بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

تحلیل عددی و تجربی عمر کمانش پوسته های استوانه ای دارای گشودگی دایروی تحت بار محوری تناوبی

نگارش

حسین حاتمی

اساتید راهنما:

دکتر محمود شریعتی

دکتر حمیدرضا ایپکچی

تابستان ۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مکانیک

گروه : طراحی کاربردی

پایان نامه کارشناسی ارشد (رساله دکتری) آقای/ خانم حسین حاتمی

تحت عنوان:

تحلیل عددی و تجربی عمر کمانش پوسته های استوانه ای دارای گشودگی دایروی تحت بار محوری تناوبی

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی : **محمود شریعتی**		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی : **حمیدرضا ایپکچی**		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی : **محمد جعفری**		نام و نام خانوادگی : **سید هادی قادری**	
نام و نام خانوادگی : **مهدی گردویی**			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

تقدیم به آنانکه وجودم برایشان همه رنج بود

و وجودشان برایم همه مهر

تقدیم به **مهربانترین پدر** و تقدیم به **صبورترین مادر**

آنانکه توانشان رفت تا به توان برسم

و مویشان سپید گشت تا رویم سپید بماند

آنان که راستی قامتم در شکستگی قامتشان بقاء یافت

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که منت نهاد، هستی بخشید و توفیق کسب علم و دانش داد. اکنون که به فضل خدا در این موقعیت قرار گرفته‌ام بر خود لازم می‌دانم تا از تمامی عزیزانی که در این پروژه از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های ایشان بهره برده‌ام، قدردانی نمایم.

بدین وسیله از کلیه اساتید گرانقدرم که در تمام مراحل همواره پشتیبان و حامی بنده بودند، بی‌نهایت سپاسگزارم. بویژه از استاد ارزشمند **جناب آقای دکتر محمود شریعتی** که درس‌های بزرگی را از ایشان فرا گرفته‌ام. لازم است از زحمات و راهنمایی‌های ایشان در انجام این پروژه حداکثر تشکر را داشته باشم. در پایان از کلیه عزیزانی که تا بدین جا زحمات زیادی را برایم کشیده‌اند تشکر می‌کنم. از خانواده خوبم که از آغاز تا کنون با تمام وجود برایم زحمت کشیده و همواره مشوق و پشتیبانم بوده‌اند. امید که توانسته باشم در سایه لطف خداوند گامی هر چند کوچک در راستای توسعه و تعالی کشورم بردارم.

حسین حاتمی
دانشجوی کارشناسی ارشد
گروه طراحی کاربردی،
دانشکده مهندسی مکانیک،
دانشگاه صنعتی شاهرود،
شهریور ماه ۱۳۹۰.

دانشجو تأیید می نماید که مطالب مندرج دراین پـایان نامه (رساله) نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نو آوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد .

ماه و سال
شهریور ۱۳۹۰

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

1- Shariati. M., **Hatami. H**., Yarahmadi. H. and Eipakchi. H.R., (2012), "An experimental study on the ratcheting and fatigue behavior of polyacetal under uniaxial cyclic loading ". *Materials & Design*, vol. 34, pp. 302-312.

2- Shariati. M., Epakchi. H.R., **Hatami. H**., Yarahmadi. H. and Torabi. H., " Experimental and numerical investigations on softening behavior of POM under cyclic strain-controlled loading", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, Accepted.

3- Shariati. M., **Hatami. H**., Torabi H. and Epakchi. H.R., " Experimental and numerical investigations on the ratcheting characteristics of cylindrical shell under cyclic axial loading", *Structural Engineering and Mechanics*, Revised.

4- Shariati. M., Epakchi. H.R., **Hatami. H**. and Yarahmadi. H., "Experimental investigations on the softening and ratcheting behavior of steel cylindrical shells under cyclic axial loading", *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, Under Review.

5- Shariati. M., **Hatami. H**. and Epakchi. H.R., "Experimental study of SS304L cylindrical Shell with/without cutout under cyclic axial loading", Ready for Submition.

6- Shariati. M., **Hatami. H**. and Epakchi. H.R., "Numerical and Experimental study of SS304L cylindrical Shell with/without cutout under cyclic axial loading", Ready for Submition.

۷- محمود شریعتی، **حسین حاتمی**، حسین یاراحمدی، "تست های تجربی و تحلیل عددی تاثیر پارامترهای دامنه کرنش و کرنش متوسط روی عمر پلی استال"، دهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران، دانشگاه تربیت مدرس، اسفند۱۳۸۹، جلد۲، صفحه ۱۵.

۸- محمود شریعتی، **حسین حاتمی**، "بررسی تجربی و عددی رفتار رچتینگ پوسته استوانه ای تحت بارگذاری محوری تناوبی"، نوزدهمین همایش سالانه مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، اردیبهشت ۱۳۹۰، جلد ۲، صفحه ۶۵.

۹- محمود شریعتی، **حسین حاتمی**، حمیدرضا ایپکچی، " بررسی تجربی و عددی رفتار پوسته استوانه ای تحت بارگذاری کرنش کنترلی متقارن محوری"، اولین کنفرانس تخمین و تمدید عمر سازه های هوایی و قطعات صنعتی پیر و فرسوده، دانشگاه صنعتی شریف، تیر ۱۳۹۰، صفحه ۲۷.

۱۰- محمود شریعتی، **حسین حاتمی**، حمیدرضا ایپکچی، " تاثیر کمانش بر رفتار منحنی های هیسترزیس پوسته های استوانه ای"، اولین کنفرانس تخمین و تمدید عمر سازه های هوایی و قطعات صنعتی پیر و فرسوده، دانشگاه صنعتی شریف، تیر ۱۳۹۰، صفحه ۲۸.

۱۱- محمود شریعتی، **حسین حاتمی**، حسین یاراحمدی، حمیدرضا ایپکچی، " بررسی تجربی و عددی رفتار پلی استال تحت بارگذاری کرنش کنترلی نامتقارن محوری"، اولین کنفرانس تخمین و تمدید عمر سازه های هوایی و قطعات صنعتی پیر و فرسوده، دانشگاه صنعتی شریف، تیر ۱۳۹۰، صفحه ۲۹.

چکیده

در این تحقیق به بررسی تجربی و عددی رفتار نرم شوندگی و رچتینگ پوسته های استوانه ای فولادی تحت بارگذاری نیرو کنترلی و جابجایی کنترلی محوری تناوبی پرداخته شده است. تست های تجربی توسط دستگاه سرو هیدرولیک اینسترون ۸۸۰۲ انجام گردیده است. تحلیل عددی توسط نرم افزار آباکوس با استفاده از مدل های پلاستیسیته پیشرفته سخت شوندگی ایزوتروپیک، سخت شوندگی سینماتیک خطی و سخت شوندگی غیر خطی ایزوتروپیک/سینماتیک انجام شده و دقت این مدل ها با نتایج تجربی سنجیده شده است. تحت بارگذاری نیرو کنترلی به علت وجود نیروی میانگین غیر صفر، کرنش پلاستیک در سیکل های متوالی در پوسته استوانه ای انباشت می گردد یا به عبارت دیگر رفتار رچتینگ در پوسته اتفاق می افتد. تحت بارگذاری جابجایی کنترلی، رفتار نرم شوندگی در پوسته ها مشاهده می گردد و به علت کمانش ایجاد شده در ناحیه فشاری، این رفتار شدیدتر می گردد. تاثیر گشودگی روی رفتار منحنی های هیسترزیس پوسته های استوانه ای نیز تحت این نوع بارگذاری ها مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهده می گردد که گشودگی باعث تسریع رفتار نرم شوندگی و رچتینگ در پوسته های استوانه ای می گردد. مدل سخت شوندگی غیر خطی ایزوتروپیک/سینماتیک به خوبی رفتار نرم شوندگی و رچتینگ پوسته را شبیه سازی می کند؛ ولی مدل های سخت شوندگی ایزوتروپیک و سخت شوندگی سینماتیک خطی توانایی شبیه سازی رفتار های نرم شوندگی و رچتینگ را ندارند.

کلید واژه: پوسته استوانه ای، بارگذاری محوری تناوبی، رچتینگ، نرم شوندگی، مدل سخت شوندگی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... د
فهرست جدول‌ها ..... ه
فهرست شکل‌ها ..... و

فصل ۱- مقدمه ای بر پوسته ها و کاربرد آنها ۱
۱-۱- تعریف پوسته ها ۲
۱-۲- کاربرد پوسته ها ۲
۱-۳- مقدمه ای بر مکانیک شکست ۳
۱-۴- تاریخچه مکانیک شکست ۴
۱-۵- تحلیل پدیده شکست ۵
۱-۶- بررسی روش های مختلف حل روی پوسته ها تحت بارگذاری های مختلف ۶
۱-۷- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه کمانش پوسته ها ۸

فصل ۲- اعمال بارگذاری های سیکلی بر روی سازه ها ۱۰
۲-۱- مقدمه ای درباره بارگذاری سیکلی و خستگی سازه ها ۱۱
۲-۲- مروری بر کارهای گذشته ۱۲
۲-۲-۱- تاثیر انواع بارگذاری های سیکلی روی رفتار مواد مختلف ۱۳
۲-۲-۲- تاثیر انواع بارگذاری های سیکلی روی رفتار پوسته های استوانه ای ۱۸
۲-۳- جمع بندی ۲۱

فصل ۳- تحلیل تجربی ۲۲
۳-۱- مقدمه درباره آزمایش های انجام شده ۲۳
۳-۲- دستگاه آزمایش ۲۳
۳-۳- شرایط مرزی ۲۴
۳-۴- نتایج تجربی روی پوسته استوانه ای St37 ..... ۲۶
۳-۴-۱- هندسه و خواص مکانیکی ۲۶
۳-۴-۲- بارگذاری نیرو-کنترل ۲۷
۳-۴-۳- بارگذاری جابجایی-کنترل ۲۹
۳-۴-۴- تاثیر کمانش بر رفتار منحنی های هیسترزیس ۳۰
۳-۵- نتایج تجربی روی پوسته استوانه ای Ck20 ..... ۳۴
۳-۵-۱- هندسه و خواص مکانیکی ۳۴
۳-۵-۲- آزمایش های جابجایی-کنترل ۳۵
۳-۵-۲-۱- تاثیر دامنه ی جابجایی بر رفتار منحنی های هیسترزیس ۳۵

عنوان **صفحه**

۳-۵-۲-۲- تاثیر افزایش مرحله ای دامنه جابجایی بر رفتار نرم شوندگی پوسته استوانه ای ۳۸
۳-۵-۳- آزمایش های نیرو-کنترل ۳۹
۳-۵-۳-۱- تاثیر دامنه ی نیرو بر رفتار منحنی های هیسترزیس ۳۹
۳-۵-۳-۲- تاثیر دامنه ی نیرو و نیروی متوسط بر رفتار رچتینگ پوسته های استوانه ای ۴۱
۳-۵-۳-۳- مقایسه منحنی های کشش و فشار تحت بارگذاری چرخه ای و یکنواخت ۴۳
۳-۵-۴- اثر تاریخچه بارگذاری ۴۶
۳-۶- نتایج تجربی روی پوسته استوانه ای SS304L ۴۷
۳-۶-۱- هندسه و خواص مکانیکی ۴۸
۳-۶-۲- تاثیر کمانش روی رفتار نرم شوندگی پوسته استوانه ای ۴۹
۳-۶-۳- تاثیر تاریخچه بارگذاری ۵۱
۳-۶-۳-۱- تاثیرترتیب بارگذاری روی رفتار نرم شوندگی پوسته استوانه ای ۵۱
۳-۶-۳-۲- تاثیر تاریخچه بارگذاری روی رفتار رچتینگ پوسته استوانه ای فولاد ضد زنگ ۵۳
۳-۶-۴- تاثیر گشودگی در پوسته های استوانه ای تحت بارگذاری چرخه ای ۵۵
۳-۶-۴-۱- تاثیر گشودگی روی رفتار نرم شوندگی تحت بارگذاری جابجایی-کنترل ۵۵
۳-۶-۴-۲- تاثیر گشودگی روی رفتار رچتینگ تحت بارگذاری نیرو-کنترل ۵۹
۳-۶-۵- تاثیر طول به همراه گشودگی روی پوسته های استوانه ای تحت بارگذاری چرخه ای ۶۳
۳-۶-۵-۱- تاثیر طول به همراه گشودگی تحت بارگذاری جابجایی-کنترل ۶۳
۳-۶-۵-۲- تاثیر طول به همراه گشودگی تحت بارگذاری نیرو-کنترل ۶۴
۳-۷- نتیجه گیری ۶۵

فصل ۴- تحلیل عددی و مقایسه نتایج عددی با تجربی ۶۸
۴-۱- مقدمه ای در رابطه با تحلیل های عددی ۶۹
۴-۲- معرفی نرم افزار آباکوس ۷۱
۴-۳- آنالیز مسایل تحت بارگذاری چرخه ای توسط نرم افزار آباکوس ۷۲
۴-۴- مقایسه نتایج عددی با نتایج تجربی ۷۶
۴-۴-۱- مقایسه نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای St37 ۷۶
۴-۴-۱-۱- مقایسه نتایج تحت بارگذاری نیرو-کنترل ۷۷
۴-۴-۱-۲- مقایسه نتایج تحت بارگذاری جابجایی-کنترل ۷۹
۴-۴-۲- مقایسه نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای SS304L ۸۱
۴-۴-۲-۱- تاثیر کمانش در رفتار منحنی های هیسترزیس پوسته استوانه ای ۸۲
۴-۴-۲-۲- تاثیر دامنه جابجایی روی رفتار نرم شوندگی پوسته استوانه ای ۸۶
۴-۴-۲-۳- تاثیر گشودگی روی رفتار نرم شوندگی تحت بارگذاری جابجایی-کنترل ۸۹
۴-۴-۲-۴- تاثیر طول به همراه گشودگی تحت بارگذاری جابجایی-کنترل ۹۷
۴-۴-۲-۵- مقایسه نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای تحت بارگذاری نیرو-کنترل ۱۰۱
۴-۵- نتیجه گیری ۱۰۲

فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۰۴

عنوان **صفحه**

۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۵
۵-۲- پیشنهاد ها ۱۰۸
فهرست مراجع ۱۱۱
واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۱۱۴
واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۱۱۵

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
باقیمانده	R
تنش زمینه	α
تنش تسلیم	σ_y
تنش تسلیم اولیه	$\hat{\sigma}_0$
تنش تسلیم جاری	σ^0
تنش نهایی	S_u
ثابت ماده	γ
ثابت ماده	C
جابجایی محوری	δx
دامنه نیرو	Fa
شعاع گشودگی	Rc
ضخامت پوسته	t
طول پوسته استوانه ای	L
قطر خارجی پوسته استوانه ای	D
فاصله مرکز گشودگی از تکیه گاه پایین پوسته استوانه ای	Lo
کرنش پلاستیک	ε^{pl}
کرنش پلاستیک معادل	$\bar{\varepsilon}^{pl}$
مدول سخت شوندگی سینماتیک	c
مدول یانگ	E
نسبت پواسون	ν
نیروی متوسط	Fm
نیروی محوری بر واحد محیط مقطع استوانه	N

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: مشخصات هندسی و خواص مکانیکی ماده St37 ..... ۲۶
جدول ۳-۲: مشخصات هندسی و خواص مکانیکی ماده CK20 ..... ۳۴
جدول ۳-۳: مشخصات هندسی و خواص مکانیکی ماده SS304L ۴۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: مدل سازی حلقه هیسترزیس با استفاده از مدل سخت شوندگی سینماتیک خطی نرم افزار آباکوس [۲۹]. ۱۵
شکل ۲-۲: مدل سازی حلقه هیسترزیس با استفاده از مدل سخت شوندگی غیر خطی ایزوتروپیک/سینماتیک نرم افزار آباکوس [۲۹]. ۱۶
شکل ۲-۳: شکست از ناحیه جوش در پوسته با مقطع قوطی تحت بارگذاری سیکلی [۳۳]. ۱۷
شکل ۲-۴: منحنی های هیسترزیس پوسته با مقطع قوطی تحت دامنه کرنش های متفاوت [۳۳]. ۱۷
شکل ۲-۵: دستگاه تست خمش سیکلی روی پوسته های استوانه ای [۴۰]. ۱۹
شکل ۲-۶: تغییرات قطر خارجی پوسته استوانه ای نسبت به زاویه خمش [۴۰]. ۱۹
شکل ۲-۷: منحنی های هیسترزیس تحت بارگذاری کرنش-کنترل با دامنه کرنش های متفاوت [۴۴]. ۲۰
شکل ۲-۸: سخت شوندگی تحت بارگذاری کرنش-کنترل با دامنه کرنش های متفاوت [۴۴]. ۲۰
شکل ۳-۱: دستگاه سرو هیدرولیک اینسترون ۸۸۰۲. ۲۴
شکل ۳-۲: استفاده از نیروسنج ۲۵kN و طول سنج برای تست کشش استاندارد. ۲۴
شکل ۳-۳: شماتیکی از اتصال پوسته استوانه ای به فیکسچر با استفاده از جوش، رزوه و پین (ابعاد بر حسب سانتیمتر). ۲۵
شکل ۳-۴: منحنی تنش حقیقی بر حسب کرنش حقیقی برای فولاد St37. ۲۷
شکل ۳-۵: رفتار رچتینگ پوسته استوانه ای تحت بارگذاری نیرو-کنترل. ۲۸
شکل ۳-۶: رفتار نرم شوندگی پوسته استوانه ای تحت بارگذاری جابجایی-کنترل. ۲۹
شکل ۳-۷: کمانش تحت بارگذاری بار-کنترل متقارن برای پوسته ای با طول ۳۹۰mm. ۳۱
شکل ۳-۸: تغییر شکل سطح مقطع پوسته استوانه ای با طول ۲۹۰mm تحت بارگذاری نیرو-کنترل متقارن محوری. ۳۱
شکل ۳-۹: منحنی های هیسترزیس برای پوسته ای با طول ۲۹۰mm تحت بارگذاری نیرو-کنترلی متقارن محوری. ۳۲
شکل ۳-۱۰: منحنی هیسترزیس برای پوسته ای با طول ۲۳۰mm تحت بارگذاری جابجایی-کنترلی متقارن محوری. ۳۳
شکل ۳-۱۱: منحنی های هیسترزیس برای پوسته ای با طول ۳۹۰mm تحت بارگذاری جابجایی- کنترل متقارن محوری. ۳۳
شکل ۳-۱۲: منحنی تنش-کرنش بدست آمده از تست کشش استاندارد برای CK20. ۳۵
شکل ۳-۱۳: منحنی های هیسترزیس پوسته استوانه ای با طول ۲۵۰mm تحت بارگذاری جابجایی کنترلی با دامنه های ۱.۷۵ mm، ۲ و ۲.۲. ۳۶

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱۴: تغییرات دامنه نیرو نسبت به تعداد چرخه تحت بارگذاری جابجایی- کنترلی برای پوسته های با طول ۲۵۰mm با دامنه های ۱.۷۵ mm، ۲ و ۲.۲ ..... ۳۶
شکل ۳-۱۵: تغییرات نیروی متوسط نسبت به تعداد چرخه تحت بارگذاری جابجایی- کنترلی برای پوسته های با طول ۲۵۰mm با دامنه های ۱.۷۵ mm، ۲ و ۲.۲ ..... ۳۷
شکل ۳-۱۶: منحنی های هیسترزیس برای نمونه ای با طول ۲۵۰mm با افزایش دامنه جابجایی از ۰.۵ تا ۱.۷۵ mm ۳۸
شکل ۳-۱۷: تغییرات دامنه نیرو نسبت به تعداد چرخه برای نمونه ای با طول ۲۵۰mm با افزایش دامنه جابجایی از ۰.۵mm تا ۱.۷۵mm ۳۹
شکل ۳-۱۸: منحنی های هیسترزیس پوسته های استوانه ای با طول ۲۵۰mm تحت بارگذاری نیرو- کنترلی متقارن با دامنه های ۷۰ kN، ۷۵ و ۸۵ ..... ۴۰
شکل ۳-۱۹: تغییرات دامنه جابجایی نسبت به تعداد چرخه تحت بارگذاری نیرو- کنترلی متقارن برای پوسته های ۲۵۰mm با دامنه های ۷۰ kN، ۷۵ و۸۵ ..... ۴۰
شکل ۳-۲۰: تغییرات جابجایی مرکز حلقه های هیسترزیس نسبت به تعداد چرخه تحت بارگذاری نیرو- کنترلی برای پوسته های ۲۵۰mm با دامنه های ۷۰ kN، ۷۵ و ۸۵ ..... ۴۱
شکل ۳-۲۱: رفتار رچتینگ پوسته استوانه ای a) طول نمونه ۳۰۰mm تحت نیروی متوسط ۶۰kN و دامنه نیروی ۳۰kN b) طول نمونه ۳۶۰mm تحت نیروی متوسط ۶۰kN و دامنه نیروی ۳۵kN ۴۲
شکل ۳-۲۲: مقایسه رفتار رچتینگ پوسته استوانه ای با نیروی متوسط ۶۰kN و دامنه نیروهای متفاوت : a) طول نمونه ۳۰۰mm و b) طول نمونه ۳۶۰mm ۴۳
شکل ۳-۲۳: منحنی های هیسترزیس به صورت نیم چرخه کششی تحت بارگذاری نیرو- کنترلی با افزایش نیروی کششی از ۲۰kN تا ۱۰۱kN برای نمونه ای با طول ۲۵۰mm و منحنی های کشش ساده پوسته های استوانه ای با طول یکسان تحت نیروهای ۷۵ kN و ۸۵ kN ۴۴
شکل ۳-۲۴: منحنی های هیسترزیس به صورت نیم چرخه فشاری تحت بارگذاری با افزایش نیروی فشاری از ۲۰kN- تا ۱۰۰kN- برای نمونه ای با طول ۲۵۰mm و مقایسه با ناحیه فشاری منحنی های هیسترزیس پوسته های استوانه ای با طول یکسان تحت نیروهای ۷۵- و ۸۵ kN- مطابق شکل ۳-۱۸. ..... ۴۵
شکل ۳-۲۵: a)تعدادی از پوسته های استوانه ای تست شده b) شکست نمونه در مجاورت جوش فیکسچرها c) کمانش نمونه در مجاورت جوش فیکسچرها ۴۶
شکل ۳-۲۶: تاریخچه بارگذاری روی نمونه های با طول ۳۰۰mm و نیروی متوسط ۶۰kN با دامنه متفاوت نیرو a) دامنه بارگذاری به ترتیب ۲۵، ۳۰، ۲۵، ۳۰ kN و b) دامنه بارگذاری به ترتیب ۳۰، ۲۵ ،۳۰، ۲۵ kN ۴۷
شکل ۳-۲۷: منحنی تنش-کرنش تست کشش ساده برای نمونه SS304L ۴۹
شکل ۳-۲۸: منحنی های هیسترزیس پوسته استوانه ای با طول ۳۰۰mm تحت بارگذاری جابجایی- کنترل با دامنه ۱۰mm ۵۰

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۲۹: حداکثر و حداقل تنش در منحنی های هیسترزیس پوسته استوانه ای با طول ۳۰۰mm تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه ۱۰mm ۵۰
شکل ۳-۳۰: کمانش پوسته استوانه ای با طول ۳۰۰mm تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه ۱۰mm. ۵۱
شکل ۳-۳۱: منحنی های هیسترزیس پوسته استوانه ای از جنس فولاد ضد زنگ تحت بارگذاری جابجایی-کنترل به ترتیب فشاری- کششی. ۵۲
شکل ۳-۳۲: منحنی های هیسترزیس پوسته استوانه ای از جنس فولاد ضد زنگ تحت بارگذاری جابجایی-کنترل به ترتیب کششی- فشاری. ۵۲
شکل ۳-۳۳: پیک های تنش در منحنی های هیسترزیس برای دو آزمایش جابجایی-کنترل با ترتیب بارگذاری متفاوت. ۵۳
شکل ۳-۳۴: رفتار رچتینگ در پوسته استوانه ای فولاد ضد زنگ تحت بارگذاری نیرو-کنترل. ۵۴
شکل ۳-۳۵: تاثیر تاریخچه بارگذاری روی رفتار رچتینگ پوسته استوانه ای فولاد ضد زنگ. ۵۴
شکل ۳-۳۶: تاثیر وجود گشودگی، شعاع و مکان گشودگی در پوسته های استوانه ای تحت بارگذاری جابجایی-کنترل. ۵۷
شکل ۳-۳۷: رفتار پوسته های استوانه ای به طول ۲۵۰mm در مجاورت گشودگی تحت بارگذاری جابجایی-کنترل ، a) دارای گشودگی با شعاع ۶mm در وسط طول نمونه، b) دارای گشودگی با شعاع ۹mm در وسط طول نمونه، c) دارای گشودگی با شعاع ۶mm در نیمه بالایی طول نمونه ۵۹
شکل ۳-۳۸: رچتینگ پوسته استوانه ای تحت بارگذاری نیرو-کنترل روی پوسته استوانه ای فولاد ضد زنگ بدون گشودگی. ۶۰
شکل ۳-۳۹: کرنش رچتینگ نسبت به تعداد سیکل بارگذاری روی پوسته استوانه ای بدون گشودگی. ۶۰
شکل ۳-۴۰: مقایسه رفتار رچتینگ پوسته های استوانه ای و تاثیر گشودگی روی نمونه ها. ۶۱
شکل ۳-۴۱: رفتار پوسته های استوانه ای به طول ۲۵۰mm در مجاورت گشودگی تحت بارگذاری نیرو-کنترل، a) دارای گشودگی با شعاع ۶mm در وسط طول نمونه، b) دارای گشودگی با شعاع ۹mm در وسط طول نمونه، c) دارای گشودگی با شعاع ۶mm در نیمه بالایی طول نمونه ۶۲
شکل ۳-۴۲: تاثیر طول به همراه گشودگی روی رفتار پوسته استوانه ای تحت بارگذاری جابجایی کنترل. ۶۳
شکل ۳-۴۳: تاثیر طول به همراه گشودگی روی رفتار پوسته استوانه ای تحت بارگذاری نیرو-کنترل. ۶۴
شکل ۳-۴۴: تعدادی پوسته استوانه ای با طول های متفاوت با و بدون گشودگی، a) قبل از انجام آزمایش، b) بعد از انجام آزمایش. ۶۵
شکل ۴-۱: منحنی تنش بر حسب کرنش پلاستیک آزمون کشش ۷۵
شکل ۴-۲: مقایسه نتایج تجربی و عددی رفتار رچتینگ پوسته استوانه ای. ۷۸
شکل ۴-۳: مقایسه مقادیر کرنش تجربی و عددی در حداکثر تنش موجود در هر سیکل. ۷۸
شکل ۴-۴: مقایسه نتایج تجربی با مدل سخت شوندگی سینماتیک خطی. ۸۰

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۵: مقایسه نتایج تجربی با مدل سخت شوندگی غیر خطی ایزوتروپیک/سینماتیک..... ۸۰
شکل ۴-۶: نتایج تجربی حداکثر تنش فشاری و کششی در مقایسه با مدل سخت شوندگی غیر خطی ایزوتروپیک/سینماتیک..... ۸۱
شکل ۴-۷: مقایسه نتایج عددی و تجربی با مدل سخت شوندگی ایزوتروپیک تحت بارگذاری جابجایی-کنترل..... ۸۳
شکل ۴-۸: مقایسه پیک های تنش منحنی های هیسترزیس نتایج عددی و تجربی با مدل سخت شوندگی ایزوتروپیک تحت بارگذاری جابجایی-کنترل..... ۸۳
شکل ۴-۹: مقایسه نتایج عددی و تجربی با مدل سخت شوندگی ایزوتروپیک/سینماتیک غیرخطی تحت بارگذاری جابجایی-کنترل..... ۸۴
شکل ۴-۱۰: مقایسه پیک های تنش منحنی های هیسترزیس نتایج عددی و تجربی با مدل سخت شوندگی ایزوتروپیک/سینماتیک غیرخطی تحت بارگذاری جابجایی-کنترل..... ۸۵
شکل ۴-۱۱: تغییر شکل های ایجاد شده از نماهای مختلف در مدل پوسته استوانه ای به طول ۳۰۰mm، a) قبل، b) بعد از بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه ۱۰mm و c) در حالت تجربی ۸۵
شکل ۴-۱۲: مقایسه نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه ۲mm..... ۸۶
شکل ۴-۱۳: مقایسه نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه ۳mm..... ۸۷
شکل ۴-۱۴: مقایسه نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه ۴mm..... ۸۷
شکل ۴-۱۵: مقایسه نتایج a) عددی، b) تجربی منحنی های هیسترزیس تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه جابجایی های مختلف..... ۸۸
شکل ۴-۱۶: مقایسه نتایج عددی و تجربی پیک های تنش منحنی های هیسترزیس تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه جابجایی های مختلف..... ۸۹
شکل ۴-۱۷: مقایسه نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای با گشودگی به شعاع ۶mm در وسط طول نمونه تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه a) ۲mm، b) ۳mm و c)۴mm..... ۹۰
شکل ۴-۱۸: مقایسه پیک های تنش منحنی های هیسترزیس نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای با گشودگی به شعاع ۶mm در وسط طول نمونه تحت بارگذاری جابجایی-کنترل..... ۹۱
شکل ۴-۱۹: مقایسه نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای با گشودگی به شعاع ۹mm در وسط طول نمونه تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه a) ۲mm، b) ۳mm و c)۴mm..... ۹۲
شکل ۴-۲۰: مقایسه پیک های تنش منحنی های هیسترزیس نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای با گشودگی به شعاع ۹mm در وسط طول نمونه تحت بارگذاری جابجایی-کنترل..... ۹۲
شکل ۴-۲۱: مقایسه نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای با گشودگی به شعاع ۶mm در نیمه بالایی طول نمونه تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه a) ۲،mm b) ۳mm و c)۴mm..... ۹۴

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۲۲: مقایسه پیک های تنش منحنی های هیسترزیس نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای با گشودگی به شعاع ۶mm در نیمه بالایی طول نمونه تحت بارگذاری جابجایی-کنترل..... ۹۴
شکل ۴-۲۳: مقایسه پیک های تنش منحنی های هیسترزیس نتایج a) عددی، b) تجربی پوسته های استوانه ای تحت بارگذاری جابجایی-کنترل..... ۹۵
شکل ۴-۲۴: مقایسه رفتار تجربی و عددی پوسته های استوانه ای به طول ۲۵۰mm در مجاورت گشودگی تحت بارگذاری جابجایی-کنترل ، a) دارای گشودگی با شعاع ۶mm در وسط طول نمونه، b) دارای گشودگی با شعاع ۹mm در وسط طول نمونه، c) دارای گشودگی با شعاع ۶mm در نیمه بالایی طول نمونه .. ۹۷
شکل ۴-۲۵: پوسته استوانه ای به طول a) ۲۵۰ mm، b) ۳۴۰mm با گشودگی به شعاع ۶mm در وسط طول نمونه..... ۹۷
شکل ۴-۲۶: مقایسه نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای با گشودگی به شعاع ۶mm در وسط طول نمونه تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه a) ۲mm، b) ۳mm و c)۴mm..... ۹۹
شکل ۴-۲۷: مقایسه پیک های تنش منحنی های هیسترزیس نتایج عددی و تجربی پوسته استوانه ای به طول ۳۴۰mm با گشودگی به شعاع ۶mm در وسط طول نمونه تحت بارگذاری جابجایی-کنترل..... ۹۹
شکل ۴-۲۸: مقایسه پیک های تنش منحنی های هیسترزیس نتایج a) عددی، b) تجربی پوسته های استوانه ای با طول های متفاوت تحت بارگذاری جابجایی-کنترل..... ۱۰۰
شکل ۴-۲۹: تغییر شکل های ایجاد شده در مدل پوسته استوانه ای به طول ۳۴۰mm تحت بارگذاری جابجایی-کنترل با دامنه جابجایی های a) ۲mm در ناحیه فشاری، b) ۳mm در ناحیه فشاری و c) mm ۳ در ناحیه کششی..... ۱۰۱
شکل ۴-۳۰: مقایسه نتایج عددی مدل سخت شوندگی ایزوتروپیک با نتایج تجربی پوسته استوانه ای به طول ۲۵۰mm تحت بارگذاری نیرو-کنترل با دامنه نیرو های متفاوت..... ۱۰۲

فصل ۱- مقدمه ای بر پوسته ها و کاربرد آنها