دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

تحلیل و شبیه سازی تعیین خواص دینامیکی مواد با در نظر گرفتن تاثیرات نرخ کرنش با استفاده از تست تیلور

نام دانشجو

ملیحه صابر شهرکی

استاد راهنما:

دکتر محمد دامغانی نوری

مهرماه ۱۳۹۱

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

تحلیل و شبیه سازی تعیین خواص دینامیکی مواد با در نظر گرفتن تاثیرات نرخ کرنش با استفاده از تست تیلور

نام دانشجو

ملیحه صابرشهرکی

استاد راهنما:

دکتر محمد دامغانی نوری

مهرماه ۱۳۹۱

تقدیم به

پدرومادر عزیز ومهربانم که همواره مشوق، یار دلسوزو بهترین حامی در تمامی عرصه های زندگیم هستند وهمچنین همسر عزیزم که صبورانه با گرمای دستان پرمهرش در تک تک لحظاتم پشتیبان وهدایتگرم می باشد.

تقدیر و تشکر

سپاس ومنت بی پایان ،خدای بزرگ را که توفیق گام برداشتن در راه کسب علم را به من عطا کرد وهم او مرا در این راه ،حامی وپشتیبان بود.

با سپاس وتشکر از همه اساتید بزرگوارم به ویژه **جناب آقای دکتر نوری** که افتخار شاگردی ایشان در مکتب تحصیل و زندگی از بزرگترین موهبات زندگی بنده بوده که به عنوان استاد راهنما همواره روشنگر راه زندگی ام بوده اند.

قدردانی خاص از جناب آقای **مهندس رحمانی** که خالصانه وبدون منت بسیاری از تجربیات علمی خودرا دراختیار اینجانب قرار داده اند و مرا از الطاف خود بهره مند ساختند.

چکیده

برای تعیین خواص دینامیکی مواد نیاز به تست های خاصی است. از جمله مهمترین این تست ها می توان به تست ضربه ی تیلوراشاره کرد.

در این پروژه ابتدا بصورت مقدماتی به بررسی رفتار پلاستیک مواد می پردازیم و سپس در فصل دوم تست تیلور و تاریخچه ای از مطالعات انجام شده در مورد آن را بررسی می کنیم وبه روابط تئوری ارائه شده درباره ی تست تیلور با توجه به سیر تاریخی آن اشاره می کنیم ودر فصل سوم خواص موادرا بدون در نظر گرفتن اثر نرخ کرنش در مدلهای مختلفی که در توجیه نتایج تست تیلور مطرح شده بررسی می کنیم ، دو تئوری RI,RDمطرح وتفاوت آنها بررسی می شود سپس رفتاردینامیکی مواد در تئوریRIبصورت تحلیلی بحث می گردد در فصل چهارم چگونگی بدست آوردن خواص دینامیکی مواد با در نظر گرفتن نرخ کرنش به کمک معادلات تحلیلی شرح داده می شود در ادامه با کمک نرم افزار آباکوس تست تیلور با در نظر گرفتن اثر نرخ کرنش به روش عددی المان محدود شبیه سازی شده است و نتایج حاصل از شبیه سازی با معادلات تحلیلی بدست آمده مقایسه می گردد که نشان می دهد نتایج حاصل از پیش بینی شکل پرتابه پس از برخورد در تئوری RIکه مستقل از نرخ کرنش است نسبت به تئوری RD که اثرات نرخ کرنش را در نظر می گیردبا پدیده قارچی شدن در تست ضربه‌ی تیلور همخوانی کمتری دارد .درنهایت در فصل آخر مطالب جمع بندی ونتیجه گیری انجام می گردد و پیشنهاداتی برای ادامه پروژه مطرح می شود.

کلمات کلیدی:نرخ کرنش ،تست تیلور ،تئوری RD،RI

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تاریخچه ۴

۱-۳- بررسی خواص دینامیکی مواد ۵

فصل ۲: مروری بر کارهای گذشته ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- معرفی تست تیلور ۸

۲-۳- بررسی موج تنش در تست تیلور ۹

۲-۴- معادله حرکت موج الاستیک در میله ۱۸

فصل ۳: تعیین تنش دینامیکی مواد بکمک تئوری RI ۲۳

۳-۱- مقدمه ۲۴

۳-۲- حل معادله موج پلاستیک درتئوری RI ۲۷

۳-۳- بررسی قارچی شدن شکل پرتابه پس از برخورد ۲۹

۳-۴- تعیین ثوابت تابع جابجایی ۳۱

۳-۵- محاسبه شکل منحنی در فاز دوم ۳۳

۳-۶- بررسی مدلهای نظریه RI ۳۳

۳-۶-۱- مدل اول : قانون توانی ۳۴

۳-۶-۲- مدل دوم: مدل هارتیگ ۳۴

فصل ۴: تحلیل وشبیه سازی رفتار دینامیکی مواد در تئوری RD ۳۶

۴-۱- -مقدمه ۳۷

۴-۲- روش حل سری توانی معادلات دیفرانسیل غیرخطی ۳۷

۴-۳- بررسی مدلهای نظریهRD ۳۸

۴-۳-۱- مدل جانسون –کوک ۳۸

۴-۳-۲- مدل مالورن ۳۸

۴-۳-۳- مدل ون کارمن ۳۹

۴-۴- حل معادله موج بکمک روش سری توانی ۳۹

۴-۵- بدست آوردن تنش دینامیکی AL6061 ..... ۴۲

۴-۶- محاسبه تغییرات شعاع پرتابه پس از برخورد در فاز اول ۴۴

۴-۷- محاسبه تغییرات شعاع پرتابه پس از برخورد در فازدوم ۴۵

۴-۸- بررسی رفتار الاستیک- پلاستیک غیرخطی بادرنظرگرفتن نرخ کرنش ۵۰

۴-۹- آشنایی با نرم افزار آباکوس ۵۱

۴-۱۰- مراحل شبیه سازی توسط ABAQUS /Explicit ۵۱

۴-۱۰-۱- مدلسازی ۵۲

۴-۱۰-۲- ابعاد ۵۲

۴-۱۰-۳- - خواص ماده: ۵۳

۴-۱۰-۴- حلگر ۵۳

فصل ۵: جمع بندی ونتیجه گیری.....۵۶

۵-۱- جمع بندی ونتیجه گیری.....۵۷

۵-۲- عوامل ایجاد خطا.....۵۸

۵-۳--پیشنهادات و چشم اندازهای آتی.....۵۹

مراجع.....۶۰

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) برخورد میله با مانع صلب و انتشار امواج تنشی الاستیک و پلاستیک در آن ۱۲

شکل (۲-۲) (۲-۲A,B): میله با یک پیشانی ثابت: [شکل (۲-۲A)] و دو پیشانی ثابت: [شکل (۲-۲B)] ۱۶

شکل (۲-۳) نمودار زمان- فضای شکیل پیشانی های ثابت ۱۶

شکل (۲-۴) تشکیل دو موج تنشی در هنگام برخورد میله صلب ۱۹

شکل (۲-۵) سرعت موج های الاستیک و پلاستیک ۲۰

شکل (۲-۶) شماتیک پرتابه پس از برخورد ۲۱

شکل (۳-۱) رفتار نمونه تست تیلور قبل از برخورد و فازهای مختلف ۲۵

شکل (۳-۲) رفتار نمونه تست تیلور بعد از برخورد و فازهای مختلف ۲۶

شکل (۳-3) نمایه قارچی شدن ۳۰

شکل (۴-۱) شماتیک نمونه تست تیلور قبل از برخورد و فازهای مختلف ۴۱

شکل (۴-۲) نمودار تغییرات قطر پرتابه آلومینیومی پس از برخورد در فاز اول ۴۴

شکل (۴-۳) نمودار تغییرات قطر پرتابه آلومینیومی پس از برخورد در فازدوم ۴۵

شکل (۴-۴) بررسی تاثیرات مقدار سرعت برخورد بر تغییرشکل نهایی در فاز اول ۴۶

شکل (۴-۵) بررسی تاثیرات مقدار سرعت برخورد بر تغییرشکل نهایی در فاز دوم ۴۶

شکل (۴-۶) پروفیل نهایی پرتابه آلومینیومی ۴۷

شکل (۴-۷) نمودار تغییرات قطر پرتابه فولادی پس از برخورد در فاز اول ۴۹

شکل (4-8) تغییرات قطر پرتابه فولادی پس از برخورد در فاز دوم ۵۰

شکل (۴-۹) شماتیک پرتابه در نرم افزار آباکوس ۵۴

فهرست جداول

جدول (۱-۱) تاریخچه فعالیت های انجام شده در توجیه تست تیلور ۴

جدول (۴-۱) مقادیر ابعادی نمونه های شبیه سازی شده ۵۳

جدول (۴-۲) خواص نمونه های شبیه سازی شده ۵۳

جدول (4-3) مقادیر قطر نمونه آۀومینیومی پس از برخورد در شبیه سازی ۵۵

فصل ۱: مقدمه

۱-۱- مقدمه

آشنایی با رفتار خواص مواد برای طراحی قطعات مهندسی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در واقع برای طراحی ماشین ها، مکانیزم ها، سازه ها و... با بهینه کردن شکل قطعه و به دست آوردن نیروهای وارد بر آن با توجه به عملکرد و نحوه ی کار آن قطعه باید ماده ی مناسب برای آن کارکرد انتخاب نمود. این ماده باید در مقابل تنش ها و کرنش های حاصله مقاومت کافی داشته باشد.

طراحی سازه های مهندسی اغلب نیازمند جدول هایی شامل اطلاعات مکانیکی مواد مهندسی می باشد، که این جدول ها معمولاً به صورت دیاگرام های تنش-کرنش می باشند. طراحی بهینه، اغلب مستلزم در اختیار داشتن جدول های دقیق و کاملی از مواد تحت شرایط گوناگون آزمایشی می باشد. غالب جدول های خواص مکانیکی در دسترس، با تغییر شکل خیلی آهسته ی قطعه جمع آوری شده اند که به آن آنالیز تست استاتیکی گفته می شود.

مطابق جداول تست استاتیکی، نرخ متوسط کرنش مورد استفاده در به دست آوردن دیاگرام های تنش-کرنش، در حدود$0,001/S$ یا کمتر است. در حالی که از سال ها پیش می دانستند که مواد در نرخ کرنش های بالاتر، از قبیل برخورد ضربه ای، قوی تر هستند. بررسی رفتار سازه های تحت بارهای ضربه ای، مورد علاقه بسیاری از مهندسان بوده است، که هدف آن طراحی بهینه ی سازه های تحت ضربه و گسترش مدل های ساختاری برای تست های مکانیکی مواد می باشد[۱].

۱-۲- تاریخچه

جدول (۱-۱) تاریخچه فعالیت های انجام شده در توجیه تست تیلور

محقق	نوع فعالیت	سال
تیلور	ابداع تست تیلور و ارائه روابط بر مبنای انتشار موج تنش	۱۹۴۸
ویفن و گیلر	انجام تستهای آزمایشگاهی متعدد برروی سرب ومس وفلزات دیگر-کامل پلاستیک	۱۹۴۸
هوکیارد	ارائه آنالیز بر پایه ی روش انرژی هوکیارد	۱۹۶۹
هاچیتگز	ارائه روش محاسباتی جدید برای مواد الاستیک-پلاستیک خطی	۱۹۸۱-۱۹۷۹
جونز	ارائه تحلیل جدید برای بررسی تغییرات خواص مواد در تست تیلور	۱۹۹۵
هاوس	ارائه تحلیل بر مبنای عکس برداری سریع از نمونه	۱۹۹۶
ایکنز	تست معکوس تیلور بر مبنای عکسبرداری سریع	۲۰۰۵
زینک زیاو	بررسی تاثیرات هاردنینگ پرتابه بر تغییرشکل آن در تست تیلور	۲۰۰۸

ادامه جدول(۱-۱)

گنگ وی، وی ژانگ	حل عددی وشبیه سازی تغییرشکل و بررسی رفتار شکست در تست تیلور	۲۰۱۰
رن یو	در تست تیلورTi -۶Al-۴V بررسی شکست دینامیکی	۲۰۱۱
لنگدون	حل عددی و انجام تست تیلور بر روی فوم آلومینیومی	۲۰۱۲

۱-۳- بررسی خواص دینامیکی مواد

در مقاومت مصالح مقدماتی و حتی در برخی مسائل مقاومت مصالح پیشرفته، تحلیل مسائل با فرض اینکه بار وارد به جسم استاتیکی است، انجام می گیرد. یعنی بار وارد به جسم و راستای آن ثابت است. اما در مواردی که راستا و جهت بار تغییر می کند، برای مثال در مورد ماشین ها و مکانیز م ها که دارای حرکت هستند نمی توان با فرض بار استاتیکی مسئله را تحلیل نمود. در این مورد، مسئله شرایط دینامیکی دارد[۱و۲].

بارهای دینامیکی به دو نوع بارهای دینامیکی گذرا و بارهای ضربه ای تقسیم می شوند. ضربه، برخورد دو جسم با یک سرعت نسبی اولیه است. نیروی خارجی وارد به یک قطعه یا یک سازه را هنگامی بار ضربه ای می گویند که زمان وارد شدن آن کمتر از یک سوم کوچکترین زمان تناوب ارتعاشات طبیعی آن قطعه یا سازه باشد. ولی در بار دینامیکی گذرا، محدوده ی زمانی اعمال بار هرچند کوتاه است ولی در مقایسه با پیشرفت موج تنش قابل ملاحظه است. در بعضی موارد نیاز داریم که ضربه ی معینی بین دو جسم طراحی کنیم برای مثال در کارهای سکه زنی، قالب زنی و پرسکاری به این نیاز برخورد می کنیم. در موارد دیگر ضربه در اثر تغییر شکل بیش از حد یا لقی بین قطعات رخ می دهد. در این حالت ها لازم است اثرات ناشی از ضربه را به حداقل برسانیم. صدای تق تق چرخ دنده های درگیر، یک مسئله ضربه است که در اثر خم شدن میله محور و لقی بین دندانه ها اتفاق می افتد. این ضربه باعث ایجاد صدا بین چرخ دنده ها و شکست سطوح دنده ها در اثر خستگی می شود[۱].

آنچه در این میان اهمیت دارد این است که با دانستن خواص مواد در حالت استاتیکی نمی توان از آنها برای بارگذاری های دینامیکی استفاده کرد؛ به بیان دیگر رفتار مواد تحت بارگذاری های دینامیکی با بارگذاری های استاتیکی متفاوت است. در حل مسائل دینامیکی آشنایی با موج تنش و انتشار آن برای شناخت علت و توجیه این مسائل ضروری است.

برای تعیین خواص مواد در حالت دینامیکی نیاز به تست های خاصی است. از جمله مهمترین این تست ها می توان به تست ضربه ی تیلور، تست میله ی فشاری هاپکینسون، تست چارپی و... اشاره کرد. تست ضربه ی تیلور در اصل با هدف به دست آوردن مقاومت تسلیم دینامیکی مواد صلب ابداع شد. تست، شامل برخورد یک پرتابه ی استوانه ای با سر تخت به یک هدف سخت است. طول استوانه باید از یک سوم قطر آن کوچکتر باشد تا از کمانش آن جلوگیری شود[۳]. تیلور یک راه حل محاسباتی برای به دست آوردن مقاومت تسلیم دینامیکی ماده ی پرتابه ارائه کرد. این رابطه برمبنای اندازه گیری های پرتابه ی تغییرشکل یافته بعد از انجام آزمایش است. با پیشرفت تجهیزات اندازه گیری همچون دوربین های عکاسی با سرعت بالا و... روابط دیگری نیز برای به دست آوردن خواص دینامیکی مواد ارائه شد. با پیشرفت امکانات تحلیلی عددی همچون نرم افزارهای شبیه سازی و امکان تحلیل مسائل ضربه ی پیچیده همچون برخورد خودرو و... نیاز به مدل ریاضی برای رفتار مواد پیدا شد. امروزه از تست تیلور بیشتر برای صحه گذاری بر مدل های ماده استفاده می شود. به این صورت که با استفاده از مدل ماده ی مورد نظر تست تیلور را در نرم افزار شبیه سازی کرده و با نتایج تست عملی مقایسه می کنند.

فصل ۲: مروری بر کارهای گذشته

۲-۱- مقدمه

امروزه تست تیلور در ترکیب با شبیه سازی عددی به عنوان یک ابزار قوی در تایید ساختار نمونه برای مواد مختلف که دارای تغییر شکل زیاد و نرخ کرنش بسیار زیاد هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد[۴]در این فصل به معرفی تست تیلور و روابط ارائه شده و معادلات حاکم بر تست تیلور می پردازیم سپس موج تنش ایجاد شده در اثر برخورد وچگونگی انتشار آن را در جسم بررسی می کنیم

۲-۲- معرفی تست تیلور

روش تیلور، که برای اولین بار توسط تیلور در سال ۱۹۴۸ بیان شد تحلیلی برای برآورد فرم تغییر شکل، رفتار و خصوصیات دینامیکی یک میله استوانه ای شکل است که با سرعت زیاد به یک مانع صلب برخورد کرده و پس از برخورد، تغییر شکل پلاستیک رخ داده و محل برخورد به صورت قارچی شکل درمی آید[۱,۴]. برای میله های

فولادی،منظور از سرعت زیاد، چند صد فوت یا متر بر ثانیه می‌باشد. برای جلوگیری از کمانش، میله‌ای کوتاه که طول آن کوتاهتر از سه برابر قطر آن است، در نظر گرفته می‌شود. با بررسی تغییر فرم استوانه خواص مواد به دست می آید.

هدف از تئوری تیلور برآورد فرم تغییر شکل، تعیین خصوصیات دینامیکی و مکانیکی نظیر تنش تسلیم دینامیکی و ..... می باشد با استفاده از این روش میتوان اثر پارامترهای موثر در خصوصیات دینامیکی را نیز ارزیابی کرد پارامترهای موثر عبارتند از قطر میله، سرعت اولیه، طول میله، جنس میله، شکل سطح مقطع و ... می باشد.

۲-۳- بررسی موج تنش در تست تیلور

یک موج تنش، وقتی در یک جسم جامد انتقال می یابد که قسمت های مختلف آن، شبیه حالت برخورد اجسام جامد با یکدیگر، در حالت تعادل نباشند[۵] .

یک زمان محدود لازم است تا این عدم تعادل توسط قسمت های دیگر جسم حس شود. عدم تعادل موضعی باعث حرکت ذرات جسم می شود، این حرکت همراه با توزیع تنش است. تنش ایجاد شده با سرعت معینی، در جسم منتشر شده، شکل انتشار آن به صورت موج است رفت برگشت امواج الاستیک و پس از آن پلاستیک در میله ی استوانه ای توسط تیلور بحث شد[۱]. گرچه روابط تیلورشکل پرتابه را بعد از آزمایش به طوردقیق پیش بینی نمی کرد ولی تقریب خوبی برای تنش تسلیم دینامیکی ماده به دست می داد

به منظور بررسی موج تنش ایجاد شده فرض می‌شود که جسمی به طول Lبه یک مانع صلب برخورد کرده و در اثر برخورد، تنش منتشر شده در جسم بیشتر از تنش تسلیم آن، $\sigma_0 > Y$ خواهد بود. در نتیجه، با توجه به جنس میله دو موج الاستیک با سرعت $c_0 = \sqrt{E/\rho_0}$ و پلاستیک با سرعت $c_p = c_1 = \sqrt{p/\rho_0}$ در میله انتشار خواهد یافت[۵]که پس از برخورد میله با مانع صلب، تغییر شکل پلاستیک رخ می دهد و دو موج تنش با سرعت های C_1وC_0 از سطح برخورد به طور همزمان منتشر شده به سمت انتهای آزاد سمت راست حرکت خواهند کرد[۶] [شکل های (۲a-۱) و (۲b-۱)] .