

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان

بررسی رفتار خستگی و تغییر شکل پیشرونده ریل در محل های جوش

استاد راهنما

دکتر محمد زهساز

استاد مشاور

دکتر فرید وکیلی تهامی

پژوهشگر

دنیز منصوری

بهمن ۱۳۹۳

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

ای پدر از تو هر چه می گویم باز هم کم می آورم

خوشیدی شادی و از روشنائی ات جان گرفتم و در ناامیدی ماندم را

کشیدی و لبریزم کردی از شوق، اکنون حاصل دستان خستات رزموفتم شد

به خودم تبریک می گویم که تو را دارم و دنیا با همه بزرگی اش مثل تو را ندارد

و تو ای مادر، ای شوق زیبای نفس کشیدن

ای روح مهربان بستی ام، تورنگ شادی بایم شادی و مخط بار با تمام وجود از من دور کردی و

عمری سختی بار بار جان خریدی تا اکنون توانستی طعم خوش

پیروزی را به من بچشانی

هر چه آموختم در کتب عشق شما آموختم و هر چه بگو شتم طره ای از دریای بی کران مهربانان را پاس توانم بگویم.

چیزی کران ترا از این نداشتم تا به خاک پستانم نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نیم کوزه غبار سختی تان را بزداید.

بوسه بردستان پر مهرتان

تقدیم به خواهر و برادر عزیزم:

آنان که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است

همواره در طول تحصیل متعل زحمتم بودند و وجودشان مایه دلگرمی من می باشد.

به نام خدا

حمد و سپاس پروردگار مهربان را که توفیق موفقیت در این مرحله از زندگی را به بنده ارزانی داشت.

بر خود لازم می‌دانم، بهترین تشکرها و قدردانی‌ها را تقدیم همه افرادی نمایم که در طول دوران کارشناسی ارشد، مشوق من بوده‌اند.

از استاد بسیار بزرگواریم، جناب آقای دکتر محمد زهساز که بدون شک این پایان‌نامه، حاصل راهنمایی‌ها، ایده‌ها و اندیشه‌های نو آن بزرگواری بوده است، کمال تشکر و قدردانی را دارم. بدون شک خاطره راهنمایی‌های علمی، کمک‌های بی‌دریغ و راه‌گشای ایشان که در سخن نمی‌گنجد، همواره در ذهن من باقی خواهد ماند.

بر خود وظیفه می‌دانم، از استاد مهربان و بزرگواریم، جناب آقای دکتر فرید و کیلی تهامی، کمال تشکر و قدردانی را نمایم، امیدوارم فرصتی پیش آید تا تمامی الطاف ایشان را جبران نمایم.

نهایتاً لازم می‌دانم از پدر و مادرم که در طول زندگی پشتیبان من بوده‌اند سپاس‌گزار باشم، انگیزه و فداکاری آن‌ها دلیل جایگاه امروزی من می‌باشد.

دنیز منصوری

بهمن ماه ۱۳۹۳

نام خانوادگی: منصوری			نام: دنیز
عنوان پایان نامه: بررسی رفتار خستگی و تغییر شکل پیشرونده ریل در محل های جوش			
استاد راهنما: دکتر محمد زهساز			
استاد مشاور: دکتر فرید وکیلی تهامی			
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی مکانیک	گرایش: طراحی کاربردی	
دانشکده: مهندسی مکانیک	گروه: مهندسی مکانیک	تعداد صفحه: ۹۸	
کلید واژه ها: تغییر شکل پیشرونده، خستگی، سخت شوندگی، کرنش پلاستیک، جوش ریل راه آهن			
<p>چکیده</p> <p>یک ریل آسیب دیده می تواند بر روی راحتی و امنیت مسافران قطار تاثیرات متعددی بگذارد. از نمونه های مشاهده شده این آسیب ها می توان به تغییر شکل پیشرونده ایجاد شده توسط بارهای دوره ای وارد شده از چرخ های قطار اشاره نمود.</p> <p>تغییر شکل پیشرونده انباشتگی است که دوره به دوره تحت بارگذاری دوره ای توسعه یافته و یک فاکتور مهم در طراحی اجزاء ساختارها تحت بارگذاری های مورد اشاره می باشد.</p> <p>اجزاء ساختارهای مکانیکی اغلب در معرض نیروهای دوره ای با تنش های متوسطی قرار می گیرند تغییر شکل های پیشرونده ای ایجاد شده به صورت پلاستیک بوده و می توانند منجر به نابودی قطعه می شوند. تغییر شکل پیشرونده تنها باعث تغییر شکل های بزرگ نشده بلکه با افزایش مقادیر دوره به دوره به همراه خستگی باعث از بین رفتن قطعه می شوند.</p>			

مطالعه های دو دهه اخیر نشان دهنده این است که کرنش تغییر شکل پیشرونده ی عمر خستگی را کاهش می دهد و علاوه بر آسیب خستگی دوره ای معمولاً منجر به آسیب بیش از حد مواد می شود. بنابراین اثر ترکیبی تغییر شکل پیشرونده - خستگی در طراحی و ارزیابی اجزاء ساختارها بسیار مهم است. در نظر گرفتن اثرات تغییر شکل پیشرونده در شکست خستگی موادی که در معرض بارگذاری دوره ای قرار دارند ضروری است. در این مطالعه از یک روش عددی برای تحلیل یک مدل سه بعدی اجزا محدود ریل در محل های جوش خورده استفاده شده و مقادیر مربوط به تنش و کرنش تحت بارگذاری استاتیکی و دوره ای ناشی از ناهمواری های ریلی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل در محل های جوش ریل با نتایج تجربی قابل دسترس مقایسه و نتیجه گیری شده اند.

نتایج حاکی از رشد تغییر شکل های پیشرونده در محل های جوش ریل بودند. در این حالت علاوه بر بارگذاری دوره ای تنش پسماند حاصل از جوشکاری نیز در پدیده تغییر شکل پیشرونده تاثیر گذار خواهد بود. نمو تغییر شکل های پیشرونده ایجاد شده در دوره های اولیه زیاد و رفته رفته با افزایش تکرارهای بارگذاری با کاهش مواجه می گردد. با افزایش بار عمر خستگی ریل کاهش یافته و باعث ایجاد فروپاشی در دوره های پایین تر می گردد.

فهرست

۱	مقدمه و پیشینه پژوهش	۲
۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	بیان مسئله	۴
۳-۱	رفتار مواد در ناحیه پس از تسلیم اولیه	۵
۱-۳-۱	توضیح رفتارهای سه گانه	۶
۴-۱	تحقیقات انجام شده در زمینه تغییر شکل‌های پیشرونده مکانیکی	۱۴
۵-۱	تحقیقات انجام شده در زمینه تغییر شکل‌های پیشرونده حرارتی	۱۷
۶-۱	تحقیقات انجام شده در زمینه ریل	۱۹
۷-۱	ریل	۲۰
۱-۷-۱	اجزاء ریل	۲۰
۲-۷-۱	وزن ریل	۲۱
۳-۷-۱	تنش‌های داخلی ریل	۲۱
۴-۷-۱	مقاومت کششی ریل (حد گسیختگی)	۲۲
۵-۷-۱	خستگی ریل	۲۲
۶-۷-۱	علائم شناسایی ریل	۲۳
۷-۷-۱	مشخصات هندسی و خواص مکانیکی و شیمیایی ریلها	۲۴
۸-۷-۱	درز ریل	۲۷
۲	مبانی و روش‌ها	۳۰

۳۰	۱-۲ سطوح تسلیم [۳۴]
۳۳	۲-۲ معیارهای تسلیم
۳۳	۱-۲-۲ تنش اصلی ماکزیمم (نظریه رانکین)
۳۳	۲-۲-۲ کرنش اصلی ماکزیمم (نظریه سن ونان)
۳۴	۳-۲-۲ چگالی انرژی کرنشی
۳۴	۴-۲-۲ معیار ماکزیمم انرژی واپیچش (وون میزز)
۳۵	۵-۲-۲ تنش برشی ماکزیمم (نظریه ترسکا)
۳۷	۳-۲ قوانین جریان ویژه
۳۷	۱-۳-۲ توسعهی مدل‌های سختشوندگی
۳۸	۲-۳-۲ قانون سختی ایزوتروپیک
۴۰	۳-۳-۲ مدل سختشوندگی سینماتیک
۴۱	۴-۳-۲ قانون سختشوندگی سینماتیکی خطی
۴۲	۵-۳-۲ قانون سختشوندگی سینماتیکی چند خطی
۴۴	۶-۳-۲ قانون سختشوندگی سینماتیکی غیرخطی
۴۵	۷-۳-۲ قوانین سختشوندگی ایزوتروپیک / سینماتیک غیر خطی (مدل ترکیبی)
۴۶	۴-۲ طراحی خستگی [۴۵]
۴۷	۱-۴-۲ رهیافت بر اساس تنش
۵۸	۲-۴-۲ رهیافت خستگی براساس کرنش
۶۷	۳ روشهای عددی

۶۸	۱-۳ معرفی کد ABAQUS.....
۶۹	۲-۳ مدل‌سازی ریل و محل جوش ریل.....
۶۹	۱-۱-۳ مدل‌سازی مفاصل عایق‌دار.....
۷۵	۲-۱-۳ مدل‌سازی ریل جوش خورده.....
۸۰	۴ بحث و نتیجه‌گیری.....
۸۰	۱-۴ نتایج مدل مفاصل عایق‌دار.....
۸۲	۲-۴ نتایج مدل ریل جوش خورده.....
۸۶	۳-۴ نتایج تحلیل خستگی.....
۹۲	۴-۴ نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۹۵	۵ مراجع.....

- شکل ۱-۱ اجزای بارگذاری ریل در ریل جوش خورده [۴]..... ۳
- شکل ۲-۱ نمودار نشان دهنده رفتارهای مختلف مواد تحت بارهای مکانیکی دوره‌های [۸]..... ۶
- شکل ۳-۱ رفتار شیک دان الاستیک [۹]..... ۷
- شکل ۴-۱ رفتار الاستیک- پلاستیک در لوله تحت فشار الف) منحنی تنش- کرنش ب) معیار وون میزز ۱۰۰..... ۱۰
- شکل ۵-۱ میزان کرنش افزوده شده و کرنش کاهش یافته در یک دوره در شیک دان پلاستیک [۱۰]..... ۱۲
- شکل ۶-۱ افزایش دوره به دوره‌ی کرنشهای پلاستیک در تغییر شکل پیشرونده [۱۰]..... ۱۳
- شکل ۷-۱ سطح تسلیم وون میزز [۱۸]..... ۱۶
- شکل ۸-۱ مقطع ریل [۳۳]..... ۲۱
- شکل ۹-۱ مقطع ریل UIC-60 [۳۳]..... ۲۵
- شکل ۱۰-۱ درز ریل دارای تکیه‌گاه..... ۲۷
- شکل ۱۱-۱ درز ریل معلق..... ۲۸
- شکل ۱۲-۱ درز ریل تقویت شده..... ۲۸
- شکل ۱-۲ سطوح تسلیم [۳۵]..... ۳۶
- شکل ۲-۲ سختشوندگی ایزوتروپیک [۳۸]..... ۴۰
- شکل ۳-۲ سختی سینماتیک [۳۸]..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۴-۲ قوانین سختشوندگی چند خطی الف) تقریب رفتار بارگذاری ماده با خطوط متعدد ب) تقریب رفتار بارگذاری ماده با دو خط شکسته [۴۱]..... ۴۳
- شکل ۵-۲ قانون سختشوندگی سینماتیکی خطی تک‌های [۴۳]..... ۴۳
- شکل ۶-۲ تکرار دامنه ثابت و اصطلاح مربوطه، در حالت (a) تنش کاملاً معکوس‌شونده، $\sigma_m = 0$ ، می‌باشد و در حالت (b) تنش میانگین غیر صفر می‌باشد و تنش در حالت (c) از صفر تا کششی، $\sigma_{min} = 0$ ، می‌باشد. ۴۸
- شکل ۷-۲ منحنی‌های تنش بر حسب عمر (S-N) حاصل از تست خمشی چرخشی که برای نمونه‌های غیر ناچدار یک آلیاژ آلومینیوم نشان داده شده است. مقیاس‌های تنش خطی یکسانی به کار رفته است. اما تعداد

- دوره‌ها روی یک مقیاس خطی در (a) و روی یک مقیاس لگاریتمی در (b) ترسیم شده‌اند. [۴۵] ۴۹
- شکل ۸-۲ منحنی S-N خمشی چرخشی که برای نمونه‌های غیرناچدار یک فولاد با یک حد خستگی مشخص نشان داده شده است. ۵۰
- شکل ۹-۲ منحنی S-N بارگذاری محوری در تنش میانگین مختلف که برای نمونه‌های یک آلیاژ آلومینیوم نشان داده شده‌اند. منحنی‌ها برای تعداد زیادی از مواد به استحکام‌های میانگین خستگی متصل می‌شوند. ۵۲
- شکل ۱۰-۲ دیاگرام میانگین دامنه نرمالیزه شده که برای آلومینیوم 7075-T6 [۴۵] ۵۳
- شکل ۱۱-۲ ترکیب خمش پایدار و فشار متناوب یک لوله جدار نازک که دو انتهای آن بسته شده است. جهات اصلی ثابت هستند. [۴۵] ۵۸
- شکل ۱۲-۲ ترکیب پیچش پایدار و فشار متناوب یک لوله جدار نازک که دو انتهای آن بسته شده است. جهات اصلی در طول هر دوره تغییر میکنند. [۴۵] ۵۸
- شکل ۱۳-۲ منحنی‌های کرنش الاستیک، پلاستیک و کل که بر حسب عمر نشان داده شده‌اند. [۴۵] ۶۰
- شکل ۱۴-۲ تاثیر تنش میانگین روی منحنی کرنش-عمر یک فولاد آلیاژی که منحنی‌های خطچین از معادله تنش میانگین مورو حاصل شده‌اند اکثر نمونه‌های تست قبل از تست در معرض اضافه کرنش‌ها قرار گرفته‌اند و همچنین بیشتر آنها با $N_f > 10^6$ به طور متناوب تحت کرنش قرار گرفته‌اند. [۴۵] ۶۲
- شکل ۱۵-۲ داده‌های تنش میانگین شکل ۳۶ که بر حسب N^* مطابق معادله مورو ترسیم شده‌اند. ۶۳
- شکل ۱-۳ مدل اجزا محدود ریل UIC60 ۶۹
- شکل ۲-۳ سطح مقطع ساده سازی شده اتصالات ۷۱
- شکل ۳-۳ توزیع فشار سطحی با قطرهای a و b [۴۷] ۷۲
- شکل ۴-۳ کلاهک ریل در حین بارگذاری ۷۲
- شکل ۵-۳ نمایی از آزمایش تجربی انجام شده Mandal و همکاران [۳۱] ۷۳
- شکل ۶-۳ چرخه بارگذاری استفاده شده در روش اجزا محدود ۷۳
- شکل ۷-۳ مدل اجزا محدود ریل با مفاصل عایق‌دار ۷۴

- شکل ۳-۸ هندسه المان هشت گره [۱۰]..... ۷۵
- شکل ۳-۹ هندسه شبکه بندی شده ریل جوش خورده..... ۷۸
- شکل ۳-۱۰ مدول الاستیسیته E و نسبت پواسون ν بر حسب دما T [۴۹]..... ۷۶
- شکل ۳-۱۱ ظرفیت گرمایی c و قابلیت هدایت گرمایی λ بر حسب دما T [۴۹]..... ۷۶
- شکل ۴-۱ مقایسه تحلیل تنش تجربی و استخراجی از ABAQUS..... ۸۰
- شکل ۴-۲ نمودار کرنش پلاستیک بر حسب زمان بارگذاری بدست آمده از کد ABAQUS..... ۸۱
- شکل ۴-۳ مقایسه کرنش پلاستیک معادل تجربی و استخراجی از کد ABAQUS بر حسب زمان..... ۸۲
- شکل ۴-۴ مقایسه روند سرد شدن جوش (دما بر حسب زمان) بر اساس دادههای تجربی و شبیه‌سازی اجزا محدود..... ۸۳
- شکل ۴-۵ کانتور تنش در راستای محور z برای نشان دادن تنش پسماند..... ۸۳
- شکل ۴-۶ مقایسه تنش پسماند بر حسب ارتفاع ریل در حالت تجربی و شبیه‌سازی اجزا محدود..... ۸۴
- شکل ۴-۷ کانتور تنش وون میزز ریل در انتهای پروسه بارگذاری..... ۸۵
- شکل ۴-۸ تغییر شکل پیشرونده ریل جوش خورده..... ۸۵
- شکل ۴-۹ توزیع تنش بر حسب زمان در فشار وارده ۲۵۰۰ مگاپاسکال..... ۸۶
- شکل ۴-۱۰ نمودار کرنش پلاستیک بر حسب زمان..... ۸۷
- شکل ۴-۱۱ نمودار کرنش الاستیک بر حسب زمان..... ۸۷
- شکل ۴-۱۲ توزیع تنش بر حسب زمان در فشار وارده ۵۰۰ مگاپاسکال..... ۸۸
- شکل ۴-۱۳ نمودار کرنش الاستیک و پلاستیک بر حسب زمان..... ۸۸
- شکل ۴-۱۴ نمودار تنش بر حسب عمر..... ۹۱

- جدول ۱-۱ مقادیر تنش تسلیم و تنش مجاز [۳۳]..... ۲۳
- جدول ۲-۱ تنش کششی نهایی و درصد ازدیاد طول فولادهای مختلف [۳۳]..... ۲۶
- جدول ۳-۱ درصد وزنی عناصر شیمیایی انواع ریل [۳۳]..... ۲۷
- جدول ۱-۳ مشخصات مکانیکی فایبرگلاس استفاده شده در مفاصل عایق‌دار [۳۱]..... ۷۰
- جدول ۲-۳ ثوابت ماده استفاده شده برای مدل سختشوندگی ریل [۳۱]..... ۷۰
- جدول ۳-۳ مشخصات مکانیکی فولاد پرلیت سختی HB ۹۰۰ [۴۹]..... ۷۰
- جدول ۱-۴ عمر خستگی بدست آمده بر حسب دامنه کرنش و تنش بیشینه..... ۸۹

فهرست علائم

C	ضریب مشخصه مواد در مدل سینماتیکی
E	مدول الاستیسیته
F	تابع سطح پتانسیل
H	تابع پله‌ای
J_2, J_3	تغییرناپذیرهای تانسور با اثر تنش
K	تابع معلوم (تسلیم)
N_f	عمر خستگی
Q	ضریب مشخصه مواد در مدل ایزوتروپیک
Q_∞	حد اکثر تغییر در اندازه سطح تسلیم
R	متغیر سختی ایزوتروپیک
S_y	استحکام تسلیم
X	تانسور بک استرس
b	نرخ تغییر اندازه سطح تسلیم به ازای افزایش کرنش پلاستیک
dp	نمو کرنش پلاستیک پیشرونده
h	مدول سختی

α	متغیر سختی سینماتیکی
γ	ضریب مشخصه مواد در مدل سینماتیکی
ε	کرنش کل
ε^e	کرنش الاستیک
ε^p	کرنش پلاستیک معادل
ε_p	نرخ کرنش پلاستیک معادل
ρ	چگالی جرمی
σ	تنش
σ_a	دامنه تنش
σ_m	تنش میانگین
σ_{\max}	تنش بیشینه
σ_{\min}	تنش کمینه
σ_y	تنش تسلیم
$\sigma _0$	سطح تسلیم به ازای کرنش پلاستیک صفر
σ^0	تنش تسلیم جاری (اندازه سطح تسلیم در هر لحظه)
$\bar{\sigma}_y$	تنش تسلیم معادل

فصل اول

مقدمه و پیشینه پژوهش

۱ مقدمه و پیشینه پژوهش

۱-۱ مقدمه

یک ریل آسیب دیده می تواند بر روی راحتی و امنیت مسافران قطار تأثیرات متعددی بگذارد. از نمونه‌های مشاهده شده این آسیب‌ها می‌توان به تغییر شکل پیشرونده ایجاد شده توسط بارهای دوره‌ای وارد شده از چرخ‌های قطار اشاره نمود. در روش‌های سنتی از دو قطعه با ۴ یا ۶ عدد مهره برای اتصال دو انتهای ریل استفاده می‌گردید، این اتصالات بنابر وجود فاصله بین دو ریل، اختلاف ارتفاع ریل‌ها از نظر ساختاری ضعیف بوده و باعث ایجاد یک نیروی برخورد با چرخ‌های ریل می‌گردید و این برخورد در مرور زمان منجر به فروپاشی محل برخورد خواهد بود [۱] و [۲]. در نتیجه صنایع ریلی بر آن شدند تا اتصال جایگزین برای این مفاصل بیابند بنابر این روش اتصال جوش سرتاسری^۱ به صورت وسیعی جایگزین روش‌های سنتی گردید. جوش سرتاسری باعث بهتر شدن رفتار دینامیکی بین ریل و چرخ شده بنابراین منجر به کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری خط راه آهن می‌شود. از فرایندهای جوشکاری رایج می‌توان به جوشکاری فلاش بات^۲، جوشکاری ترمیت^۳، جوشکاری فشار گاز اشاره نمود [۳].

نیروهای وارد بر ریل مانند شکل را می‌توان به چهار نوع تقسیم کرد [۴]:

فشار تماسی غلتشی

نیروهای خمشی و برشی ناشی از وزن قطار

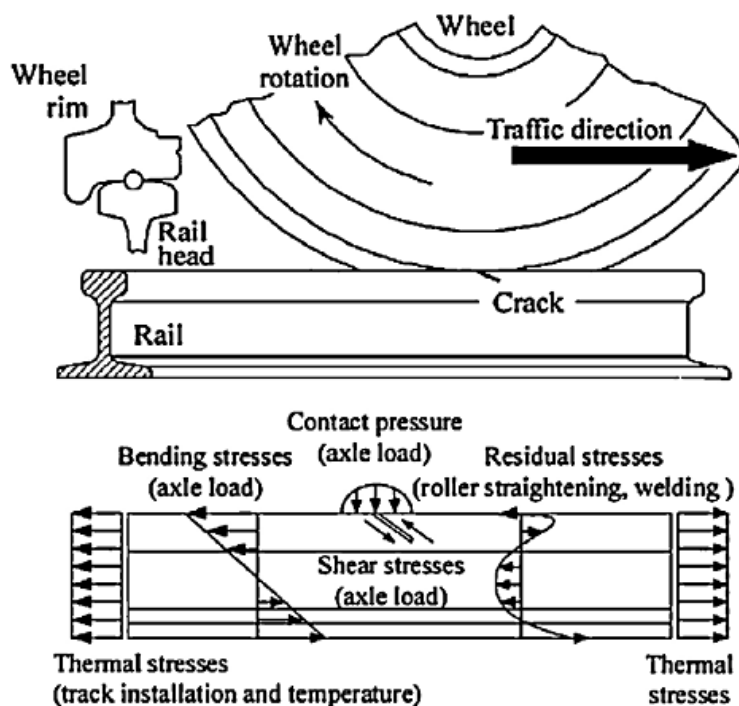
تنش‌های حرارتی ناشی از جوشکاری ریل

^۱ - Continuous Welded Rail (CWR)

^۲ - Flush butt welding

^۳ -Thermite

تنش‌های پسماند ناشی از ساخت (شکل دهی) و جوشکاری ریل



شکل ۱-۱ اجزای بارگذاری ریل در ریل جوش خورده [۴]

در سال‌های اخیر کوشش‌های زیادی در جهت فهم مکانیزم تغییر شکل‌های پیش‌رونده انجام گرفته است. در صنایع مختلف و به خصوص صنایع حمل و نقل ریلی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است به ویژه هنگامی که آن‌ها در معرض اثرات مخرب تغییر شکل پیش‌رونده و خستگی کم چرخه ناشی از بارهای چرخه‌ای به همراه بار مکانیکی قرار بگیرند. همانند آنچه در مخازن و لوله‌های تحت فشار در نیروگاه‌ها رخ می‌دهد [۵]. اما مطالعه جامعی در زمینه تغییر شکل پیش‌رونده در محل جوش ریل صورت نگرفته است.

هدف از این تحقیق، مطالعه و بررسی پدیده‌های تغییر شکل‌های پیش‌رونده و خستگی در محل جوش ریل تحت بارگذاری دوره‌ای است. برای این منظور در این تحقیق، ریل با جنس فولاد پرلیت با سخت‌شوندگی ترکیبی مورد بررسی قرار گرفته است. در تجزیه و تحلیل از روش‌های عددی و متد اجزا محدود استفاده شده

است. برای ارزیابی میزان صحت مدل سخت‌شوندگی مورد نظر، ریل با مفاصل عایق‌دار به روش اجزا محدود با استفاده از کد آباکوس مدل سازی شده و نتایج بدست آمده، با نتایج تجربی مقایسه شده است. نتایج حاصله نشانگر تطابق خوب رفتار تغییر شکل پیشرونده با نتایج تجربی می‌باشند. به منظور صحت سنجی تحلیل حرارتی، ریل جوش خورده به روش اجزا محدود با استفاده از کد آباکوس مدلسازی شده و تنش‌های پسماند بدست آمده، با نتایج تجربی مقایسه شده که دارای تطابق قابل قبولی با نتایج تجربی می‌باشند. در بررسی این پدیده ریل جوش خورده در حضور بارگذاری دوره‌ای تحت بررسی قرار گرفته است. در نهایت میزان تغییر شکل پیشرونده و عمر خستگی برای محل‌های جوش خورده محاسبه شده اند.

۲-۱ بیان مسئله

بعضی مواقع کرنش‌های غیر الاستیک تکراری به قطعات وارد می‌شوند که در نهایت تغییر شکل منجر به شکست سازه شده، و یا خستگی قطعه بعد از سیکل کم به همراه تغییر شکل و یا ترکیبی از تغییر شکل پیشرونده و خستگی، باعث فروپاشی قطعه می‌شود. بنابر این طراحی قطعه ریل باید طوری باشد که مقدار انباشت تغییر شکل پیشرونده به میزان قابل قبولی کاهش یابد. از این رو صنایع حمل و نقل و سایر صنایع، بزرگترین انگیزه برای یافتن یک روش طراحی کارآمد برای رهایی از اثرات مخرب تغییر شکل‌های پیشرونده و پلاستیسیته متناوب^۱ بوده است. برای مثال در نیروگاه‌های معمولی و اتمی حالت‌هایی از بارگذاری دوره‌ای (منجر به تنش‌های حرارتی در حد پلاستیک) به همراه بارهای مکانیکی (منجر به تنش‌های مکانیکی در حد الاستیک) به صورت توأم، اتفاق می‌افتد که این نوع بارگذاری باعث انباشته شدن کرنش پلاستیک می‌شود که در نهایت می‌تواند به تنهایی یا به همراه خستگی، باعث نابوده قطعه گردد [۶].

از میان انواع مختلف سازه‌های تحت بار مکانیکی پیوسته می‌توان به مخازن و لوله‌های تحت فشار در نیروگاه‌ها

^۱ Alternative Plasticity

اشاره کرد [۷]. همچنین می توان به ریل راه آهن اشاره کرد که در آن ریل تحت نیروی تماسی بین ریل و چرخ قرار می گیرد. این تماس باعث ایجاد تنش در نقطه تماس می گردد.

به هنگام حرکت چرخ روی ریل نیروهای تماس منجر به وجود آمدن نیروهای مکانیکی دوره‌ای می شوند. نیروهای مکانیکی دوره‌ای به همراه تنش‌های پسماند ناشی از جوشکاری باعث تغییر شکل پلاستیک پیشرونده در ریل می شود.

۳-۱ رفتار مواد در ناحیه پس از تسلیم اولیه

سازه‌های مهندسی تحت بارگذاری های مختلفی قرار دارند. اغلب، مسیر بارگذاری واقعی ناشناخته بوده و یا دارای چرخه طبیعی و پیچیده است. به عنوان نمونه نمودار شکل ۱-۲ که در بررسی رفتارهای مختلف سازه سیلندر تحت فشار داخلی و گرادیان حرارتی دوره ای در جدار آن به دست آمده، مد نظر است [۸]. در این دیاگرام محور افقی نسبت تنش مکانیکی به تنش تسلیم و محور عمودی نسبت تنش حرارتی به تنش تسلیم است.

هنگامی که بار کمتر از اولین تنش تسلیم (استاتیکی) است پاسخ کاملاً الاستیک می باشد اما ممکن است سازه در نهایت پس از تعداد دوره‌هایی از بارگذاری، در اثر خستگی پرچرخه دچار شکست شود (ناحیه ۱ از شکل ۱-۲)

هنگامی که بار دوره‌ای از مقدار ظرفیت استاتیکی سازه تجاوز نماید تغییر شکل‌های پلاستیک بزرگ باعث فروپاشی پلاستیکی در اولین چرخه بارگذاری می شود.

هرگاه بار دوره‌ای مابین اولین تنش تسلیم و بار فروپاشی پلاستیک قرار گیرد سازه سه نوع رفتار الاستیک پلاستیک از خود نشان می دهد. این رفتارهای عبارتند از: