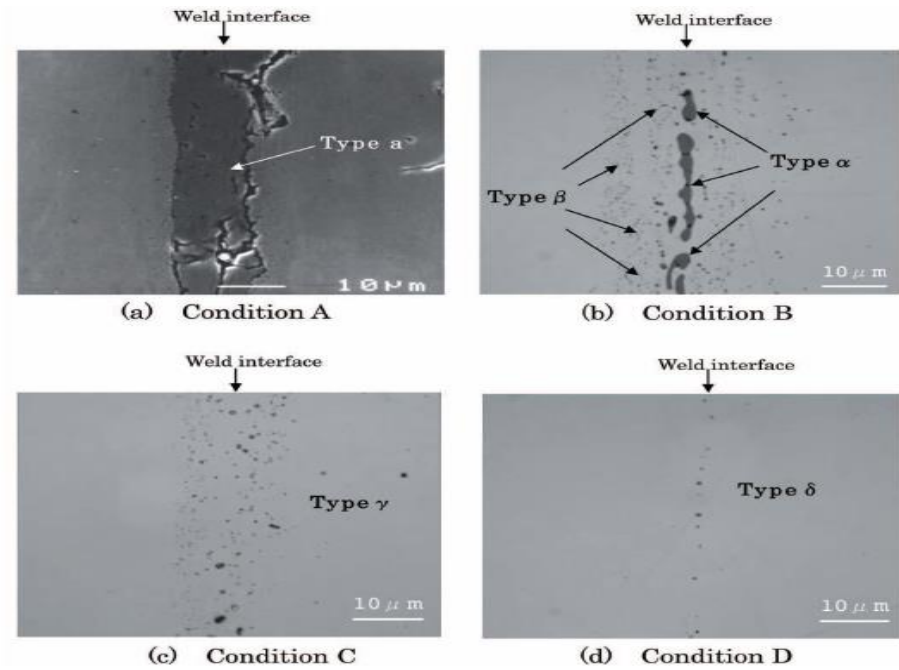
Code	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ceq ^a
10Q1	0.255	0.203	0.679	0.012	0.018	0.256	0.403
12Q1	0.275	0.186	0.628	0.016	0.020	0.300	0.416
12Q2	0.206	0.193	0.822	0.025	0.016	0.329	0.387
12H	0.364	0.170	1.038	0.026	0.030	0.475	0.595
16Q1	0.277	0.151	0.639	0.016	0.014	0.382	0.436
16Q2	0.220	0.170	0.818	0.019	0.019	0.432	0.406
16H	0.356	0.206	1.050	0.022	0.018	0.390	0.587
32Q2	0.229	0.159	0.799	0.022	0.021	0.430	0.415

^۱ Hot-rolled

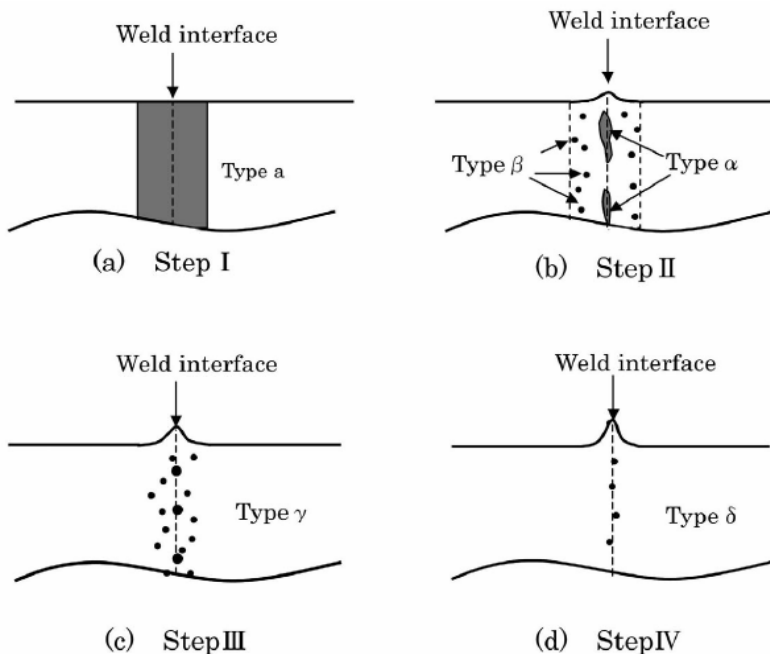
^۲ Tempered



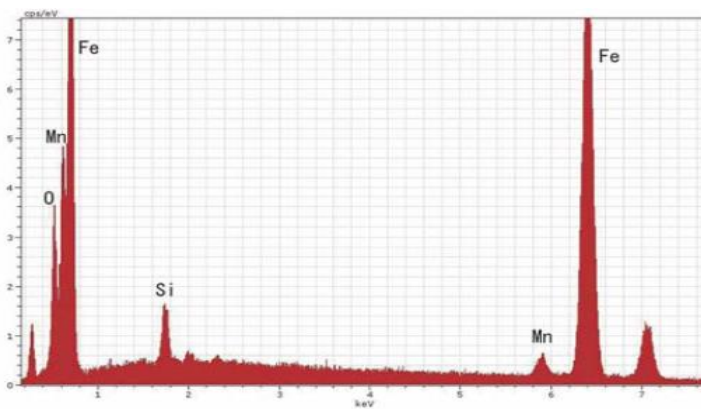
یاماموتو و همکاران طی دو پژوهش در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ به بررسی آزمایشگاهی ناخالصی‌های اکسیدی (آخال اکسیدی) بر اینترفیس جوش فورجینگ پرداختند. مورفولوژی ناخالصی‌های اکسیدی در مراحل مختلف انجام جوش فشاری مورد بررسی قرار گرفته است (Yamamoto *et al.*, 2010) و (Yamamoto *et al.*, 2009)



شکل ۳-۲۸: اینترفیس جوش در مراحل مختلف جوش فشاری گازی (Yamamoto *et al.*, 2010)

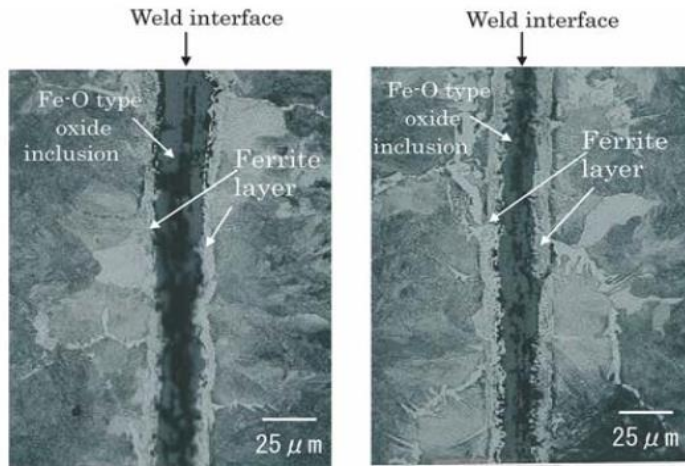


شکل ۳-۲۹: ناخالصی‌های اکسید در اینترفیس جوش فشاری گازی (Yamamoto *et al.*, 2009)



شکل ۳-۳۰: نتایج آنالیز با دستگاه الکترون پروب میکرو آنالیزور (EPMA)

برای ناخالصی‌های جوش فشاری گازی (Yamamoto *et al.*, 2010)



شکل ۳-۳۱: متالوگرافی ناخالصی‌های جوش فشاری گازی (Yamamoto *et al.*, 2010)

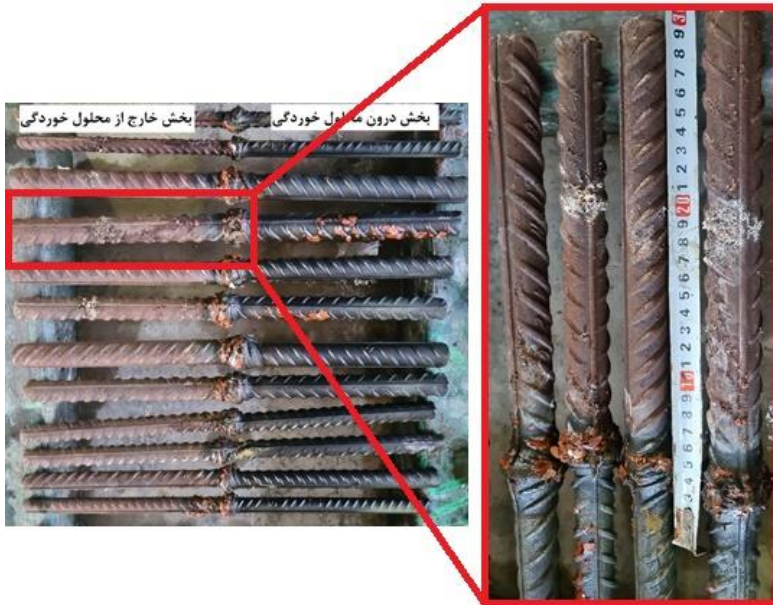
یابه و همکاران (۲۰۲۰) جوش‌پذیری میلگردهای مقاومت بالا را بر اساس ارزیابی ناحیه HAZ و نیز ارزیابی ترک در جوش برای دستیابی به شاخص‌های میزان کربن (C)، کربن معادل (Ceq) و Pcm مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج این مطالعات ترک‌های جوش (ترک‌های میکرو) در ناحیه HAZ را می‌توان با استفاده از مقادیر C و Pcm ارزیابی نمود. چنانچه مقدار C بیشتر از ۰/۳۲٪ و مقدار Pcm بیش از ۰/۴۳٪ باشد، امکان تشکیل این ترک‌ها وجود خواهد داشت. همچنین در بروز ترک‌های جوش، وجود یا عدم وجود تنش در آرماتور در حین جوشکاری تأثیری ندارد. سختی جوش را نیز می‌توان با استفاده از مقادیر C و Pcm ارزیابی نمود. چنانچه مقدار C بیشتر از ۰/۳۲٪ و مقدار Pcm بیش از ۰/۴۳٪ باشد، حداکثر سختی جوش بیش از 350 HV خواهد بود. احتمال شکست در ناحیه HAZ زمانی که مقدار C بیشتر از ۰/۳۲٪، مقدار Ceq بیش از ۰/۵۷٪ و مقدار Pcm بیش از ۰/۴۳٪ باشد، افزایش خواهد یافت (Yabe *et al.*, 2020).

خالصی و خیرالدین (۱۴۰۲) به بررسی آزمایشگاهی رفتار میلگردهای دارای وصله جوشی GPW در معرض خوردگی و مقایسه خواص مکانیکی آن با نمونه‌های سالم و بدون وصله و همچنین نمونه‌های سالم با وصله صورت پرداختند. به این منظور از نمونه



میلگردها با استفاده از روش تست تسریع خوردگی تحت تاثیر جریان در آب نمک ۰.۵٪ در حالت‌های مختلف بدون وصله و با وصله تحت خوردگی و بدون خوردگی در دو رده مقاومتی S400 و S500 استفاده شد. در این پژوهش با ایجاد خوردگی یکنواخت به دو روش ASW^۱ و تست تسریع خوردگی تحت جریان به روش IC پرداخته شد که روش اول بر روی ۸۰ نمونه به قطرهای ۱۶، ۲۰، ۲۵ و ۲۸ میلی‌متر و روش دوم بر روی ۴۸ نمونه به قطرهای ۱۶ و ۲۰ میلی‌متر در دو رده مقاومتی S400 و S500 انجام پذیرفت (شکل ۳-۳۲). سپس مطابق استاندارد ASTM 1034 حداقل ضوابط پذیرش وصله میلگرد تحت تست کشش و خمش بررسی و در آخر ریزساختار محل وصله توسط تست متالوگرافی برای نمونه‌های با و بدون خوردگی انجام شد. نتایج آزمایش خمش نشان داد نمونه‌های دارای وصله از مقاومت مناسبی برخوردار بوده و در اثر تست خمش ترک نخورده و همچنین با انجام تست متالوگرافی، پدیده خوردگی در میکروساختار نمونه‌ها موثر نمی‌باشد و با توجه به پاسخگو بودن این نوع وصله در پدیده خوردگی، می‌توان نسبت به استفاده از این وصله در سازه‌های مجاور دریا و یا در معرض خوردگی اطمینان حاصل نمود.

^۱ artificial seawater



شکل ۳-۳۲: بررسی رفتار میلگردهای دارای وصله جوشی GPW در معرض خوردگی (خالصی و خیرالدین، ۱۴۰۲)

فصل چهارم:

بررسی آزمایشگاهی جوش پذیری میلگردهای تولیدشده در ایران

۴-۱ مقدمه

همانگونه که در فصول پیشین ذکر شد، یکی از موارد حائز اهمیت پیش از آغاز عملیات جوش فشاری گازی (فورجینگ) آرماتورها، حصول اطمینان از جوش پذیری میلگردهای مورد استفاده است. برخی آیین نامه ها و استانداردهای موجود در این زمینه، الزاماتی برای بررسی جوش پذیری آرماتورها بیان می کنند که در فصل ۲ به آن اشاره گردید. نظر به اینکه تولید میلگردها در ایران با هر دو روش آلیاژسازی و ترمکس انجام می شود و با توجه به ممنوعیت برخی استانداردها، از جمله استاندارد نیوزیلند، برای جوشکاری میلگردهای تولید شده با عملیات حرارتی، اثر جوشکاری فورجینگ بر روی میلگردهای تولیدشده در کشور با انجام مجموعه ای از آزمایشات بر روی نمونه های وصله شده در دستور کار قرار گرفت.

۴-۲ روش تحقیق

به منظور بررسی جوش پذیری میلگردهای تولیدشده در کشور، بیش از ۵۰ نمونه میلگرد در قطرهای ۱۸، ۲۵ و ۳۲ میلی متر از تولیدکننده های مختلف کشور، شامل کارخانجات



تولیدکننده میلگرد با روش آلیاژی و یا روش عملیات اصلاح حرارتی (ترمکس) با استفاده از روش جوش فشاری گازی به یکدیگر وصله شده و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. در شکل ۴-۱ ساخت نمونه‌های وصله جوش فورجینگ در آزمایشگاه و برخی از نمونه‌های ساخته شده برای این پژوهش، نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱: ساخت نمونه‌های وصله جوش فورجینگ در آزمایشگاه و برخی از نمونه‌های ساخته شده

اسامی نمونه‌های مورد آزمایش و جزئیات آن‌ها شامل قطر میلگرد، رده میلگرد، کارخانه تولیدکننده و روش تولید در جدول ۴-۱ ارائه شده است. پس از بازرسی چشمی و آزمایش التراسونیک تمامی نمونه‌های وصله شده جوشی مطابق شکل ۴-۲، کفایت نمونه‌ها با استفاده از آزمایش کشش و آزمایش خمش مورد بررسی قرار گرفته است (شکل‌های ۴-۳ و ۴-۴). همچنین به منظور مقایسه، یک نمونه مرجع نیز برای تمامی میلگردهای مورد بررسی قبل از انجام وصله جوشی مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته که در جدول با حرف R در ابتدای نام نمونه‌ها مشخص شده است.



شکل ۴-۲: آزمون التراسونیک یکی از نمونه‌های وصله شده با جوش فورجینگ




شکل ۴-۳: یکی از نمونه‌های با قطر ۲۵ میلیمتر پس از آزمون کشش

وصله جوشی اغلب نمونه‌ها در شرایط محیطی محصور و مسقف آزمایشگاهی انجام پذیرفته است تا نتایج صرفاً بیانگر تغییرات ایجاد شده در مشخصات مکانیکی میلگرد در نتیجه فرآیند فورجینگ بوده و تأثیر چندانی از شرایط محیطی نپذیرد. ضمن آنکه به منظور بررسی اثر شرایط کارگاهی بر کیفیت وصله، تعداد معدودی نمونه میلگرد وصله شده از ستون‌های برخی پروژه‌های در دست اجرا در تهران نمونه‌برداری شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمونه‌های فوق در جدول ۴-۱ با علامت نمونه کارگاهی «FJ» مشخص شده‌اند.



شکل ۴-۳: یکی از نمونه‌های با قطر ۲۵ میلیمتر پس از آزمون خمش

آزمون خمش نمونه‌ها مطابق با استاندارد JIS Z 3120 / INSO 22442 بر روی نمونه‌های وصله شده و پس از تراشکاری گرده جوش انجام شده است. در این استاندارد، قطعه آزمون با شکل و ابعاد مطابق شکل ۲-۳۵ و جدول ۲-۹ در نظر گرفته شده و برای قطعات آزمون خمش، گرده جوش در طرف تماس با ماندل باید تا سطح میلگرد اصلی برداشته شود.

آزمون کشش نمونه‌ها مطابق با استاندارد JIS Z 3120 / INSO 22442 بر روی نمونه‌های وصله شده و نیز نمونه میلگردهای مرجع (مشخص شده با کد R) انجام شده است. برای بررسی بیشتر و به منظور بررسی اثر وجود گرده جوش بر مقاومت نمونه، تعدادی از نمونه‌ها پس از برداشتن گرده جوش مورد آزمون کشش قرار گرفته‌اند که این نمونه‌ها در جدول ۴-۱ با علامت  مشخص شده‌اند.



۴-۳ نتایج آزمون‌های انجام شده بر روی نمونه‌ها

نتایج آزمایشات کشش و خمش انجام شده بر روی نمونه‌ها در جدول ۴-۱ ارائه شده است. در این جدول معیار آیین‌نامه برای مقاومت وصله‌های جوشی آرماتورها به اندازه $1/25$ برابر تنش تسلیم میلگرد با محاسبه نسبت مقاومت نهایی نمونه وصله شده به تنش تسلیم مشخصه میلگرد (f_u/f_{yk}) بررسی شده است. همانگونه که در جدول مذکور مشخص است، به غیر از نمونه Z که به دلیل مشکل در مصالح میلگرد اصلی در نهایت از نتیجه‌گیری کنار گذاشته شد، در تمامی نمونه‌ها نسبت f_u/f_{yk} بیش از $1/25$ می‌باشد و لذا تمامی نمونه‌ها، معیار آیین‌نامه برای حداقل مقاومت وصله جوشی را برآورده ساخته‌اند. ضمن آنکه محل شکست تمامی نمونه‌ها در محل میلگرد اصلی یا ناحیه HAZ بوده و در هیچ یک از نمونه‌ها شکست در سطح تماس دو میلگرد جوش شده رخ نداده است. همچنین با صرف‌نظر از نمونه Z، همه نمونه‌ها در آزمون خمش مورد پذیرش قرار گرفته‌اند و ترک یا شکست در حین آزمون خمش مشاهده نگردید.

علاوه بر معیار مقاومت، دو معیار ازدیاد طول نسبی نمونه (ϵ_{5d}) و نسبت مقاومت نهایی به تنش تسلیم هر نمونه (f_u/f_y) نیز برای بررسی اثر جوش فورجینگ بر شکل‌پذیری نمونه‌ها نیز در جدول ۴-۱ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نمونه‌هایی که معیار آیین‌نامه برای حداقل ازدیاد طول نسبی میلگرد (برابر 1.16% برای میلگردهای S400 و 1.10% برای میلگردهای S500) و یا حداقل نسبت مقاومت نهایی به تنش تسلیم (برابر $1/25$) را برآورده نساخته‌اند، در جدول ۴-۱ با رنگ قرمز مشخص شده است.

مشاهده می‌شود که تمامی میلگردهای S400 (AIII) تولیدشده با روش آلیاژی پس از انجام وصله جوش فورجینگ نیز هر دو معیار فوق را برآورده ساخته‌اند؛ درحالی‌که در اغلب نمونه میلگردهای S400 تولید شده با روش ترمکس، پس از انجام وصله جوش فورجینگ معیار حداقل ازدیاد طول نسبی 1.16% برآورده نشده است. ضمن آنکه در

نمونه‌های تولیدشده با روش آلیاژی پس از انجام وصله جوشی فورجینگ تغییر چندانی در تنش تسلیم و مقاومت نهایی نمونه‌ها رخ نداده است، درحالی‌که در اغلب نمونه میلگردهای تولید شده با روش ترمکس مقادیر f_u و f_y تا حدود ۱۰ درصد نسبت به نمونه میلگرد اصلی تغییر (کاهش یا افزایش) یافته است که نشان دهنده حساسیت بیشتر این نوع میلگردها به عملیات جوشکاری می‌باشد.

در خصوص نمونه میلگردهای مقاومت بالا (S500) که همگی با روش ترمکس تولید شده بودند، پس از اجرای وصله جوش فورجینگ، معیار حداقل ازدیاد طول نسبی ۱۰٪ برای اغلب نمونه‌ها برآورده شده است. ولی به دلیل کاهش مقاومت نهایی میلگرد پس از جوشکاری، در این نمونه‌ها نسبت (f_u/f_y) کمتر از ۱/۲۵ شده است که با معیار پذیرش میلگرد اصلی مطابقت ندارد.



معیار آیین نامه
برای مقاومت وصله

جدول ۱-۴: نتایج آزمایشات کشش و خمش انجام شده بر روی نمونه‌ها

محل شکست	f_u/f_{yk}	f_u/f_y	ϵ_{5d}	f_u	f_y	آزمایش	کد نمونه	قطر نمونه	روش تولید	رده	تولید کننده
فلز پایه	1.32	1.21	11.0%	660	543	کشش	A18-S2	18 mm	ترمکس	S500	A
فلز پایه	1.33	1.23	13.5%	664	538	کشش	A18-S3				
No fracture	-	-	-	-	-	خمش و باز خمش	A18-S1				
-	1.44	1.31	20.5%	721	548	کشش	RA18				
No fracture	-	-	-	-	-	خمش و باز خمش	B18-S4				
No fracture	-	-	-	-	-	خمش و باز خمش	B18-S1				
فلز پایه	1.69	1.30	10.5%	678	521	کشش	B18-S6	18 mm	ترمکس	S400	B
HAZ	1.70	1.31	11.0%	682	520	کشش	B18-S5				
فلز پایه	1.77	1.30	12.5%	708	543	کشش	B18-S3				
-	1.85	1.37	17.0%	742	541	کشش	RB18				
HAZ	1.53	1.21	17.0%	614	509	کشش	B20-S1 ^{Fr}	20 mm	ترمکس	S400	B
-	1.59	1.25	26.0%	636	508	کشش	RB20				
No fracture	-	-	-	-	-	خمش	B20-S2 ^{Fr}				



معیار آیین‌نامه
برای مقاومت وصله

ادامه جدول ۴-۱: نتایج آزمایشات کشش و خمش انجام شده بر روی نمونه‌ها

محل شکست	f_{tu}/f_{yk}	f_{tu}/f_y	ϵ_{su}	f_u	f_y	آزمایش	کد نمونه	قطر نمونه	روش تولید	رده	تولید کننده
فلز پایه	1.36	1.20	9.5%	680	565	کشش	A25-S2	25 mm	تورمکس	S500	A
HAZ	1.35	1.16	12.0%	675	579	کشش ●	A25-S3				
No fracture	-	-	-	-	-	خمش و بازخمش	A25-S1				
-	1.47	1.26	29.5%	735	585	کشش	RA25	25 mm	تورمکس	S400	B
No fracture	-	-	-	-	-	خمش و باز خمش	B25-S1				
No fracture	-	-	-	-	-	خمش و باز خمش	B25-S4				
فلز پایه	1.53	1.27	13.5%	612	480	کشش	B25-S3	25 mm	تورمکس	S400	B
فلز پایه	1.55	1.24	14.5%	619	497	کشش ●	B25-S2				
فلز پایه	1.54	1.28	15.0%	615	479	کشش	B25-S5				
-	1.58	1.28	34.0%	633	496	کشش	RB25	25 mm	تورمکس	S400	F
HAZ	1.80	1.27	11.5%	721	566	کشش	F25-S1				
فلز پایه	1.74	1.47	16.0%	698	473	کشش	F25-S2				
-	1.62	1.42	24.5%	650	456	کشش	RF25	25 mm	تورمکس	S400	F
No fracture	-	-	-	-	-	خمش	F25-S3				



معیار آیین نامه
برای مقاومت وصله

ادامه جدول ۴-۱: نتایج آزمایشات کشش و خمش انجام شده بر روی نمونه‌ها

محل شکست	f_u/f_{tk}	f_u/f_y	ϵ_{su}	f_u	f_y	آزمایش	کد نمونه	قطر نمونه	روش تولید	رده	تولید کننده
No fracture	-	-	-	-	-	خمش	C25-S3	25 mm	آلیاژی	S400	C
No fracture	-	-	-	-	خمش و بارزخمش	C25-S1					
No fracture	-	-	-	-	خمش و بارزخمش	C25-S5					
فلز پایه	1.69	1.59	16.5%	678	426	کشش	C25-S8	25 mm	آلیاژی	S400	C
فلز پایه	1.67	1.56	18.5%	671	428	کشش	C25-S9				
-	1.68	1.58	23.5%	672	424	کشش	RC25	25 mm	ترمکس	S400	B
HAZ	1.53	1.26	14.5%	612	484	کشش	B25-S1Pt				
-	1.67	1.57	27.5%	671	427	کشش	RB25				
No fracture	-	-	-	-	-	خمش	B25-S2Pt	20 mm	ترمکس	S400	X
فلز پایه	1.39	1.32	19.0%	557	420	کشش	X20-S1Pt				
-	1.55	1.37	25.5%	620	452	کشش	RX20				
فلز پایه	1.73	1.31	7.5%	694	529	کشش	T1825S1	18-25	ترمکس به آلیاژی	S400	B & C
فلز پایه	1.72	1.31	11.5%	689	526	کشش	T1825S1				



معیار آیین‌نامه
برای مقاومت وصله

ادامه جدول ۴-۱: نتایج آزمایشات کشش و خمش انجام شده بر روی نمونه‌ها

محل شکست	f_u/f_{tk}	f_u/f_y	ε_{su}	f_u	f_y	آزمایش	کد نمونه	قطر نمونه	روش تولید	رده	تولیدکننده
No fracture	-	-	-	-	-	خمش و بازخمش	C32-S4	32 mm	آلیاژی	S400	C
فلز پایه	1.67	1.61	17.0%	670	415	کشش	C32-S1				
فلز پایه	1.68	1.58	19.0%	674	425	کشش	C32-S2				
-	1.70	1.61	24.0%	681	424	کشش	RC32				
فلز پایه	1.70	-	24.0%	681	424	کشش	C32-S5				
No fracture	-	-	-	-	-	خمش	C32-S3	32 mm	ترمکس	S400	D
HAZ	1.47	1.23	9.5%	590	477	کشش	D32-S1				
HAZ	1.50	1.49	10.0%	602	402	کشش	D32-S2				
-	1.58	1.31	20.0%	632	484	کشش	RD32	32 mm	ترمکس	S400	D
No fracture	-	-	-	-	-	خمش و بازخمش	D32-S3				
فلز پایه	1.32	1.13	11.5%	662	585	کشش	A182SS2				
فلز پایه	1.35	1.22	9.5%	676	553	کشش	A182SS3				
فلز پایه	1.17	1.35	15%	471	347	کشش	Z2528S1Pa				
Failed	-	-	-	-	-	خمش	Z2528S2Pa	25-28	ترمکس	S400	Z



۴-۴ نتایج کلی بررسی آزمایشگاهی جوش‌پذیری میلگردهای تولید شده در ایران

بررسی‌های انجام شده بر روی مجموعه‌ای از میلگردهای وصله شده با روش جوش فشاری گازی (فورجینگ) تحت آزمون‌های کشش و خمش، نشان دهنده نتایج ذیل می‌باشد:

۱- تمامی نمونه میلگردهای وصله شده با جوش فورجینگ در تست کشش معیار مقاومت $1.25 A_{bfy}$ را برآورده نمودند.

۲- تمامی نمونه‌های وصله شده با جوش فورجینگ، معیار پذیرش آزمون خمش را برآورده ساختند.

۳- در اغلب نمونه میلگردهای S400 (AIII) تولید شده به روش ترمکس میزان ازدیاد طول نسبی میلگرد پس از انجام وصله فورجینگ، از حداقل ۱۶٪ تعیین شده در استاندارد پایین‌تر است. در عین حال اکثر این نمونه‌ها معیار حداقل مقاومت گسیختگی به تنش تسلیم واقعی (f_u/f_y) برابر ۱/۲۵ را برآورده می‌سازند.

۴- نمونه میلگردهای S400 (AIII) تولید شده به روش آلیاژی، پس از انجام وصله فورجینگ تمامی معیارهای مقاومت، ازدیاد طول نسبی و نسبت مقاومت گسیختگی به تنش تسلیم واقعی را برآورده ساختند.

۵- اغلب نمونه‌های S500 (AIV) تولید شده به روش ترمکس، پس از انجام وصله فورجینگ، معیارهای مقاومت و ازدیاد طول نسبی را برآورده ساختند ولی معیار نسبت مقاومت گسیختگی به تنش تسلیم واقعی برآورده نشده است.

۶- محل شکست همه نمونه‌ها در فلز پایه یا HAZ بوده و در هیچ نمونه‌ای شکست در سطح تماس جوش مشاهده نشد.

با توجه به نتایج حاصل شده از بررسی آزمایشگاهی فوق، می‌توان نتیجه گرفت که

میلگردهای استاندارد تولید شده در کشور با هر دو روش آلیاژسازی و ترمکس، جوش‌پذیری لازم برای انجام وصله فورجینگ را از لحاظ معیار مقاومت وصله مطابق آئین‌نامه دارا می‌باشند؛ لیکن از آنجا که آئین‌نامه هیچ‌گونه معیار شکل‌پذیری برای وصله‌های جوشی آرماتورها تعیین نمی‌نماید، و نیز با توجه به عدم پذیرش بخش قابل ملاحظه‌ای از نمونه‌های جوش شده در رابطه با معیارهای شکل‌پذیری میلگرد، رعایت محدودیت‌های کاربرد این نوع وصله‌ها مطابق آئین‌نامه در نواحی بحرانی و مجاورت نواحی تشکیل مفصل پلاستیک در سازه‌های شکل‌پذیر در برابر زلزله ضرورت دارد. در خصوص برخی از انواع میلگردهای تولیدشده در کشور، بخصوص میلگردهای تولیدشده به روش آلیاژسازی، امکان دستیابی به شرایط یک وصله جوش فورجینگ شکل‌پذیر و تطبیق با رده‌های بالاتر وصله جوشی مطابق استانداردهای معتبر بین‌المللی (نظیر کلاس‌های A و SA در استانداردهای ژاپن) که امکان کاربرد در نواحی بحرانی سازه را نیز دارا باشند، فراهم است و این موضوع باید با انجام تست‌های لازم به اثبات برسد.

فصل پنجم:

نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تدوین دستورالعمل وصله جوش فشاری گازی

۱-۵ مقدمه

براساس مطالعات انجام شده، به نظر می‌رسد روش جوش فشاری گازی (فورجینگ) می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای وصله میلگردها در سازه‌های بتن‌آرمه در کشور مورد توجه قرار گیرد؛ لیکن با توجه به وابستگی شدید کیفیت وصله اجرا شده به مهارت اپراتور، وجود ضوابط و دستورالعمل‌های جامع برای انجام جوش فشاری گازی آرماتورها، آموزش مناسب جوشکاران و سایر عوامل دخیل در اجرای این نوع وصله و وجود ساختار کنترل و تضمین کیفیت برای اطمینان از کیفیت وصله‌های فورجینگ حائز اهمیت می‌باشد. لذا ضروری است موارد ۲-۵ تا ۶-۵ به منظور توسعه روش جوش فورجینگ برای وصله آرماتورها در ایران، در مجموعه الزامات این روش در نظر گرفته شود.

۲-۵ تصریح مقررات ملی ساختمان و آئین‌نامه بتن ایران در خصوص

وصله جوشی فورجینگ، معیار پذیرش و محل کاربرد آن

با وجود طبقه‌بندی روش فورجینگ به عنوان یکی از روش‌های وصله جوشی آرماتورها توسط کمیته تخصصی مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، کماکان پذیرش این



روش در جامعه مهندسی کشور با اختلاف نظرهایی مواجه است. لذا نظر به عدم صراحت متن اصلی مبحث نهم و آئین نامه بتن ایران (آبا) در خصوص استفاده از جوش فشاری گازی (فورجینگ) و امکان استفاده از این روش برای وصله آرماتورها پیشنهاد می شود کمیته تدوین ضوابط این روش، نسبت به هماهنگی برای بازنگری مقررات و تصریح در این خصوص اقدام نمایند. همچنین پیشنهاد می شود با توجه به رویکرد استانداردهای کشورهای ژاپن و نیوزیلند در خصوص این نوع وصله و تعریف دو کلاس برای وصله های جوشی، تعریف مشابهی به شرح زیر در آیین نامه های ملی مدنظر قرار گیرد:

وصله جوشی گروه ۱ (معادل وصله جوشی ACI و مبحث نهم): وصله جوشی مطابق بند ۹-۲۱-۴-۷-۶ که قادر به انتقال تنشی حداقل ۱/۲۵ برابر تنش تسلیم میلگرد در کشش یا فشار است. کاربرد وصله گروه ۱ در فاصله کمتر از ۲ برابر ارتفاع مقطع عضو از بر اتصال تیر به ستون در قابها و دیوارهای با شکل پذیری زیاد، قابهای با شکل پذیری متوسط و یا مقاطع بحرانی که در آنها احتمال تسلیم آرماتورها وجود دارد، مجاز نیست.

وصله جوشی گروه ۲ (معادل وصله کلاس A ژاپن): وصله جوشی که در آزمایش کشش چرخه ای مطابق وصله کلاس A در استانداردهای کشور ژاپن به تأیید برسد. کاربرد وصله گروه ۲ در سازه های با شکل پذیری زیاد در فاصله $1d_b$ در تیر یا $1d_c$ در ستون از بر اتصال مجاز نیست. در سازه های با شکل پذیری متوسط، نیمی از میلگردها می توانند به صورت یک در میان در این ناحیه و با فاصله حداقل ۴۰۰ میلیمتر در امتداد میلگرد، وصله شوند. کاربرد این نوع وصله ها در خصوص میلگردهای با رده بالاتر از S420، باید مورد بررسی قرار گیرد.

۳-۵ دستورالعمل انجام جوش فورجینگ

با توجه به نقش مهم عوامل انسانی و روش کار در کیفیت وصله های جوشی فورجینگ، تدوین دستورالعمل استاندارد برای این روش ضرورت دارد. در حال حاضر شرکت های



فعال در این زمینه، از مجموعه دستورالعمل‌های داخلی خود برای انجام وصله فورجینگ استفاده می‌نمایند. تدوین یک دستورالعمل استاندارد و واحد، که شامل مراحل انجام این روش (آماده‌سازی مواد و دستگاه‌ها)، روش انجام مراحل مختلف جوشکاری، شرایط اجرایی، ملاحظات HSE و نحوه بازرسی (میزان آزمایش‌های مخرب و غیرمخرب و معیار پذیرش آنها) باشد، به منظور انجام صحیح و یکسان وصله‌های فورجینگ میلگردها در سطح کشور ضروری می‌نماید.

۵-۴ معیارهای پذیرش وصله جوشی برای تأیید روش جوشکاری

برای تأیید روش جوشکاری، مصالح، مجموعه دستگاه‌های مورد استفاده و عوامل جوشکاری ضروری است در هر پروژه با انجام مجموعه‌ای از آزمون‌ها روش جوشکاری مورد تأیید قرار گیرد. معیار تأیید روش جوشکاری شامل موارد ۱ الی ۳ به شرح زیر می‌باشد:

۱- پذیرش ظاهر جوش در بازرسی چشمی مطابق معیارهای استاندارد

۲- پذیرش جوش در آزمون خمش بر روی نمونه تراشکاری شده:

- زاویه خمش برای میلگردهای S400 برابر ۹۰ درجه

- زاویه خمش برای میلگردهای S500 برابر ۴۵ درجه

۳- پذیرش جوش در آزمایش کشش:

معیار پذیرش وصله‌های گروه ۱:

• آزمون کشش میلگرد وصله شده: $f_u \geq 1.25 f_{yk}$

• محل شکست نمونه:

در فلز پایه: قابل قبول

در ناحیه HAZ: قابل قبول

در سطح تماس جوش: غیر قابل قبول



معیار پذیرش وصله‌های گروه ۲:

- آزمون کشش میلگرد وصله شده: $f_u \geq 1.25 f_{yk}$
- آزمون چرخه‌ای میلگرد وصله شده مطابق پروتکل بارگذاری نشان داده شده در شکل ۲-۳۷: $f_u \geq f_{uk} \ \& \ f_y \geq f_{yk}$
- محل شکست نمونه:

در فلز پایه: قابل قبول

در ناحیه HAZ: قابل قبول مشروط به این که $f_u \geq 1.35 f_y$

در سطح تماس جوش: غیر قابل قبول

۵-۵ نحوه تأیید وصله‌های جوشی فورجینگ

برای حصول اطمینان از کیفیت وصله‌های جوش فورجینگ در یک پروژه باید کنترل کیفیت در سه مرحله پیش از انجام عملیات جوشکاری، در حین عملیات جوشکاری و بازرسی‌های پس از جوشکاری به شرح زیر صورت پذیرد:

۱- اقدامات پیش از اجرای عملیات فورجینگ

- ابزار مورد استفاده در وصله جوش فورجینگ و شرکت مجری باید به تأیید «مرجع ذیصلاح» برسد.
- جوشکار این روش باید دارای گواهینامه (با پایه متناسب) از «مرجع ذیصلاح» باشد.
- قبل از شروع عملیات، باید روش جوشکاری با ساخت نمونه‌های آزمایشی برای هر جوشکار، هر سایز و هر نوع میلگرد مورد استفاده، بر اساس معیارهای پذیرش ۳ گانه مندرج در بند ۵-۴ مورد تأیید آزمایشگاه مرجع قرار گیرد.
- برای وصله‌های گروه ۲ تأیید روش جوشکاری باید توسط «مرجع ذیصلاح» انجام شود.



۲- کنترل پروسه جوشکاری در حین اجرا

در شروع هر شیفت کاری توسط هر جوشکار، یک نمونه از میلگردهایی که قرار است توسط آن جوشکار وصله شود، ساخته شود. نمونه‌ها باید قبل از شروع به کار با آزمایش خمش بدون نیاز به تراشکاری نمونه، مورد بررسی قرار گیرند.

۳- بازرسی‌های پس از جوشکاری

بازرسی‌های پس از جوشکاری شامل بازرسی چشمی و آزمون التراسونیک می‌باشد. بازرسی چشمی باید برای ۱۰۰٪ وصله‌های جوشی مطابق JIS 3120 انجام شود. در صورت عدم پذیرش جوش در بازرسی چشمی، بسته به نوع عیب جوش، با اعمال حرارت و فشار مجدد (در صورتی که عیب جوش از نوع قطر یا طول گرده غیرقابل قبول باشد) یا بریدن جوش و جوشکاری مجدد (در صورتی که عیب جوش از نوع خروج از محوریت غیرقابل قبول میلگردها یا انحراف غیرقابل قبول از صفحه جوش باشد)، جوش قابل اصلاح است. در صورت اصلاح جوش با استفاده از بریدن جوش و جوشکاری مجدد، تست التراسونیک وصله جوشی الزامی است.

در صورتی که تعداد نمونه‌های رد شده در بازرسی چشمی بیش از ۱۰٪ نمونه‌های بازرسی شده باشد، اجرای جوشکاری در آن بخش باید متوقف شده و دلیل بروز مشکل در کیفیت جوشکاری بررسی و تأیید دستگاه نظارت برای ادامه کار اخذ شود.

لازم است میزان آزمون‌های التراسونیک مطابق جدول ۵-۱ در نظر گرفته شود. در صورتی که تعداد نمونه‌های رد شده در آزمایش التراسونیک حداکثر ۵٪ نمونه‌های آزمایش شده باشد، وصله‌های دارای ایراد با بریدن جوش و جوشکاری مجدد قابل اصلاح است. در صورتی که تعداد نمونه‌های رد شده در آزمایش التراسونیک بیش از ۵٪ نمونه‌های آزمایش شده باشد، تمامی وصله‌های انجام شده در آن شیفت کاری باید با آزمایش التراسونیک بررسی شده و ادامه کار تا زمان رفع ایراد متوقف شود.



جدول ۵-۱: میزان آزمون‌های التراسونیک پیشنهادی برای وصله‌های جوش فورجینگ

*میزان آزمون UT برای گروه اهمیت ساختمان‌ها مطابق استاندارد ۲۸۰۰			محل وصله جوشی آرماتور
۴	۳	۲ و ۱	
۵٪	۱۰٪	۱۵٪	وصله آرماتورهای فونداسیون یا تیر هر سقف
۱۰٪	۲۰٪	۳۰٪	وصله آرماتورهای ستون یا دیوار هر طبقه
۲۵٪	۵۰٪	۱۰۰٪	تمامی وصله‌های گروه ۲

*درصدهای مندرج در جدول مربوط به جوش‌های انجام شده در یک شیفت و توسط یک اکیپ کاری است.

معیار پذیرش یا عدم پذیرش جوش طبق استاندارد برابر 24 dB- است و در صورت مشاهده سیگنال اکو بیش از این مقدار، جوش مورد پذیرش قرار نخواهد گرفت. در مورد وصله‌های گروه ۲ معیار پذیرش سخت‌گیرانه‌تر این نوع وصله در UT برابر با 26 dB- اعمال شود.

۶-۵ نظامات اداری و استانداردهای مورد نیاز

علاوه بر موارد ذکر شده در بندهای ۵-۲ تا ۵-۶، ضروری است مجموعه‌ای از نظامات اداری توسط مقام قانونی مسئول برای تأیید صلاحیت عوامل دخیل تدوین شود. وجود نظام تأیید صلاحیت شرکت‌ها و جوشکاران GPW و نظام تأیید صلاحیت بازرسان جوش GPW، برای حصول اطمینان از صلاحیت این عوامل ضروری است. همچنین استانداردسازی تجهیزات مورد استفاده در این روش باید از طریق تدوین استاندارد یا گواهینامه فنی تجهیزات و نیز تعیین دستورالعمل کالیبراسیون تجهیزات مدنظر قرار گیرد.

مراجع

- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۱۰۵۶. (۱۳۹۳). جوشکاری- جوشکاری فولاد مسلح- کننده- قسمت ۱: اتصالات جوش داده شده باربر.
- استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۴۴۲. (۱۳۹۶). فولاد برای تسلیح بتن- اتصال میلگردهای فولادی جوشکاری شده به روش فشاری گازی- روش آزمون و معیار پذیرش.
- استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۴۸۶. (۱۴۰۱). فولاد برای تسلیح بتن- تأیید فن جوشکاری فشاری گازی میلگردهای فولادی برای تسلیح بتن- روش اجرایی.
- استاندارد ملی ایران شماره ۳۱۳۲. (۱۳۹۲). میلگردهای فولادی گرم نوردیده برای تسلیح بتن- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون.
- خالصی و خیرالدین. (۱۴۰۲). مطالعه آزمایشگاهی رفتار میلگردهای دارای وصله جوشی فورجینگ و میلگردهای بدون وصله در معرض خوردگی در سازه‌های بتن آرمه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه سمنان.
- خیرالدین، علی. و شیرین سخن، هادی. (۱۳۹۶). ارائه یک روش نوآورانه آزمایشگاهی برای وصله آرماتورهای اعضای کششی در سازه‌های بتن آرمه. *تحقیقات بتن*، ۱۰ (۴).
- خیرالدین، علی. و طیبی فرد، سید محمود. مروری بر اجرا و نظارت وصله‌های فورجینگ در سازه‌های بتن آرمه.
- خیرالدین، علی. و فامیلی، هرمز. (۱۳۹۹). بررسی رفتار وصله جوشی و مکانیکی آرماتورهای به کار رفته در اعضای خمشی و فشاری بتن آرمه. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
- سازمان برنامه و بودجه کشور (۱۴۰۰). آیین‌نامه بتن ایران (آبا). امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران- مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
- مقصودی، علی اکبر. و طغرلی‌پور، امیررضا. (۱۳۹۵). معرفی و بررسی روش وصله کردن میلگرد به شیوه فشار گاز (جوشکاری فورجینگ).
- مقصودی، علی اکبر. و طغرلی‌پور، امیررضا. (۱۳۹۶). بررسی آزمایشگاهی ستون‌های بتن آرمه شامل وصله میلگردها و جوش سربه سر (weld Forge) تحت بار محوری با فواصل مختلف فولاد عرضی. *نشریه علمی و ترویجی مصالح و سازه‌های بتنی*. انجمن علمی بتن ایران، ۲ (۲)، شماره پیاپی ۴، پاییز و زمستان.



- وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. (۱۳۹۹). مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه- ویرایش پنجم. دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان.
- وطن‌دوست، ا و میرزاخانی، ا. (۱۴۰۰). ارزیابی امکان استفاده از جوش ساده و فورجینگ در اتصال آرماتورهای فولادی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود.
- ACI 318-19. (2019). Building code requirements for structural concrete. ACI Committee 318. *American Concrete Institute*, USA.
 - ACI 318-25. (2025). Building code requirements for structural concrete. ACI Committee 318. *American Concrete Institute*, USA.
 - Aisoken Co., Ltd. (n.d.). Ultrasonic flaw detection and appearance testing of gas pressure welded parts of reinforcing bars. *Aiken Comprehensive Design Institute*. <https://aiso-ken.co.jp/ultrasonic>.
 - Armstrong, I. C. (1971). Full-strength butt welds of reinforcing bars by the pressure - gas process. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 4 (2), 270–284.
 - Australian/New Zealand Standard. (2014). Structural steel welding, Part 3: Welding of reinforcing steel. 1554.3.
 - Australian/New Zealand Standard, AS/NZS 4671. (2019). Steel for the reinforcement of concrete.
 - British Standard, BS EN ISO 17660-1. (2006). Welding-welding of reinforcing steel-Part 1: Load-bearing welded joints.
 - Chaitanya. (2024). Welding Flames-Different types of welding flames. *ElectronicsHub*. <https://www.electronicshub.org/welding-flames>.
 - CSA A23.3, (2024), Design of concrete structures, *Canadian Standards Association*
 - Dabiri, Hamed. Kheyroddin, Ali. Dall'Asta, Andrea. (2022). Splice methods used for reinforcement steel bars: A state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 320.
 - Daia Corporation. <https://www.daia-net.co.jp>.
 - Deok-Seok, Seo. (2008). A study on the welding performance of korean automatic gas pressure welding machine by external appearance investigation. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*.
 - EQE International. (1995). The January 17, 1995 Kobe Earthquake-An EQE Summary Report.
 - Ghosh, S. K. (1995). Observations on the performance of structures in the kobe earthquake of January 17, 1995.
 - Hisada et al. (2020). Recommendation for design, fabrication and evaluation of anchorages and joints in reinforcing bars. *Japan Society of Civil Engineers*.
 - Hokuriku Gas Pressure Welding. <https://assetsu.jp>.
 - Ishibashi, T. Suzuki, M. Shimomura, T. Uchida, Y. Sakurai, J. Ohtani, Y and Suzuki, A. (2007). Overview of recommendations for design, fabrication and evaluation of anchorages and joints in reinforcing bars. *Concrete Journal*, 45 (12), 8-16.
 - Japan Pressure Welding Society (JPWS). (2002). Standard Specification for Gas Pressure Welding of Reinforcing Bars.



- Japan Rebar Joints Institute, JRJS 0002. (2006). Gas Pressure Welding Joint Performance Assessment Standard.
- Japan Rebar Joints Institute, JRJS 0007. (2017). Class A Joint Usage Standards.
- Japan Rebar Joints Institute, JRJS 0008. (2017). Class A Joint Performance Evaluation Criteria.
- Japan Reinforcing Bar Joints Institute (JRJI). (2005). Rebar Joints Manual.
- Japan Reinforcing Bar Joints Institute (JRJI). (2009). Standard Specification for Gas Pressure Welding of Reinforcing Bars.
- Japan Reinforcing Bar Joints Institute (JRJI). (2019). Guide to Using Class A Joints.
- Japan Welding Society. (2002-2024). <https://www-it.jwes.or.jp>.
- Japanese Industrial Standard, JIS K 1902. (1980). Dissolved Acetylene.
- Japanese Industrial Standard, JIS K 6334. (1984). Rubber Hoses for Acetylene.
- Japanese Industrial Standard, JIS B 6801. (2003). Manual Blowpipes for Oxyacetylene Welding.
- Japanese Industrial Standard, JIS G 3112. (2004). Steel Bars for Concrete Reinforcement.
- Japanese Industrial Standard, JIS Z 3062. (2009). Method and Acceptance Criteria of Ultrasonic Examination for Gas Pressure Welds of Deformed Steel Bars for Concrete Reinforcement.
- Japanese Industrial Standard, JIS Z 3881. (2009). Standard Qualification Procedure for Gas Pressure Welding Technique.
- Japanese Industrial Standard, JIS Z 2248. (2014). Metallic Materials-Bend test.
- Japanese Industrial Standard, JIS Z 3120. (2014). Method and Acceptance Criteria of Test for Gas Pressure Welded Joint of Steel Bars for Concrete Reinforcement.
- Japanese Industrial Standard, JIS K 1101. (2017). Oxygen.
- Japanese Industrial Standard, JIS B 6803. (2003). Pressure Regulators for Welding, Cutting and Allied Processes.
- Japanese Industrial Standard, JIS B 6805. (2003). Rubber Hose Connection for Equipment for Welding, Cutting and Allied Processes.
- Japanese Industrial Standard, JIS B 8241. (1989). Seamless Steel Gas Cylinders.
- Japanese Industrial Standard, JIS B 8244. (2004). Valves for Dissolved Acetylene Cylinder.
- Japanese Industrial Standard, JIS B 8246. (2004). High Pressure Gas Cylinders.
- Japanese Industrial Standard, JIS K 6333. (1986). Rubber Hoses for Welding, Cutting and Allied Equipment.
- Japanese Industrial Standard, JIS K 6334. (1984). Rubber Hoses for Acetylene.
- Japanese Industrial Standard, JIS Z 2241. (2012). Metallic Materials - Tensile Testing - Method of test at room temperature.
- JSCE, (2020). Recommendation for Design, Fabrication and Evaluation of Anchorages and Joints in Reinforcing Bars. *Japan Society of Civil Engineers*.
- Kanatsu Co. Ltd Japan. <https://www.kan-atsu.com>.
- Kheyroddin, Ali. Dabiri, Hamed. (2020). Cyclic performance of RC beam-column joints with mechanical or forging (GPW) splices; an experimental study. *Structures* 28, 2562–2571.
- Kheyroddin, Ali. Rouhi, Sina. Dabiri, Hamed. (2021). An experimental study on the influence of incorporating lap or forging (GPW) splices on the cyclic performance of RC columns. *Engineering Structures*, 241.



- Ku Lee, Chul. Won Seo, Seong. Dae Chae, Byoung. Hyun Nam, Bok. (2001). A study on the weld condition of gas pressure welding in steel bars. *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, 10 (6), 12, 57-62.
- Mitsui, Yoshiyuki. Takeda, Koji. Murakami, Kiyoshi. (2002). Development of a manual gas pressure welding procedure for high-strength bar joint. *AIJ J. Technol, Des.* No. 15, 15-18.
- Moustafa, T. and Khalifa, W. and El-Koussy, M. and El-Reheem, N. A. (2016). Optimizing the welding parameters of reinforcing steel bars. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(5), 1699-1711.
- Narihara, H. Yabe, Y. Nakazawa, H. and Hayashi, S. (2004). Performance of gas pressure welded joints of reinforcing bars. *Concrete Journal*, 42 (10), 12-18.
- New Zealand Standard, NZ 3101. (2006). Concrete Structures Standard.
- Ogata, Motoomi. (2015). Design of SA class and A class rebar joints. *Aichi Institute of Technology*.
- Park, Sooyong. Choi, Sanghyun. Stubbs, Norris. Bolton, Robert. Price, Angie H. Sikorsky, Charles. (2006). A modal parameter based technique to inspect welded reinforcement splices. *Engineering Structures*, 28, 453-465.
- Scholz, Wolfgang. Roberts, Bruce. (2000). Welding newly developed, high strength, seismic grade reinforcing bars. *I2WCEE*.
- Sharbatdar, Mohammad. K., Mohammadi Jafari. Omid and Kari, Mohammad S. (2018). Experimental evaluation of splicing of longitudinal bars with forging welding in flexural reinforced concrete beams. *Advances in Concrete Construction*, 6 (5), 509-525.
- Takano, Shigeo. Yokokawa, Takao. Ikeno, Teruo and Ichinose, Yasuaki. (1977). automatic gas pressure welding for large-diameter concrete reinforcing bars (Part 1) - Apparatus & system of the automatic welding. *Journal of the Welding Society*, 46 (2), 77.
- Takano, Shigeo. Yokokawa, Takao and Ikeno, Teruo. (1977). Automatic gas pressure welding for large-diameter concrete reinforcing bars (Part 2). *Journal of the Welding Society*, 46 (9), 679.
- Weldguru. *Welding flames*. <https://weldguru.com/welding-flames>.
- Yabe, Yoshitaka. (1986). Mechanical properties and gas-pressure-weldabilities of electric furnace reinforcing bars. *Concrete Journal*, 24 (4), 4-13.
- Yabe, Yoshitaka. Narihara, Hiroyuki and Nakagomi, Tadao. (2020). A study on weldability of high strength reinforcing bars (part 1): Evaluation by weld cracking. *J. Struct. Constr. Eng., AIJ*, 85 (770), 455-461.
- Yabe, Yoshitaka. Narihara, Hiroyuki and Nakagomi, Tadao. (2020). A Study on weldability of high strength reinforcing bars (part 2): Evaluation by Heat-Affected Zone fracture. *J. Struct. Constr. Eng., AIJ*, 85 (776), 1245-1253.
- Yamamoto, Ryu-Ichi. Fukada, Yasuto. Tatsumi, Mitsumasa and Komizo, Yu-Ichi. (2009). Observation for transition behavior of oxide inclusions on gas pressure weld interface-welding phenomena of gas pressure welding. *Proceedings of the Japan Welding Society*, 27 (3), 222-229.
- Yamamoto, Ryu-ichi. Komizo, Yu-ichi and Fukada, Yasuto. (2010). Experimental examination for understanding of transition behavior of oxide inclusions on gas pressure weld interface-joining phenomena of gas pressure welding. *Proceedings of the Japan Welding Society*, 28 (2), 167-176.



- Yamamoto, R. Fukada, Y. Ueyama, K. Tatsumi, M. Oishibashi, H. (1998). Gas pressure welding method for steel reinforcing bars. *Weld, Res. Suppl. I. 77(5)*, 188–192.
- Yamamoto, Ryu-ichi. Fukada, Yasuto. Tatsumi, Mitsumasa. Ueyama, Katsuyoshi. (2002). New Quality Inspection Method for Gas Pressure Welds. *QR of RTRI*, 43 (1).

information regarding forging-type welded splices. Chapter 2 reviews existing requirements in national and international standards and codes related to gas-pressure welding for rebar splicing. Given the development and widespread use of this method in Japan, the majority of the provisions presented in this chapter have been gathered and translated from Japanese references and standards. Chapter 3 summarizes past research on the subject, presenting findings from studies conducted in Iran, Japan, New Zealand, and other countries over the past three decades. These findings include innovations in execution and inspection of such splices, investigations into the structural behavior of systems constructed using this method, and metallurgical studies related to gas-pressure welding.

Chapter 4 presents the experimental assessment of the weldability of reinforcing bars produced in Iran. Since reinforcing bars in Iran are manufactured using both micro-alloying and thermo-mechanical treatment (Tempcore/Quench-and-Temper processes), and because certain standards prohibit welding bars produced by heat treatment, the impact of forge-welding on the mechanical properties of domestically produced rebars was evaluated through a series of tests performed on welded splice specimens.

Based on the conducted studies, gas-pressure welding (forging) appears to be a viable and effective method for splicing reinforcing steel bars. However, due to the strong dependence of splice quality on operator skill and execution conditions, the development of a detailed procedure for the execution and inspection of such welded splices—alongside a system for standardizing equipment and training involved personnel—is essential.

Abstract

One of the methods for splicing reinforcing steel bars in reinforced-concrete structures is the use of welded splices. Among the various existing techniques for welded rebar splices, the use of gas-pressure welding—commonly known in Iran as *forging welds*—is one of the most popular and widely used methods in Iran and several East Asian countries due to its speed, ease of execution, and cost efficiency. This technology entered Iran more than a decade ago, following its extensive and successful application in Japan.

Given the influential role of American codes and standards in the field of reinforced-concrete construction in Iran, and the absence of this splicing method in the governing concrete design regulations as well as in Iranian welding codes (which largely follow their American source standards), the use and acceptance of this method has continually faced challenges within the Iranian engineering community. As a result, uncertainties have persisted regarding the associated technical requirements.

Considering the necessity of developing a comprehensive guideline covering the execution of this type of splice, as well as requirements for inspection, testing, and acceptance criteria—which, due to the extent and technical depth of the subject from both structural and metallurgical perspectives, are not addressed in Chapter 9 of the Iranian National Building Regulations or in the Iranian Concrete Code—the present report studies the technical issues and challenges related to standardizing gas-pressure (forging) welded splices of reinforcing bars, with the aim of developing a national guideline. These technical studies serve as a prerequisite for preparing the aforementioned guideline as one of the supporting documents for Chapter 9 of the National Building Regulations and the Iranian Concrete Code.

Chapter 1 of this report introduces various methods of reinforcing-bar splicing in reinforced-concrete structures and presents general



Road, Housing & Urban Development Research Center

Gas Pressure Welding for Splicing Steel Reinforcement in Reinforced Concrete Structures

Behnam Mehrparvar

Ali Kheyroddin

Research Report

BHRC Publication No: R-1156

2025