وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی انجام جوش بهینه در اتصالات ریلهای فلزی در خطوط سریع السیر راه آهن

استاد راهنما :

آقای دکتر سید جواد میر محمد صادقی

استاد مشاور :

آقای دکتر افشین مصلحی تبار

دانشجو :

پویا پاکدلیان

۱۳۸۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- اهمیت موضوع و مسئله اصلی

ریل های راه آهن تحت بارهای دینامیکی و سیکلی بسیار بالایی هستند و ایجاد شکست های ناگهانی ، تسلیم و خستگی در آن ها بسیار معمول می باشد . جوش ریل های راه آهن نقشی اساسی در ایمنی و عملکرد خط راه آهن دارند و ایجاد شکست ها در آن ها موجب مشکلات فراوانی در تعمیر ، نگهداری و بازرسی خط می شود و همچنین خطر خروج از خط قطار را به همراه دارد .

یکی از شکست های متداول جوش جرقه ای ریل ها ، شکست افقی در جان ریل می باشد که با جدا شدن قسمتی از تاج ریل خطر جدی خروج از خط قطار را فراهم می کند .به طور کلی به خطوطی سریع السیر اتلاق می شود که سرعت در آن ها به بالای ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت برسد.

مهمترین بار هایی که به یک خط ریلی وارد می شوند بارهای قائم می باشند که راستای آن ها عمود بر صفحه ریل هاست . بارهای قائم وارد از چرخ نهایتاً منجر به ایجاد بارهای دینامیکی و پاسخ های متناظر سیستم در عکس العمل به این بارها در سیستم دستگاه خطوط می شود .

نا همواری های افقی و قائم خط ، سختی نا برابر در مقاطع مختلف خط ، نا پیوستگی خط در محل جوش ها و درزها و نا همواری های موجی شکل متغیر هایی هستند که مقادیر نیروهای دینامیکی را تحت تأثیر خود قرار می دهند .

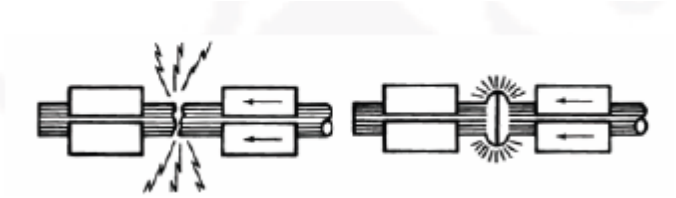
مسئله شکست در جوش ریل های راه آهن در خطوط سریع السیر با توجه به ماهیت دینامیکی و سرعت های بالای ناوگان ریلی از مسئله مهم و حیاتی در ایمنی خطوط راه آهن در پیش گیری از ایجاد سوانحی نظیر شکست و خروج از خط قطار و عدم رسیدن تنش های وارده اعمالی به حد تسلیم در جان و تاج ریل ها در محل جوش ها و نیز نقاط نزدیک آن ها در ریل می باشد و از اهمیت خاصی برخوردار است .

در گذشته برای اتصال ریل ها از پیچکاری استفاده می شده که علاوه بر ایجاد بارهای دینامیکی زیادی در محل درز ، سبب ایجاد سر و صدا و شکست های زیادی در محل درز ریل می شده است . در سال ۱۹۵۰ برای اولین بار از جوشکاری ریل ها ،جهت کاهش هزینه های نگهداری و شکست ها و بهبود رفتار دینامیکی سیستم قطار- خط – ریل ، برای ساخت خط راه آهن استفاده شده است .

ریل اصلی ترین و مهمترین مصالح روسازی خط آهن محسوب می شود . به طور کلی ریل دارای دو نقش اساسی در روسازی می باشد ، یکی هدایت وسیله نقلیه ریلی که تأمین سطح چرخش میباشد و دیگری نقش استاتیکی آن به عنوان یک تیر سرتاسری جهت پخش همگن و یکنواخت نیروهای وارده از چرخ .

در ایران به دلیل محدودیت حمل و نقل از ریل های استاندارد به طول ۱۲.۵ یا ۱۸ متر استفاده شده است ، و با اتصال ریل های کوتاه به همدیگر تعداد زیادی درزهای اتصالی در خط به وجود می آید و این درزها معمولاً نقاط ضعف خط محسوب می شوند . به همین دلیل برای افزایش کیفیت خط و ارتقاء سرعت ، با روش های مختلف جوشکاری آن ها را از خطوط راه آهن حذف می نمایند که بسته به ساختار روسازی خط ریل ها را به صورت پیوسته یا منقطع به یکدیگر جوش می دهند .

بیش از ۸۰ درصد جوشکاری درز ریل در خطوط سریع السیر به کمک جوشکاری جرقه ای سر به سر که شامل گرمایش الکتریکی و فورج هیدرولیکی می باشد انجام می شود که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است . در مرحله جرقه زنی با تماس دادن جزیی دو انتهای ریل ها ، پل هایی بین بر آمدگی ها ایجاد می شود که با عبور جریان زیاد ، این پل های فلزی سریعاً ذوب شده و در اثر تبخیر و میدان مغناطیسی به بیرون پرتاب می شوند . با ادامه تشکیل پل ها به وسیله پیش روی فک های نگهدارنده و مصرف شدن مواد ، گرمای کافی در محل اتصال ایجاد می شود و پس از آن دو انتهای ریل ها به طور سریع و با فشار زیاد به هم فشرده می شوند تا مواد مذاب باقیمانده و اکسید های فصل مشترک خارج شده و جوش بین دو سطح تمیز فلزی ایجاد شود .



شکل (۱-۱) – دو مرحله اصلی جوشکاری جرقه ای شامل جرقه زنی (چپ) و به هم فشردن (راست) [۱]

خارج از ویژگی های متالوژیکی در جوش ها عوامل فیزیکی در محل درز جوش ها در خطوط پیوسته که به شکل سطوح با نا همواری های بالا آمدگی و فرو افتادگی در اجزای ریز ساختاری خود را نشان می دهد، یکی از عوامل مهم به وجود آمدن تنش ها و نیروهای ماکزیمم فشاری و کششی در تاج و جان ریل ها در محل جوش ها می باشد .

در اکثر موارد بعد از جوشکاری تاج ریل ، خرابی هایی در طول ریل در مکان جوش ها ایجاد می شود ، این موضوع می تواند به قرار گیری انتهای غیر دقیق ریل ، تراش دستی سطح ریل و در بسیاری موارد اثر انقباض مواد غیر همگن بعد از سرد شدن در ترکیب با سایش و تراش زود هنگام بستگی داشته باشد . این خرابی ها و اختلالات طول مشخصی بین ۰.۵ تا ۱ متر دارند . این نمود از خرابی ها در جوش ریل به طور کلی در قالب خرابی های کوتاه خطوط با گام های کوتاه ،چروکیدگی ،بالا آمدگی ، خسارت سطحی ریل و جوش که بر اثر اختلالات تماسی غلطکی چرخ ها و انتهای غیر مستقیم ریل ها رخ می دهد ، خود را نشان می دهد . در این رابطه به واسطه عدم رعایت استانداردهای مربوطه ممکن است در حین بهره برداری از خط عیوب مختلفی نظیر ترک ، تخلخل ، تورق ، ذوب ناقص و شکستگی در جوش ترمیت و جرقه ای در ریل بروز نماید .

مؤثرترین روش های کاهش این شکست ها کاهش تنش های پسماند جوش ، اصلاح کیفیت سطحی جوش به وسیله برش و سنگ زنی مناسب مواد بیرون آمده ، حذف عوامل بارهای دینامیکی اعمالی به جوش از جمله پروفیل تماسی مناسب در منطقه جوش ،حذف بر آمدگی ها و نا همراستایی ها می باشد .

در مواد بیرون آمده جوشکاری عیوبی نظیر کشیده شدن مواد آلوده زیر قیچی ،اکسید های باقی مانده در شیارهای ایجاد شده ،خوردگی در اثر شیار ایجاد شده ،سرد جوشی مواد بیرون آمده ، حفرات و تخلخل ها و ساختار انجمادی ، ترک و اکسید های حبس شده مشاهده می شود . این عوامل می توانند به ایجاد موانع و ناهمواری ها در سطح تاج ریل منجر شوند که در عبور ناوگان ریلی سریع السیر نقطه ضعفی برای ایجاد بارهای دینامیکی بزرگ و تنش های فشاری و کششی زیاد در محل جوش و در بازه هایی با فواصل متغیر در اطراف آکس جوش در ریل شوند .

چگونگی شبیه سازی این ریز ساختاری جوش ها ، چگونگی مدل سازی آن ها در نرم افزار اجزاء محدود و بدست آوردن نیروهای دینامیکی حاصله ماکزیمم و تنش های فشاری و کششی غالب در تاج و جان ریل ها از مهمترین بخش هایی است که در این رساله به آن می پردازیم .

از لحاظ برخورد با عوامل فیزیکی موجود در مسیر عبور ناوگان ریلی که بر روی سطح ریل به شکل ناهمواری هایی که مقادیری بسیار کوچک در حدود میکرون در فواصل مشخصی دارند و ایجاد نیروهای دینامیکی بزرگ و نهایتاً اثرات این نسبت تغییرات انحرافات عمودی در اختلالات سطحی جوش به راستای طولی ریل که مربوط به مباحث گرادیان جوش ها می شوند از مباحث مهمی است که به عنوان مدل سازی در نرم افزار معرفی شده و همچنین به مبنایی برای ایجاد روابط ریاضی مشخصی برای نیروهای دینامیکی و توابع مشخص بدست آمده تنش ها بر حسب گرادیان جوش ها بر اساس تعریف مدل هموارسازی مشخصی که در اختلالات سطحی جوش در این رساله ارائه شده ، منجر خواهد شد .

این روابط ریاضی و توابع ارائه شده بر مبنای تحلیل بیش از ۱۰۰ مدل جوش تعریف شده در نرم افزار اجزاء محدود در سرعت های مختلف خطوط سریع السیر و استفاده از توابعی است که با برازش از تعداد زیادی نقاط داده ای بدست آمده از نرم افزار حاصل می شوند .

جوشکاری جرقه ای سبب ایجاد تنش های پسماند کششی بالایی در منطقه جوش ریل در خطوط سریع السیر می شود که می تواند در رفتار خستگی و شکست این جوش ها تأثیر مخرب داشته باشد .

شکست جوش و ریل در راه آهن های سریع السیر به دلایل مختلفی از جمله جوشکاری نا مناسب ، خستگی ریل ، ضربات سنگین ناشی از معایب چرخ ها و ... اتفاق می افتد .

در راه آهن ایران به دلیل قدمت بالای بعضی خطوط و همچنین عدم رعایت دستورالعمل های جوشکاری در حین انجام عملیات ،با آنکه جزءخطوط سریع السیر نمی شوند ، این نوع خرابی ها اتفاق می افتد .

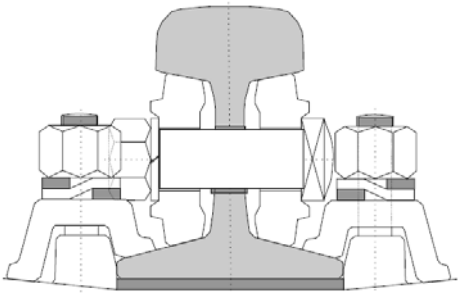
متأسفانه در ایران هیچ گونه تحقیقات مشخصی در زمینه خطوط سریع السیر صورت نگرفته است ، که این تحقیق اولین تحقیق جامع در شناخت جوش بهینه برای خصوصیات راه آهن سریع السیر ایران است .

فصل دوم

مروری بر ادبیات و روش های جوش کاری ریل

۲-۱-وصله ریل

تا اوایل قرن بیستم میلادی که فناوری جوشکاری شاخه‌های ریل به یکدیگر و همچنین صنعت تولید ریل‌های طویل به وجود نیامده بود، همان گونه که در شکل‌های (۲-۱) و (۲-۲) نشان داده شده است، تنها راه متصل نمودن ریل‌ها به هم، استفاده از ادوات اتصال (صفحات اتصالی و پیچ‌های آن‌ها) بود. انطباق هندسی صفحه اتصال و جان ریل بر یکدیگر از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و به همین علت به ازای هر پروفیل ریل، صفحه اتصالی مخصوص به همان پروفیل ساخته شده است. از نظر تعداد سوراخ‌های مورد نیاز برای نصب پیچ‌ها، به طور کلی دو گروه صفحات چهار و شش سوراخه را می‌توان برشمرد. [۱]



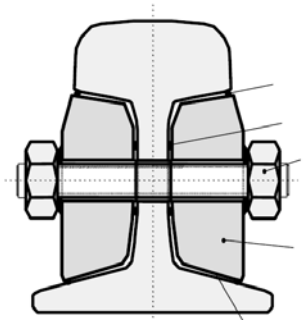
شکل (۲-۱) – مقطع عرضی یک درز وصله شده [۲]

شکل (۲-۲) – درز وصله شده در خط [۲]

وصلههای ریل بـاعث کاهش سختی خط، خرابی سطح ریل و انتهای اتصالات، ایجـاد سطح نـاهموار حرکت، ایجاد لرزش‌های نامطلوب، افزایش ضریب دینامیکی بارها، افزایش تنش‌های اعمال شده بر بالاست و بستر، افزایش نشست دائمی خط و افزایش سرعت زوال خط میشود. لذا توصیه میشود تا حد امکان از به کارگیری وصلهها در ریل اجتناب شود. [۱]

زمانی که احتمال برقراری جریان الکتریکی بین دو ریل وجود داشته باشد و این امر باعث ایجاد اختلال در سامانه علائم و سیگنالینگ گردد، از وصله‌های ویژه‌ای استفاده می‌شود. ساختار این وصله‌ها بدین صورت است که بین جان ریل و صفحه اتصالی از چسب مخصوصی که عایق الکتریکی است استفاده می‌شود و بدین ترتیب مانع از انتقال جـریـان الکتریسیتـه ناخواسته بیـن

دو ریل متوالی می‌گردد. در شکل‌های (۲-۳) تا (۲-۵) نمونه این نوع از صفحات اتصالی، به همراه مداربندی مربوط به سامانه کنترل علائم و سیگنالینگ، نشان داده شده است. [۱]



شکل (۲-۳) – مقطع عرضی یک درز با وصله عایق‌بندی شده [۱]

شکل (۲-۴) – وصله عایق بندی شده [۱]

شکل (۲-۵) – نمونه‌ای از کاربرد وصله عایق‌بندی شده [۲]

۲-۲-جوش درز ریل

جوشکاری ریل‌ها، یکی از کارهای تخصصی در اجرای روسازی است و به علت اهمیت این موضوع در عملیات احداث روسازی، در این بخش به معرفی روش‌های جوشکاری در ایران پرداخته خواهد شد.

وجود درز انبساط در خطوط راه آهن دارای معایب متعددی است که برخی از آن‌ها عبارتند از :

- ضعیف شدن خط آهن از نظر سازه‌ای
- ایجاد نیروهای دینامیکی بسیار بزرگ به هنگام عبور قطار از محل درز
- افزایش میزان مصرف سوخت
- کاهش عمر مفید اجزای خط شامل ریل‌ها، تراورس‌ها، پابندها و ... .
- افزایش حجم عملیات تعمیر و نگهداری به میزان ۲۵٪
- افزایش هزینه انجام عملیات تعمیر و نگهداری خط و وسایل نقلیه ریلی
- بروز معایبی همچون لهیدگی انتهای ریل‌ها و بروز شکست ناشی از خستگی در آن‌ها
- ایجاد سر و صدای زیاد به هنگام عبور چرخ از روی درز
- از بین رفتن هندسه مطلوب خط در مدت زمانی کوتاه

با افزایش روزافزون سرعت و بار محوری وسایل نقلیه ریلی، اثرات مخرب درزهای انبساط اهمیت بیشتری می‌یابد . [۲]
در راستای کاهش این تأثیرات دو راهکار عمده از سوی متخصصین ارائه گردیده است:

- استفاده از ریل‌هایی با طول بیشتر و در نتیجه کاهش تعداد درزهای انبساط مورد نیاز برای اتصال شاخه‌های ریل به یکدیگر
- استفاده از تکنیک جوشکاری ریل‌ها برای اتصال آن‌ها به یکدیگر و حذف کامل درزهای انبساط در خط آهن

امروزه با ترکیب دو راهکار مذکور یعنی تولید ریل‌های طویل (به طول ۱۲۰ m) و سپس جوش دادن آن‌ها به یکدیگر، تا حد زیادی مشکلات گذشته که ناشی از وجود درز بین دو ریل بود، برطرف شده است. [۳]

❁ *اهداف جوشکاری ریل*

جوشکاری ریل‌ها به منظور دستیابی به اهداف زیر صورت می‌گیرد:

- افزایش طول پیوسته ریل و در نتیجه کاهش تعداد درزها و ادوات اتصال (صفحات اتصالی و پیچ‌های مورد نیاز)
- غلبه بر ضعف خط در محل درز
- صرفه جویی اقتصادی با کاهش حجم عملیات تعمیر و نگهداری و افزایش طول عمر خط
- تعمیر ریل‌های سایش یافته و آسیب دیده
- بازسازی دستگاه خطوط در قسمت‌های ساییده شده
- بازسازی معایبی همچون سوختگی کلاهک ریل ناشی از لغزیدن چرخ بر روی آن و سایر معایب فولاد ریل [۳]

روش‌های جوشکاری ریل

به طور کلی چهار روش برای جوشکاری ریل وجود دارد که به ترتیب اهمیت عبارتند از:

- جوشکاری برقی
- جوشکاری ترمیت
- جوشکاری با فشار گاز اکسی استیلن
- جوشکاری قوس الکتریک

۲-۲-۱-جوشکاری برقی

جوشکاری برقی در کنار جوشکاری ترمیت، روشی متداول برای حذف درز ریل‌ها است. از مزایای جوشکاری برقی در مقایسه با جوشکاری ترمیت، نیفزودن ماده اضافی به محل جوش است که این مسأله در استحکام ریل و بقای آن تأثیر زیادی دارد. جوشکاری برقی در خطوط ریلی به دو روش انجام می‌شود. در روش اول در یک کارگاه ثابت، ریل‌ها را به طول‌های مورد نیاز جوشکاری کرده و سپس به کمک جرثقیل، به محل خط برای نصب حمل می‌کنند. در روش دوم، به کمک ماشین‌های جوشکاری مدرن ثابت و متحرک در طول خط، عملیات جوشکاری انجام می‌گیرد. [۴] در شکل (۲-۶) نمونه‌ای از ماشین جوشکاری برقی ریل در کارگاه نشان داده شده است. همچنین در اشکال (۲-۷) و (۲-۸) دو نمونه از ماشین‌های جوشکاری برقی ریل را که در محل خط قادر به انجام عملیات جوشکاری می‌باشند، می‌توان مشاهده نمود.

شکل (۲-۶) – نمونه‌ای از ماشین جوشکاری برقی ریل در کارگاه [۴]

شکل (۲-۷) – ماشین جوشکاری برقی ریل مدل (K355 APT) [۱]

شکل (۲-۸) – ماشین جوشکاری برقی مدل (600 S APT) [۱]

✓ ***اصول جوشکاری برقی***

ابتدا در دو سر ریل، قوس الکتریکی ایجاد می‌شود. حرارت مورد نیاز برای جوش فلزات از طریق جریان الکتریسیته و مقاومت الکتریکی فلز تحت جوشکاری تأمین می‌شود. اساس کار، بر مبنای ولتاژ کم (۵ ولت) و شدت جریان زیاد (۳۵۰۰۰ آمپر) استوار است. بعد از آن که انتهای هر دو ریل به دمای ذوب رسید آن‌ها را با نیرویی متناسب با مقطع ریل، به هم می‌فشارند. برای این منظور دو سر ریل را به طور مطلوب در دو گیره مخصوص که روی ماشین قرار دارد، محکم می‌نمایند.

هر یک از گیره‌ها جداگانه به دو قطب دستگاه مبدل (ترانسفورماتور) ماشین جوشکاری وصل می‌شود. یکی از گیره‌ها ثابت و دیگری متحرک است و می‌تواند در جهت طولی موازی محور ریل بسته شده و حرکت کند. حال اگر گیره متحرک یک حرکت منظم تناوبی داشته و به جلو و عقب برود، برخوردهایی متوالی بین دو سر ریل به وجود می‌آورد که در نتیجه تولید جرقه یا قوس الکتریکی می‌کند و این جرقه‌های برقی بین دو سر ریل تولید حرارت می‌کند، تا حدی که سر ریل‌ها به حالت خمیری درآمده و مستعد به هم جوش خوردن می‌شود. در این حالت، حرکت متناوب و نوسانی دو سر ریل متوقف می‌شود و سر متحرک ریل به طرف سر ریل ثابت حرکت کرده و به آن نزدیک می‌شود. در این مرحله پیشروی ریل متحرک به طرف ریل ثابت به کندی انجام

می‌شود، به نحوی که هیچ گاه به دو سر ریل که به حالت خمیری هستند، فشار وارد نشود. بین دو سر ریل یک قشر نازک مذاب که از دانه‌های ذوب شده فولاد دو سر ریل به وجود آمده، ایجاد می‌گردد و این قشر نازک باعث اتصال دو سر ریل می‌گردد.

وجود جرقه، قوس برقی، حرارت و به حالت قلیان در آمدن دانه‌های فلز، اجازه ورود هوا بین دو سر ریل را نمی‌دهد. در مرحله نهایی سرعت نزدیک شدن دو سر ریل بیشتر شده و به شدت به هم فشرده می‌شوند، به نحوی که به هم چسبیده و یک ریل واحد را تشکیـل دهند. [۱]

✓ ***خصوصیات ماشین جوشکاری برقی***

ماشین جوشکاری برقی باید دارای خصوصیات زیر باشد:

۱- حداقل زمان ممکن را برای جوشکاری دو ریل نیاز داشته باشد، به نحوی که بتوان از کارگاه جوشکاری ۲۰ تا ۲۵ جوش درز ریل در ساعت به دست آورد.

۲- به سهولت و سرعت، ریل را به جای خود گذارده و دستگاه را تنظیم کند.

۳- ساختمان ماشین باید به گونه‌ای طراحی و پیش‌بینی شده باشد که هیچ گونه آثار خستگی در اجزاء آن به وجود نیاید و ضمناً قسمت‌های مختلف آن داغ نشوند و عملیات جوشکاری در مدت کمی به طور یکنواخت انجام پذیرد. [۱]

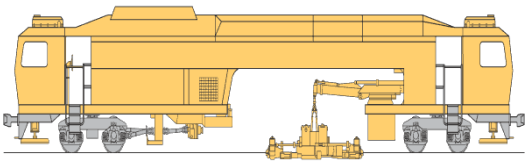
✓ ***ساختمان ماشین جوشکاری برقی***

ماشین جوش برقی به طور کلی از سه قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارتند از:

- قسمت مکانیکی
- قسمت هیدرولیکی
- قسمت الکتریکی

قسمت مکانیکی ماشین شامل گیره‌های ریل‌گیر، جک‌ها، فنرها، قطعات اتصال شاسی حمل کننده، قطعات حمل کننده و غیره است. به منظور جلوگیری از پرتاب جرقه‌های حامل ذرات فلز به اطراف، محفظه فولادی در این قسمت از دستگاه تعبیه شده است. همچنین به منظور جلوگیری از داغ شدن قطعات ماشین، از جریان آب و عبور هوای خنک استفاده می‌شود. [۱]

شکل (۲-۹) – تجهیزات جوشکاری ماشین (600 S APT) [۴]



شکل (۲-۱۰) – طرح جانبی ماشین جوشکاری برقی (600 S APT) [۴]

در قسمت هیدرولیکی، تمام حرکات ماشین غیر از حرکت بعضی از قسمت‌ها، صورت می‌گیرد. حتی محل تنظیم هندسی نیمرخ دو ریل به وسیله قسمت هیدرولیکی انجام می‌شود.

تا اوایل دهه ۱۹۷۰ کلیه ماشین‌های جوشکاری ریل به روش برقی تنها با جریان متناوب (AC) کار می‌کردند. در نسل جدید این ماشین‌ها از جریان برق مستقیم (DC) استفاده شده است. مزیت جریان برق مستقیم آن است که عملکرد دستگاه بسیار یکنواخت و منظم خواهد بود. همچنین در حین عملیات جوشکاری از تولید جرقه‌های زیاد و پرتاب آن‌ها به اطراف جلوگیری می‌شود. جریان برق مستقیم افت القایی کمی در مدار ثانویه ایجاد می‌کند. در قسمت برقی قدرت مورد نیاز حدود ۵۲۰ کیلووات است و برای این که جوش درز ریل به نحوی مطلوب انجام پذیرد، با محاسبه سطح مقطع ریل و ضخامت قطعات گیره‌ها، ترتیبی

داده شده که جریان برق در تمام سطح مقاطع به یک نسبت تقسیم و از این سطوح به یک نسبت جریان برق عبور کرده و در نتیجه در تمام قسمت‌ها حرارت یکنواخت و متعادلی به وجود آید. به این ترتیب به جای این که کابل‌ها و سیم‌های ضخیم برق به یک نقطه از قطعه متصل شوند، به انشعاباتی تقسیم و هر انشعاب به یکی از نقاط سطح مقطع قطعات متصل می‌گردد. در ضمن یک جریان آب و یا هوا، دائماً از داغ شدن قطعات و کابل‌ها جلوگیری می‌کند.

معمولاً در ماشین‌های جوشکاری برقی، یک دستگاه خودکار ثبت کننده وجود دارد که تمام کیفیت و حساسیت ماشین و چگونگی عبور و مصرف جریان برق را ثبت می‌کند. با در دست داشتن این خصوصیات ثبت شده، می‌توان به چگونگی و نوع جنس جوش درز ریل پی برد. در این دستگاه فشار اولیه جریان، فشار ثانویه جریان، شدت اولیه جریان برق، نیروی مصرف شده و فشار در هنگام برگشت ثبت می‌شود. تمام نوارهای اندازه‌گیری دقیقاً بررسی شده و بطور مرتب طبقه‌بندی و نگهداری می‌گردد و

اگر درز جوشکاری شده در حین استفاده دچار مشکل شود، با مراجعه به نمودارها و نوارهای مربوط، به سهولت می‌توان به عیب دستگاه و یا سایر نواقص جوشکاری پی برد. نمونه‌ای از این دستگاه در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده است.

جزئیات اجرایی این روش جوشکاری به شرح مراحل زیر است:

- رفع انحراف و تنظیم راستای طولی ریل در جهت افقی و قائم؛ این کار هم به صورت دستی و هم توسط ماشین آلات خاصی قابل انجام است.

شکل (۲-۱۱) – دستگاه اندازه‌گیری هندسه جوش ریل [۴]

- پاکسازی انتهای ریل‌ها به منظور حصول اطمینان از هدایت بهتر جریان الکتریسیته در انتهای آن‌ها؛ در طول ۱۵ تا ۲۳ سانتیمتر و توسط ریل ساب‌های الکتریکی یا پنوماتیکی، وجوه فوقانی، تحتانی و سطوح در تماس با یکدیگر دو ریل سابیده می‌شود.

- تنظیم انتهای ریل‌ها؛ انتهای دو ریل توسط ماشین جوشکاری به یکدیگر نـزدیک شده و راستای طولی و تراز ارتفاعی آن‌ها تنظیم می‌گردد. شکل (۲-۱۲) دستگاه انجام این عملیات را نشان می‌دهد.
- جوشکاری؛ انتهای ریل‌ها توسط ماشین جوشکاری به یکدیگر جوش داده می‌شود.
- رفع زواید؛ بلافاصله پس از جوشکاری، ریل‌ها توسط قسمت دیگری از ماشین جوشکاری صافکاری می‌شوند و زواید فلزات روی سطح آن‌ها پاک می‌گردد. در مواقعی که تجهیزات دفع زواید سطحی کلاهک ریل موجود نباشد، برای این کار از روش دستی یا یک چکش پنوماتیکی استفاده می‌شود. باید توجه داشت که این عملیات تا زمانی قابل اجراست که ریل گداخته باشد .

شکل (۲-۱۲) – دستگاه تنظیم کننده راستای طولی ریل‌ها پیش از انجام عملیات جوشکاری برقی [۴]

- اصلاح پروفیل ریل؛ با استفاده از ماشین‌های ریل ساب، پروفیل ریل اصلاح می‌گردد. در شکل (۲-۱۳) نمونه‌ای از این دستگاه نشان داده شده است.
- تنظیم نهایی راستای افقی و قائم ریل و رفع اعوجاج‌ها و تابیدگی‌های احتمالی
- بازرسی توسط تجهیزات آلتراسونیک به منظور حصول اطمینان از عدم وجود ترک در ریل و جوش
- کنترل رواداری‌های مجاز در محل جوش

مزایای جوشکاری ریل به روش برقی را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

- کیفیت بسیار بالای جوش
- امکان کنترل کیفی جوش توسط یک دستگاه ویژه در حین عملیات جوشکاری
- کمتر بودن هزینه انجام عملیات جوشکاری نسبت به سایر روش‌ها
- رضایتبخش بودن نتایج حاصل از این روش

در کنار مزایای این روش، دو عیب عمده نیز وجود دارد که در زیر بیان می‌گردد:

- اگر چه ماشین آلات متحرک برای انجام جوشکاری به این روش و در محل خط آهن ساخته شده، اما اساساً این روش برای جوشکاری در کارگاه به وجود آمده است.
- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در این روش بسیار زیاد است.

برای انتخاب روش جوشکاری برقی ریل باید به شرایط ریل‌ها نیز توجه داشت. در این رابطه موارد زیر قابل ذکر است:

- این روش قابل استفاده برای ریل‌های جدید و قدیمی است.
- سنگین‌ترین مقطع ریلی که دستگاه قادر به جوشکاری آن می‌باشد، بر اساس ظرفیت دستگاه جوش تعیین می‌شود.
- ریل‌های معیوب که دچار ترک خوردگی و عمق ساییدگی آن‌ها بیش از ۳ mm می‌باشد، نباید با این روش جوشکاری

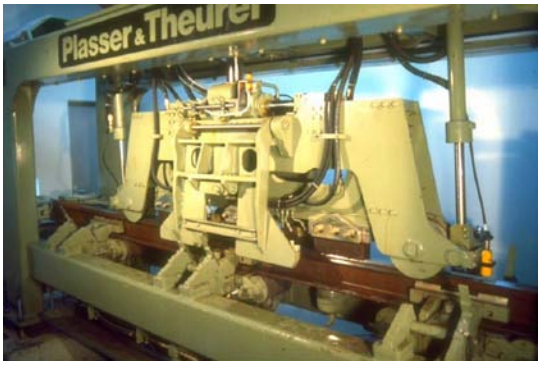
شوند.

- ریل‌های قدیمی که انتهای آن‌ها به منظور نصب صفحات اتصالی سوراخ شده است، باید حداقل به طول ۴۵۰ mm پیش از جوشکاری بریده شود.[۴]

۲-۲-۲-جوشکاری ترمیت

در این جوشکاری، فعل و انفعالات بین مخلوط ریزدانه‌ای از اکسید آهن و ودر آلومینیوم باعث ایجاد آهن مذاب و اکسید آلومینیوم شده و در حدود ۱۵ تا ۲۵ ثانیه طول می‌کشد درجه حرارت به حدود ۲۴۵۰ درجه سانتی‌گراد برسد. روش‌های مختلفی برای جوشکاری ترمیت ارائه شده که روند تکمیلی داشته است هر سازمان و مؤسسه‌ای که دست اندر کار صنعت ریلی می‌باشد بنا به ضروریات و محدودیت‌هایی که دارد، روش مناسب را برمی‌گزینند. از نظر وزنی ۱۵۹ گرم اکسید آهن با ۵۴ گرم آلومینیوم ترکیب می‌شود و حاصل آن ۱۰۲ گرم اکسید آلومینیوم و ۱۱۲ گرم آهن به علاوه ۸۵۰ کیلو ژول گرما خواهد بود. معادله شیمیایی واکنش به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Fe_2O_3 + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe + 850 \quad kJ$$



شکل (۲-۱۳) – ماشین ریل ساب در جوشکاری برقی ریل [۲]

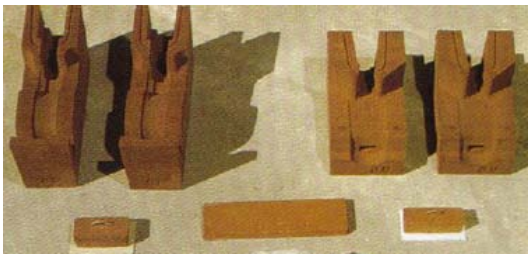
آهنی که از این واکنش حاصل می‌شود، به صورت مذاب در فضای بین دو ریل قرار می‌گیرد و آن‌ها را به هم جوش می‌دهد. اکسید آلومینیوم که از وزن کمتری برخوردار است به شکل سرباره به حالت شناور در می‌آید. به طور کلی جوشکاری ترمیت شامل سه مرحله اصلی است:

- آماده سازی و عملیات قبل از جوشکاری؛ در این مرحله تجهیزات مورد نیاز در محل قرار گرفته و پس از برس‌زنی و تمیز کردن دوسر ریل‌ها، عملیات پیش گرمایش انجام می‌گیرد.
- واکنش ترمیت و ریختن آن؛ این مرحله در ادامه پیش گرمایش دو سر ریل بوده و در آن ترمیت واکنش داده در محل قالب ریخته می شود.
- عملیات تکمیلی؛ این مرحله به برداشت تجهیزات و صاف کردن محل جوش می‌پردازد.[۲]

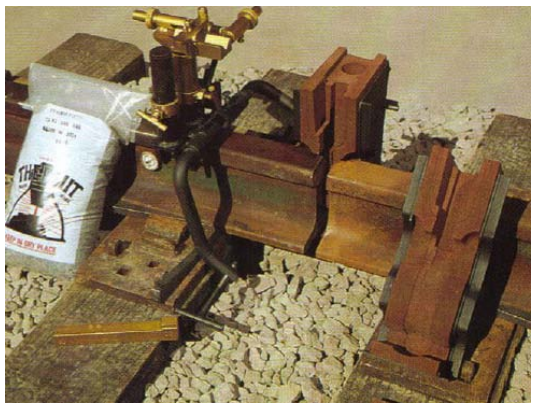
❁ *آماده سازی و عملیات قبل از جوشکاری*

این مرحله شامل مراحل زیر خواهد بود:

- پاکسازی انتهای دو ریل؛ انتهای دو ریلی که قرار است به یکدیگر جوش داده شوند، ابتدا باید کاملاً تمیز گردد. این کار از طریق آغشته نمودن سطح ریل به روغن کرئوزین و سپس پاک کردن آن با برس سیمی انجام می‌شود.
- قرار دادن انتهای ریل‌ها در موقعیتی مشخص؛ در این مرحله ریل‌ها در موقعیت مناسب قرار داده می‌شوند به گونه‌ای که فاصله‌ای در حدود ۱۰ تا ۱۲ میلیمتر بین آن‌ها باقی بماند.
- تنظیم راستای افقی و قائم ریل؛ راستای ریل‌هایی که اکنون در موقعیت مناسب قرار گرفته‌اند، باید در صفحه قائم و افقی تنظیم گردد. برای کنترل میان انحراف ریل در راستای افقی و قائم از یک میله مستقیم به طول یک متر استفاده می‌شود. بر این اساس حداکثر انحراف ریل در راستای افقی باید ۰/۵ mm و در راستای قائم نیز ۱ mm باشد.
- نصب قالب مخصوص در اطراف درز؛ به منظور جلوگیری از روان شدن ماده مذاب حاصل از واکنش شیمیایی به هنگام عملیات جوشکاری، قالبی که از ماسه مخصوصی ساخته شده است در اطراف درز نصب می‌شود. این ماسه باید دارای ۶٪ رطوبت باشد. قالب‌ها دو قسمتی می‌باشند و کاملاً پروفیل ریل را احاطه می‌کنند. [۲] در اشکال (۲-۱۴) و (۲-۱۵) قالب‌های مورد استفاده در جوشکاری ترمیت نشان داده شده‌اند.



شکل (۲-۱۴) – قالب‌های جوشکاری ترمیت [۳]



شکل (۲-۱۵) – مجموعه قالب‌ها و ادوات نصب آن‌ها در خط [۳]

- گرم کردن انتهای دو ریل؛ پیش از جوشکاری، انتهای دو ریلی که قرار است به یکدیگر جوش داده شوند، به مدت ۲۰ تا ۲۵ دقیقه و تا رسیدن به دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شوند. در این دما، انتهای دو ریل گداخته می‌شود و به رنگ نارنجی مایل به قرمز در می‌آید. این امر را می‌توان با چشم و از طریق سوراخ موجود در بالای قالب کنترل نمود. شکل (۲-۱۶) چگونگی انجام این عملیات را نشان می‌دهد.
- قرار دادن گلدان نسوز مخصوص نگهداری مخلوط ترمیت در نزدیکی درز؛ پس از انجام عملیات فوق، گلدان نسوزی که دارای روکشی از جنس منیزیم می‌باشد به گونه‌ای در نزدیکی درز قرار می‌گیرد که هرگاه نیاز شد بتواند مستقیماً در بالای سوراخ قالب مستقر شود. در زیر این گلدان یک دریچه وجود دارد که باز و بسته شدن آن توسط یک خار (پین) صورت می‌گیرد. برای جلوگیری از تماس مستقیم دریچه با ماده مذاب حاصل از واکنش شیمیایی، سطح خارجی آن توسط لایه‌ای از الیاف پنبه نسوز، پوشانده شده است.
- در این مرحله مخلوط ترمیت در گلدان نسوز ریخته می‌شود. ۴ تا ۷ کیلوگرم از این مخلوط مورد نیاز است. در شکل (۲-۱۷) گلدان مذکور، نشان داده شده است. [۳]

✹ *واکنش ترمیت و ریختن آن*

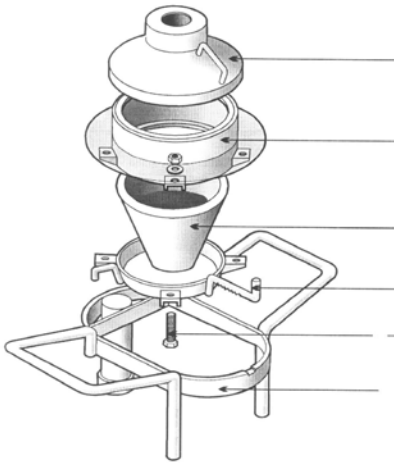
در این مرحله عملیات زیر صورت می‌گیرد:

- جوشکاری؛ به محض آن که مرحله پیش گرم کردن کامل شد، مخلوط ترمیت توسط مشتعل کننده مخصوصی که از پر اکسید باریم و آلومینیوم ساخه شده است، مشتعل می‌شود. با تولید گرما، مخلوط ترمیت به حالت مایع درمی‌آید. سرباره حاصل به دلیل سبک بودن به سمت بالا می‌آید و آهن مذاب در قسمت پایین قرار می‌گیرد. سرعت انجام این واکنش بسیار زیاد است و تنها ۱۵ تا ۲۵ ثانیه طول می‌کشد تا دمای مخلوط به ۲۴۵۰ درجه سانتیگراد که مورد نیاز برای انجام عملیات جوشکاری است برسد.
- ظرف حاوی مایع مذاب به بالای سوراخ قالب آورده می‌شود و دریچه آن با برداشتن خار (پین) باز می‌گردد و آهن مذاب به درون قالب ریخته می‌شود. سپس ظرف از روی قالب کنار می‌رود و سرباره درون آن دور ریخته می‌شود.
- فولاد مذاب در بین سطوح گداخته شده ریل قرار می‌گیرد و یک جوش همگن و یکنواخت را به وجود می‌آورد. [۲]

✹ *عملیات تکمیلی*

- پس از ۵ دقیقه قالب برداشته شده و زواید باقی مانده بر روی ریل در حالی که هنوز به حالت گداخته می‌باشند، توسط یک دستگاه خاص از سطح فوقانی و وجوه جانبی جان ریل جدا می‌شوند.
- به منظور فراهم آوردن یک سطح صاف و کاملاً هموار جهت عبور وسایل نقلیه ریل، لازم است که از ماشین ریل ساب استفاده شود. [۲]

شکل (۲-۱۶) – عملیات پیش‌گرم کردن دو انتهای ریل‌ها [۲]



شکل (۲-۱۷) – گلدان نسوز نگهداری و اشتعال پودر ترمیت [۲]

شکل های (۲- ۱۸) تا (۲- ۲۱) مراحل مختلف اجرای جوش ترمیت را نشان می دهد .

شکل (۲- ۱۸) - مراحل جوش ترمیت از چپ به راست، باز کردن پیچ ها، برش قسمت معیوب و دو سر ریل بریده شده[۳]

در مرحله سوم سطوح بریده شده به وسیله مخلوطی از نفت سفید و گازوئیل و به کمک یک برس سیمی از انواع آلودگی ها و گرد و خاک و مواد روغنی پاک می شوند ، این مواد ممکن است با مواد جوش ترکیب شده و باعث ایجاد ناخالصی در جوش گردد .

در مرحله چهارم ، به کمک یک خط کش فلزی یک متری که دارای یک سطح صاف و مستقیم است ، دو طرف ریل را تراز می کنیم . انتهای ریل ها نیز برای اصلاح انقباض ناشی از سرد شدن و انجماد فلز ترمیت اندکی بالاتر قرار می گیرد. اگر بالا نگه داشتن ریل ها انجام نشود اتصال به علت اختلاف زمانی در سرد شدن سر ریل یعنی جایی که مواد بیشتری موجود است و در نتیجه سرد شدن کندتر ، پایه ریل خم خواهد شد . نقطه اتصال خمیده خود باعث به وجود آمدن مشکلات دیگر خواهد بود ، چنین نقاط اتصالی به علت تشدید نیروهای دینامیکی ناشی از ضربه چرخ ها ، تحت تنش های بزرگتری قرار خواهند گرفت ، برای تراز عمودی و جانبی ریل نیز از گوه استفاده می شود .[۳]

شکل (۲- ۱۹) - مراحل جوش ترمیت از چپ به راست، تنظیم کردن دو سر ریل ، بستن فک های نگهدارنده ، نصب قالب در محل[۳]

در مرحله هفتم ، دو مرحله گرم کردن برای ریل داریم .در مرحله اول کل ریل مورد نظر راتا دمای تعادل منطقه گرم می کنند ، مثلاً برای مناطق بیابانی ایران ۳۷ درجه سانتی گراد است و دمایی است که تغییرات انبساط و انقباض در آن بر روی ریل تا حد زیادی خنثی می شود . اگر ریل بدون گرم کردن ، جوش داده شود تغییرات دمایی در فصول سرد و گرم سال می تواند باعث اعوجاج ریل و یا از هم گسیختگی آن شود . مرحله دیگر مربوط به گرم کردن نقاط اتصال دو ریل است. برای این کار یک مشعل در بالای فاصله دو ریل قرار می گیرد و شعله آن به سمت مرکز این فاصله هدایت می شود . عمل گرم کردن تا زمانی انجام می شود که رنگ نقاط اتصال دو ریل به رنگ آلبالویی در آمده و سرخ گردد . پیش گرمایش ریل در حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد برای کمک به اینکه فلز مذاب اکسیداسیون سطح ریل را پاک کند ، لازم است . در غیر اینصورت فلز مذاب در لحظه برخورد با سطح مقطع سرد ریل بدون پاک کردن اکسیداسیون سطح ریل ، شروع به سرد شدن می کند .[۳]

شکل(۲- ۲۰)- مراحل جوش ترمیت از چپ به راست، پیش گرمایش ریل ، مشتعل شدن مواد جوش و مواد مذاب اضافی[۳]

شکل (۲- ۲۱)- مراحل جوش ترمیت از چپ به راست، کنار زدن مواد اضافی با فک ، سنگ زنی محل جوش و قسمت جوشکاری شده ریل[۳]

پس از برش جوش توسط فک هیدرولیکی و دستگاه سنگ زنی ، صاف شدن کامل ریل با عبور ناوگان ریلی از روی آن و به مرور زمان تکمیل می شود .[۳]

در شکل‌های (۲-۲۲) و (۲-۲۳) دستگاه برش زواید جوشکاری از روی ریل و همچنین ماشین ریل ساب نشان داده شده است. به علاوه در شکل (۲-۲۴) وضعیت نهایی ریل را پس از پایان عملیات جوشکاری ترمیت می‌توان مشاهده نمود.