



Mojtaba Pashapour

civil engineering

وصله مکانیکی میلگرد (فورجینگ)

بررسی نکات اجرایی و آیین نامه ای به همراه تصاویر

تهیه کننده مهندس مجتبی پاشاپور آذر (مدرس و طراح سازه)

تدریس خصوصی طراحی سازه بتنی و فولادی با نرم افزار ایتبس و سیف

لینک کانال آموزش، طراحی اجرا [@MP_Civil](https://www.instagram.com/MP_Civil)



چکیده

فورجینگ یکی از روش‌های نوین و مقاوم در وصله میلگردهاست که با اعمال فشار و حرارت کنترل‌شده، سر دو میلگرد را در هم ادغام و یکپارچه می‌کند. این روش به دلیل تأمین مقاومت کامل تا حد گسیختگی میلگرد و حذف ضعف‌های وصله پوششی، در پروژه‌های بزرگ و سازه‌های لرزه‌ای رواج یافته است. در این مقاله، تاریخچه، اصول فرآیند، ضوابط آیین‌نامه‌ای (مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و آیین‌نامه‌های معتبر دنیا)، روش طراحی و نکات اجرایی فورجینگ بررسی می‌شود.



فورجینگ میلگرد



مقدمه

وصله میلگردها در سازه‌های بتن‌آرمه اهمیت زیادی دارد. در کنار روش‌های پوششی، جوشی و کوپلر، روش فورجینگ در دهه‌های اخیر به‌عنوان یک فناوری پیشرفته معرفی شده است. در این روش با استفاده از دستگاه فورجینگ هیدرولیکی و دمای بالا، انتهای میلگردها به‌طور کامل در هم فشرده و یکپارچه می‌شوند. حاصل کار، مقطع پیوسته‌ای است که عملاً مشابه میلگرد یکپارچه عمل می‌کند.

تاریخچه و ضرورت استفاده

روش فورجینگ نخستین بار در دهه ۱۹۸۰ در ژاپن و اروپا به‌عنوان جایگزین وصله‌های مکانیکی و جوشی معرفی شد. هدف اصلی، تأمین اتصالی بود که در برابر نیروهای لرزه‌ای کاملاً پایدار باشد. در ایران نیز از اوایل دهه ۱۳۹۰ به‌ویژه در پروژه‌های مترو و ساختمان‌های بلندمرتبه، استفاده از این روش آغاز شد.

دلایل انتخاب روش فورجینگ:

- ✓ حذف طول وصله و کاهش تراکم میلگرد
- ✓ دستیابی به مقاومت بالاتر از میلگرد پایه
- ✓ اطمینان کامل در مناطق با خطر لرزه‌ای زیاد
- ✓ کاهش هزینه نگهداری و خطای انسانی نسبت به کوپلر

فرآیند و انواع روش‌ها

فورجینگ گرم: (Hot Forging)

در روش جوش سر به سر میلگردها یا جوش فشاری گازی (Gas Pressure Welding, GPW) که فورجینگ نیز نامیده می‌شود، میلگردها به صورت سر به سر و بدون هیچ گونه مواد افزودنی، توسط حرارت حاصل از سوختن



گاز استیلن و اکسیژن، به دمای خمیری شدن (معمولاً ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) می‌رسند و توسط فشار حاصل از سیلندر هیدرولیک، به یکدیگر فورج می‌شوند.

فورجینگ سرد: (Cold Forging)

بدون حرارت، با فشار مکانیکی بسیار بالا و تغییر شکل پلاستیک، میلگردها در یک غلاف مخصوص یکپارچه می‌شوند.

کمتر رایج است و بیشتر برای میلگردهای قطر متوسط استفاده می‌شود.

ضوابط آیین‌نامه‌ای

مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۹)

وصله فورجینگ به شرط تأیید آزمایشگاهی و دارا بودن گواهی‌نامه معتبر مجاز است.

مقاومت وصله باید حداقل برابر مقاومت نهایی میلگرد باشد.

در مقاطع بحرانی، بیش از ۵۰٪ میلگردها نباید وصله شوند.

در نواحی مفصل پلاستیک استفاده از وصله مجاز نیست.

کنترل کیفیت با آزمایش کشش روی نمونه‌ها الزامی است.

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 ۱-۲۱۰۵۶ باشند. ضمناً جوش میلگردها

در وصله جوشی باید الزامات 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 وصله‌های جوشی در میلگردهایی که نیروی ناشی از زلزله را تحمل می‌نمایند، نباید در فاصله‌ی کم‌تر از دوبرابر 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.

بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، در صورتی که قرار است در میلگردها از وصله‌ی 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.

۹-۲۱-۴-۷ وصله‌ی مکانیکی و جوشی میلگردهای آجدار در کشش و فشار

۹-۲۱-۴-۷-۱ استفاده از وصله‌های جوشی عمدتاً برای میلگردهای با قطر ۲۰ میلی متر و بیش‌تر توصیه می‌شود.

۹-۲۱-۴-۷-۲ در وصله‌های جوشی برای میلگردهای با قطر زیاد، استفاده از اتصال سر به سر مستقیم با جوش نفوذی ارجحیت دارد.

۹-۲۱-۴-۷-۳ جوش میلگردها در وصله‌های جوشی باید الزامات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان را تامین نماید.

۹-۲۱-۴-۷-۴ در وصله‌های مکانیکی انتقال نیرو از طریق غلاف اتکایی، کوپلر، غلاف کوپل کننده و غیره انجام می‌گیرد.

۹-۲۱-۴-۷-۵ برای تامین پوشش بتنی کافی روی میلگرد، اثر افزایش ابعاد میلگرد ناشی از وصله‌ی مکانیکی باید در نظر گرفته شود.



۹-۲۱-۴-۷-۶ وصله‌ی مکانیکی یا جوشی باید قادر به انتقال تنشی حداقل برابر با ۱/۲۵ برابر تنش تسلیم میلگرد در کشش و یا فشار باشد.

۹-۲۱-۴-۷-۷ یک در میان بودن میلگردهای با وصله‌ی مکانیکی یا جوشی در هر مقطع از عضو، به جز در اعضای کششی بند ۹-۲۱-۴-۷-۸ الزامی نیست.

۹-۲۱-۴-۷-۸ در اعضای کششی نظیر عضو کششی قوس‌ها، عضو کششی که بار را به تکیه گاهی در تراز بالاتر منتقل می‌کند، و عضو کششی خرپاها، وصله‌ی جوشی یا مکانیکی در میلگردهای مجاور باید با فاصله‌ی ۷۵۰ میلی متر در امتداد وصله انجام شود. در نظر گرفتن این ضابطه در اعضای کششی نظیر دیوار مخازن دایروی، که تعداد زیادی میلگرد کششی به صورت یک در میان و با فاصله‌ی زیادی از هم وصله شده‌اند، الزامی نیست.

دستورالعمل علمی و فنی اجرای وصله به روش فورجینگ

آماده‌سازی و برش آرماتور

- آرماتورها باید در محل کارگاه و ترجیحاً روی سقف منتقل و با دستگاه برش مجهز به تیغه الماس بریده شوند.
- دو سر میلگرد (ریشه و میلگرد اصلی) باید کاملاً صاف، صیقلی و بدون زائده باشد تا کیفیت اتصال در فرآیند فورجینگ تضمین گردد.

ملاحظات هندسی و هم‌ترازی

- برای جلوگیری از تمرکز وصله‌ها در یک تراز، توصیه می‌شود میلگردها با طول‌های متفاوت بریده شوند.
- در اعضای فشاری، قرارگیری وصله‌ها در یک تراز بلامانع است، ولی در اعضای کششی بهتر است در ترازهای مختلف توزیع شوند.



فرآیند اجرای جوش فورجینگ

- فرآیند فورجینگ با شعله حاصل از ترکیب گاز اکسیژن و استیلن در دمای حدود ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سلسیوس انجام می‌شود.
- در صورت اجرای صحیح، محل شکست در آزمایش کشش باید خارج از ناحیه وصله رخ دهد.
- نمونه‌ها باید به صورت رندوم از میلگردهای ستون انتخاب و تحت آزمایش‌های استاندارد قرار گیرند.

محدودیت‌ها و ضوابط فنی

- اختلاف قطر مجاز بین دو میلگرد متصل شونده نباید بیش از دو نمره باشد (مانند ۲۲ به ۲۰ یا ۲۰ به ۱۸). اتصال ۲۰ به ۲۵ ممنوع است.
- وصله پوششی برای میلگردهایی با قطر بیشتر از ۳۴ میلی‌متر مجاز نمی‌باشد و در این حالت باید از فورجینگ یا کوپلینگ استفاده گردد.
- طول میلگرد برش خورده باید به گونه‌ای انتخاب شود که در سقف‌های بعدی چه در روش همپوشانی و چه در روش فورجینگ یا کوپلینگ، مشکلی در تأمین طول مهاری به وجود نیاید.

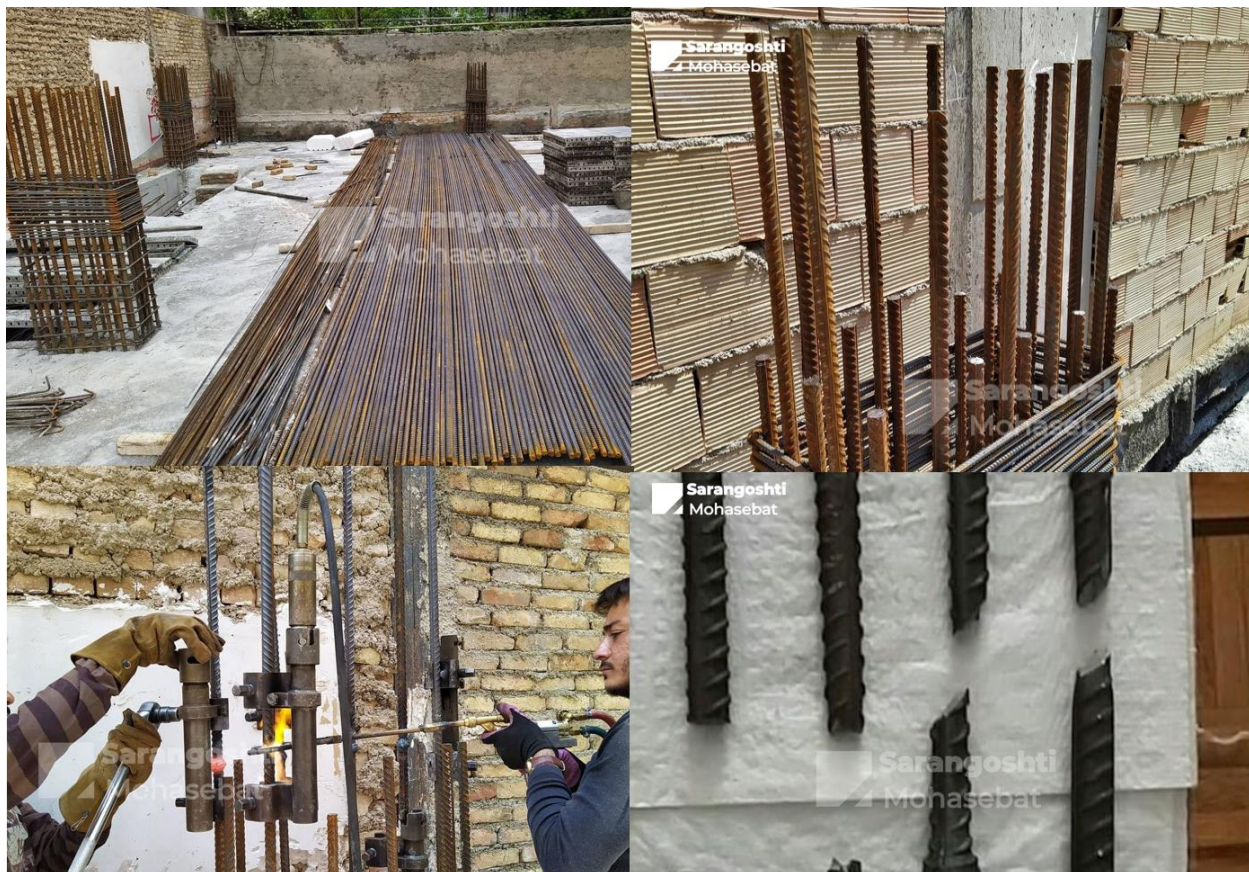
کنترل کیفیت و آزمایش‌ها

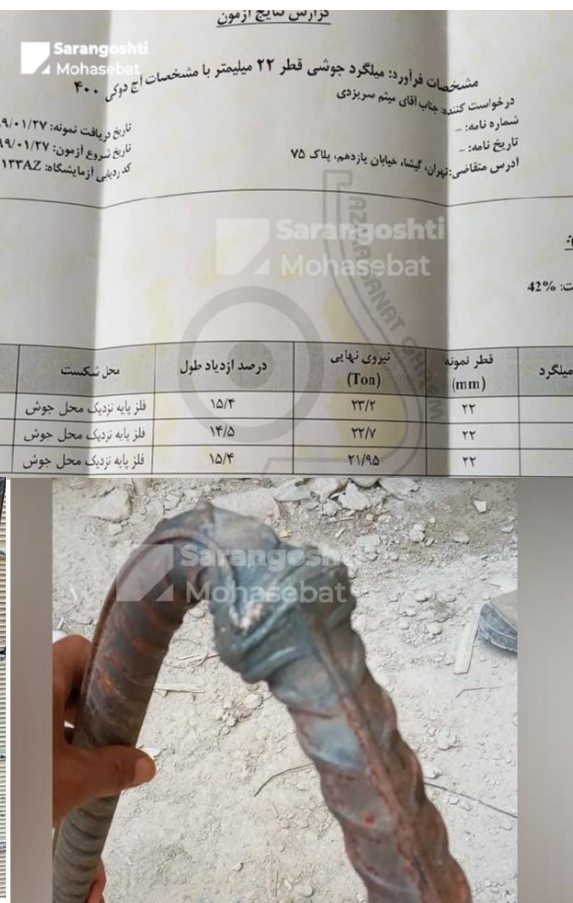
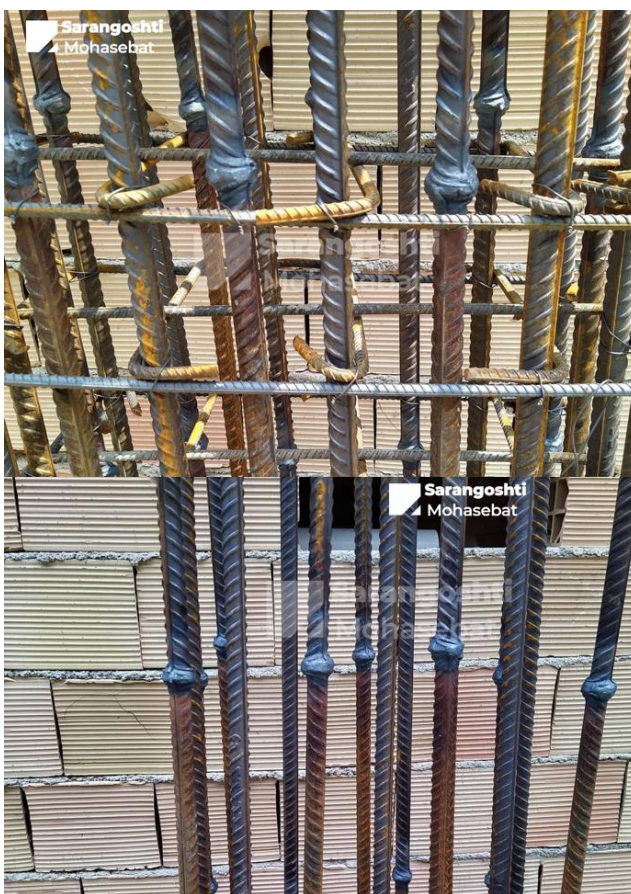
- پیش از شروع عملیات، یک نمونه کارگاهی باید جهت تست، اجرا و بررسی شود.
- آزمایش‌های الزامی شامل: کشش، خمش و التراسونیک هستند.
- طبق دستورالعمل نظام مهندسی استان تهران، از هر ۲۰۰ اتصال فورجینگ، ۳۰ نمونه باید تحت تست التراسونیک قرار گیرند. در صورت مردودی بیش از یک نمونه، تمامی اتصالات باید تست شوند.
- آزمایش خمش ۴۵ درجه می‌تواند با جک هیدرولیک در کارگاه انجام شود و در این آزمایش نباید ترکیدگی در محل اتصال رخ دهد.



شرایط محیطی و اجرایی

- جوشکار باید دارای گواهی معتبر از مراجع ذیصلاح باشد.
 - در شرایط محیطی با دمای کمتر از صفر درجه، اجرای عملیات فورجینگ توصیه نمی‌شود.
 - میزان مجاز خروج از محوریت: تا یک پنجم قطر میلگرد بزرگ‌تر (برای مثال در اتصال میلگرد ۲۰ و ۲۵، حداکثر ۵ میلی‌متر).
 - ابعاد گرده جوش:
 - طول عمودی: حداقل $\frac{1}{15}$ قطر میلگرد
 - عرض گرده جوش: حداقل $\frac{1}{45}$ قطر میلگرد
- ضخامت کاور بتن باید از سطح گرده جوش فورجینگ محاسبه گردد.





مزایا و معایب

جدول (۱) معایب و مزایا

معایب	مزایا
هزینه اولیه تجهیزات نسبتاً بالا	تأمین مقاومت کامل تا شکست میلگرد
نیاز به نیروی متخصص و دستگاه خاص	مناسب برای میلگردهای با قطر زیاد
محدودیت اجرا در فضاهای بسیار کوچک	کاهش طول وصله و افزایش کارایی مقطع
وابستگی زیاد به کیفیت عملیات حرارت و فشار	عدم نیاز به غلاف و رزوه کاری مانند کوپلر

**نتیجه گیری**

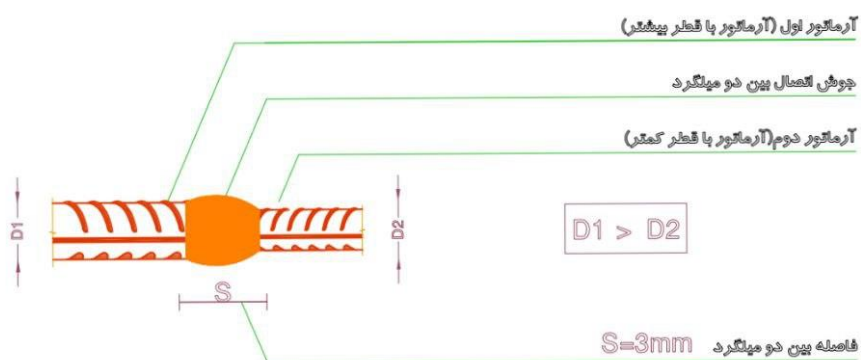
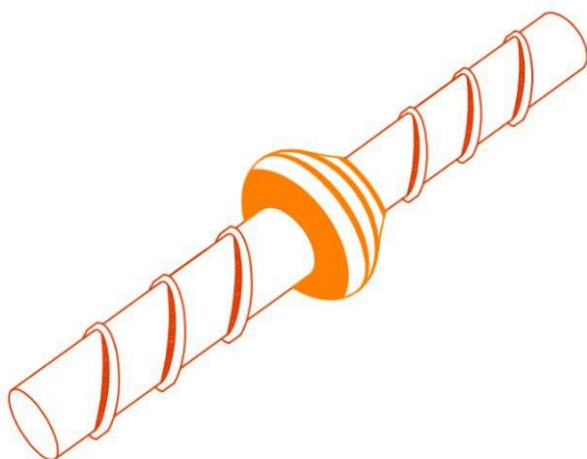
روش فورجینگ به عنوان یکی از مطمئن ترین روش های وصله میلگرد در دنیا شناخته می شود. این روش با ایجاد اتصال یکپارچه، مقاومت کششی برابر یا بالاتر از میلگرد ایجاد کرده و ضعف های وصله پوششی و مکانیکی را برطرف می کند. آیین نامه های معتبر دنیا و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان نیز این روش را به رسمیت شناخته و استفاده از آن را در پروژه های مهم و مناطق لرزه خیز توصیه می کنند. اجرای صحیح این روش نیازمند تجهیزات استاندارد و کنترل کیفی دقیق است و در صورت رعایت اصول، می تواند بهترین انتخاب برای پروژه های عمرانی حساس باشد.

جدول (۲) مقایسه وصله پوششی و وصله مکانیکی کوپلینگ

ویژگی ها	وصله پوششی (Lap splice)	وصله فورجینگ (Forging splice)
قطر مجاز میلگرد	فقط تا ۳۴ میلی متر	بدون محدودیت (در محدوده تجهیزات قابل اجرا)
طول وصله	نیازمند طول همپوشانی زیاد (۴۰-۶۰ برابر قطر)	بدون نیاز به طول زیاد، اتصال سر به سر
مصرف میلگرد	بیشتر (به دلیل طول همپوشانی)	کمتر (صرفه جویی در مصرف میلگرد)
کیفیت اتصال	وابسته به چسبندگی بتن و میلگرد	مشابه میلگرد اصلی (در صورت اجرای صحیح)
کنترل کیفیت	دشواری (غیرمخرب امکان پذیر نیست)	امکان تست غیرمخرب (التراسونیک)
محل شکست در آزمایش	گاهی در ناحیه وصله	خارج از ناحیه وصله (در اجرای صحیح)
هزینه اجرا	پایین تر	بالاتر (نیازمند تجهیزات خاص)
کاربرد در قطرهای بزرگ	نامناسب	مناسب و توصیه شده



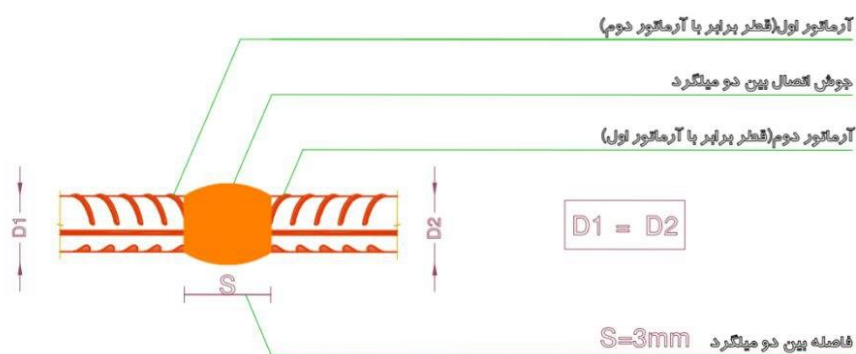
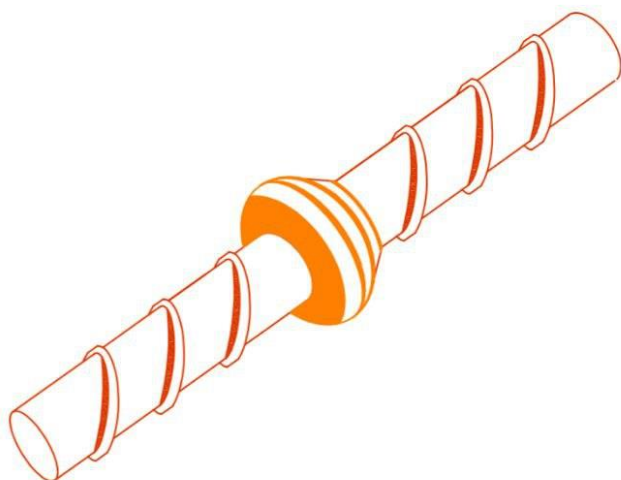
اتصال فورجینگ با قطر میلگرد متفاوت



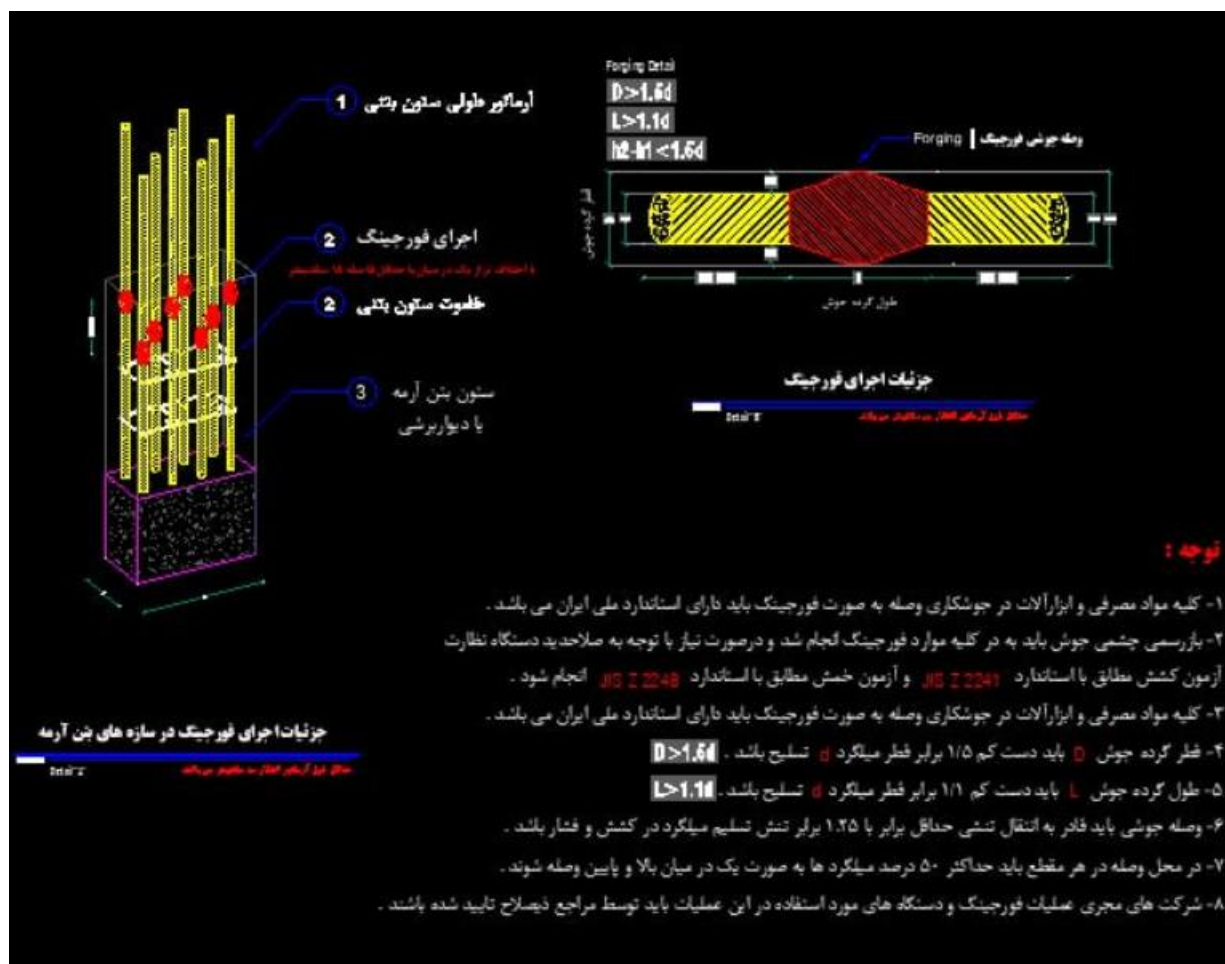
دتایل اتصال فورجینگ (دکتر علی هاشمی)



اتصال فورجینگ با قطر میلگرد مساوی



دتایل اتصال فورجینگ (دکتر علی هاشمی)



دetaیل اجرایی وصله مکانیکی فورجینگ

منابع:

- ۱- مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۹
- ۲- مرکز تحقیقات راه و مسکن شهرسازی
- ۳- گروه آموزشی سرو سازه (دکتر علی هاشمی)
- ۴- کتاب تصویری صفر تا صد روش های اجرایی ساختمان (مهندس عباس خویشه)