

الحمد لله
البرهان الرام



دانشگاه مازندران
مجمع آموزش عالی علمی-پژوهشی
دانشگاه مازندران

موضوع:

بررسی و شناسایی عیوب در محورهای قطار با استفاده از روشهای نوین بازرسی

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی مکانیک - گرایش ساخت و تولید

استاد راهنما:

دکتر سلمان نوروزی

استاد مشاور:

دکتر محمد بخشی

نگارش:

حسین توصیفیان

پیشکش به سرزمین اهورایی ایران، تقدیم به بزرگمردان و آزاد
زنانی که در گذر تاریخ، خاصه در سالهای جنگ تحمیلی با غیرت
و رشادت خویش، حیثیت مرگ را به سخره گرفته و این یادگار
نیایی را نگهبان بوده‌اند.

و

تقدیم به مادر مهربان

و

پدر شریف و زحمتکشم

سپاسگزاری

اکنون که با تلاشی پیگیر و کوششی فراگیر این تحقیق را به پایان رسانده‌ام بر خود لازم میدانم خداوند جان و خرد را سپاس گویم. این موفقیت را بیش از هر چیز وامدار دو محور استوار زندگی، پدر و مادر گرانقدر می‌باشم. آنان که با شکیب و بردباری، لحظه‌ای از پشتیبانی‌ام غافل نبوده و با گذشت و فداکاری در ناهمواریهای زندگی، راه دانش‌آموزی را بر من هموار نمودند. وظیفه خود می‌دانم از همه اساتید بزرگوار دانشکده مهندسی مکانیک، بویژه استاد گرانقدر جناب آقای دکتر نوروزی قدردانی نموده، راهنمایی‌های ارزنده و تشویق‌های پیوسته ایشان را سپاس گویم. حمایت‌های مدیران و مسئولان راه آهن جمهوری اسلامی ایران بویژه مرکز تحقیقات و بخصوص گروه ساخت و تولید که بسترهای فنی و ملزومات مهندسی این پژوهش به همت و همیت آنان فراهم گردید را ارج می‌نهم. شایسته است زحمات استاد، دوست و همکار عزیز جناب آقای مهندس سیاحی سحرخیز را قدر بدانم که در این مسیر دشوار، لحظه به لحظه مرا همراهی نمودند، واژه به واژه این نوشته را به ایشان مدیونم. همکاری کارکنان، کارشناسان و متخصصین دلسوز، صمیمی و زحمتکش مجموعه راه آهن جمهوری اسلامی ایران بویژه دوستان گرانقدر در رجا و مرکز ری، خاصه دوست عزیز آقای اسماعیل عسگری را گرامی میدارم. مساعدت و کمک‌های بی‌دریغ مدیریت محترم و متخصصین توانای شرکت پیشگامان فنون پارس که تجربیات و دانش گرانبهای خود را صادقانه در اختیار این پژوهش قرار دادند، موجب امتنان است.

چکیده

محور واگن یکی از مهمترین اجزاء مکانیکی قطار می‌باشد. حساسیت قابل توجه این قطعه و بالا بودن احتمال بروز سانحه در صورت شکستگی آن، اهمیت اجرای صحیح آزمونهای غیرمخرب و کنترل کیفیت مناسب را بیش از پیش مطرح کرده است. تحقیقات اولیه در این پژوهش نشان داد احتمال وقوع سه نوع ترک: عرضی، طولی و زاویه‌دار در مناطق مختلف محور واگن وجود دارد که با روشهای متداول آزمون غیرمخرب قابل شناسایی هستند. پس از انجام آزمایشات متالورژیکی، خواص مکانیکی و بررسیهای متعدد، مشخص گردید طراحی مکانیکی، خواص متالورژی و سیکل‌های عملیات حرارتی انجام شده روی محور در حد مطلوب می‌باشد، همچنین معلوم شد ترکهای خستگی در محور به صورت عرضی بوده و بیشتر در سرمحور ایجاد می‌شوند. با توجه به این نتایج یک شیوه بازرسی موثر برای شناسایی عیوب محور پیشنهاد و روش متداول بهینه‌سازی گردید. اگرچه بازرسی نواحی بحرانی محور حتی در قالب روش بهینه‌سازی شده نیز کاری وقت‌گیر و دشوار می‌باشد، ولی پژوهش انجام گرفته نشان داد که می‌توان به سطح قابل قبولی از اطمینان دست یافت. البته در قیاس با روشهای تمام مکانیزه نظیر روش آرایه فازی و با در نظر داشتن حساسیت محور، عدم قطعیت ذاتی که در ماهیت روشهای سنتی وجود دارد، صحت و قابلیت اطمینان فرایند بازرسی را دچار مشکل می‌کند. بنابراین به منظور بررسی عملی امتیازات و محدودیت‌ها، آزمون فراصوتی به شیوه آرایه فازی برای نخستین بار در ایران بر روی محور واگن اجراء گردید و نتایج آن با شیوه بهینه‌سازی شده بازرسی مورد مقایسه قرار گرفت. قیاس انجام گرفته نشان داد احتمال شناسایی عیب در آزمون آرایه فازی نسبت به سایر روشها بیشتر است. به علاوه این آزمون حساسیت بیشتری در برابر اندازه عیب ارائه می‌کند. از مقایسه احتمال شناسایی عیب در روش بهینه‌سازی شده بازرسی و روش آرایه فازی می‌توان دریافت که حساسیت هر دو روش به اندازه عیوب تقریباً یکسان است، با این حال برای عیوب خیلی ریز با روش آرایه‌فازی، احتمال شناسایی عیب بیشتر خواهد بود.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - کلیات
۱-۱-۱	مقدمه
۲-۱	پیشینه تحقیق
۱-۲-۱	مقدمه
۲-۲-۱	بررسی مکانیزم‌های حاکم بر خستگی قطعات دوار
۱-۲-۲-۱	مقدمه
۲-۲-۲-۱	مراحل گسترش ترک خستگی
۳-۲-۲-۱	منشاء ترک خستگی
۴-۲-۲-۱	تحلیل ماکروسکوپی سطح شکست خستگی
۳-۲-۱	آنالیز شکست و بررسی پارامترهای کنترل کیفی در محورها
۱-۳-۲-۱	مقدمه
۲-۳-۲-۱	مکانیک شکست محورها
۳-۳-۲-۱	آنالیز شکست محورها
۴-۳-۲-۱	مشخصات فنی محورها
۵-۳-۲-۱	کنترل کیفیت محورهای تولید شده
۴-۲-۱	روش‌های متداول شناسایی عیوب محور واگن
۱-۴-۲-۱	مقدمه
۲-۴-۲-۱	روش‌های سنتی بازرسی فراصوتی محور واگن
۳-۴-۲-۱	محدودیت‌ها و پیشرفت‌ها
۵-۲-۱	بازرسی فراصوتی محور واگن به روش آرایه فازی
۱-۵-۲-۱	مقدمه
۲-۵-۲-۱	هندسه تراگذار
۳-۵-۲-۱	پروپهای آرایه فازی
۴-۵-۲-۱	قابلیت‌های آرایه فازی
۵-۵-۲-۱	نمایش اطلاعات آرایه فازی
۶-۵-۲-۱	کاربرد پروپهای آرایه فازی در بازرسی محور واگن
۳-۱	اهداف پژوهش
۲۷	فصل دوم - روش تحقیق
۱-۲	مقدمه

۲۸	۲-۲- مراحل انجام آزمایشها
۲۹	۳-۲- بررسیهای مقدماتی
۲۹	۴-۲- عیب شناسی محور
۳۱	۵-۲- روش آماده سازی نمونه ها
۳۱	۶-۲- آزمایش متالوگرافی
۳۱	۷-۲- آنالیز شیمیایی
۳۲	۸-۲- آزمایش کشش
۳۲	۹-۲- آزمایش سختی سنجی
۳۲	۱۰-۲- روش آماده سازی قطعه مرجع
۳۳	۱۱-۲- آزمون ذرات مغناطیسی
۳۳	۱۲-۲- آزمون فراصوتی
۳۴	۱۳-۲- آزمون فراصوتی به روش آرایه فازی
۳۶	فصل سوم- نتایج و بحث
۳۶	۱-۳- مقدمه
۳۷	۲-۳- نتایج آزمایشات متالورژی
۳۷	۱-۲-۳- آزمایش متالوگرافی
۳۷	۲-۲-۳- آنالیز شیمیایی
۳۸	۳-۲-۳- آزمایش کشش
۳۸	۴-۲-۳- آزمایش سختی سنجی
۳۹	۳-۳- نتایج حاصل از عیب شناسی محور
۳۹	۱-۳-۳- محل احتمال وقوع ترک
۴۰	۱-۲-۳-۳- نمونه شماره I
۴۱	۲-۲-۳-۳- نمونه شماره II
۴۱	۳-۲-۳-۳- نمونه شماره III
۴۳	۳-۳-۳- نوع ترکهای محور
۴۵	۴-۳-۳- بهینه سازی فرآیند بازرسی سنتی محور
۴۶	۴-۳- نتایج آزمونهای غیرمخرب
۴۶	۱-۴-۳- بررسی نشانه های نامربوط و نقش آنها در فرآیند بازرسی
۵۱	۲-۴-۳- بازرسی فراصوتی محور به شیوه آرایه فازی
۵۴	۳-۴-۳- بررسی اثر فرکانس در احتمال کشف عیب
۵۶	۴-۴-۳- بررسی و مقایسه احتمال کشف عیب در فرآیندهای مختلف بازرسی محور
۵۹	۵-۴-۳- تعیین یک برنامه مشخص برای بازرسی محور واگن
۶۰	فصل چهارم- نتیجه گیری و پیشنهادات

٦٠	-----	١-٤ - مقدمه
٦٠	-----	٢-٤ - نتایج
٦٢	-----	٣-٤ - پیشنهادات
٦٣	-----	منابع و مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ : حالت‌هایی از چرخه های تنش خستگی ----- ۳
- شکل ۱-۲ : نمونه‌هایی از رشد ترک خستگی در محورها ----- ۴
- شکل ۱-۳ : تصویر شماتیک یک سطح شکست خستگی ----- ۴
- شکل ۱-۴ : تصویر مراحل I و II رشد ترک خستگی ----- ۵
- شکل ۱-۵ : رشد ترک خستگی و ارتباط آن با تعداد سیکل بار اعمالی ----- ۶
- شکل ۱-۶ : استوانه دارای ترک تحت بار متناوب ----- ۷
- شکل ۱-۷ : مشخصات فنی قسمت‌های پله‌ای یک محور ----- ۹
- شکل ۱-۸ : مشخصات فنی محورهای مورد استفاده راه‌آهن ----- ۹
- شکل ۱-۹ : نمایش هندسه متداول یک محور ----- ۱۱
- شکل ۱-۱۰ : روشهای سنتی در آزمون فراصوتی محور ----- ۱۳
- شکل ۱-۱۱ : فیکسچر مخصوص برای بازرسی ----- ۱۴
- شکل ۱-۱۲ : ارسال امواج به درون محور ----- ۱۴
- شکل ۱-۱۳ : نمای کلی فیکسچر نگهدارنده تراگذارها ----- ۱۴
- شکل ۱-۱۴ : نتایج بازرسی محور لوکومتیو دارای سه ترک عرضی مصنوعی ----- ۱۵
- شکل ۱-۱۵ : پدیده پراش موج در روش زمان پرواز پراش ----- ۱۶
- شکل ۱-۱۶ : نمایش فرستنده-گیرنده TOFD در بازرسی محور واگن ----- ۱۶
- شکل ۱-۱۷ : نمایش یک ترک کشف شده در محور واگن بوسیله روش TOFD ----- ۱۷
- شکل ۱-۱۸ : انواع چیدمانهای متداول برای آرایه‌های فازی ----- ۱۹
- شکل ۱-۱۹ : ساختمان یک پروب آرایه فازی ----- ۲۱
- شکل ۱-۲۰ : فرایند شکل‌گیری و دریافت موج در آرایه فازی ----- ۲۱
- شکل ۱-۲۱ : نمایش اسکن الکترونیک ----- ۲۲
- شکل ۱-۲۲ : مفهوم تمرکز اشعه ----- ۲۲
- شکل ۱-۲۳ : ارائه نمایشهای مختلف آرایه فازی ----- ۲۳
- شکل ۱-۲۴ : پوشش نواحی بحرانی محور توسط پروبهای آرایه فازی ----- ۲۴
- شکل ۱-۲۵ : طرح شماتیک سیستم بازرسی ----- ۲۵
- شکل ۱-۲۶ : هدایت پرتو فراصوتی ----- ۲۵
- شکل ۱-۲۷ : نمایش TD از بازرسی فراصوتی محور به روش آرایه فازی ----- ۲۶
- شکل ۲-۱ : مراحل منطقی انجام آزمایشات ----- ۲۸
- شکل ۲-۲ : نمونه‌هایی از سطوح شکست محورهای واگن ----- ۳۰
- شکل ۲-۳ : طرح شماتیک محور شکسته شده ----- ۳۱
- شکل ۲-۴ : تصویر قطعه مرجع آماده‌سازی شده ----- ۳۲

- شکل ۲-۵: دستگاه یوک مغناطیسی به منظور اجرای آزمون ----- ۳۳
- شکل ۲-۶: لامپ تولید کننده نور سیاه ----- ۳۳
- شکل ۲-۷: پروب آغشته به گریس ----- ۳۴
- شکل ۲-۸: نمایش صفحه دستگاه فراصوتی ----- ۳۴
- شکل ۲-۹: طرح شماتیک قطعه مرجع مورد استفاده ----- ۳۵
- شکل ۲-۱۰: نحوه دریافت نشانه از ترک واقع در ۵ سانتیمتری تغییر مقطع ----- ۳۵
- شکل ۳-۱: ساختار میکروسکپی محور در دو بزرگنمایی ۲۰۰ X و ۴۰۰ X ----- ۳۹
- شکل ۳-۲: نمودار احتمال وقوع ترک در نواحی مختلف محور ----- ۳۹
- شکل ۳-۳: برخی از محورهای مورد مطالعه ----- ۳۹
- شکل ۳-۴: مقطع شکست نمونه I ----- ۴۰
- شکل ۳-۵: مقطع شکست نمونه II ----- ۴۰
- شکل ۳-۶: مقطع شکست نمونه III ----- ۴۲
- شکل ۳-۷: نمودار عوامل موثر بر شکل گیری ترک ----- ۴۲
- شکل ۳-۸: ترک های مختلف ایجاد شده در سطح یک محور ----- ۴۳
- شکل ۳-۹: وضعیت تنش برای یک مقطع دلخواه ----- ۴۴
- شکل ۳-۱۰: فلوجارت شیوه پیشنهادی برای بازرسی محور ----- ۴۵
- شکل ۳-۱۱: مشکلات فنی بازرسی های غیرمخرب محور در ایران ----- ۴۷
- شکل ۳-۱۲: نمودار مقایسه احتمال وقوع ترک و نشانه نامربوط در MP ----- ۴۸
- شکل ۳-۱۳: نمودار مقایسه احتمال وقوع ترک و نشانه نامربوط در UT ----- ۴۹
- شکل ۳-۱۴: نمودار مقایسه نسبت سیگنال به اغتشاش در آزمونهای UT , MP ----- ۵۰
- شکل ۳-۱۵: نمایش ترک عرضی مصنوعی در فاصله یک سانتیمتری ناحیه تغییر قطر مقطع ----- ۵۱
- شکل ۳-۱۶: نمایش نشانه های ناشی از تغییرات مقطع در قطعه ----- ۵۱
- شکل ۳-۱۷: نمایش نشانه های ناشی از سوراخهای سر محور و تغییرات مقطع ----- ۵۲
- شکل ۳-۱۸: نمایش A-اسکن مربوط به زاویه ۵۰ درجه ----- ۵۲
- شکل ۳-۱۹: نشانه های غیر واضح در نمایش S-اسکن ----- ۵۳
- شکل ۳-۲۰: نشانه های مربوط به عیوب و ناپیوستگیهای محور ----- ۵۳
- شکل ۳-۲۱: نمودار مقایسه اثر فرکانس تراگذار در آزمونهای PA و UT ----- ۵۴
- شکل ۳-۲۲: نمودار مقایسه اثر فرکانس تراگذار بر حداکثر زاویه هدایت پرتو ----- ۵۵
- شکل ۳-۲۳: نمودار مقایسه احتمال کشف عیب بر حسب اندازه آن در سه روش ----- ۵۶
- شکل ۳-۲۴: نمودار مقایسه احتمال عدم کشف عیب بر حسب اندازه آن در سه روش ----- ۵۷
- شکل ۳-۲۵: نمودار مقایسه احتمال شناسایی عیب در روش پیشنهادی بازرسی و روش PA ----- ۵۷
- شکل ۳-۲۶: نمودار مقایسه احتمال شناسایی عیب در روش پیشنهادی بازرسی و روش PA ----- ۵۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ : ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی محورهای مورد استفاده در واگن‌ها ----- ۱۰
- جدول ۱-۳ : آنالیز شیمیایی یک محور واگن قطار ----- ۳۷
- جدول ۲-۳ : نتایج آزمایش کشش روی یک محور واگن ----- ۳۸
- جدول ۳-۳ : نتایج سختی‌سنجی یک محور واگن ----- ۳۸

فصل اول : کلیات

۱-۱ مقدمه

محور واگن که یکی از اجزاء مهم مجموعه چرخ و محور می‌باشد، تنشهای دینامیکی بالائی را تحمل می‌نماید. از لحاظ طراحی، به دلیل اینکه میزان تنش عملاً در زیر حد خستگی آلیاژهای انتخاب شده برای محور قرار دارد، در هنگام طراحی، عمر مشخصی برای محورها ذکر نمی‌شود درحالیکه در شرایط عملیاتی در طولانی مدت با بروز برخی مشکلات، تنش وارده فراتر از حد خستگی رفته و موجب شکست محور می‌گردد. بنابراین شناسایی نوع ترکهای محور و محل‌های احتمالی وقوع آنها بسیار ضروری است. با توجه به شرایط کاری متفاوت در کشورهای مختلف، امکان شبیه‌سازی و استفاده از نتایج منتشر شده وجود ندارد و بنابراین می‌بایست با بررسیهای آماری نسبت به حل این مسئله اقدام و با اتخاذ تدابیری عوامل ایجاد ترک در محورهای واگن را حداقل نمود. در حال حاضر در سایت‌های مختلف بازرسی محور در ایران، روشهای مختلف آزمونهای غیرمخرب نظیر آزمون مایع نافذ، ذرات مغناطیسی و آزمون فراصوتی در کنار هم و به صورت تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرد. طراحی و پیشنهاد یک روش بهینه بازرسی به گونه‌ای که متناسب با نوع عیوب متداول محور در ایران بوده و بالاترین احتمال شناسایی عیب در آن وجود داشته باشد، بسیار مطلوب خواهد بود. از سوی دیگر با توجه به افزایش سرعت قطارها و در نتیجه دشوارتر شدن شرایط کاری محور و همچنین لزوم کوتاهتر نمودن تناوب‌های بازرسی در آینده نزدیک، می‌بایست روشهای پیشرفته و نوین بازرسی نظیر روش آرایه‌فازی را بررسی نموده و ضمن مقایسه آن با تکنیکهای موجود، امکان پیاده‌سازی روش مذکور در صنعت ریلی ایران را مورد ارزیابی قرار داد. در این راستا لازم است احتمال شناسایی عیب را به عنوان یک معیار توانمند به منظور مقایسه میان روشها و تکنیکهای مختلف، به کار گرفت.

۱-۲ پیشینه تحقیق

۱-۲-۱ مقدمه

با توجه به اهمیت شناسایی عیوب محورهای واگن، این موضوع از جنبه‌های مختلفی در تحقیقات مورد توجه قرار گرفته است. برخی محققین مکانیک شکست حاکم بر محورهای واگن را مورد توجه قرار داده‌اند. این گروه ضمن بررسی مراحل گسترش ترکهای خستگی به ارائه تئوریهای جهت تشخیص و تمایز شکست خستگی پرداخته‌اند. در نتیجه تحقیقات گروه اخیر می‌توان شکست محور را آنالیز نموده و پارامترهای کنترل کیفی را بررسی نمود. گروه دیگری از محققین کوشیده‌اند روشهای مختلف آزمونهای غیرمخرب به منظور شناسایی عیوب موجود در محور واگن را بکار گرفته و نتایج بدست آمده را مورد مقایسه قرار دهند. در این حوزه بیشتر تلاشها متوجه آزمون فراصوتی بوده که البته در سالهای اخیر تا حدودی بر روش آرایه فازی تمرکز یافته است.

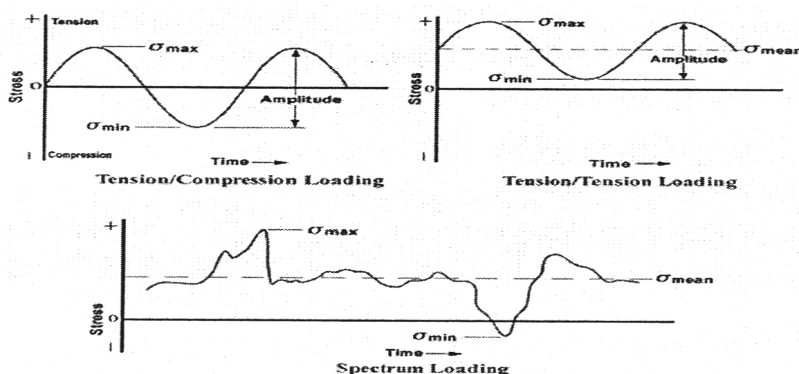
در این فصل خلاصه‌ای از مطالعه انجام گرفته پیرامون ادبیات موضوعی این پژوهش ارائه می‌شود. ابتدا مکانیزمهای حاکم بر شکست خستگی قطعات دوار مورد توجه قرار گرفته که در نتیجه آن مطالب مربوط به منشاء ترک خستگی و عوامل مرتبط با تحلیل ماکروسکوپی شکست ناشی از خستگی بحث شده است. در ادامه پارامترهای مهم در کنترل کیفیت محور و برخی استانداردهای مرتبط مورد اشاره قرار گرفته است. پس از بحث در مکانیک شکست محورها، به روشهای شناسایی عیوب محور پرداخته شده است که در این زمینه، ابتدا نوع عیوب و محل وقوع آنها مطرح گردیده و در ادامه سیر تحول تکنولوژیکی آزمون فراصوتی تا دستیابی به تکنیک پیشرفته آرایه فازی و بکارگیری آن در صنعت ریلی بحث شده است.

۱-۲-۲ بررسی مکانیزم های حاکم بر خستگی قطعات دوار

۱-۲-۲-۱ مقدمه

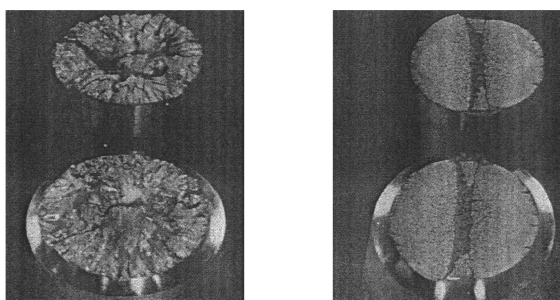
شکست سازه‌ها از جمله مسائلی است که بشر همواره با آن روبرو بوده است. از اواسط قرن بیستم میلادی به بعد مشخص شد قطعاتی که تحت تنش‌های تکراری قرار دارند ممکن است در سطح تنشی بسیار پایین‌تر از استحکام تسلیم در حالت تنش یکنواخت دچار شکست شوند [۱]. این فرآیند که عامل شکست حداقل ۹۰٪ سازه‌های مکانیکی است خستگی^۱ نامیده می‌شود. پیچیدگی‌های حاکم بر مکانیزم این شکست، انگیزه طراحی روش‌های نوین بازرسی در صنایع حمل و نقل با هدف استفاده از تمام عمر مفید و مطمئن قطعه شده است [۲]. مسائل مربوطه به ترک خستگی و رشد آن اساساً تحت عنوان مکانیک شکست بررسی می‌شود [۳]. از آنجا که شکست قطعات در صنعت حمل و نقل همواره منجر به حوادث و فجایع جانی و مالی جبران‌ناپذیری می‌گردد، بررسی و آنالیز شکست قطعات ضرورتی قطعی بنظر می‌رسد. زیرا اگر چه عمر هر قطعه قابل پیش‌بینی است اما با اجرای بازرسی دقیق و متناوب می‌توان از وقوع حوادث جلوگیری نموده، دست کم شکست را برای مدت زیادی به تعویق انداخت [۴]. بسیاری از قطعات مهندسی به هنگام عمر کاری خود می‌بایست چرخه‌های معکوس و متعدد نیرو یا تنش، نظیر تنش‌های متناوب وارده بر محور در حال چرخش را تحمل کنند. شکل ۱-۱ نمونه‌ای از چرخه‌های تنش خستگی را ارائه

می‌دهد.



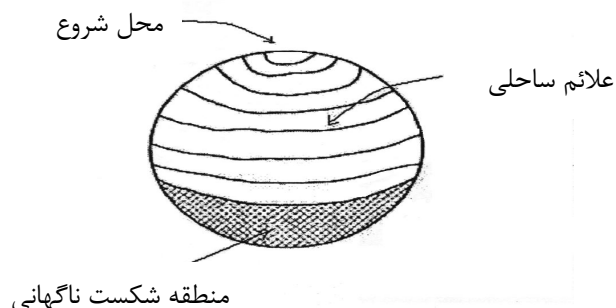
شکل ۱-۱ : حالت‌هایی از چرخه‌های تنش خستگی [۵]

شکست خستگی معمولاً از ظاهر شکست تشخیص داده می‌شود که از یک ناحیه هموار حاصل از عمل سایش با اشاعه ترک در مقطع و یک ناحیه ناهموار که هنگام عدم تحمل بار توسط مقطع در قطعه بصورت نرم شکسته شده است، تشکیل می‌شود. شکل ۱-۲ نمونه‌هایی از انواع سطح شکست در شرایط مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲: نمونه‌هایی از رشد ترک خستگی در محورها [۶]، تحت خمش (سمت راست) تحت پیچش (سمت چپ)

در مکانیزم خستگی پیشرفت شکست غالباً توسط یک دسته حلقه نمایان می‌شود که به علائم ساحلی^۱ معروف‌اند. شکل ۱-۳ تصویر شماتیک یک سطح شکست خستگی را نشان می‌دهد.



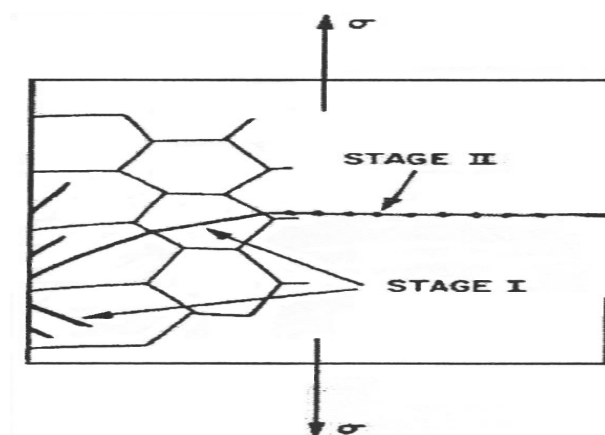
شکل ۱-۳: تصویر شماتیک یک سطح شکست خستگی [۶]

۱-۲-۲-۲ مراحل گسترش ترک خستگی

اگرچه در شکست خستگی، سطح تنش اعمالی کمتر از مقدار لازم برای ایجاد ترک یا تغییر شکل پلاستیک در مقیاس ماکروسکوپی می‌باشد، با این وجود به علت ناپیوستگیهای سطحی و عوامل میکروسکوپی دیگر که باعث تمرکز تنش می‌شوند، سطح تنش بطور موضعی از حد تسلیم بیشتر شده، تغییر شکل پلاستیک و لغزش بطور موضعی انجام می‌گیرد. این تغییر فرم موضعی

۱ - Beach Marks

باعث به وجود آمدن برجستگیها و فرورفتگیهایی در سطح شده که می‌توانند به عنوان منشاء ترک خستگی عمل کنند. مرحله ایجاد ترک خستگی، مرحله I نامیده می‌شود. [۷]. هنگامی که ترک ایجاد شده مقداری پیشرفت کرد مکانیزم رشد حاکم شده و در پی آن مسیر پیشروی تغییر می‌کند، حالت اخیر مرحله I I، یا مرحله رشد ترک نامیده می‌شود. شکل ۱-۴ این پدیده را نشان می‌دهد [۷].



شکل ۱-۴: تصویر مراحل I, II رشد ترک خستگی [۷]

در مرحله I I، معمولاً ترک روی سطح شکست به صورت علائم ساحلی ظاهر می‌شود. مکانیزم دقیق شکل‌گیری خطوط ساحلی مشخص نیست، اما تئوریهای متعددی در این زمینه وجود دارد [۸]. هنگامی که ترک در مرحله I I، در حال رشد است به جایی می‌رسد که مقدار سطح مقطع باقیمانده قابلیت تحمل بار اعمالی را ندارد و طی چرخه تنش بعدی یا تعداد معدودی چرخه دیگر دچار شکست با بار بیش از حد می‌شود. این مرحله از گسترش ترک (مرحله III)، معمولاً به صورت ناگهانی و بدون تغییر شکل پلاستیک اتفاق افتاده، به مرحله شکست معروف است. عموماً تفکیک مرحله نهایی شکست از دیگر مراحل رشد ترک به راحتی امکانپذیر است. سهم نسبی هر مرحله از کل فرآیند مسبب شکست به شرایط آزمایش و ماده بستگی دارد، اما کاملاً مشخص شده است که یک ترک خستگی می‌تواند قبل از اینکه ۱۰٪ عمر کل نمونه منقضی شود، تشکیل گردد [۸].

۱-۲-۲-۳ منشاء ترک خستگی

بررسی دقیق ساختار خستگی این واقعیت را نشان می‌دهد که معمولاً ترکهای خستگی از یک سطح آزاد شروع می‌شوند و در موارد نادر از قسمت‌های داخلی قطعه ریشه می‌گیرند [۷].

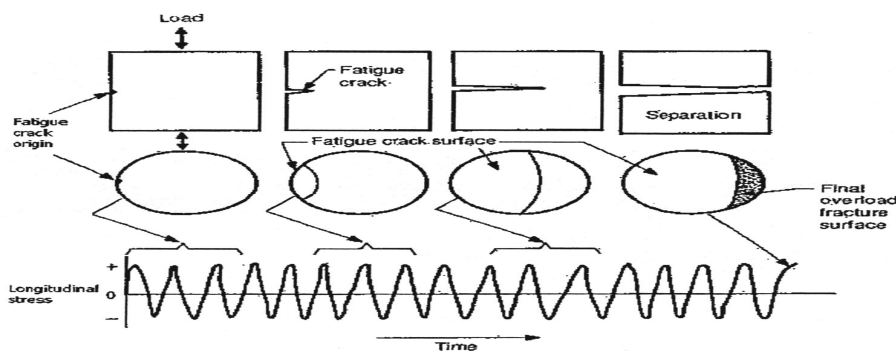
۱-۲-۲-۴ تحلیل میکروسکوپی سطح شکست خستگی

اگر قطعه‌ای در اثر پدیده خستگی دچار شکست شود سطح شکست از لحاظ میکروسکوپی به دو منطقه مجزا تقسیم می‌شود:

۱- منطقه رشد و گسترش ترک خستگی

۲- منطقه شکست نهایی

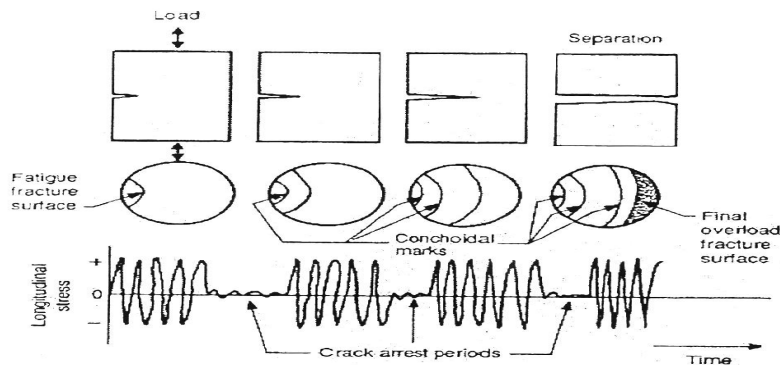
منطقه شکست نهایی مربوط به زمانی است که مقدار باقیمانده از سطح مقطع مورد نظر، توان تحمل بار اعمالی را نداشته، شکست ناگهانی اتفاق بیفتد. شکست نهایی اغلب بصورت یک حادثه ناگهانی بوده، تقریباً بدون هیچگونه تغییر شکل پلاستیک اتفاق می‌افتد. شکل ۱-۵ رشد ترک خستگی و ارتباط آن را با تعداد سیکل بار اعمالی بطور شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵: رشد ترک خستگی و ارتباط آن با تعداد سیکل بار اعمالی [۹]

در اکثر شکستهای خستگی، سطح شکست معمولاً دارای شاخصه و علائمی می‌باشد که دلالت بر وقوع پدیده خستگی دارد. این علائم بر اساس شکل ظاهری به نامهای مختلفی شناخته شده‌اند و بر اثر عواملی از قبیل تغییر سرعت رشد ترک، تغییر بار اعمالی و اکسیداسیون سطح ایجاد می‌شوند [۱۰]. برای توضیح اینکه این علائم چگونه بوجود می‌آیند، فرض کنید یک استوانه

تحت تنش متناوب کششی - فشاری قرار دارد (شکل ۱-۶). فرض می‌شود ترک فقط در یک طرف استوانه ایجاد، در صفحه عمود بر محور استوانه در حال پیشروی می‌باشد.



شکل ۱-۶: استوانه دارای ترک تحت بار متناوب [۹]

پس از میزان معینی پیشروی ترک، اعمال بار متوقف و پس از مدتی سطح اکسید می‌شود. دوباره اعمال بار متناوب از سر گرفته شده، ترک پیشروی می‌کند. مجدداً اعمال بار متوقف شده و فرصت داده می‌شود تا سطح جدید اکسید شود. در این مدت زمان، سطح اولیه نیز اکسید خواهد شد، در نتیجه ضخامت لایه اکسیدی سطح اولیه بیشتر خواهد بود. این فرایند ادامه می‌یابد تا شکست اتفاق بیفتد. در نتیجه در قسمتی از سطح شکست که مربوط به گسترش ترک خستگی است، علائم و خطوطی ظاهر می‌شود که به علت اختلاف در ضخامت لایه‌های اکسیدی سطح می‌باشد. این علائم خطوط موج^۱ نامیده می‌شوند. بنابراین وجود خطوط موج نشان دهنده این است که رشد ترک بطور مداوم و پیوسته انجام نشده و در طول رشد ترک تا شکست نهایی وقفه‌هایی وجود داشته است. مکانیزم دیگری که باعث تشکیل خطوط موج می‌شود به این صورت است که اگر مقدار تنش اعمالی تغییر کند، ممکن است دو سطح به یکدیگر ساییده شوند و در اثر این ساییده شدن خطوط موج بوجود آیند. لازم به ذکر است که پایه و اساس هر دو مکانیزم بالا تغییر مقدار تنش اعمالی می‌باشد [۱۲و۱۱].

۱ - Conchoidal mark

۳-۲-۱ آنالیز شکست و بررسی پارامترهای کنترل کیفی در محورها

۱-۲-۳-۱ مقدمه

مراحل شکست یک محور از مناطق دارای تمرکز تنش آن شروع می‌شود. این محل‌ها ممکن است در حین تولید محور و یا در اثر طراحی نادرست ایجاد شوند. نقاطی که طراحی نادرست آنها باعث ایجاد تمرکز تنش می‌شود عبارتند از انتهای جای خارها، لبه اعضای جفت شده با فشار یا دما، لبه سوراخهای روغنکاری و انحنای موجود در محورها. متمرکز کننده‌های تنش که ممکن است در حین تولید ایجاد شوند نیز شامل اثرات باقیمانده از ماشینکاری و سنگ زدن، ترکهای ناشی از سردکردن سریع در عملیات حرارتی و عیوب ناشی از کارگرم می‌باشند. عملیات حرارتی نادرست که باعث ایجاد مناطق دکربوره و یا تردی تمپر شده می‌شود نیز می‌تواند از علت‌های دیگر شکست باشد [۱۳].

۱-۲-۳-۲ مکانیک شکست محورها

اگر در منطقه‌ای از یک محور تنش به حدی برسد که بالاتر از حد در نظر گرفته شده برای عمر مفید آن باشد ترک خستگی جوانه خواهد زد. اگر تنش در ناهمواری‌ها زیاد باشد عیوبی که از نظر ظاهری زیاد مهم نیستند می‌توانند عمر قطعه را شدیداً کاهش دهند. آسیب‌پذیرترین قسمت یک محور تحت پیچش یا خمش سطح آن می‌باشد به گونه‌ای که اثر عیوب سطحی در این مورد کاملاً مشهود است. اکثر افزایش‌دهنده‌های تنش را می‌توان در یکی از سیستم‌های زیر جا داد [۱۳ و ۱۴]:

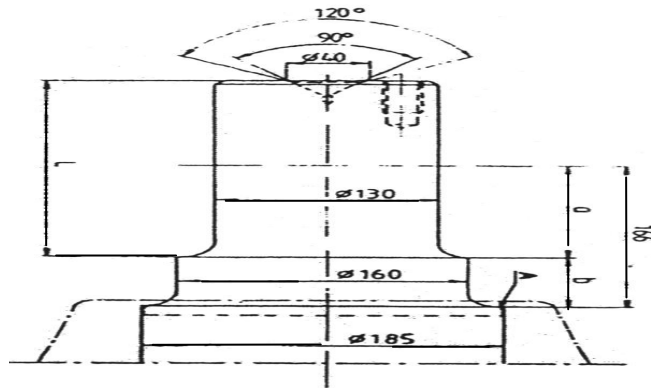
- ۱- مناطقی در محور که تغییر شکل داده شده باشند مثل پله‌ها در محل تغییر قطر، گوشه‌های تند، جاهای خار، شیارها، داندانه‌ها، هزارخار و اتصالات جفت شده با فشار یا دما.
- ۲- گسستگی‌های سطحی ناشی از عملیات ساخت یا خرابیهای ایجاد شده در زمان کار مثل بریدگیها، علامت‌های ماشینکاری، علامت‌های مشخصه، حفره‌های ناشی از خوردگی.
- ۳- گسستگی‌های درونی مثل تخلخل‌ها، انقباضات، آخالهای بزرگ غیر فلزی ترک‌ها و حفره‌ها.
- ۴- تنش‌های باقیمانده سطحی.

۳-۳-۲-۱ آنالیز شکست محورها

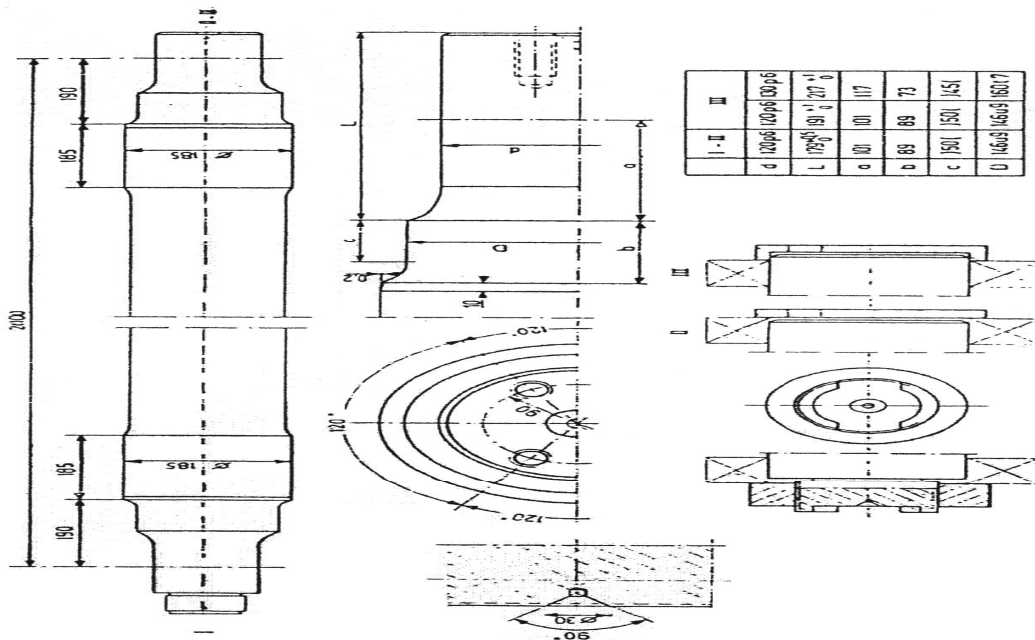
برای مطالعه یک محور از کار افتاده داشتن اطلاعات اولیه‌ای شامل پارامترهای طراحی، محیط کار، عملیات ساخت، تاریخ ساخت و تاریخ نصب و نحوه کارکرد ضروریست [۱۵].

۴-۳-۲-۱ مشخصات فنی محورها

مشخصات فنی محورها مطابق کد ۸۱۱-۱ UIC برای واگن و لکوموتیو می‌باشد [۱۶]. نمونه‌هایی از این مشخصات در شکل‌های ۷-۱ و ۸-۱ آمده است.



شکل ۷-۱: مشخصات فنی قسمت‌های پله‌ای یک محور [۱۶]



شکل ۸-۱: مشخصات فنی محورهای مورد استفاده در راه‌آهن [۱۶]