



دانشکده مهندسی مکانیک

گروه طراحی جامدات

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک (طراحی کاربردی)

عنوان

تحلیل تغییرات تنش های پسماند (یا پیش تنش) در سوراخ های

اتصال در اثر بارگذاری سیکلی

استاد راهنما

دکتر تاج بخش نوید چاخارلو

استاد مشاور

دکتر محمدرضا خوشروان

پژوهشگر

مسعود اجری

اردیبهشت ۱۳۹۰

تقدیم بہ

پدر و مادر

بہترین مدیہ الہی زنگی من

بارپاس فراوان از استاد ارجمندم آقای دکتر تریاج بخش زوید چانگراو که با صبر و حوصله و در حدین حال با دقت

و دقت تمام، بر همه مراحل انجام پایان نامه نظارت داشته و از هر لحاظ مرا راهنمایی و دند.

و تشکر از همکارانی همکاران استادم مشاور ارجمند، آقای دکتر محمد رضا خوشمروان که از توانمندی های علمی ایشان

بهره فراوان بردم.

نام خانوادگی دانشجو : اجری	نام : مسعود
<p style="text-align: right;">عنوان پایان نامه:</p> <p style="text-align: center;">تحلیل تغییرات تنش های پسماند (یا پیش تنش) در سوراخهای اتصال در اثر بارگذاری سیکلی</p>	
<p style="text-align: right;">استاد راهنما : دکتر تاج بخش نوید چاخلو</p> <p style="text-align: right;">استاد مشاور : دکتر محمدرضا خوشروان</p>	
<p style="text-align: right;">مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد رشته : مهندسی مکانیک گرایش : طراحی کاربردی</p> <p style="text-align: right;">دانشگاه : تبریز دانشکده : مهندسی مکانیک</p> <p style="text-align: right;">تاریخ فارغ التحصیلی : فروردین ۱۳۹۰ تعداد صفحات : ۹۸</p>	
<p style="text-align: center;">کلید واژه ها : المان محدود، انبساط سرد، تداخل، پلاستیسیته سیکلی، سخت شوندگی سینماتیک.</p>	
<p style="text-align: right;">چکیده :</p> <p>در این پایان نامه به منظور کاهش حجم محاسبات در تحلیل الاستو پلاستیک مواد از الگوریتم بازگشت شعاعی استفاده شده است. این برنامه در زبان Matlab نوشته شده است این برنامه انعطاف پذیری، توسعه پذیری و قابلیت دوباره استفاده کردن را دارد. این قابلیت ها به برنامه نویس اجازه می دهد که سریع تر و قابل فهم تر ایجاد کند. همچنین این برنامه از مدل های سخت شوندگی سینماتیکی جدیدی که در نرم افزارهای تجاری FE موجود نیست برای شبیه سازی رفتار الاستیک- پلاستیک مواد استفاده می کند و بنابراین در بارگذاری متناوب قادر به شبیه سازی دقیق تر رفتار تنش/ کرنش ماده نسبت به Ansys می باشد.</p> <p>با استفاده از نرم افزار نوشته شده در این پایان نامه به مدل سازی عددی برخی از روش های افزایش عمر موسوم به کار سرد و پیش تنش پرداخته شده است. ابتدا با استفاده از یک مدل دو بعدی به شبیه سازی توزیع تنش های پسماند ناشی از پروسه انبساط سرد در یک صفحه سوراخ دار و توزیع مجدد (آزاد شدن) آن ها تحت بارگذاری متناوب پرداخته شده است. برای شبیه سازی دقیق تر رفتار تنش/ کرنش در بارگذاری متناوب از سه مدل سخت- شوندگی سینماتیک غیرخطی چابوکه، باری- حسن و چن- جیائو استفاده شده اند. مقایسه نتایج حاصل با نتایج تجربی نشان می دهد که مدل چن- جیائو تنش های پسماند را در نزدیکی سوراخ بهتر پیش بینی می کند و مدل</p>	

های سخت شوندگی سینماتیک آزاد شدن تنش را نشان می‌دهند.

در ادامه برای بررسی توزیع تنش و کرنش ناشی از عمل تداخل با استفاده از یک مدل دو بعدی به شبیه‌سازی توزیع تنش‌های ناشی از این روش روی نمونه دمبلی شکل و توزیع مجدد (آزاد شدن) آن‌ها تحت بارگذاری متناوب پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهند که پروسه تداخل بخودی خود دامنه تنش در نزدیکی سوراخ را کاهش می‌دهد که این باعث افزایش عمر قطعات تداخل شده می‌گردد. علاوه بر آن، بارگذاری سیکلی محوری باعث کاهش بیشتر دامنه تنش می‌گردد که این به بهبود عمر قطعه کمک می‌کند. البته میزان تغییرات دامنه تنش تابعی از سطح بارگذاری است. عبارتی با افزایش حداکثر مقدار بارگذاری (از ۲۵۷ به ۳۶۴ مگاپاسکال) کاهش دامنه تنش چشمگیرتر است. اگرچه در یک سو درصدهای تداخل بالا دامنه تنش را نسبت به سوراخ تداخل نشده بیشتر کاهش می‌دهد و این موجب افزایش عمر بیشتر چنین قطعاتی می‌گردد ولی افزایش درصد تداخل از دو به چهار درصد تاثیر آنچنانی بر کاهش دامنه تنش بارگذاری سیکلی در لبه سوراخ و در نتیجه در افزایش عمر قطعه ندارد.

برای تایید صحت کارایی مدل‌ها و برنامه، تست‌هایی روی نمونه ساده شده‌ای از یک اتصال پرچی (پیچی) انجام گرفته است. این نمونه ورق سوراخ‌داری از جنس آلیاژ آلومینیوم AL-Alloy 7075-T6 به ابعاد کلی ۳۸ در ۳۰۰ میلیمتر و سوراخی به قطر نامی ۵ میلیمتر در وسط آن می‌باشد. برای هر نمونه دو کرنش‌سنج در جهت طولی نمونه (جهت بارگذاری سیکلی) در فواصل $\frac{1}{3}$ و $\frac{2}{3}$ میلی‌متری سوراخ نصب شده و پین‌ها با درصدهای تداخل یک، دو در داخل سوراخ‌ها جا زده می‌شوند. در نهایت نمونه دارای پین، تحت سه مورد بارسیکلی با نیروی ماکزیمم (۲۹، ۳۵، ۴۱) به ترتیب معادل تنش (۲۵۶، ۳۱۱ و ۳۶۴) و نیروی مینیمم صفر قرار می‌گیرد و کرنش‌ها در سیکل‌های خاصی ثبت می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که برای ۱٪ و ۲٪ تداخل یک کرنش مماسی مثبت در فواصل ذکر شده ایجاد می‌شود که با افزایش درصد تداخل از ۱٪ به ۲٪ مقدار اولیه این کرنش زیادتر شده است و همچنین در سیکل‌های اولیه نرخ افزایش کرنش زیادتر است و با افزایش تعداد سیکل‌ها این نرخ کاهش یافته و به حالت اشباع می‌رسد. در پایان نتایج تجربی و نتایج عددی انباشتگی کرنش بر حسب تعداد سیکل‌ها با هم مقایسه گردیده است. نتایج تجربی نیز نتایج عددی کد نوشته شده را تایید می‌کنند و هر دو روش از تطابق خوبی برخوردارند.

۱	.....	مقدمه
۴	.....	فصل اول
۴	.....	بررسی منابع و پایه های نظری و پیشینه پژوهش
۵	.....	مقدمه
۵	.....	۱-۱ پیشینه تحقیق
۵	.....	۱-۱-۱ رچتینگ
۶	.....	۱-۱-۲ رچتینگ ناشی از بارهای مکانیکی
۱۰	.....	۱-۱-۳ نقش تنش های پسماند و پیشتنش در افزایش عمر خستگی اتصالات
۱۰	.....	۱-۳-۱-۱ روش انبساط سرد
۱۲	.....	۱-۳-۱-۲ روش تداخل
۱۹	.....	۲-۱ روش المان محدود در الاستیسیته
۱۹	.....	۱-۲-۱ تانسور کرنش
۱۹	.....	۲-۲-۱ روابط تنش-کرنش
۲۰	.....	۳-۲-۱ حالت های خاص صفحه های
۲۱	.....	۴-۲-۱ روابط مربوط به المان <i>Bilinear</i>
۲۴	.....	۳-۱ رفتار مواد در محدوده پلاستیک
۲۴	.....	۱-۳-۱ روابط ریاضی نظریه پلاستیسیته
۲۴	.....	۲-۳-۱ معیار تسلیم
۲۵	.....	۱-۲-۳-۱ معیار ترسکا (۱۸۶۴)
۲۶	.....	۲-۲-۳-۱ معیار ون میزز (۱۹۱۳)
۲۸	.....	۳-۳-۱ قانون جریان
۲۹	.....	۴-۳-۱ سخت شوندگی
۳۰	.....	۱-۴-۳-۱ سخت شوندگی ایزوتروپیک ناشی از کرنش پلاستیک
۳۱	.....	۲-۴-۳-۱ سخت شوندگی ایزوتروپیک ناشی از کار
۳۲	.....	۳-۴-۳-۱ سخت شوندگی سینماتیک
۳۳	.....	۴-۴-۳-۱ سخت شوندگی مرکب
۳۴	.....	۵-۳-۱ بازگشت به سطح تسلیم
۳۴	.....	۱-۵-۳-۱ روش اولر پیش رونده
۳۵	.....	۲-۵-۳-۱ روش اولر پس رونده
۳۶	.....	۳-۵-۳-۱ پلاستیسیته با سخت شوندگی ایزوتروپیک در فضای انحرافی
۳۷	.....	۴-۵-۳-۱ روش برگشت شعاعی
۳۸	.....	۶-۳-۱ نیروهای پسماند
۳۹	.....	۴-۱ تعریف مساله و اهداف پژوهش
۴۰	.....	فصل دوم
۴۰	.....	مبانی و روشها

۴۱	..... مقدمه
۴۱	..... ۱-۲ مدل های شکل پذیری
۴۲	..... ۱-۱-۲ مدل های سخت شونده کوپل شده
۴۳	..... ۱-۱-۱-۲ مدل سخت شوندگی خطی
۴۴	..... ۲-۱-۱-۲ مدل چند خطی
۴۵	..... ۳-۱-۱-۲ مدل سخت شوندگی غیر خطی
۴۵	..... ۴-۱-۱-۲ مدل چابوکه
۴۶	..... ۵-۱-۱-۲ مدل اوهنو و وانگ
۴۷	..... ۶-۱-۱-۲ مدل باری و حسن
۴۷	..... ۷-۱-۱-۲ مدل چن و جیائو
۴۸	..... ۸-۱-۱-۲ مدل عبدالکریم و اوهنو
۴۸	..... ۲-۱-۲ تعیین ضرایب مدل های سخت شوندگی سینماتیک غیر خطی
۴۹	..... ۱-۲-۱-۲ تعیین پارامترها با استفاده از الگوریتم ژنتیک
۵۰	..... ۲-۲-۱-۲ تعیین نسل اولیه ضرایب مدل اوهنو - وانگ
۵۲	..... ۲-۲ مواد، نمونه ها و تستها
۵۳	..... ۱-۲-۲ خواص مواد
۵۳	..... ۱-۱-۲-۲ آلیاژ لومینیوم AL 7075-T6
۵۵	..... ۲-۱-۲-۲ خواص فولاد استفاده شده در ساخت پینها
۵۶	..... ۲-۲-۲ ساخت نمونه ها
۵۶	..... ۱-۲-۲-۲ ساخت پین های فولادی
۵۷	..... ۲-۲-۲-۲ ساخت نمونه های آزمایشی
۶۰	..... ۳-۲-۲-۲ نصب کرنش سنجها
۶۱	..... ۴-۲-۲-۲ فیکسچر ورود پین به سوراخ
۶۳	..... ۳-۲-۲ مشخصات دستگاه تست خستگی

۶۶ فصل سوم

۶۶ نتایج و بحث

۶۷	..... مقدمه
۶۷	..... ۱-۳ مدل سازی بارگذاری صفحه سوراخ دار
۶۷	..... مقدمه
۶۷	..... ۱-۱-۳ شبیه سازی رفتار مواد ایزوتروپیک در محدوده الاستیک
۶۹	..... ۲-۱-۳ شبیه سازی رفتار مواد ایزوتروپیک در محدوده پلاستیک
۷۰	..... ۳-۱-۳ بارگذاری سیکلی صفحه سوراخ دار
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	..... ۲-۳ بررسی توزیع و تغییرات تنش های پسماند در بارگذاری سیکلی سوراخ انبساط سرد شده ...
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	..... مقدمه
Error! Bookmark not defined.	..... ۱-۲-۳ مواد و نمونه ها
Error! Bookmark not defined.	..... ۲-۲-۳ مدل اجزا محدود
Error! Bookmark not defined.	..... ۳-۲-۳ روابط انبساط سرد
Error! Bookmark not defined.	..... ۴-۲-۳ پارامترهای قوانین سخت شوندگی
Error! Bookmark not defined.	..... ۵-۲-۳ نتایج و بحث

Error! Bookmark not defined...... نتیجه گیری ۶-۲-۳

3-۳ بررسی توزیع و تغییرات پیش تنشها در بارگذاری سیکلی در اثر پروسه تداخل صفحه سوراخدار .. ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

Error! Bookmark not defined...... خواص و مشخصات هندسی مواد تستها ۱-۳-۳

Error! Bookmark not defined...... مدلسازی مساله تداخل ۲-۳-۳

Error! Bookmark not defined...... پارامترهای مدل ۳-۳-۳

Error! Bookmark not defined...... مدل اجزا محدود ۴-۳-۳

Error! Bookmark not defined...... نتایج و بحث ۵-۳-۳

Error! Bookmark not defined...... نتایج آزمایشگاهی ۱-۵-۳-۳

Error! Bookmark not defined...... نتیجه گیری ۶-۳-۳

4-۳ پیشنهادها برای ادامه انجام کار .. ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

۷۳ منابع و ماخذ

فهرست شکل‌ها و جداول

- شکل (۱-۱) ترکیب تنش ثابت Σ و کرنش تکراری معکوس شونده $\pm E_2$ [۷]..... ۷
- شکل (۲-۱) نمودار تنش کرنش [۱]..... ۸
- شکل (۳-۱) رچتینگ در یک لوله تحت فشار [۲]..... ۹
- شکل (۴-۱) چگونگی انجام عمل انبساط سرد [۴]..... ۱۱
- شکل (۵-۱) الف توزیع تنش ون میزز پس از ورود پین به سوراخ ب- توزیع تنش ون میزز پس از خروج پین از سوراخ [۴]..... ۱۱
- شکل (۶-۱) توزیع تنش مماسی در نواحی اطراف سوراخ و در عرض صفحه پس از خروج پین [۵]..... ۱۲
- شکل (۷-۱) توزیع تنش کششی در نواحی اطراف سوراخ پس از ورود پین مرحله بارگذاری و باربرداری [۶]..... ۱۳
- شکل (۸-۱) نمایی شماتیک از قرارگرفتن فنری با طولی بیشتر از طول شیار در داخل شیار جهت ایجاد پیشتنش [۶]..... ۱۳
- شکل (۹-۱) نمودار تغییرات تنش قبل و بعد از انجام عمل تداخل [۶]..... ۱۴
- شکل (۱۰-۱) نمونه های استفاده شده در آزمایشهای آقای هارتمن [۷]..... ۱۴
- شکل (۱۱-۱) نمودار تنش - عمر برای نمونههای با تداخل و بدون تداخل [۷]..... ۱۵
- شکل (۱۲-۱) نمایی از مدل دو بعدی ساخته شده در نرم افزار *ABAQUS* [۸]..... ۱۵
- شکل (۱۳-۱) نمودارهای تغییرات فاکتور شدت تنش و مقادیر فاکتور شدت تنش برای دو درصد تداخل مختلف [۸]..... ۱۶
- شکل (۱۴-۱) زاویه شروع ترک بر حسب درصد تداخل [۹]..... ۱۶
- شکل (۱۵-۱) توزیع تنش کششی در نواحی اطراف سوراخ برای درصد تداخل ۱٪ [۱۰]..... ۱۷
- شکل (۱۶-۱) توزیع تنش کششی در نواحی اطراف سوراخ برای درصد تداخل ۴٪ [۱۰]..... ۱۸
- شکل (۱۷-۱) نمودار تنش - عمر برای نمونههای با تداخل و بدون تداخل [۱۰]..... ۱۸
- شکل (۱۷-۱) انتقال المان به مربع واحد..... ۲۱
- شکل (۱۸-۱) معیار تسلیم دوبعدی ترسکا..... ۲۵
- شکل (۱۹-۱) معیار تسلیم ترسکا و ون میزز در صفحه *PI*..... ۲۶
- شکل (۲۰-۱) معیار تسلیم دوبعدی ون میزز..... ۲۷
- شکل (۲۱-۱) نمایش هندسی سطح تسلیم و معیارهای بار گذاری و بار برداری..... ۲۷
- شکل (۲۲-۱) معیار تسلیم ون میزز تحت تنش های اصلی و در حالت تنش صفحه‌ای..... ۲۹

- شکل (۱-۲۳) رابطه تنش و کرنش تک بعدی با سخت شوندگی خطی. ۳۰
- شکل (۱-۲۴) نمایش تک جهته سخت شوندگی سینماتیک. ۳۳
- شکل (۱-۲۵) نمایش سخت شوندگی مرکب در صفحه انحرافی. ۳۳
- شکل (۱-۲۶) بازگشت به سطح تسلیم. ۳۴
- شکل (۱-۲۷) بازگشت شعاعی به سطح تسلیم. ۳۷
- شکل (۲-۱) پاسخ تنش - کرنش تک محوره برای مدل دو خطه [۷]. ۴۴
- شکل (۲-۲) پاسخ تنش - کرنش تک محوره برای مدل چند خطه [۱۲]. ۴۵
- شکل (۲-۳) فلوچارت الگوریتم ژنتیک [۲۱]. ۴۹
- شکل (۲-۴) توصیف پاسخ تنش - کرنش تک محوره بوسیله مدل اوهنو و وانگ [۲۱]. ۵۱
- جدول (۱-۲) مشخصات مکانیکی و شیمیایی آلیاژ AL 7075 T-6. ۵۳
- جدول (۲-۲) خواص مکانیکی فولاد AISI D2. ۵۵
- جدول شماره (۳-۲) مشخصات پین های مورد نیاز جهت انجام تستها. ۵۶
- شکل (۲-۵) اندازه های پین ۲٪ تداخل. ۵۷
- شکل (۲-۶) دستگاه پاسومتر برای اندازه گیری. ۵۷
- شکل (۲-۷) نمایی از پین های ساخته شده. ۵۷
- شکل (۲-۸) ابعاد نمونه های بر حسب میلیمتر. ۵۸
- شکل (۲-۹) الف- مته مرغک زنی نمونه ها جهت ایجاد سوراخ ب- سوراخکاری و برقوزنی نمونه ها. ۵۹
- شکل (۲-۱۰) تصاویری از پیشانی تراشی نمونه ها توسط دستگاه فرز FP4MK پس از ایجاد سوراخ در نمونه ها. ۶۰
- شکل (۲-۱۱) الف- نمونه های ساخته شده قبل از سنباده زنی ب- سطح نمونه ها قبل و بعد از سنباده زنی. ۶۰
- شکل (۲-۱۲) الف- کالیبره کردن دستگاه سیتو برای اندازه گیری قطر سوراخ ب- اندازه گیری قطر سوراخ بوسیله دستگاه سیتو. ۶۰
- شکل (۲-۱۳) الف- اتصال کرنش سنج روی نمونه ب- اتصال کرنش سنج ها به اندیکاتور ۱۰ کاناله VISHAY. ۶۱
- شکل (۲-۱۴) نمایی از فیکسچر و نحوه اتصال آن به دستگاه. ۶۱
- شکل (۲-۱۵) الف- نمایی از چگونگی وارد کردن پین به نمونه ها ب- نمایی از فیکسچر و متعلقات آن به صورت دمونتاژ شده. ۶۲
- شکل (۲-۱۶) نمایی از دستگاه پرس آزمایشگاه مقاومت مصالح. ۶۲
- شکل (۲-۱۷) نمایی از تست خستگی دانشگاه تبریز. ۶۳
- جدول ۲-۱۰ مشخصات بار اعمالی به نمونه ها. ۶۴
- شکل (۲-۱۸) نمودار بار سیکلی اعمالی به نمونه ها. ۶۴

شکل (۱-۳) الف- مدل هندسی صفحه، شرایط مرزی میله و نحوه بارگذاری ب- شماره گره های مسیر ۶۸

شکل (۲-۳) مقایسه تنش در راستای Y (جهت بارگذاری) بین ANSYS و کد نوشته شده روی گره های ناچ ۶۸

شکل (۳-۳) مقایسه کرنش در راستای Y (جهت بارگذاری) بین ANSYS و کد نوشته شده روی گره های ناچ ۶۹

شکل (۴-۳) کانتورتنش در راستای Y (جهت بارگذاری) الف- حاصل از کد ب- نرم افزار ANSYS ۶۹

جدول (۱-۳) پارامترهای مدل تنش ها بر حسب [۲۷] MPA ۷۰

شکل (۵-۳) نمودار تنش محوری بر حسب کرنش برای سه مدل ABDEL-OHNO و OHNO-WANG، ARMSTRONG ۷۰

شکل (۶-۳) دیاگرام بارگذاری سیکلی صفحه سوراخ دار ۷۰

شکل (۷-۳) دیاگرام تنش محوری بر حسب کرنش محوری الف- OHNO-WANG ب- OHNO-WANG، پ- ۷۰

ARMSTRONG ۷۱

شکل (۸-۳) دیاگرام کرنش پلاستیک ماکزیمم در هر سیکل بر حسب تعداد سیکل ۷۲

شکل (۹-۳) دیاگرام تنش پلاستیک ماکزیمم در هر سیکل بر حسب تعداد سیکل تاثیر تنش متوسط در مقدار رجچینگ ۷۲

شکل (۱۰-۳) هندسه نمونه و جهت تنش های مماسی و شعاعی. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۱۱-۳) هندسه و ابعاد نمونه. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۱۳-۳) منحنی هیستریزس برای تعیین پارامتر [۲۱]. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

جدول (۲-۳) ضرایب سخت شوندگی سینماتیک برای آلیاژ آلومینیوم 7050-T76. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۱۵-۳) ماکزیمم تنش پسماند مماسی بر حسب درصد انبساط. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۱۶-۳) توزیع مجدد تنش های پسماند تحت بارگذاری سیکلی بعد از ۱۰۰۰۰ سیکل با مدل چن - جیائو. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۱۷-۳) الف - ابعاد هندسی پین با $DIF=2\%$ ب- ابعاد هندسی نمونه پ- نمونه تداخل شده. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۱۸-۳) عمر خستگی بدست آمده از تستها [۱۰]. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۱۹-۳) نمایی از مدل ساخته شده از نمونه در نرم افزار با بکارگیری شرط تقارن. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

جدول ۳-۳ ضرایب مدل های اوهنو - وانگ برای آلیاژ آلومینیوم 7075 T6. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۲۰-۳) مش بندی پین و صفحه **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۲۱-۳) الف- صفحه و پین قبل تداخل ب- صفحه و پین بعد تداخل. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۲۲-۳) نمایی از مدل به همراه مسیری که تنش σ_x در راستای آن رسم شده است. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۲۳-۳) پیش تنش حاصل از پروسه تداخل برای مقادیر مختلف درصد تداخل الف- تنش صفحه ای ب- کرنش صفحه ای. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۲۴-۳) تغییرات تنش متوسط و دامنه تنش حاصل از سیکل اول بارگذاری متناوب با درصدهای مختلف تداخل برای حالت کرنش صفحه ای. **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل (۳-۲۵) تغییرات تنش متوسط و دامنه تنش حاصل از سیکل اول بارگذاری متناوب با درصدهای مختلف تداخل برای حالت

ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED...... تنش صفحه ای

شکل (۳-۲۶) توزیع پیش تنش و تغییرات آن در اثر بارگذاری سیکلی برای ۱٪ تداخل الف- حداکثر تنش 257 MPA ب- حداکثر

ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED......364 MPA تنش

شکل (۳-۲۷) تغییرات تنش متوسط و دامنه تنش حاصل از بارگذاری متناوب در حالت تنش صفحه ای حداکثر برای قطعات یک

ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.364 MPA (الف- ب) حداکثر تنش 257 MPA (ج- د) حداکثر تنش

شکل (۳-۲۸) تغییرات تنش متوسط و دامنه تنش حاصل از بارگذاری متناوب در حالت کرنش صفحه ای حداکثر برای قطعات

BOOKMARK NOT DEFINED.364 MPA (الف- ب) حداکثر تنش 257 MPA (ج- د) حداکثر تنش

OT DEFINED. شکل (۳-۲۹) تغییرات تنش متوسط و دامنه تنش حاصل از بارگذاری متناوب برای قطعات دو و چهار درصد تداخل شده حالت.

ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.364 MPA (الف- ب) با حداکثر بار 256 MPA، (ج- د)

ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED...... جدول ۳-۴ مشخصات بار اعمالی به نمونه ها.

ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED...... شکل (۳-۳۰) انباشتگی کرنش مماسی بر حسب تعداد سیکل ها.

ARK NOT DEFINED. شکل (۳-۳۱) نتایج المان محدود و آزمایشگاهی انباشتگی کرنش مماسی بر حسب تعداد سیکل برای ۱٪ تداخل.

ARK NOT DEFINED. شکل (۳-۳۲) نتایج المان محدود و آزمایشگاهی انباشتگی کرنش مماسی بر حسب تعداد سیکل برای ۲٪ تداخل.

فهرست نمادها

\underline{a}	مرکز سطح تسلیم در فضای انحرافی
\underline{a}_4	جمله Threshold
C_i	پارامتر مدل سخت‌شوندگی سینماتیک غیرخطی
E	مدول الاستیک
H	مدول پلاستیک
m	پارامتر مدل سخت‌شوندگی سینماتیک غیرخطی
M	تعداد قسمت‌های مورد نیاز برای بیان نمودار تنش- کرنش تک محوره
R	نسبت تنش
\underline{s}	تانسور تنش‌های انحرافی
S_u	مقاومت کششی
$\underline{\alpha}$	مرکز سطح تسلیم در فضای اصلی
δ'	پارامتر مدل سخت‌شوندگی سینماتیک غیرخطی
$\underline{\varepsilon}^p$	تانسور کرنش پلاستیک
γ_i	پارامتر مدل سخت‌شوندگی سینماتیک غیرخطی
ν	نسبت پواسون
$\underline{\sigma}$	تانسور تنش
σ_y	تنش تسلیم
σ_0	اندازه سطح تسلیم
L	ماتریس ضرایب گره‌ها
a	بردار جابجایی گره‌ها
c	بردار ثوابت
r_p	بردار نیرو المان پنالتی
K_p	ماتریس سختی المان پنالتی

مقدمه

امروزه مشخص شده است که طراحی سازه‌ها در محدوده کاملاً الاستیک موجب اتلاف ماده می‌گردد و علاوه بر آن امکان پذیر نیست، زیرا حتی در بارهای کم نیز در نقاطی مانند نوک ترک‌ها، نایجائی‌ها و یا نقاطی که تمرکز تنش در آن‌جا بالا است، ماده تسلیم شده و به ناحیه پلاستیک می‌رود. بنابراین بررسی دقیق‌تر و سریع‌تر رفتار ماده در ناحیه پلاستیک خصوصاً برای سازه‌هایی که تحت بار متناوب قرار می‌گیرند با اهمیت خواهد بود.

اتصالات پیچ و مهره‌ای کاربرد فراوانی در صنایع مهمی همچون هوافضا، خودروسازی و... دارند. چراکه در صورت معیوب شدن قطعات اتصالی به راحتی بتوان با باز کردن پیچ و مهره یا بریدن پرچ قطعات معیوب را تعویض نمود، علاوه بر این تجربه نشان داده است که اتصالات پیچ و مهره‌ای یا پرچی مقاومت به خستگی بهتری نسبت به اتصالات دائمی همچون جوش دارند. اما در عوض ایجاد سوراخ در اجزای اتصالات به منظور بستن آنها باعث ایجاد تمرکز تنش موضعی در اطراف سوراخ می‌شود که ناحیه ای مستعد برای رشد ترک و گسترش آن و در نهایت شکست قطعه می‌باشد

اهمیت بررسی در اتصالات پیچ و مهره‌ای زمانی بیشتر آشکار می‌شود که گسیختگی در اتصال تحت اثر بارهای دینامیکی رخ دهد. همچنین بررسی‌های بیشتر توأم با صرف هزینه و وقت زیاد، زمانی ضرورت می‌یابد که مربوط به اتصالات بسیار حساس از لحاظ تأمین ایمنی در صنایعی مانند هوافضا باشد چراکه گسیختگی در یک اتصال پیچ و مهره ای در سازه بدنه هواپیما، در برخی موارد می‌تواند منجر به وقوع حوادث فاجعه‌انگیز و جبران ناپذیری شود. از اینرو مبنای تحقیق در این پایان نامه بر اساس صنعت هوافضا قرار داده شد. هرچند که نتایج حاصل از آن مختص به این صنعت نبوده و قابل استفاده در صنایع دیگری مانند خودروسازی، کشتی‌سازی، راه-آهن، سازه پل ها و... خواهد بود

در اینگونه اتصالات تکنیک‌های مختلفی برای بالا بردن مقاومت خستگی قطعه بکار برده شده است. یکی از این روشها ایجاد تنش فشاری در نواحی اطراف سوراخ است. در اینگونه موارد بار اعمالی به قطعه قبل از اینکه بخواهد باعث باز شدن ترک شود باید بر این تنشهای فشاری غلبه نماید که این موضوع رشد ترک را به تاخیر خواهد انداخت. روش دیگر ایجاد پیش‌تنش کششی بجای تنش فشاری پسماند می‌باشد، اگرچه با ایجاد پیش-تنش کششی در نواحی اطراف سوراخ در بارگذارهای سیکلی یک تنش متوسط کششی بزرگتر ایجاد خواهد شد ولی دامنه تنش و کرنش که نقش مهمتری در عمر خستگی قطعه دارند کاهش خواهند یافت و در نهایت عمر

خستگی قطعه افزایش می‌یابد. در این پایان‌نامه با مدل‌های جدید ارائه شده سخت‌شوندگی سینماتیک به بررسی چگونگی Relax شدن تنش‌های این دو روش خواهیم پرداخت.

در فصل اول از این پایان‌نامه ابتدا به اهمیت موضوع و پیشینه تحقیق خواهیم پرداخت سپس مقدماتی در مورد روش اجزا محدود در حالت کلی سه‌بعدی و حالت‌های خاص صفحه‌ای شامل تنش صفحه‌ای، کرنش صفحه‌ای، متقارن محوری اشاره شده است. در پایان رفتار تنش-کرنش مواد در محدوده پلاستیک و روش‌های مختلف حل در این محدوده بررسی می‌شود. مفاهیم اساسی علم پلاستیسیته همانند معیار تسلیم، قانون جریان و قوانین سخت‌شوندگی تعریف می‌شوند. در پایان به توضیح روابط اجزا محدود در ناحیه پلاستیک می‌پردازیم.

در ابتدای فصل دوم به برخی از مدل‌های شکل‌پذیری غیرخطی که اخیراً برای شبیه‌سازی‌های پلاستیسیته سیکلی تک محوره و دو محوره پیشنهاد شده‌اند، خواهیم پرداخت. در بخش دوم به نحوه ساخت نمونه‌ها و بین-های مورد نیاز برای تحلیل تغییرات تنش نمونه‌های پیش تنش شده اتصال تک لبه‌ای خواهیم پرداخت. در ادامه نحوه نصب Strain gauge ها و چگونگی انجام تست‌ها آمده است. برای جنس نمونه‌ها از آلیاژ آلومینیوم مورد استفاده در سازه‌های هواپیمایی (آلیاژهای سری‌های ۲۰۰۰ و ۷۰۰۰) استفاده شده است. چراکه این آلیاژهای آلومینیوم به دلیل برخورداری از دو مزیت مهم که عبارتند از نسبت استحکام به وزن بالا و مقاومت در برابر خوردگی خوب، بطور وسیع در صنایع هوافضا بکار می‌روند این دو عامل باعث جایگزینی این آلیاژها بجای برخی از فولادها شده است.

فصل سوم به ارائه نتایج و بحث پیرامون آن‌ها می‌پردازد. در بخش اول این فصل، آزاد شدن تنش‌های پسماند ناشی از پروسه انبساط سرد در اطراف سوراخ تحت بارگذاری متناوب محوری به طور عددی شبیه‌سازی می‌شود. برای این کار از مدل‌های غیر خطی سخت‌شوندگی سینماتیک استفاده شده است تا علاوه بر مدل‌سازی بهتر رابطه تنش-کرنش مواد تحت بارگذاری متناوب، قابلیت شبیه‌سازی هر یک از این مدل‌ها تحت این نوع بارگذاری بررسی شود. در بخش پایانی این فصل به مدل‌سازی دو بعدی روش تداخل برای افزایش عمر قطعات سوراخ‌دار و بررسی رفتار تنش متوسط و دامنه تنش تحت بارگذاری متناوب محوری در نقاط نزدیک سوراخ با استفاده از مدل‌های سخت‌شوندگی سینماتیک غیرخطی خواهیم پرداخت. یک روش جدید برای شبیه‌سازی تماس میان صفحه و پین ارائه شده است. علاوه بر این که روش جدید مطابقت عالی با شبیه‌سازی با استفاده از المان‌های تماسی موجود در بسته نرم‌افزاری ANSYS دارد و از پیچیدگی مساله می‌کاهد. و در آخر نتایج نرم افزار نوشته شده با مدل‌های سخت‌شوندگی، با نتایج تست‌های نمونه‌های پیش تنش شده مقایسه گردیده است.

فصل اول

بررسی منابع

پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش

مقدمه

در فصل اول از این پایان‌نامه ابتدا به اهمیت موضوع و پیشینه تحقیق پرداخته شده و سپس مقدماتی در مورد روش اجزا محدود در حالت کلی سه‌بعدی و حالت‌های خاص صفحه‌ای شامل تنش صفحه‌ای، کرنش صفحه‌ای، متقارن محوری اشاره شده است. در پایان رفتار تنش-کرنش مواد در محدوده پلاستیک و روش‌های حل در این محدوده بررسی می‌شود. مفاهیم اساسی علم پلاستیسیته همانند معیار تسلیم، قانون جریان و قوانین سخت‌شوندگی تعریف می‌شوند.

۱-۱ پیشینه تحقیق

حل مسایل پلاستیسیته در علم مکانیک یکی از چالش‌های مهم در مکانیک جامدات پیش از سال ۱۹۴۰ بوده است. این علم در مواردی همچون تولید قطعات فلزی از طریق شکل دادن آن‌ها مثل کشش عمیق، اکستروژن، آهنگری، خمش قطعات و کاربرد زیادی دارد. حل مسایلی که در آن قطعه و یا سازه در اثر بارگذاری از ناحیه الاستیک عبور کرده و به حالت خمیری درمی‌آید، بخاطر ماهیت غیر خطی قدری پیچیده است، بالاخص اگر بارگذاری سیکلی باشد که در صنایع شیمیایی و هوافضا کاربرد زیادی دارد. برای حل مسایلی که علم پلاستیسیته در آن‌ها رخ می‌دهند، معمولاً از آنالیز ریاضی و یا آنالیزهای عددی همچون FEM و FDM استفاده می‌گردد. البته آنالیز ریاضی اغلب در مسایلی که مرز قطعه منظم است و رفتار ماده الاستیک کاملاً پلاستیک فرض شده است، استفاده می‌شود. ولی برای مرزهای پیچیده و رفتار واقعی از روش‌های عددی استفاده می‌شود.

در طول ۵۰ سال اخیر، توسعه روش‌های عددی بهتر و کامپیوترهای قوی‌تر، تعهد بزرگی را برای جامعه علمی به همراه داشته است. در همان زمان، روش اجزا محدود تبدیل به ابزار مهمی برای محققان و مهندسان شده است. پیشرفت‌های اخیر در سخت افزارهای محاسباتی، حل مسائل غیرخطی را ممکن کرده است.

۱-۱-۱ رجیتینگ

ادموند و بیر [۱] برای اولین بار در سال ۱۹۶۱ با اعمال کرنش‌های تکراری معکوس شونده، مقدار محدودی انباشت کرنش پلاستیک مشاهده کردند. آن‌ها با استفاده از تئوری ترسکا و با صرف نظر از پارامترهایی مانند سخت‌شوندگی و اثر بوشینگر به این نتیجه رسیدند که اگر تنش‌ها و کرنش‌ها مقدار مناسبی

داشته باشند در نتیجه این امکان پیش می‌آید که برای هر مرتبه اعمال کرنش تکراری یک افزایش غیر قابل برگشت در تغییر شکل ایجاد می‌شود که سیکل به سیکل این تغییر شکل بیشتر می‌شود. پدیده رچتینگ در لوله‌های جدار ضخیم تحت فشار داخلی و خمش تکراری معکوس شونده توسط بین‌ای [۲] بررسی شد. بر طبق نظریه وی، رچتینگ در چنین لوله‌هایی زمانی رخ می‌دهد که اولاً سازه همزمان تحت فشار استاتیک و بار سیکلی باشد و ثانیاً در نیم سیکل اول یک طرف لوله در محدوده پلاستیک و طرف دیگر در محدوده الاستیک باشد.

۱-۱-۲ رچتینگ ناشی از بارهای مکانیکی

ادموند و بیر [۱] با استفاده از یک مدل ساده، اثر رچتینگ در طراحی مخازن تحت فشار بررسی کردند. فرضیات آن‌ها برای ساده‌سازی مساله بصورت زیر هستند:

- ۱- برای تنش‌های کمتر از حد تسلیم، کرنش با تنش رابطه خطی دارد.
- ۲- رفتار ماده به صورت الاستیک - پلاستیک کامل می‌باشد.
- ۳- تنش تسلیم و مدول الاستیسیته در فشار و کشش یکسان هستند.
- ۴- تنش تسلیم براساس تئوری ماکزیمم تنش برشی رخ می‌دهد.
- ۵- وقتی که کرنش کاهش می‌یابد، تنش نیز کاهش می‌یابد که این کاهش بر طبق نرخ کاهش در ناحیه الاستیک اولیه بدون توجه به تاریخچه بارگذاری رخ می‌دهد.
- ۶- در خمش حتی در لحظه تسلیم مقطع جسم به صورت صفحه‌ای باقی می‌ماند.
- ۷- کرنش‌های پلاستیک در هر سه جهت متناسب با تنش‌های انحرافی هستند. به عبارت دیگر می‌توان نوشت:

$$\varepsilon_1 / \varepsilon_2 / \varepsilon_3 \propto (2p_1 - p_2 - p_3) / (2p_2 - p_1 - p_3) / (2p_3 - p_2 - p_1) \quad (1-1)$$

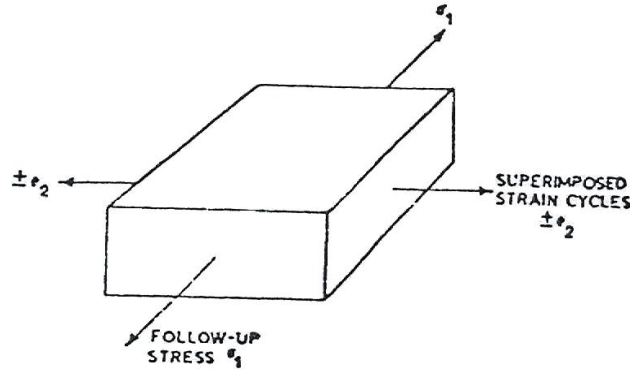
که s_1 ، s_2 و s_3 تنش‌های انحرافی هستند.

$$s_1 = \frac{1}{3}(2p_1 - p_2 - p_3) \quad (2-1)$$

$$s_2 = \frac{1}{3}(2p_2 - p_1 - p_3) \quad (3-1)$$

$$s_3 = \frac{1}{3}(2p_3 - p_2 - p_1) \quad (4-1)$$

به طوری که p_1 ، p_2 و p_3 تنش‌های اصلی می‌باشند. آن‌ها با استفاده از مدل الاستیک-پلاستیک کامل اثر ترکیب کرنش تکراری معکوس شونده و تنش ثابت را مورد بررسی قرار دادند این حالت که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است، تجزیه و تحلیل در ورقی است که تحت تنش ثابت σ_1 و کرنش تکراری معکوس $\pm e_2$ در راستای عمود بر σ_1 قرار دارد.



شکل (۱-۱) ترکیب تنش ثابت σ و کرنش تکراری معکوس شونده $\pm e_2$ [۷].

مطابق با شکل (۲-۱) مشاهده می‌شود که از سیکل دوم به بعد دامنه تنش الاستیک برابر $(2\sigma_y - \sigma_1)$ است و دامنه کرنش پلاستیک (ε_2) ، اختلاف بین دامنه کرنش کلی $2e_2$ و دامنه کرنش الاستیک است. به عبارت دیگر:

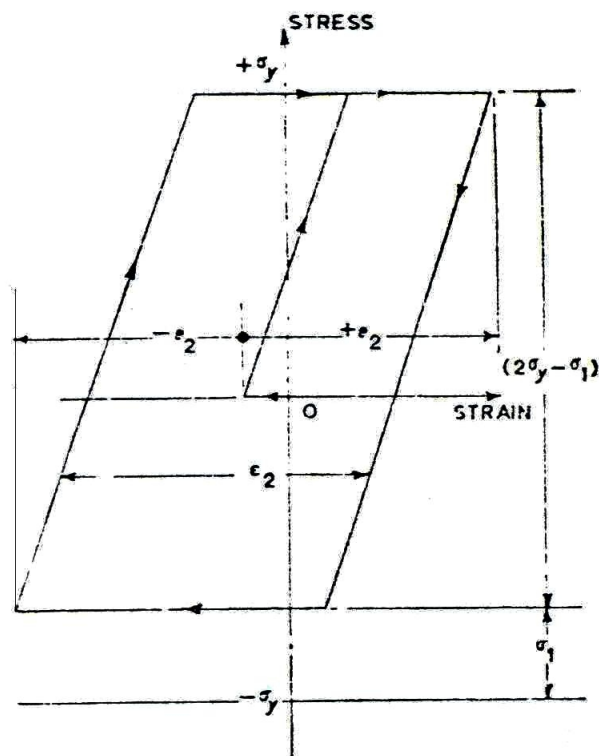
$$\varepsilon_2 = 2e_2 - (2\sigma_y - \sigma_1) / E \quad (5-1)$$

همچنین با توجه به معادله (۱-۱)، رابطه (۶-۱) برای کرنش (ε_1) به دست می‌آید. این مقدار کرنش پلاستیک برای هر دو حالت کششی و فشاری یکسان است. معادله (۷-۱)، تنش‌های اصلی که در حالت کشش باعث تسلیم می‌شوند و همچنین معادله (۸-۱) تنش‌های اصلی که در حالت فشاری باعث تسلیم می‌شوند را بیان می‌کند.

$$\varepsilon_1 = \frac{2P_1 - P_2 - P_3}{2P_2 - P_1 - P_3} \cdot \varepsilon_2 \quad (6-1)$$

$$P_1 = \sigma_1 ; P_2 = \sigma_y ; P_3 = 0 \quad (7-1)$$

$$P_1 = \sigma_1 ; P_2 = -(\sigma_y - \sigma_1) ; P_3 = 0 \quad (8-1)$$



شکل (۲-۱) نمودار تنش کرنش [۱].

با توجه به اینکه افزایش کلی کرنش پلاستیک در یک سیکل کامل برابر مجموع افزایش کرنش‌ها در حالت کششی و فشاری است و با کمک روابط ارائه شده (۶-۱) تا (۸-۱)، رابطه نهایی برای کرنش پلاستیک در هر سیکل توسط معادله (۹-۱) به دست می‌آید.

$$\varepsilon_1 = \frac{3\sigma_1}{(2\sigma_y - \sigma_1)} \cdot \left(2\varepsilon_2 - \frac{2\sigma_y - \sigma_1}{E} \right) \quad (9-1)$$

ادموند و بیر [۱] نشان داده‌اند که، در ورق با بارگذاری شکل (۱-۱)، رشد کرنش میزان ثابتی بوده و با افزایش تعداد سیکل‌ها مقدار آن کاهش نمی‌یابد. همچنین اگر بارگذاری به صورت شکل (۱-۱) باشد، نمودار تنش-کرنش آن به صورت شکل (۲-۱) می‌باشد.

از روابط موجود نتیجه‌گیری می‌شود که با وجود آن که تنش و کرنش تکراری معکوس هر کدام به تنهایی باعث ایجاد رچتینگ نمی‌شود، ولی هر گاه همزمان به قطعه وارد شوند باعث بوجود آمدن رچتینگ می‌گردند. همچنین برای جلوگیری از رچتینگ در حالتی که کرنش تکراری معکوس بر روی ورقی که تحت تنش ثابت قرار دارد، وارد شود، باید دامنه کرنش‌های تکراری معکوس به گونه‌ای باشد که تسلیم در هیچ مرحله‌ای از سیکل کرنش، خواه کششی، خواه فشاری رخ ندهد.