بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکدۀ مهندسی مکانیک

پایان نامۀ کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- گرایش طراحی کاربردی

طراحی و ساخت ضربه زن پنوماتیکی در دستگاه تست هاپکینسون

Design And Manufacturing Of The Striker In Split Hopkinson Pressure Bar Apparatus

نگارش:

مجتبی شجاع الدین

استاد راهنما:

دکتر محمد دامغانی نوری

بهمن ماه 1389

اینجانب: **مُجتبی شجاع الدین** بدین وسیله اظهار می دارم که محتوی علمی این نوشتار با عنوان:

طراحی و ساخت ضربه زن پنوماتیکی در دستگاه تست هاپکینسون

که به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی به دانشکده مکانیک دانشگاه سمنان ارائه شده، دارای اصالت پژوهشی بوده و حاصل فعّالیت اینجانب است.

اینجانب می دانم که اگر خلاف ادعای بالا در هر زمانی محرز شود، کلیه حقوق مرتبط با این نوشتار از اینجانب سلب شده و مراتب قانونی مرتبط با آن نیز از طرف مراجع ذی ربط قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی - شمارۀ دانشجویی

تاریخ و امضاء

به نام خدا

دانشکدهٔ مهندسی مکانیک

تأیید دفاع از پایان نامهٔ کارشناسی ارشد

پایان نامهٔ آقای **مُجتبی شجاع الدین**

برای آخذ درجهٔ **کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک-گرایش طراحی کاربردی**

با عنوان:

طراحی و ساخت ضربه زن پنوماتیکی در دستگاه تست هاپکینسون

در تاریخ ..... دفاع شد و مورد تأیید قرار گرفت.

تأیید کنندگان:

1) استاد محترم داور ..... امضاء

2) استاد محترم راهنما ..... امضاء

3) مدیر محترم گروه مکانیک ..... امضاء

تقدیم به:

پدرم؛ که اوّلین دفتر و قلم را برایم خرید.

مادرم؛ اوّلین آفتابی که نقاشی کردم.

نگاه مهربان همسرم.

محبت برادر و خواهرانم.

و همه کسانیکه شریک همیشگی شادی هایم هستند.

سپاس گزاری:

شکر خدای را که توان انجام این پروژه را عطایم کرد و موانع بسیار سخت این مسیر را یک یک برایم آسان و حل نمود.

در ادامه جا دارد مراتب سپاس و قدردانی خود را از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمّد دامغانی نوری ابراز نمایم که در مقام استاد راهنمای اینجانب از هر کمکی، چه در زمینهٔ علمی و چه در زمینهٔ فراهم آوردن تسهیلات لازم جهت انجام پروژه دریغ نکردند.

همچنین از اساتید داور که زحمت حضور در جلسه و داوری این پایان نامه را پذیرفتند، نهایت قدردانی و سپاسگزاری دارم.

در نهایت از دوست عزیزم آقای مهندس حسین رحمانی که در مسیر پر فراز و نشیب این پروژه یار و همراه من بودند، کمال تشکر را دارم.

چکیده:

دستگاه تست هاپکینسون که همچنین به نام میلهٔ Kolsky معروف است، قادر به انجام آزمایش نرخ کرنش فشاری در محدودهٔ تقریبی $50\ S^{-1}$ تا $10^4\ S^{-1}$ می باشد. دستگاه تست هاپکینسون شامل دو قسمت اصلی بشرح زیر می باشد:

الف) سیستم ایجاد کنندهٔ تنش (دستگاه ضربه زن)

ب) سیستم تعیین کنندهٔ تنش (دستگاههای سنجش و اندازه گیری)

قسمت ضربه زن دارای اهمیّت ویژه ای در دستگاه تست هاپکینسون است و در صورتیکه بطور صحیح طراحی و ساخته شود، قادر خواهد بود تا خواص دینامیکی مواد مورد آزمایش را با دقّت بالاتری نسبت به سنجش های پیشین آن، ارزیابی کند. بنابراین در طول پروژه، تمرکز اصلی بر روی طراحی، ساخت، مونتاژ و آزمایش دستگاه ضربه زن در تجهیزات تست هاپکینسون واقع گردیده است. طراحی و ساخت این دستگاه در دو مرحله به شرح زیر می باشد:

الف) تحقیق، طراحی و ساخت ضربه زن پنوماتیکی (سیستم ایجاد کننده تنش).

ب) بخش آزمایشگاهی و آزمایش دستگاه برای رسیدن به داده های مورد نظر.

در ابتدا به معرفی انواع ضربه زن ها و سیستم های بارگذاری پرداخته و مزیت و کاربرد ضربه زن های پنوماتیکی شرح داده شده است و با مقایسهٔ روشهای موجود، مناسبترین روش یعنی ضربه زن پنوماتیکی انتخاب گردید. سپس اقدام به طراحی ضربه زن پنوماتیکی نمودیم. نه تنها توضیح فرآیند طراحی بطور کامل توصیف شده است بلکه همچنین جزئیات نهایی شامل: اجزاء ، ساختمان و نحوه عملکرد قطعات دستگاه ارائه شده است. پس از ساخت و مونتاژ قطعات دستگاه ضربه زن پنوماتیکی، در ادامه آزمایشات نهایی برای بدست آوردن منحنی کالیبراسیون سرعت – فشار انجام شده است. بعد از نتیجه گیری در نهایت، پیشنهاداتی برای ادامه کار آینده برای ساختن بهتر دستگاه ضربه زن ارائه شده است.

کلید واژگان: دستگاه تست هاپکینسون (SHPB) - نرخ کرنش بالا - ضربه زن (Striker)

فهرست مطالب

فصل اوّل: معرفی ضربه زن ها (سیستمهای بارگذاری)

1-1- مقدمه

2.....

1-2- اهداف پروژه

4.....

1-3- روشهای مختلف بارگذاری مواد 5

1-4- انواع ضربه زن (سیستم های بارگذاری ضربه ای).....7

1- 5- مزیت ضربه زن های پنوماتیکی

14.....

1-6- کاربرد ضربه زن های پنوماتیکی

14.....

1-6-1- تعیین خواص دینامیکی مواد

15.....

فصل دوّم: طراحی ضربه زن پنوماتیکی در دستگاه هاپکینسون

2- 1- مقدمه .....

21

2-2- طرح کلّی 22

2-3- جزئیات طراحی 23

2-4- مخزن (Reservoir) 25

2- 5- محاسبات فشار مخزن 26

2- 6- تجزیه و تحلیل تنش ها در مخزن تحت فشار 28

2- 7- شیرسریع باز شونده (Quick Opening Valve) 30

2- 8- لولۀ پرتاب کننده (Launch Tube) 30

2- 9- ضربه زن (Striker) 31

فصل سوّم: اجزاء ساختمان و نحوه عملکرد قطعات در دستگاه ضربه زن

3- 1- مقدمه 34

3- 2- سیلندر گاز نیتروژن (ازت) 35

3- 2- 1- خواص گاز نیتروژن 35

3- 2- 2- طرز تهیّه نیتروژن 35

3- 2- 3- کاربرد گاز نیتروژن 35

3- 2- 4- ویژگی انتخاب گاز نیتروژن 36

3- 2- 5- مشخصات سیلندر نیتروژن 36

3- 3- تقلیل دهنده و تنظیم کنندهٔ فشار (رگولاتور) 39

3- 3- 1- معیار انتخاب رگولاتور .....

40

3- 3- 2- رگولاتور یک مرحله ای (یک طبقه) 40

3- 3- 3- فشارسنج های رگولاتور 41

3- 3- 4- میدان یا حدود اندازه گیری فشارسنجها 42

3- 3- 5- نگهداری صحیح فشارسنج 42

3- 3- 6- انتخاب نوع رگولاتور 43

3- 4- شیلنگ فشار قوی (High-Pressure Hose) 43

3- 4- 1- ویژگی انتخاب شیلنگ فشار قوی 43

3- 4- 2- ساختمان شیلنگ فشار قوی 44

3- 4- 3- اندازه نامی شیلنگهای فشار قوی 45

3- 4- 4- انتخاب نوع شیلنگ 45

3- 5- مخزن (تانک) 45

3- 6- شیر سریع باز شونده سلونوئیدی 46

3- 6- 1- معیار انتخاب شیر سلونوئید .....

47

3- 6- 2- اصطلاحات رایج در شیرهای سلونوئید 49

3- 6- 3- اتصال شیر سلونوئیدی به خط لوله .....

51

3- 6- 4- آب بندی شیرهای سلونوئیدی 52

3- 6- 5- انتخاب شیر کنترل 53

3- 7- لولۀ پرتاب کننده (Launch Tube) 53

3-8- ضربه زن (Striker) 54

فصل چهارم: مونتاژ قطعات و تجهیزات دستگاه ضربه زن

4- 1- مقدمه .....
57

4- 2- اتصال تجیهزات دستگاه 57

4- 2- 1- بستن کپسولها .....
57

4- 2- 2- باز کردن شیر کپسول 57

4- 2- 3- اتصال رگولاتورها 58

4- 2- 4- اتصال شیلنگ به رگولاتور 59

4- 2- 5- آزمایش نشتی گاز 60

4- 3- فتینگ ها (وصل کننده ها) .....
61

4- 4- فیکسچر (قید) .....
61

4- 5- میز پایه (فوندانسیون) 62

4- 6- کالیبراسیون دستگاه .....
62

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

5- 1- نتیجه گیری **65**

5- 2- پیشنهادات **66**

فهرست منابع و مراجع **69**

فهرست شکل ها

فصل اوّل:

شکل (1- 1): مقدار نرخ های کرنش مورد انتظار برای حالتهای مختلف بارگذاری **5**

شکل (2- 1): شماتیک دستگاه تست ضربه شارپی **8**

شکل (3- 1) : ضربه زن هیدرولیکی **9**

شکل (4- 1) : ضربه زن چکشی **10**

شکل (5- 1) : شماتیک ضربه زن پنوماتیکی **11**

شکل (6- 1) : ماشین ضربه زن مغناطیسی **12**

شکل (7- 1) : ضربه زن توسط مکانیزم میل لنگ **12**

شکل (8- 1) : بارگذاری بوسیلۀ استفاده از پیچ **13**

شکل (9- 1) : طرح شماتیک کلی ساده از یک SHPB نوع فشاری **16**

شکل (10- 1) : دستگاه میلۀ فشاری هاپکینسون دو تکّه (SHPB) **16**

شکل (11- 1) : دستگاه میلۀ فشاری هاپکینسون دو تکّه (SHPB) **17**

فصل دوّم:

شکل (2- 1) : شماتیک ضربه زن پنوماتیکی در دستگاه تست هاپکینسون **21**

شکل (2- 2) : عملکرد کلی سیستم ایجاد کنندۀ تنش و سیستم ثبت کنندۀ تنش در دستگاه تست هاپکینسون **23**

شکل (2- 3) : شماتیک حرکت پرتابه **25**

فصل سوّم:

شکل (3- 1) : ساختمان داخلی، نمای و ابعاد یک نمونه از کپسول گاز نیتروژن **37**

شکل (3- 2) : ساختمان شیر کپسول گاز نیتروژن **38**

شکل (3- 3) : اساس ساختمان و اجزای دستگاه رگولاتور فشار نوع یک مرحله ای .....
40

شکل (3- 4) : اساس ساختمان فشارسنج نوع بوردُن .....
41

شکل (3- 5) : نمای کلی از شیر سلونوئیدی **47**

شکل (3- 6) : مشخصات جریانی شیرهای کنترلی .....
50

فصل چهارم:

شکل (4- 1) : باز کردن شیر کپسول **58**

شکل (4- 2) : متصل کردن رگولاتور به سیلندر با آچار مخصوص آن **58**

شکل (4- 3) : اتصال شیلنگ به رگولاتور نصب شده بر روی کپسول **59**

شکل (4- 4) : نقاطی که باید به منظور عدم وجود نشتی گاز، با کف صابون مورد آزمایش قرارگیرند.....
60

شکل (4- 5) : نمایش منحنی کالیبراسیون سرعت - فشار برای دستگاه پرتاب کنندۀ پنوماتیکی **63**

فهرست جدول ها

جدول (4- 1) : نمایش داده های آزمایش کالیبراسیون سرعت پرتاب کنندۀ پنوماتیکی **63**

فصل اوّل

معرفی ضربه زن ها (سیستمهای بارگذاری)

1-1- مقدمه

مهمترین عامل مورد نظر مهندس طراح هنگام انتخاب ماده، خواص آن است. خواص ماده آن کیفیتهایی هستند که رفتار جسم را در شرایط بار و محیط کار معلوم می نمایند. بنابراین نه تنها باید اطلاعاتی در مورد این خواص و معنی آنها داشت، بلکه باید روش اندازه گیری آنها را نیز دانست. باچنین دانشی مهندس طراح خواهد دانست کدام خواص به مسئلهٔ مورد نظر مربوط بوده و آیا جداول خواص جسم مستقیماً در این طرح قابل استفاده می باشند یا اینکه شرایط استاندارد آزمایش با شرایط کار فرآورده تفاوت فراوان دارند. تقاضای روزافزون جهت دستیابی به مواد سخت تر، سبک تر و دارای مقاومت بالا در برابر خوردگی، زمینه های متعددی را در خصوص دست یابی به این گونه مواد، در دهه های گذشته ایجاد کرده است. به منظور طراحی سازه ها و اجزای بزرگ، مقاوم، سبک و دارای عمر بالاتر جهت رفع نیازهای صنعتی، تلاش های زیادی در خصوص به کارگیری آلیاژهای بهتر از فولاد و آلومینیوم تا استفادهٔ روزافزون از تیتانیوم در توسعهٔ سرامیک ها و مواد کامپوزیتی، انجام گرفته است. با توسعهٔ این مواد جدید، می بایست خواص مکانیکی (استاتیکی و دینامیکی)، شیمیایی و الکتریکی این مواد مشخص و دسته بندی شود. خواصی که رفتار ماده را هنگام استفاده مکانیکی تعیین می نمایند، به خواص مکانیکی شهرت دارند و برای مهندس طراح اهمیّت خاصی دارند؛ زیرا طراح باید رفتار ماده را در مقابل نیروهایی که هنگام کاربرد قطعه بر آن وارد می شود، بداند. همچنین همواره این نیاز وجود دارد، تا این خواص با دقّت بالاتری نسبت به تخمین های پیشین آن، تخمین زده شود. [1]

تعدادی آزمایشهای استاندارد مانند: آزمایش کشش و فشار به منظور سنجش خواص استاتیکی مواد تعیین شده اند. متأسفانه آزمایشهای دینامیکی به سادگی آزمایشهای استاتیکی قابل کنترل نبوده و بخوبی آنها استاندارد نشده اند. نکته دیگر اینکه نتیجهٔ اغلب آزمایشهای دینامیکی را نمی توان مستقیماً در طراحی بکار برد. در این موارد فقط می توان مواد مختلف را بر حسب رفتار دینامیکی آنها در شرایط بارگذاری خاصی طبقه بندیِ مقایسه ای نمود. به همین دلیل گاهی اوقات این آزمایشها را انحصاری نیز می نامند. به هر صورت چنانچه محدودیت های این آزمایشها در نظر گرفته شوند، می توان به خوبی از نتایج آزمایش استفاده کرد. بهرحال برای سنجش مقاومت مواد در مقابل بارهای ضربه ای غالباً از دو نوع آزمایش ضربه ای شارپی[1] و آیزود[2] استفاده میشود. نتیجه استفاده از این ماشینها فقط اندازه گیری میزان انرژی جذب شده برای شکست مواد مورد آزمایش بوده است و حتّی منحنی تنش- کرنش دینامیکی را بطور کامل ارائه نمی داد. [1]

یک روش مهّم مورد استفاده برای مشخص کردن خواص دینامیکی مواد برای نرخ های کرنش بالا (در محدودهٔ بین $50\ S^{-1}$ تا $10^4\ S^{-1}$)، دستگاه تست هاپکینسون[3] می باشد که از انتشار موج یک بعدی در میله های استوانه ای فولادی الاستیک با مقاومت بالا، برای ایجاد تنش در یک جهت محور در مواد تحت بررسی، استفاده می کند. دستگاه تست هاپکینسون شامل دو قسمت اصلی بشرح زیر می باشد:

الف) سیستم ایجاد کنندهٔ تنش (دستگاه ضربه زن)

ب) سیستم تعیین کنندهٔ تنش (دستگاههای سنجش و اندازه گیری)

در این پروژه اقدام به طراحی و ساخت دستگاه ضربه زن، برای تجهیزات تست هاپکینسون نموده و با مقایسهٔ روشهای موجود، مناسبترین روش یعنی ضربه زن پنوماتیکی انتخاب گردید. سپس

[1] - Charpy
[2] - Izod
[3] - Split Hopkinson Pressure Bar

بعد از ساخت، تهیه و مونتاژ قطعات دستگاه ضربه زن، آزمایشات نهایی برای بدست آوردن منحنی کالیبراسیون سرعت - فشار انجام شده است.

1-2- اهداف پروژه

قسمت ضربه زن دارای اهمیّت ویژه ای در دستگاه تست هاپکینسون است و در صورتیکه بطور صحیح طراحی و ساخته شود، قادر خواهد بود تا خواص دینامیکی مواد مورد آزمایش را با دقّت بالاتری نسبت به سنجش های پیشین آن، ارزیابی کند. بنابراین در طول پروژه، تمرکز اصلی بر روی طراحی، ساخت، مونتاژ و آزمایش دستگاه ضربه زن در تجهیزات تست هاپکینسون واقع گردیده است.

هدف اصلی فرآیند طراحی دستگاه بشرح زیر می باشد:

طراحی و ساخت دستگاهی که بطور کامل عملی باشد و خصوصیات زیر را دارا باشد:

1) عملکردی در حالت کاملاً ایمن داشته باشد.
2) توانایی ایجاد سرعتهای برخورد در محدودهٔ 5 تا 35 متر بر ثانیه را داشته باشد.
3) انجام آزمایشات برخورد فشاری در نرخ کرنش هایی در محدودهٔ $50\ S^{-1}$ تا $10^4\ S^{-1}$.
4) تولید امواج انتشاری که می توانند در تعیین روابط تنش – کرنش استفاده گردند.

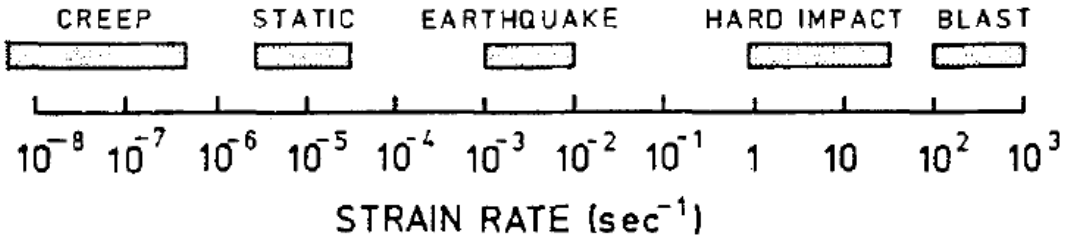
جهت نایل آمدن به اهداف فوق، فرآیند طراحی، ساخت و آزمایش دستگاه ضربه زن به دو بخش اصلی زیر تقسیم گردید:

الف) تحقیق، طراحی و ساخت ضربه زن (سیستم ایجاد کنندهٔ تنش).

ب) بخش آزمایشگاهی و آزمایش دستگاه برای رسیدن به داده های مورد نظر. [2]

1-3- روشهای مختلف بارگذاری مواد

اکثر مواد ساختاری استفاده شده توسط مهندسان، حسّاس به نرخ بارگذاری هستند. از اینرو درک عمیقی از روابط تشکیل دهندهٔ مواد و معیارهای شکست آنها مورد نیاز است. خیلی اوقات محدودهٔ وسیعی از نرخ کرنش در بارگذاری (شکل (1- 1)) ، به منظور طراحی صحیح و درست یک سازه برای همه نوع بارگذاری احتمالی جهت رویارویی در زمان طراحی بصورت دراز مدّت لازم و ضروری است. تقریباً همهٔ خواص مواد استفاده شده در سازه های بتنی مقاوم شده وابسته به نرخ کرنش (بارگذاری) هستند. مقاومت، سختی و قابلیت چکش خواری و یا شکنندگی می توانند توسط نرخ بارگذاری تحت تأثیر قرار بگیرند. امّا در اکثر حالات، تفاوت زمانی با اهمیّت می شود که تغییرات نرخ بیشتر از یک درجه به نسبت مقدار قبلی باشد.



شکل (1- 1): مقدار نرخ های کرنش مورد انتظار برای حالتهای مختلف بارگذاری

بطور نمونه محدودهٔ وسیعی از نرخ های کرنش مورد انتظار در عمل برای شرایط بارگذاری متفاوت در شکل (1- 1) نشان داده شده است که بوسیلهٔ استفاده از روش های مختلف آزمایش بطور تجربی بدست آورده شده است. نرخ های بارگذاری از محدودهٔ استاتیکی $10^{-8}\ \frac{m/m}{sec}$ تا محدودهٔ متوسط (10 تا $10^{-1}\ \frac{m/m}{sec}$) نیازمند بررسی دقیق نیروهای اینرسی است که از کمترین مقدار نرخ کرنش

شروع به ماکزیمم مقدار یعنی بارگذاری ضربه ای و یا حالت انفجاری ادامه می یابد. تأثیرات انتشار موج تنشی و شاید تأثیرات کرنش صفحه ای باید هنگام اعمال کرنش های خیلی بالا تحت بررسی قرار گیرد تا تفسیر صحیحی از نتایج آزمایش را تأمین کند. [3]

در گذشته، بطور کلی مرکزهای پژوهشی رفتار دراز مدّت مواد را مورد بررسی قرار داده اند (مخصوصاً تأثیرات خزش)، و دلایل فیزیکی مورد نیاز برای پاسخ به این تغییرات را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده اند. اگرچه در مورد بعضی مواد مثل بتن ثابت شده است که مقاومت دینامیکی بیشتری به نسبت حالت استاتیکی دارد، امّا اطلاعات کمی در این چنین مواد در نرخ های بالای بارگذاری وجود دارد و اکثر نتایج موجود در مورد رفتار مواد برای آزمایش های تک محوری در دمای اتاق می باشد و در حالت واقعی، هیچ اطلاعات در دسترسی برای بارگذاری در حالت چند محوری وجود ندارد.

اطلاعات موجود از آزمایش دینامیکی مواد که در دسترس هستند تحت تأثیر آخرین پیشرفت ها برای آزمایش های استاتیکی می باشند و این در حالی است که عدم اطمینان های زیادی راجع به تأثیر روش های آزمایشی مختلف وجود داشت و زمانی که شرایط مرزی غیر متشابه بودند، نتایج بین محققان مختلف بطور قابل ملاحظه ای تفاوت داشت. این عدم اطمینان در حالت تأثیرات نرخ کرنش بخاطر برخی کمیتها مثل تنش، تشدید می شود و همیشه بطور مستقیم نمی تواند اندازه گیری شود. در واقع، ممکن است همهٔ ابزارهای سنجش و اندازه گیری در موقیعت و وضعیت مشابه ای قرار نداشته باشند. بطور مثال، کرنش بر روی سطح نمونه اندازه گیری می شود و تنش معمولاً از سنجش های کرنش بر روی سلول بارگذاری شده یا میلهٔ واقع شده بر روی نمونهٔ مورد آزمایش بدست آورده می شود. [3]

این مهّم است تا بدانیم که آیا نتایج آزمایش از کارهای پیشین در نرخ های بارگذاری بالا برای ماده ای که وابسته به نرخ کرنش است، بدرستی خواص آن ماده را بازتاب می کند یا نه. و آیا