دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک – طراحی کاربردی

تحلیل رشد دینامیکی ترک در نیم صفحه الاستیک

استاد راهنما

دکتر علیرضا شفیعی

استاد مشاور

دکتر علیرضا فتوحی فیروز آباد

پژوهش و نگارش

محمد حسین مظفری دهشیری

پاییز ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک – طراحی کاربردی

تحلیل رشد دینامیکی ترک در نیم صفحه الاستیک

استاد راهنما : دکتر علیرضا شفیعی

استاد مشاور : دکتر علیرضا فتوحی فیروز آباد

پژوهش و نگارش : محمد حسین مظفری دهشیری

پاییز ۱۳۸۸

تقدیم به

ساحت مقدس یگانه منجی عالم بشریت

و

پدر و مادر عزیزم

آنان که وجودم برایشان همه سختی بود و وجودشان برایم همه مهر

توانشان رفت تا به توانایی برسم و مویشان سپید گشت تا رویم سپید بماند

آنان که فروغ نگاهشان،گرمی کلامشان سرمایه‌های جاودانی زندگی من است

آنان که که راستی قامتم در خمیدگی قامتشان تجلی یافت

در برابر وجود گرامی ایشان زانوی ادب بر زمین می‌زنم و با دلی مملو

از عشق، محبت و خضوع بر دستشان بوسه می‌زنم

قدردانی

بر خود لازم می‌دانم تا از استاد ارجمندم جناب **آقای دکتر علیرضا شفیعی** به پاس زحمات بی‌شائبه و راهنمایی‌های ارزنده ایشان در مسیر انجام این پروژه کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

همچنین مراتب قدردانی و سپاسگزاری خود را از جناب **آقای دکتر علیرضا فتوحی فیروز آباد** به پاس مشاوره‌های مدبرانه و راهگشای ایشان در لحظات حساس انجام پروژه اعلام می‌دارم.

در نهایت از کلیه اساتید محترم و کارمندان زحمتکش دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه یزد که هر یک به نحوی در مواقع لزوم با اینجانب همکاری نموده‌اند نیز صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده

شکست ناگهانی و غیر منتظره سازه‌های مهندسی ممکن است خسارات مالی و جانبی فراوانی در بر داشته باشد. از نقطه نظر مکانیک محیط‌های پیوسته، داشتن میدان تنش و کرنش در اطراف ترک، یکی از مهمترین ابزار برای تحلیل مقاومت در برابر شکست، در اجسام دارای ترک می‌باشد.

روش‌های مختلفی مانند جدا کردن متغیرها، تبدیل لاپلاس و فوریه و تابع گرین برای حل دقیق معادلات دیفرانسیل وجود دارد که در بعضی از موارد به علت ماهیت شرایط مرزی، استفاده مستقیم از روش‌های فوق امکان‌پذیر نبوده و باید از روش‌های خاصی استفاده شود.

در این پروژه با استفاده از تبدیلات انتگرالی وتکنیک وینر- هاف[1] برای حل معادلات، و روش کانیارد- دهوپ برای به دست آوردن معکوس تبدیل، به بررسی و تحلیل استاتیکی یک ترک نامحدود در یک صفحه الاستیک در مد اول و دوم پرداخته شده و با استفاده از روابط دقیق استخراج شده و رسم نمودار تنش، مقایسه‌ای بین دو مد انجام شده است. در ادامه، تحلیل ترک در حالت رشد آن در مد دوم مورد بررسی قرا گرفته و با حل تحلیلی، مولفه‌های جابجایی و تنش محاسبه و تر سیم شده است.

[1] - Wiener-Hopf

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه‌ای بر مکانیک شکست

۱-۱-

مقدمه.....۱

۱ -۲- مودهای

خرابی.....۳

۱-۳- تاریخچه علم مکانیک

شکست.....۳

۱-۴- ترک در

سازه.....۴

۱-۵- تنش در نوک

ترک ۵

۱-۶- انتشار ترک و معیار رشد آن.....۸

۱-۷- مکانیک شکست دینامیکی

۱-۷-۱-

مقدمه.....۱۰

-۲-۷-۱

تاریخچه..... ۱۱

۱-۷-۳- محاسبه میدان تنش و کرنش در اطراف ترک..... ۱۳

۱-۷-۴- سرعت ترک و انرژی جنبشی..... ۱۵

۱-۷-۵ - شدت تنش دینامیکی و نرخ آزاد شدن انرژی..... ۱۶

۱-۷-۶ - انشعاب ترک ۱۷

۱-۷-۷ - اصل توقف ترک ۱۸

۱-۸- معادلات الاستودینامیک..... ۲۰

۱-۸-۱- حالت کرنش صفحه‌ای..... ۲۱

۱-۹- روش حل معادلات الاستودینامیک..... ۲۳

۱-۹-۱- روش تبدیلات انتگرالی..... ۲۳

۱-۹-۱-۱-تبدیل فوریه..... ۲۳

۱-۹-۱-۲-تبدیل لاپلاس:..... ۲۴

فصل دوم: روش وینرهاف

۲-۱- معرفی روش وینرهاف

۲ -۱-۱- مقدمه.....

۲۵

۲-۱-۲- مکانیزم روش وینرهاف.....۲۸

۲-۲- حل یک نمونه مسئله ۳۴

۲-۲-۱- اعمال تکنیک وینرهاف.....۳۵

۲-۲-۲- محاسبه معکوس لاپلاس.....۳۷

فصل سوم: بررسی و تحلیل ترک در حالت استاتیکی

۳-۱- مقدمه.....۴۱

۳-۲- مسئله اول.....۴۱

۳-۳- حل مسئله.....۴۲

۳-۳-۱- انتخاب محدوده همگرایی.....۴۶

۳-۳-۲- اعمال روش وینر هاف ۴۷

۳-۳-۳ - محاسبه معکوس تبدیل به کمک ایده روش کانیارد- دهوپ.....۵۰

۳-۳-۴- رسم نمودارها و نتایج.....۵۸

۳-۵-۳- محاسبه ضریب شدت تنش.....۶۰

٤-٣- مسئله دوم.....۶۱

۱-۴-۳- رسم نمودارها و نتایج.....۶۳

فصل چهارم: بررسی و تحلیل ترک در حال رشد(دینامیکی)

٤-١-

مقدمه.....۶۵

٤-٢- بیان مسئله.....۶۵

٤-٣- حل مسئله.....۶۶

۴-۱-۳- اعمال تکنیک وینرهاف.....۷۱

۴-۲-۳- محاسبه معکوس تبدیل به کمک روش کانیارد- دهوپ.....۷۳

۴-۳-۳- نمودارها و نتایج.....۷۹

فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات

٥-١-

نتایج.....۸۲

٥-٢-

پیشنهادات.....۸۳

پیوست.....

۸۴...

منابع و

مآخذ.....۸۵

فهرست شکل‌ها و نمودارها

شکل (۱-۱): انواع

ترک.....۶

شکل (۱-۲): محدوده همگرایی

انتگرال‌ها.....۲۹

شکل (۲-۲): حوزه D_1 و D_2 و اشتراک

آنها.....۳۲

شکل (۲-۳): کانتور در نظر گرفته شده برای محاسبه معکوس فوریه (۲-۴۲).....۳۸

شکل(۱-۳): ترک تحت بار در حالت

استاتیکی.....۴۲

شکل(۳-۲): مسیر انتگرال‌گیری در روش کانیارد- دهوپ برای محاسبه انتگرال (۳-۴۶).....۵۳

شکل (۳-۳):مسیر دایره‌ای برای بیان لم

جردن.....۵۴

شکل (٤-۳): نمودار بدون بعد تنش بر حسب زمان در مُد

اول.....۵۹

شکل (۵-۳): نمودار بدون بعد تنش بر حسب فاصله از نوک ترک در مُد

اول.....۵۹

شکل (٦-۳): نمودار بدون بعد تنش بر حسب زمان در مُد

دوم.....۶۳

شکل (۷-۳): نمودار بدون بعد تنش بر حسب زمان در مُد دوم(حالت بزرگنمایی).....۶۴

شکل (۸-۳): نمودار بدون بعد تنش بر حسب فاصله از نوک ترک در مُد

دوم.....۶۴

شکل (٤-۱): ترک دینامیکی تحت

بار.....۶۶

شکل(۲-٤): مسیر انتگرال‌گیری برای محاسبه انتگرال (۴-

۴۱).....۷۴

شکل (۳-٤): نمودار بدون بعد تنش بر حسب زمان در حالت رشد ترک با سرعت $\frac{c_2}{5}$.....۸۰

شکل (٤-٤): نمودار بدون بعد تنش بر حسب زمان در حالت رشد ترک با سرعت $\frac{c_2}{40}$ ۸۰

شکل (٥-٤): نمودار بدون بعد تنش بر حسب زمان در حالت رشد ترک با سرعت $\frac{c_2}{150}$.....۸۱

نمادها و نشانه‌ها

نصف طول ترک	a
ضریب شدت تنش در مد اول	k_{I}
ضریب شدت تنش در مد دوم	k_{II}
مقدار تنش تسلیم	σ_{ys}
چقرمگی شکست کرنش صفحه‌ای	k_{Ic}
تنش بحرانی	σ_c
نرخ انرژی رها شده در اثر رشد ترک	G
مقاومت ترک در برابر رشد	R
نرخ انرژی بحرانی رها شده در اثر رشد ترک	G_{Ic}
جرم مخصوص	ρ
سرعت رشد ترک	a°
نیروی حجمی یا بدنی	b_i
مدول یانگ	E
ضرایب لامه	λ, μ
ضریب پواسون	ν
مشخص کننده امواج اولیه	φ

مشخص کننده امواج ثانویه	ψ
سرعت موج طولی	c_1, c_d
سرعت موج برشی	c_2, c_s
تنش جلو توک ترک	σ_+
جابجایی پشت نوک ترک	u_-
تنش ثابت اعمالی روی ترک	$\dot{\sigma}$
تابع ریلی	$R(\varsigma)$
تنش برشی جلو نوک ترک	τ_+
موقعیت نوک ترک در لحظه t	$l(t)$
تنش وابسته به زمان	$f(t)$
به طور مجانبی متناسب با تابع f	$O(f(x))$

فصل اول

مقدمه‌ای بر مکانیک شکست

۱-۱- مقدمه

علی‌رغم رفاه اولیه و آسایشی که دانش فنی برای بشر بوجود آورده‌است، متاسفانه شکست ناگهانی و غیر منتظره بعضی سازه‌های مهندسی، خسارات مالی و جانبی فراوانی را در بر داشته‌است. به عنوان مثال بر اساس گزارش ناسا در سال ۱۹۷۶، خسارات ناشی از شکست سازه‌ها و کوشش‌های جلوگیری از آنها سالانه حدود ۱۱۹ میلیارد دلار برای آمریکا هزینه داشته‌است[۱]. بعضی از حوادث که در ۲۰۰ سال اخیر بر اثر شکست اتفاق افتاده است، در مرجع [۲] به آنها اشاره شده است، که برخی از این حوادث عبارتند از :

۱- در دهه ۱۸۷۰- ۱۸۶۰ حوادث ناگوار در خطوط راه آهن موجب مرگ ۲۰۰ نفر از مردم انگلیس شد. اغلب این حوادث در اثر شکست چرخهای قطار، ریل و یا محورها و ... بوده است.

۲- در ۲۲ ژانویه ۱۸۶۶ سقوط قسمتی از سقف ایستگاه راه آهن منچستر موجب مرگ دو نفر گردید. علت حادثه شکست یک عضو چدنی گزارش شده است.

۳- در ماه مارس ۱۹۵۳حدود ۷۰۰ نفر برای تماشای یک مسابقه قایق سواری روی پل معلق مونترس گرد آمده بودند که در اثنای مسابقه یکی از زنجیرهای پل گسیخته، و عده زیادی جان سپردند.

۴- شکست در سدها و کشتی‌ها در حین و بعد از جنگ جهانی دوم

در بررسی علل شکست محققین دریافتند که طراحی بسیاری از این سازه‌ها بر مبنای تئوری الاستیسیته و مقاومت مصالح درست بوده‌است و عامل شکست ترکهایی بودند که در سازه وجود داشته و یا در حین کار ایجاد شده‌اند. تجزیه و تحلیل این سازه‌ها بر مبنای دو مبحث فوق الذکر موفقیت آمیز نبوده است لذا در دهه دوم قرن بیستم علم جدیدی بنام مکانیک شکست[1] پایه‌گذاری شد که تجزیه و تحلیل سازه‌ها را بر مبنای وجود ترک در آن‌ها بررسی می‌کند. کاربرد عملی این علم در سازه‌های مهندسی بخصوص صنایع فضایی، انرژی اتمی، کشتی سازی و .... می‌باشد.

ترک‌ها غالباً ناشی از عوامل زیر هستند:

۱- ناخالصی‌های درون ماده

۲- محیط نامساعد کاری (تنش‌های حرارتی و یا خوردگی)

۳- ماشین‌کاری و تراشکاری حین ساخت قطعه

۴- ناپیوستگی مربوط به طراحی و یا ساخت ماده

۵- شرایط کاری نا مناسب (خستگی و اعمال ضربه و بارهای ناخواسته)

ترک‌های اولیه ممکن است در شرایط کاری سازه پایدار نمانده و رشد کنند. با اینکه بسیاری از

[1] -Fracture Mechanics