





دانشکده فنی مهندسی مکانیک

گروه مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

عنوان

مقایسه تئوری و عملی روش تداخل و انبساط سرد در افزایش عمر خستگی صفحات سوراخ
دار در اتصالات دو لبه برشی

استاد راهنما

دکتر تاج بخش نوید چاخارلو

استاد مشاور

دکتر محمد رضا خوشروان

پژوهشگر

هادی تقی زاده

بهمن ۱۳۹۰

| | |
|--|---|
| نام خانوادگی: تقی زاده | نام: هادی |
| <p>عنوان پایان نامه: مقایسه تئوری و عملی روش تداخل و انبساط سرد در افزایش عمر خستگی صفحات سوراخ دار در اتصالات دو لبه برشی</p> | |
| <p>اساتید راهنما: دکتر تاجبخش نوید چاخارلو</p> | |
| <p>اساتید مشاور: دکتر محمدرضا خوشروان</p> | |
| <p>مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد</p> <p>رشته: مهندسی مکانیک</p> <p>گرایش: طراحی کاربردی</p> | <p>دانشگاه: تبریز</p> |
| <p>دانشکده: فنی مهندسی مکانیک</p> <p>تعداد صفحات: ۱۱۴</p> | <p>تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۰</p> |
| <p>کلید واژه: تداخل - انبساط سرد - خستگی - اتصال دو لبه‌ی برشی - المان محدود</p> | |
| <p>چکیده: اتصالات مکانیکی که ترکیبی از پیچ‌ها، پین‌ها یا پرچ‌ها می باشند، بطور گسترده‌ای در سازه‌های هوایی بخصوص در هواپیما مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مزیت‌های این اتصالات می‌توان به مقاومت بسیار بالا در برابر خستگی همچنین قابل تعویض بودن این اتصالات اشاره نمود. اما این اتصالات با وجود مزیت‌های فراوان دارای معایبی نیز می‌باشند. ناپیوستگی‌های هندسی در پی عملیات سوراخ‌کاری در این نوع اتصالات سبب ایجاد تمرکز تنش می‌شود. بنابراین در هنگام اعمال بارگذاری سیکلی احتمال ایجاد و گسترش ترک خستگی افزایش می‌یابد. بنابراین ضروری است که با استفاده از روش‌هایی از تأثیر تمرکز تنش کاسته شود. در سال‌های اخیر روش‌های گوناگون برای بهبود عمر اتصالات به کار رفته است از جمله می‌توان به روش انبساط سرد و تداخل اشاره کرد. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در رابطه با روش‌های انبساط سرد و تداخل انجام گرفته ولی هنوز اطلاعات کافی در دسترس نیست که کدام یک از این دو روش بهبود عمر، در افزایش عمر خستگی صفحات سوراخ‌دار اثر بیشتری دارد. هدف از انجام پژوهش حاضر مقایسه رفتار خستگی دو روش انبساط سرد و تداخل در اتصالات دو لبه برشی می‌باشد. رفتار خستگی که مورد بررسی قرار گرفته شامل عمر خستگی، نحوه‌ی ایجاد و گسترش ترک خستگی و نوع واماندگی می‌باشد. تست‌های خستگی بر روی نمونه‌های دو لبه‌ای ساخته شده از جنس آلیاژ AL2024-T3 انجام گرفته است. تست‌های خستگی بر روی نمونه‌هایی با پین دارای دو درصد مختلف تداخل و انبساط سرد به همراه نمونه‌های بدون عملیات با نه</p> | |

دامنه‌ی بار و نسبت بارگذاری صفر انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در بارهای پایین‌تر نمونه‌های تداخل عمر بیشتری نسبت به نمونه‌های انبساط سرد دارند. در بارهای بالا تقریباً عمر همه نمونه‌ها یکسان بوده و عملیات انجام شده بر روی نمونه‌ها تأثیر چندانی در افزایش عمر نمونه‌ها ندارد. برای توجیه مشاهدات تجربی از شبیه‌سازی عددی کامل عملیات تداخل، انبساط سرد و بارگذاری سیکلی استفاده شده است. شبیه‌سازی عددی در محیط نرم‌افزار المان محدود ANSYS انجام شده است. همچنین در این پژوهش از یک روش تخمین عمر با بکارگیری معیارهای چند محوری و نرم افزار AFGROW برای پیش‌بینی عمر خستگی نمونه‌های تداخل اتصالات دو لبه برشی، استفاده شده است و نتایج بدست آمده با نتایج تست‌های عملی مقایسه شده است. علاوه بر این برای پیش‌بینی عمر خستگی نمونه‌های انبساط سرد در اتصالات دو لبه‌ی برشی از آنالیز رشد ترک استفاده شده و نتایج بدست آمده از این روش با نتایج تست‌های تجربی موجود مقایسه شده است. به منظور بدست آوردن توزیع تنش پسماند به علت فرآیند انبساط سرد، یک مدل سه بعدی المان محدود شبیه سازی شده است. برای بدست آوردن عمر نمونه‌ها از نرم‌افزار AFGROW استفاده شده است. سه مدل رشد ترک برای پیش‌بینی عمر خستگی نمونه‌ها به کار گرفته شده است. همچنین برای تعیین طول ترک اولیه از روش طول ترک اولیه معادل (EIFS) استفاده شده است. مقایسه نتایج بدست آمده تطابق قابل قبولی بین نتایج پیش‌بینی شده و نتایج تجربی وجود دارد.

فهرست مطالب

| | |
|--|----|
| فصل اول: بررسی منابع، پایه‌های نظری و پیشینه‌ی پژوهش | ۱ |
| ۱.۱ مقدمه | ۲ |
| ۲.۱ اتصالات مکانیکی | ۲ |
| ۱.۲.۱ اتصال تک لبه | ۳ |
| ۲.۲.۱ اتصال دو لبه | ۳ |
| ۳.۱ روش‌های مکانیکی بهبود عمر خستگی | ۳ |
| ۴.۱ تکنیک تداخل | ۴ |
| ۵.۱ تکنیک انبساط سرد | ۵ |
| ۶.۱ روش‌های رایج انبساط سرد | ۶ |
| ۷.۱ اندازه‌گیری تنش‌ها | ۸ |
| ۱.۷.۱ روش‌های تجربی | ۸ |
| ۲.۷.۱ روش‌های تحلیلی برای بدست آوردن تنش | ۱۳ |
| ۳.۷.۱ روش المان محدود برای مشخص کردن تنش‌ها | ۱۶ |
| ۸.۱ توزیع تنش پسماند | ۱۷ |
| ۹.۱ عوامل موثر در توزیع تنش‌های پسماند | ۲۰ |
| ۱۰.۱ رفتار خستگی تداخل و انبساط سرد | ۲۳ |
| ۱.۱۰.۱ تحقیقات مرتبط با تداخل | ۲۴ |
| ۲.۱۰.۱ تحقیقات مرتبط با انبساط سرد | ۲۹ |
| ۱۱.۱ تخمین عمر | ۳۴ |
| ۱.۱۱.۱ معیار فاطمی-سوشی | ۳۶ |

| | |
|----|--|
| ۳۶ | معیار SWT ۲.۱۱.۱ |
| ۳۷ | معیار GLINKA ۳.۱۱.۱ |
| ۴۲ | ۱۲.۱ تعریف مسئله و اهداف پژوهش |
| ۴۳ | فصل دوم: آزمایش‌های تجربی؛ مبانی و نتایج |
| ۴۴ | ۱.۲ مقدمه |
| ۴۴ | ۲.۲ مواد مصرفی |
| ۴۵ | ۱.۲.۲ آلیاژ آلومینیم نمونه‌های آزمایش |
| ۴۵ | ۱.۱.۲.۲ آلیاژ AL2024-T3 |
| ۴۶ | ۲.۱.۲.۲ آلیاژ AL7075-T6 |
| ۴۷ | ۲.۲.۲ ماده مورد استفاده برای پین |
| ۴۸ | ۳.۲ تعیین ابعاد نمونه‌های آزمایشی |
| ۴۹ | ۴.۲ ساخت نمونه‌های آزمایشی |
| ۵۱ | ۵.۲ اعمال عملیات تداخل و انبساط سرد |
| ۵۲ | ۱.۵.۲ عملیات تداخل |
| ۵۲ | ۲.۵.۲ عملیات انبساط سرد |
| ۵۳ | ۶.۲ تست‌های خستگی |
| ۵۵ | ۷.۲ نتایج تست‌های خستگی |
| ۶۱ | ۸.۲ بررسی مقاطع شکست نمونه‌ها |
| ۶۴ | فصل سوم: شبیه‌سازی عددی، مبانی و نتایج |
| ۶۵ | ۱.۳ مقدمه |
| ۶۵ | ۲.۳ مبانی مدل‌سازی المان محدود |
| ۶۶ | ۱.۲.۳ مدل‌سازی ورق‌های آلومینمی |

- ۶۷..... مدل المان محدود پین تداخل ۲.۲.۳
- ۶۸..... مدل المان محدود پین انبساط سرد ۳.۲.۳
- ۶۸..... مش بندی مدل المان محدود ۴.۲.۳
- ۶۹..... ایجاد مدل نهایی و تعریف المان‌های تماس ۵.۲.۳
- ۷۰..... مدل نهایی تداخل ۶.۲.۳
- ۷۱..... مدل نهایی انبساط سرد ۷.۲.۳
- ۷۱..... مراحل شبیه سازی المان محدود فرآیند تداخل ۳.۳
- ۷۲..... مراحل شبیه سازی المان محدود فرآیند انبساط سرد ۴.۳
- ۷۲..... توزیع تنش ناشی از فرآیند تداخل ۵.۳
- ۷۶..... توزیع تنش ناشی از فرآیند انبساط سرد ۶.۳
- ۷۹..... مقایسه توزیع تنش ناشی از بارگذاری در نمونه‌های تداخل و انبساط سرد ۷.۳
- ۸۷..... پیش‌بینی عمر خستگی نمونه‌های تداخل اتصالات دو لبه برشی ۸.۳
- ۸۹..... مش بندی مدل المان محدود دو بعدی ۱.۸.۳
- ۹۱..... گسترش ترک خستگی ۲.۸.۳
- ۹۲..... پیش‌بینی عمر خستگی نمونه‌های تداخل اتصالات دو لبه برشی ۹.۳
- ۹۲..... آنالیز رشد ترک با نرم افزار *AFGROW* ۱.۹.۳
- ۹۳..... مدل ناسگرو (*NASGROW*) ۱.۱.۹.۳
- ۹۳..... مدل والکر (*WALKER*) ۲.۱.۹.۳
- ۹۳..... مدل فورمن (*FORMAN*) ۳.۱.۹.۳
- ۹۴..... فصل چهارم: نتایج و بحث ۹۴
- ۹۵..... مقایسه نتایج تداخل و انبساط سرد در اتصالات دو لبه‌ی برشی ۱.۴
- ۱۰۲..... کیفیت ایجاد و رشد ترک خستگی ۲.۴

- ۳.۴ نتایج تخمین عمر برای نمونه‌های دارای تداخل اتصالات دو لبه برشی ۱۰۳
- ۴.۴ نتایج تخمین عمر برای نمونه‌های انبساط سرد شده اتصالات دو لبه برشی ۱۰۵
- ۵.۴ نتیجه‌گیری ۱۰۷
- ۶.۴ پیشنهادها برای ادامه کار ۱۱۰

فهرست شکلها

- شکل (۱-۱): نحوه انجام فرآیند تداخل. ۴
- شکل (۲-۱): تغییرات تنش، قبل و بعد از عمل تداخل (لبه سوراخ). ۵
- شکل (۳-۱): نحوه انجام فرایند انبساط سرد [۳]. ۵
- شکل (۴-۱): نمایش شماتیک نحوه توزیع تنش ناشی از فرایند انبساط سرد. ۶
- شکل (۵-۱): شماتیک انبساط سرد مستقیم. ۷
- شکل (۶-۱): شماتیک انبساط سرد در حضور غلاف چاک دار. ۷
- شکل (۷-۱): کیت کرنش سنجها در سوراخکاری. ۱۰
- شکل (۸-۱): ابزار تابش اشعه ایکس. ۱۰
- شکل (۹-۱): روش پردازش عکس دیجیتال. ۱۰
- شکل (۱۰-۱): تاثیر ضخامت بر روی توزیع تنش در اطراف سوراخ انبساط سرد شده [۷]. ۱۲
- شکل (۱۱-۱): توزیع تنش پسماند قبل از برقوزنی (راست) بعد از برقوزنی (چپ) [۷]. ۱۳
- شکل (۱۲-۱): تغییرات تنش پسماند با فاصله شعاعی از سوراخ برای (A) نسبت تداخل (B) نسبت ابعاد ورق [۱۸]. ۱۵
- شکل (۱۳-۱): تغییرات تنش با فاصله شعاعی از سوراخ برای (A) پارامتر بوشینگر (B) توان سخت شوندگی [۱۸]. ۱۵
- شکل (۱۴-۱): مدل المان محدود دوبعدی برای شبیه سازی فرآیند تداخل. ۱۷
- شکل (۱۵-۱): مدل المان محدود دوبعدی تقارن محوری برای شبیه سازی فرآیند انبساط سرد [۲۳]. ۱۷
- شکل (۱۶-۱): مدل المان محدود سه بعدی برای شبیه سازی فرآیند انبساط سرد [۲۴]. ۱۷
- شکل (۱۷-۱): توزیع تنش پسماند ناشی از تداخل ۴/۷ درصد در سه سطح مختلف [۲]. ۱۸

- شکل (۱-۱۸): توزیع تنش پسماند ناشی از درصد‌های مختلف تداخل در امتداد ضخامت برای سه درصد تداخل [۲]..... ۱۸
- شکل (۱-۱۹): روند توزیع تنش پسماند مماسی ناشی از فرآیند انبساط سرد [۳۲]..... ۱۹
- شکل (۱-۲۰): توزیع تنش پسماند ناشی از انبساط سرد در سه سطح [۳۳]..... ۱۹
- شکل (۱-۲۱): تاثیر نسبت تداخل بر روی توزیع تنش پسماند ناشی از انبساط سرد [۵]..... ۲۱
- شکل (۱-۲۲): تاثیر اثر بوشینگر بر روی توزیع تنش پسماند ناشی از انبساط سرد [۳۴]..... ۲۳
- شکل (۱-۲۳): تاثیر تداخل بر روی اتصالات دو لبه‌ای [۳۵]..... ۲۴
- شکل (۱-۲۴): نمونه خستگی با پیچ دارای تداخل [۳۶]..... ۲۵
- شکل (۱-۲۵): منحنی عمر-تنش بر مبنای سطح مقطع کوچک [۳۶]..... ۲۵
- شکل (۱-۲۶): موقعیت ترک‌های خستگی و محل سایش [۳۶]..... ۲۶
- شکل (۱-۲۷): مدل المان محدود (چپ) توزیع تنش و کرنش در اطراف سوراخ (راست) [۳۷]..... ۲۶
- شکل (۱-۲۸): توزیع فاکتور شدت تنش در نواحی سوراخ با تداخل و پس از بارگذاری [۳۷]..... ۲۷
- شکل (۱-۲۹): تغییر شکل و تنش‌ها (الف) پس از بارگذاری کششی (ب) بعد از پرچ کردن [۳۸]..... ۲۷
- شکل (۱-۳۰): نتایج خستگی بدست آمده از روش تنش معادل [۳۹]..... ۲۸
- شکل (۱-۳۱): مدل سه بعدی با استفاده المان محدود [۱]..... ۲۸
- (الف) ۲۹
- (ب) ۲۹
- شکل (۱-۳۲): موقعیت شروع و گسترش ترک بار ۳۵ KN (الف) نمونه بدون تداخل (ب) در نمونه با تداخل ۴٪ [۱]..... ۲۹
- شکل (۱-۳۳): توزیع تنش پسماند بدست آمده از روش [۴۰]..... ۳۰
- شکل (۱-۳۴): انبساط سرد با استفاده از پین مخروطی و غلاف مخروطی [۴۰]..... ۳۰

- شکل (۱-۳۵): مقایسه بهبود عمر بدست آمده در انبساط سرد با استفاده از پین مخروطی در حضور غلاف مخروطی و غلاف معمولی [۴۰]. ۳۰
- شکل (۱-۳۶): تاثیر انبساط سرد مجدد روی توزیع تنش پسماند [۴۱]. ۳۱
- شکل (۱-۳۷): تاثیر انبساط سرد مجدد روی نرخ رشد ترک خستگی [۴۱]. ۳۱
- شکل (۱-۳۸): مدل‌های المان محدود بکار رفته [۴۲]. ۳۲
- شکل (۱-۳۹): مقایسه نتایج عملی و عددی تنش پسماند محیطی در کوچک‌ترین سطح مقطع [۴۲]. ۳۳
- شکل (۱-۴۰): منحنی تنش-عمر نمونه‌های خستگی [۲۴]. ۳۳
- شکل (۱-۴۱): تعداد سیکل‌های بدست آمده به وسیله دو روش در درصدهای مختلف [۴۳]. ۳۴
- شکل (۱-۴۲): تفاوت زمانی ایجاد ترک در قطعات انبساط سرد شده با نسبت تداخل‌های مختلف با قطعات معمولی [۳۳]. ۳۹
- شکل (۱-۴۳): تفاوت زمان واماندگی خستگی در قطعات انبساط سرد شده با نسبت تداخل‌های مختلف با قطعات معمولی [۳۳]. ۳۹
- شکل (۱-۴۴): تفاوت نرخ رشد ترک در قطعات انبساط سرد شده با نسبت تداخل‌های مختلف با قطعات معمولی [۳۳]. ۴۰
- شکل (۱-۴۵): تغییرات ضریب شدت تنش برای نمونه‌های دارای تداخل و نمونه‌های بدون تداخل (A) در سطح صفحه (B) در امتداد ضخامت [۵۹]. ۴۱
- شکل (۱-۴۶): عمر بدست آمده برای نمونه‌های دارای تداخل و نمونه‌های بدون تداخل به وسیله نرم افزار AFGROW [۶۰]. ۴۱
- شکل (۲-۱): ابعاد نمونه تست کشش ساده آلیاژ AL2024-T3. ۴۶
- شکل (۲-۲): منحنی تنش-کرنش آلیاژ AL 2024-T3 [۲۴]. ۴۶
- شکل (۲-۳): منحنی تنش-کرنش آلیاژ AL 7075-T6 [۲۴]. ۴۷

- شکل (۲-۴): پیچ کلاس ۱۲/۹ با قطر اسمی ۶ میلی متر و ارتفاع بدون ساق ۲۰ میلی متر (راست) و بدون رزوه (چپ). ۴۸
- شکل (۲-۵): نحوه رزوه برداری از پیچ تداخل. ۴۸
- شکل (۲-۶): پین مخروطی بکار رفته برای انبساط سرد. ۴۸
- شکل (۲-۷): ابعاد قطعات مورد استفاده در نمونه‌های مورد آزمایش. ۴۹
- شکل (۲-۸): مراحل ساخت نمونه‌های آزمایشی. ۵۰
- شکل (۲-۹): بررسی ابعادی نمونه‌ها. ۵۱
- شکل (۲-۱۰): نحوه انجام فرایند تداخل. ۵۲
- شکل (۲-۱۱): دستگاه کشش و فشار AMSLER (چپ) نحوه انجام فرایند انبساط سرد (راست). ۵۳
- شکل (۲-۱۲): دستگاه تست خستگی AMSLER HA250. ۵۴
- شکل (۲-۱۳): نحوه بسته شدن نمونه‌های آزمایشی. ۵۴
- شکل (۲-۱۴): موج سینوسی انتخابی برای بارگذاری سیکلی. ۵۵
- شکل (۲-۱۵): نمودار تنش برحسب عمر برای ۵ وضعیت تست شده. ۵۹
- شکل (۲-۱۶): مقایسه نمودار تنش برحسب عمر نمونه‌های دارای تداخل و دارای انبساط سرد با نمونه‌های بدون عملیات. ۵۹
- شکل (۲-۱۷): مقایسه نمودار تنش برحسب عمر برای همهی وضعیت‌ها. ۶۰
- شکل (۲-۱۸): شماتیک صفحه با مشخص کردن زاویه مینا. ۶۱
- شکل (۲-۱۹): محل و زاویه شروع ترک برای تمامی نمونه‌ها در سه بار ۶، ۱۰ و ۱۵KN. ۶۲
- شکل (۲-۲۰): محل شروع و گسترش ترک برای تمامی نمونه‌ها در سه بار ۶، ۱۰ و ۱۵KN. ۶۳
- شکل (۳-۱): ابعاد مدل در نظر گرفته شده در تحلیل [۲۴]. ۶۶
- شکل (۳-۲): ابعاد یک چهارم مدل بکار رفته در تحلیل [۲۴]. ۶۷
- شکل (۳-۳): نمای سه بعدی و ابعاد پین تداخل. ۶۸

- شکل (۳-۴): نمای سه بعدی و ابعاد بین انبساط سرد. ۶۸.....
- شکل (۳-۵): المان SOLID 185. ۶۹.....
- شکل (۳-۶): المان‌های تماس TARGE170 ,CONTA174. ۷۰.....
- شکل (۳-۷): مدل المان محدود (الف) صفحه‌ی وسط تحت تداخل (ب) فرآیند تداخل. ۷۱.....
- شکل (۳-۸): مدل المان محدود فرآیند انبساط سرد. ۷۱.....
- شکل (۳-۹): توزیع تنش‌های طولی در سه صفحه از کم‌ترین سطح مقطع (الف) $4/7$ درصد تداخل (ب) $1/5$ درصد تداخل. ۷۳.....
- شکل (۳-۱۰): نمایش راستای خطوط عرضی در مدل سه بعدی المان محدود به منظور رسم نمودارهای تنش. ۷۴.....
- شکل (۳-۱۱): توزیع تنش‌های طولی بترتیب در سه صفحه ورودی، میانی و خروجی از کمترین سطح مقطع برای دو نسبت تداخل $1/5$ و $4/7$ درصد (الف) بار 15KN (ب) بار 6KN . ۷۵.....
- شکل (۳-۱۲): توزیع تنش‌های طولی در سه صفحه از کم‌ترین سطح مقطع (الف) $1/5$ درصد انبساط سرد (ب) $4/7$ درصد انبساط سرد. ۷۷.....
- شکل (۳-۱۳): توزیع تنش‌های طولی بترتیب در سه صفحه ورودی، میانی و خروجی از کمترین سطح مقطع برای دو نسبت انبساط سرد $1/5$ و $4/7$ درصد (الف) بار 15KN (ب) بار 6KN . ۷۸.....
- شکل (۳-۱۴): مقایسه توزیع دامنه‌ی تنش صفحه ورودی از کمترین سطح مقطع بترتیب از بالا برای بار 6 ، 10 ، 15KN . ۸۰.....
- شکل (۳-۱۵): مقایسه توزیع دامنه‌ی تنش صفحه میانی از کمترین سطح مقطع بترتیب از بالا برای بار 6 ، 10 ، 15KN . ۸۱.....
- شکل (۳-۱۶): مقایسه توزیع دامنه‌ی تنش صفحه خروجی از کمترین سطح مقطع بترتیب از بالا برای بار 6 ، 10 ، 15KN . ۸۲.....

- شکل (۳-۱۷): مقایسه توزیع تنش میانگین صفحه ورودی از کمترین سطح مقطع بترتیب از بالا برای بار ۶، ۱۰، ۱۵ KN. ۸۳.....
- شکل (۳-۱۸): مقایسه توزیع تنش میانگین صفحه میانی از کمترین سطح مقطع بترتیب از بالا برای بار ۶، ۱۰، ۱۵ KN. ۸۴.....
- شکل (۳-۱۹): مقایسه توزیع تنش میانگین صفحه خروجی از کمترین سطح مقطع بترتیب از بالا برای بار ۶، ۱۰، ۱۵ KN. ۸۵.....
- شکل (۳-۲۰): شماتیک بدست آوردن عمر جوانه زنی. ۸۸.....
- شکل (۳-۲۱): شماتیک بدست آوردن عمر گسترش ترک. ۸۹.....
- شکل (۳-۲۲): بدست آوردن طول ترک اولیه. ۸۹.....
- شکل (۳-۲۳): المان SOLID 182. ۹۰.....
- شکل (۳-۲۴): مدل المان محدود دو بعدی. ۹۰.....
- شکل (۳-۲۵): توزیع تنش‌های طولی در کمترین سطح مقطع برای دو نسبت تداخل ۱/۵ و ۴/۷ درصد (الف) بار ۱۵KN (ب) بار ۶KN. ۹۱.....
- شکل (۳-۲۶): توزیع فاکتور شدت تنش در کمترین سطح مقطع برای دو نسبت تداخل ۱/۵ و ۴/۷ درصد (الف) بار ۱۵KN (ب) بار ۶KN. ۹۱.....
- شکل (۳-۲۷): توزیع مقدار نرمالایز شده B در کمترین سطح مقطع برای دو نسبت تداخل ۱/۵ و ۴/۷ درصد (الف) بار ۱۵KN (ب) بار ۶KN. ۹۲.....
- شکل (۴-۱): نمودار تنش-عمر در بارهای پایین برای نمونه‌های (الف) ۴/۷ درصد (ب) ۱/۵ درصد. ۹۵
- شکل (۴-۲): نمودار تنش-عمر در بارهای پایین برای نمونه‌های (الف) ۴/۷ درصد (ب) ۱/۵ درصد. ۹۶
- شکل (۴-۳): توزیع تنش طولی بار ۶KN در کوچک‌ترین سطح مقطع به ترتیب در صفحه‌ی ورودی، میانی و خروجی (الف) انبساط سرد (ب) تداخل. ۹۷.....
- ۹۸..... ۹۷

- شکل (۴-۴): توزیع تنش طولی بار ۱۵KN در کوچک‌ترین سطح مقطع به ترتیب در صفحه‌ی ورودی، میانی و خروجی (الف) انبساط سرد (ب) تداخل. ۹۸
- شکل (۵-۴): مقایسه توزیع (الف) دامنه تنش (ب) تنش میانگین در نمونه‌های تداخل و انبساط سرد بار ۶KN در کوچک‌ترین سطح مقطع به ترتیب در صفحه‌ی ورودی، میانی و خروجی. ۱۰۰
- شکل (۶-۴): مقایسه توزیع (الف) دامنه تنش (ب) تنش میانگین در نمونه‌های تداخل و انبساط سرد بار ۱۵KN در کوچک‌ترین سطح مقطع به ترتیب در صفحه‌ی ورودی، میانی و خروجی. ۱۰۱
- شکل (۷-۴): نمودار عمر پیش‌بینی شده - عمر تست‌های تجربی. ۱۰۳
- شکل (۸-۴): طول ترک اولیه بدست آمده (الف) نمونه‌های دارای تداخل (ب) نمونه‌های بدون تداخل. ۱۰۴
- شکل (۹-۴): نسبت عمر مرحله جوانه زنی (الف) نمونه‌های دارای تداخل (ب) نمونه‌های بدون تداخل. ۱۰۵
- شکل (۱۰-۴): پیش‌بینی منحنی‌های نرخ رشد ترک با استفاده از AFGROW (A) مدل NASGROW (B) مدل FORMAN (C) مدل WALKER برای دو بار بار ۱۲ و ۱۶KN. ۱۰۶
- شکل (۱۱-۴): منحنی نرخ رشد ترک بار ۱۶KN با ۴/۷ درصد تداخل. ۱۰۷
- شکل (۱۲-۴): مقایسه عمرهای پیش‌بینی شده و عمرهای تجربی. ۱۰۷

فهرست جداول

- جدول ۱-۱. خلاصه‌ای از فرضیات و ساده سازی‌های مورد استفاده قرار گرفته در مدل‌های تحلیلی [۱۸]..... ۱۴
- جدول ۱-۲. مشخصات مکانیکی AL 2024-T3 ۴۶
- جدول ۲-۲. مشخصات مکانیکی AL 7075-T6 ۴۷
- جدول ۳-۲. نیروهای ماکزیمم انتخابی برای بارگذاری‌های سیکلی به همراه تنش ماکزیمم..... ۵۵
- جدول ۴-۲. نتایج تست‌های خستگی برای نمونه‌های بدون تداخل..... ۵۶
- جدول ۵-۲. نتایج تست‌های خستگی برای نمونه‌های ۱/۵ درصد انبساط سرد..... ۵۶
- جدول ۶-۲. نتایج تست‌های خستگی برای نمونه‌های ۴/۷ درصد انبساط سرد..... ۵۷
- جدول ۷-۲. نتایج تست‌های خستگی برای نمونه‌های ۱/۵ درصد تداخل..... ۵۷
- جدول ۸-۲. نتایج تست‌های خستگی برای نمونه‌های ۴/۷ درصد تداخل..... ۵۸
- جدول ۱-۳. داده‌های تنش- کرنش AL7075-T6 , AL2024-T3 ۶۷

فصل اول:

پایه‌های نظری و پیشینه‌ی پژوهش

۱.۱ مقدمه

۲.۱ اتصالات مکانیکی

۳.۱ روش‌های مکانیکی بهبود عمر خستگی

۴.۱ تکنیک تداخل

۵.۱ تکنیک انبساط سرد

۶.۱ روش‌های رایج انبساط سرد

۷.۱ اندازه‌گیری تنش‌ها

۸.۱ توزیع تنش پسماند

۹.۱ عوامل موثر در توزیع تنش‌های پسماند

۱۰.۱ رفتار خستگی تداخل و انبساط سرد

۱۱.۱ تخمین عمر

۱.۱ مقدمه

امروزه صنایع هوا و فضا و صنایع مرتبط آن به عنوان یکی از مهم ترین زمینه های علم مهندسی می باشد. در طراحی و ساخت قطعات و اجزاء سازه های هوایی دو فاکتور کاهش وزن قطعات و افزایش عمر قطعات (افزایش مقاومت به خستگی و شکست) به عنوان اهداف اولیه و اصلی طراحان بوده است. خستگی^۱ یکی از عوامل اصلی در واماندگی اتصالات مکانیکی و صفحات در صنایع هوافضا و صنایع اتومبیل سازی می باشد. پدیده خستگی در اثر بارگذاری متغیر به زمان رخ می دهد. چنین بارگذاری را بارگذاری سیکلی^۲ یا بارگذاری خستگی می نامند. بارگذاری سیکلی عموماً در عمل به صورت نامنظم رخ می دهد.

مسأله خستگی به عنوان عامل اصلی در خرابی قطعات مکانیکی و صنایع هوا و فضا شناخته شده است. این خرابی ها علاوه بر خسارت های اقتصادی فراوان موجب تلفات جانی سنگینی نیز شده است. از آن جا که مکانیزم دقیق پدیده خستگی هنوز به طور کامل مشخص نشده است همه روزه روش های جدیدی برای جلوگیری از این پدیده توسط طراحان و مهندسان ارائه و ابداع می شود. بسیاری از قطعات مورد استفاده در بدنه هواپیما با ایجاد سوراخ هایی در اجزاء توسط پرچ، پین و یا پیچ به هم بسته می شود. از مزیت های این اتصالات می توان به مقاومت بسیار بالا در برابر خستگی نسبت به سایر اتصالات مانند جوش و همچنین قابل تعویض بودن این اتصالات اشاره نمود. اما این اتصالات با وجود مزیت های فراوان دارای معایبی نیز می باشند. ناپیوستگی های هندسی در پی عملیات سوراخ کاری در این نوع اتصالات سبب ایجاد تمرکز تنش^۳ می شود. بنابراین در هنگام اعمال بارگذاری سیکلی احتمالی ایجاد و گسترش ترک خستگی^۴ افزایش می یابد. از اینرو ضروری است که با استفاده از روش هایی از تأثیر تمرکز تنش کاسته شود. تکنیک های گوناگونی برای این منظور به کار گرفته شده است که با ایجاد یک ناحیه تنش پسماند در اطراف سوراخ از شدت تمرکز تنش بکاهند.

۲.۱ اتصالات مکانیکی

اتصالات مکانیکی که ترکیبی از پیچ ها، پین ها یا پرچ ها می باشند به طور گسترده ای در سازه های هوافضایی به خصوص در هواپیما مورد استفاده قرار می گیرند. این اتصالات برای تسهیل انتقال بار در

1-Fatigue

2-Cyclic loading

3-Stress concentration

4-Fatigue crack

قسمت‌های مختلف سازه‌های هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این اتصالات ذاتاً به خستگی آسیب پذیرند و به خاطر وجود سوراخ مستعد شروع و گسترش ترک خستگی در طول بارگذاری تناوبی‌اند. این اتصالات برای تسهیل انتقال بار در قسمت‌های مختلف سازه‌های هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اتصالات مکانیکی به دو دسته طبقه بندی می‌شوند:

۱- اتصالات جدا شدنی

۲- اتصالات پایا

اتصالات جدا شدنی به اتصالات اطلاق می‌گردد که قادر به باز و بسته شدن دو باره بدون ایجاد آسیب به سازه می‌باشند مانند اتصالات پیچی. از جمله پر کاربردترین اجزای سازه‌های هوا فضایی می‌توان به اتصالات پیچی و پرچی اشاره کرد که به دلیل سادگی سر هم کردن وامکان جداکردن، به اتصالات دیگر ارجحیت دارند. اتصالات پایا اتصالاتی می‌باشند که دائمی بوده و نمی‌توان آن‌ها را باز و بسته نمود.

۱.۲.۱ اتصال تک لبه

این نوع اتصال، از اتصال دو لبه تشکیل شده و به علت اینکه مسیر انتقال بار متقارن نمی‌باشد پیچیده‌تر می‌باشد. در این نوع اتصال گشتاور خمشی به خاطر هندسه اتصال ایجاد گردیده و باعث خمش اعضا و صفحات اتصال می‌شود. هنگامی که اتصال بارگذاری می‌شود پیچ در سطح داخلی اعضا و صفحات اتصال به چرخش درمی‌آید که این چرخش باعث می‌شود عضو و صفحه‌ی اتصال در دو ناحیه پیچ تغییر شکل یابند.

۲.۲.۱ اتصال دو لبه

در یک اتصال دو لبه دو عضو توسط یک صفحه بالایی و یک صفحه پایینی به هم بسته می‌شوند. این نوع اتصال برعکس اتصال تک لبه به علت اینکه هم از لحاظ بارگذاری و هم از لحاظ هندسی متقارن می‌باشد دچار تنش‌های خمشی شده و عمر بیشتری را از لحاظ خستگی دارد.

۳.۱ روش‌های مکانیکی بهبود عمر خستگی

امروزه روش‌های گوناگونی جهت بهبود عمر اتصالات سوراخ‌دار وجود دارد که هدف این روش‌ها تقویت تأثیرات مثبت و در کنار آن تضعیف تأثیرات منفی آن می‌باشد.

سه روش زیر به عنوان روش‌های رایج افزایش عمر خستگی اتصالات سوراخ‌دار می‌باشد.

(^۱) انبساط سرد^۱

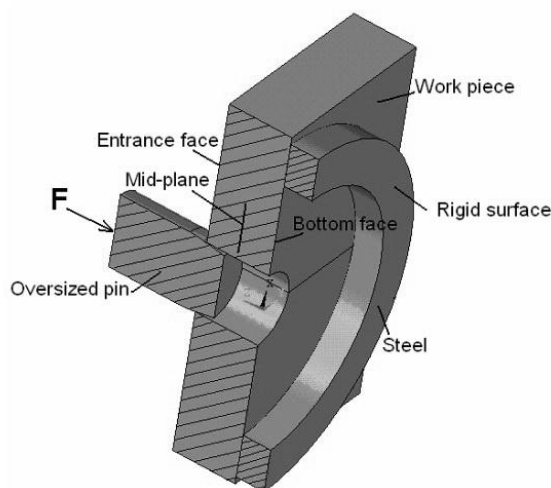
1-Cold expansion

(۲) تداخل^۱(۳) نیروی فشاری پیچ و مهره^۲

در روش انبساط سرد با ایجاد تنش پسماند^۳ و در دو روش دیگر با ایجاد تنش های اولیه^۴ عمر خستگی اتصالات مکانیکی بهبود می یابد. تنش های پسماند به تنش هایی اطلاق می شود که در اثر یک سری عملیات مکانیکی در داخل ماده ایجاد می شوند و با از بین رفتن نیروهای خارجی همچنان در درون ماده باقی می ماند، مانند تنش های ایجاد شده در اثر عملیات جوشکاری. تنش های اولیه نیز همانند تنش های پسماند در اثر عملیات های مکانیکی ایجاد می شوند با این تفاوت که وجود آنها مستلزم وجود نیروهای خارجی می باشد.

۴.۱ تکنیک تداخل

فرآیند تداخل عبارتست از عبور دادن پین از داخل سوراخ به طوری که قطر سوراخ از قطر پین کوچک تر باشد و پین در داخل سوراخ باقی بماند (شکل ۱-۱).



شکل (۱-۱): نحوه انجام فرآیند تداخل.

در نتیجه این عمل ماده پیرامون سوراخ به عقب فشار داده می شود و تنش پسماند محیطی که عموماً به صورت کششی می باشد، در لبه سوراخ ایجاد می شود. این عمل موجب کاهش دامنه تنش سیکلی موضعی می گردد و کاهش دامنه تنش سیکلی موضعی در لبه سوراخ باعث تأخیر در شروع و گسترش ترک های خستگی و در نتیجه افزایش عمر قطعه سوراخ می شود (شکل ۱-۲) [۲ و ۱].

1-Interference fit

2-Bolt clamping

3-Residual stress

4-Pre-stress