٤٢٩٧١

دانشکده مهندسی مکانیک

رفتارخستگی پرهٔ توربین هوایی تحت تنش‌های دینامیکی

۲۸ /۱۰/ ۱۳۸۱

حسین خوشنواز

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

در رشتهٔ

مهندسی مکانیک-طراحی کاربردی

استاد راهنما: دکتر حمیدرضاجاهد مطلق

۶۲۹۷۱

بهمن ماه ۱۳۸۰

تقدیم

به پدر و مادر عزیزم

که در تمام مراحل زندگی مشوق من بودند.

چکیده

موضوع این پروژه آنچنان که از عنوان آن مشخص می‌باشد بررسی عمر پره تحت تنشهای دینامیکی می‌باشد. با مروری بر کارها ی انجام شده روشی که برای بدست آوردن این تنشها و سپس بدست آوردن عمر لازم می‌باشد برگزیده شد. برای بدست آوردن تنشهای دینامیکی نیاز به بدست آوردن دمپینگ سیستم می‌باشد.

آزمایش ارتعاش آزاد و ارتعاش با شرایط مرزی ثابت بر روی پره انجام گرفت تا فرکانسهای طبیعی، شکل مودها و دمپینگ بدست آید برای تست حالت گیردار، فیکسچر متناسب با ریشهٔ پره طراحی وساخته شد. تست آزاد به منظور بهینه نمودن مدل FEM مناسب انجام گرفت.شرایط تکیه گاهی مدل FEM با استفاده از نتایج آنالیز مودال پره با انتهای ثابت بهینه سازی گردید. به این منظور از سه فنر، یکی جانبی و دوتا پیچشی استفاده شد، سختی این فنرها عملاً سختی موجود در تکیه‌گاه را مدل نمود تا فرکانسهای مدل FEM با فرکانسهای تست مطابقت یابد. در نهایت دمپینگ توسط روشهای موجود در آنالیز مودال بدست آمد.

تحلیل آیرودینامیکی بر روی پره انجام گرفت، تا از آن طریق بتوان بارگذاری لازم برای بدست آوردن تنشهای خمشی حاصل از گاز دینامیک را مشخص نمود. پرهٔ مورد نظر در نرم افزار گمبیت ترسم و المان بندی گردید و در نرم افزار فلوئنت تحلیل گردید. پروفیل فشار در حالت دو بعدی و سه بعدی بدست آمد.

تنشهای حاصل از بار گریز از مرکز و آیرو دینامیکی محاسبه گردید که از تنشهای آیرودینامیکی تنشهای دینامیکی محاسبه شدند. در نهایت از تنشهای بدست آمده عمر پره بر اساس دو معیار محاسبه می‌شود.

سپاسگزاری

با سپاس و قدردانی فراوان از جناب آقای دکتر حمید رضا جاهد مطلق استاد ارجمند که از راهنماییهای خالصانهٔ ایشان در انجام این تحقیق بهره مند شدم و با تشکر از جناب آقای دکتر حمید احمدیان که در انجام تستهای مربوطه مرا یاری و راهنمایی فرمودند.

همچنین بر خود لازم می‌دانم که از کلیهٔ دوستان و همکارانم در صنایع هوایی ایران که در مراحل انجام این رساله از همکاریهای بیدریغشان برخوردار بودم صمیمانه تشکر نمایم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه و تاریخچه.

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- تاریخچهٔ موتور جت: ۱

۱-۳- اساس کار موتورهای جت ۲

۱-٤- انواع موتورهای جت: ۳

۱-٤-۱- راکت ۳

۱-٤-۲- توربوجت ٤

۱-٤-۳- توربوفن ٥

۱-٤-٤- توربوپراپ ٥

۱-٤-٥- توربو شفت ٦

۱-٤-٦- رم جت ٦

۱-٥- اجزاء توربین ۷

۱-٥-۱- پره های ساکن (استاتور) ۷

۱-٥-۲- پره های متحرک ۸

۱-٦- مروری بر کارهای انجام شده ۹

۱-۷- اهداف انجام پروژه ۱۲

فصل دوم: آنالیز مودال.

۲-۱- مقدمه ۱٥

۲-۲- سیستمها ۱٥

۲-۳- اصول تئوریک آنالیز مودال: ۱۹

۲-۳-۱- سیستم یک درجه آزادی بدون استهلاک(SDOF): ۱۹

۲-۳-۲- سیستم یک درجه آزادی (SDOF) با استهلاک ویسکوز: ۲۲

۲-۳-۳- سیستم(SDOF) با استهلاک سازه‌ای ۲٤

عنوان صفحه

۲-٤- سیستمهای چند درجه آزادی(MDOF) ۲۵

۲-٤-۱- فرکانسهای طبیعی و شکل مدها ۲۵

۲-٤-۱-۱- سیستم چند درجه آزادی بدون استهلاک(MDOF) ۲۵

۲-٤-۱-۲- خاصیت تعامدی مدهای طبیعی ۲٦

۲-٤-۱-۳- سیستم چند درجه آزادی بدون استهلاک در حالت اجباری ۲۷

۲-٤-۱-٤- سیستم چند درجه آزادی با استهلاک ویسکوز متناسب ۲۹

۲-٤-۱-٥- سیستم چند درجه آزادی با استهلاک سازه‌ای متناسب ۳۰

۲-٤-۱-٦- سیستم چند درجه آزادی بااستهلاک‌سازه‌ای متناسب در حالت‌کلی ۳۱

۲-٥- روشهای بدست آوردن پارامترهای مودال،(فرکانس، استهلاک) ۳۲

۲-٥-۱- روش نصف توان ۳۲

۲-٥-۲- روش بیشترین دامنه ۳۳

۲-٥-۳- روش MAXIMUM QUADRATURE COMPONENTS & QUADRATURE RESPONSE ۳٤

۲-٥-٤- روش کندی پانچو ۳٤

۲-٥-٥- روش معکوس ۳٥

۲-٥-٦- روش دابسون ۳٦

۲-٦- اهداف انجام آزمایش ۳۷

۲-۷- روش تست ۳۷

۲-۷-۱- محرک(EXCITER) ۳۸

۲-۷-۲- HAMMER(چکش) ۳۹

۲-۷-۳- SHAKER ۳۹

۲-۷-٤- حسگر دریافت خروجی ٤۰

۲-۷-٥- پردازشگر ٤۰

۲-۸- بررسی ارتعاش پره ٤۱

۲-۹- مدل سازی حالت آزاد(FEM) ٤۱

۲-۱۰- نتایج آزمایش: ٤۳

۲-۱۱- MASS CANCELLATION ٤٥

۲-۱۲- تاثیر دوران بر فرکانسهای طبیعی ٤۸

۲-۱۲-۱- سخت گردانی تنشی ٤۸

عنوان صفحه

۲-۱۲-۲- نرم گردانی دورانی ٤٨
۲-۱۳- ساخت فیکسچر ٥١
۲-۱٤- تست در حالت کلمپ ٥٢
۲-۱٥- مدل FEM در حالت کلمپ ٥٣
۲-۱٦- عکسهای مربوط به تست..... ٥٥

فصل سوم: تحلیل آیرودینامیکی

۳-۱- مقدمه ٥٨
۳-۲- مدلهای آشفتگی جریان پیچیده ٥٨
۳-۲-۱- مدل لزجت ادی جبری ٥٨
۳-۲-۲- مدل $k-\varepsilon$ ٥٩
۳-۲-۳- مدل تنش رینولدز (RSM) ٥٩
۳-۳- شرایط مرزی ٦٠
۳-۳-۱- مرزهای سطوح جامد(دیواره) ٦٠
۳-۳-۲- شرایط مرزی ورودی وخروجی..... ٦١
۳-۳-۳- شرایط مرزی پریودیک یا تناوبی ٦٢
۳-٤- روشهای حل معادلات حاکم بر جریان ٦٢
۳-٤-۱- روش حل جداگانه ٦٣
۳-٤-۲- روش حل همزمان(COUPLED) ٦٤
۳-٥- حل پرهٔ نمونه در نرم افزار فلوئنت..... ٦٤
۳-٥-۱- مشخصات پروفیل پره ٦٥
۳-٥-۲- شرایط عمومی جریان..... ٦٦
۳-٥-۳- ایجاد هندسه و تولید شبکه برای پره مورد آزمایش ٦٦
۳-٥-٤- شرایط مرزی وحل..... ٦٩
۳-٥-٥- مقایسهٔ توزیع ماخ و نتیجه‌گیری..... ٧٢
۳-٦- مدل کردن پرهٔ مورد نظر در پروژه در حالت دو بعدی..... ٧٣

عنوان صفحه

۷-۳- مدل کردن پرهٔ مورد نظر در پروژه در حالت سه بعدی ۷۶

۸-۳- مقایسهٔ حالت دو بعدی و سه بعدی ۷۷

فصل چهارم: تئوری استحکامی پره

۱-٤- مقدمه ۸۰

۲-٤- خصوصیات هندسی مقطع پره ۸۰

۳-٤- خواص مواد ۸۱

۱-۳-٤- ترکیب شیمیایی ۸۲

۲-۳-٤- خواص مکانیکی ۸۲

٤-٤- تنشهای حاصل از بار گریز از مرکز ۸۳

۱-٤-٤- تنش گریز از مرکز بدون در نظر گرفتن افست ۸۳

۲-٤-٤- تنشهای حالت افست ۸۵

۱-۲-٤-٤- ممانهای خمشی مماسی بر اثر افست ۸۵

۲-۲-٤-٤- ممان خمشی در راستای محوری بر اثر افست: ۸۷

۳-۲-٤-٤- تنشهای خمشی افست ۸۷

٥-٤- تنشهای آیرودینامیکی ۸۹

۱-٥-٤- محاسبهٔ تنش آیرودینامیکی توسط فرمولهای مثلث سرعت ۸۹

۱-۱-٥-٤- محاسبهٔ نیروها ۹۱

۲-۱-٥-٤- محاسبهٔ ممانها ۹۱

۳-۱-٥-٤- محاسبهٔ تنشها ۹۲

۲-٥-٤- محاسبهٔ تنشهای آیرودینامیکی توسط پروفیل فشار استاتیکی ۹۳

٦-٤- تنشهای دینامیکی ۹٥

۷-٤- تحلیل استحکامی پرهٔ مورد نظر ۹۷

فصل پنجم: تحلیل خستگی

۲-٥- S-N دیاگرام ۱۰۲

عنوان صفحه

۳-۵- تعیین عمر از دیدگاه تنش کرنش محلی ۱۰۳
۱-۳-۵- منحنی تنش کرنش سیکلی ۱۰۳
۲-۳-۵- رابطهٔ تنش کرنش محلی ۱۰۴
۳-۳-۵- روشهای موجود برای محاسبه k_f ۱۰۵
۴-۳-۵-پیش‌بینی عمر بر اساس روش COFFIN-MANSON ۱۰۷
۵-۳-۵- خواص خستگی ماده ۱۰۸
۴-۵- تعیین عمر بر اساس معیار تنش ۱۰۹
۱-۴-۵- ضریب سطح K_A (SURFACE FACTOR) ۱۱۱
۲-۴-۵- ضریب اندازه K_B (SIZE FACTOR) ۱۱۱
۳-۴-۵- ضریب اعتماد K_C (RELIABILITY FACTOR) ۱۱۲
۴-۴-۵- ضریب دما K_D (TEMPRATURE FACTORE) ۱۱۳
۵-۴-۵- ضریب تمرکز تنش K_E (STRESS CONCENTRTION FACTOR) ۱۱۳
۶-۴-۵- اثرهای دیگر K_F ۱۱۴
۷-۴-۵- اثر تنش متوسط ۱۱۴
۱-۷-۴-۵- رابطهٔ خطی گودمن (Godman) ۱۱۵
۲-۷-۴-۵- رابطهٔ سادر برگ(Saderberg) ۱۱۵
۳-۷-۴-۵- رابطهٔ گربر(Gerber) ۱۱۵
۴-۷-۴-۵- رابطهٔ مارین(Marin) ۱۱۵
۵-۷-۴-۵- رابطهٔ باکسی(Bagci) ۱۱۵
۸-۴-۵- برنامهٔ تخمین عمر ۱۱۶
۵-۵- تحلیل خستگی پرهٔ مورد نظر ۱۱۹
۱-۵-۵- حالت رزونانس ۱۱۹
۲-۵-۵- حالت غیر رزونانس ۱۲۰
بحث و نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۲۲
پیوست ۱۲۵
مراجع ۱۳۳

فهرست اشکال

عنوان — صفحه

۱-۱- تولید کنندهٔ گاز ۳
۱-۲- شماتیک راکت ٤
۱-۳- توربوجت ٤
۱-٤- توربوفن ٥
۱-٥- توربوپراپ ٦
۱-٦- توربوشفت ٦
۱-۷- رم جت ۷
۱-۸- پره‌های ساکن و متحرک ۸
۱-۹- تنش گریز از مرکز ۹
۱-۱۰- SETUP آزمایش FAN ۱۰
۲-۱- تقسیم بندی از لحاظ نوع سیگنالها ۱۸
۲-۲- نمودار مکان زمان در استهلاک‌های مختلف ۲۳
۲-۳- نمودار اندازه وفاز دز مقادیر مختلف فاز ۲٤
۲-٤- موبیلیتی نقطه و موبیلیتی انتقال ۲۸
۲-٥- دیاگرام نصف توان ۳۳
۲-٦- دیاگرام نایکویست ۳٤
۲-۷- دیاگرام نایکویست در جهت بدست آوردن استهلاک ۳٥
۲-۸- نمودار قسمتهای حقیقی و موهومی ۳۷
۲-۹- شماتیک سیتستم تست ۳۸
۲-۱۰- شکل چکش ۳۹
۲-۱۱- شتاب سنج ٤۰
۲-۱۲- پردازشگر ٤۰
۲-۱۳- مدل FEM پره ٤۲
۲-۱٤- محل فیلت ٤۲
۲-۱٥- مدل جرم متمرکز ٤٤
۲-۱٦- مدل جرم گسترده ٤٤

۱۷-۲- پاسخ برنامه بعد از حذف کردن اثر جرمها ٤٧
۱۸-۲- شکل شماتیک جرم و فنر ٤٩
۱۹-۲- تاثیر دوران بر فرکانس ٥٠
۲۰-۲- فیکسچر ٥١
۲۱-۲- نمودار پاسخ فرکانسی برای دو پره ٥٢
۲۲-۲- مدل استفاده شده در بهینه سازی ٥٤
۲۳-۲- پره‌ها-HAMMER-شتاب‌سنج ٥٥
۲٤-۲- عکس SET UP آزمایش ٥٥
۲٥-۲- تست حالت کلمپ ٥٦
۲٦-۲- تست حالت آزاد ٥٦
۱-۳- شرایط مرزی ٦٠
۲-۳- پروفیل پره ٦٥
۳-۳- شرایط آزمایش ٦٦
٤-۳- مسیر کانال پره ٦٨
٥-۳- عدد ماخ بدست آمده از آزمایش ۷۳
٦-۳- عدد ماخ بدست آمده از حل عددی ۷۳
۷-۳- ناحیهٔ گذر جریان ۷٤
۸-۳- پروفیل فشار پره در حالت دوبعدی ۷٥
۹-۳- نمودار فشار اطراف دیواره پره ۷٥
۱۰-۳- ناحیه گذر جریان در حالت سه بعدی ۷٦
۱۱-۳- پروفیل فشار در حالت سه بعدی ۷۷
۱۲-۳- پروفیل فشار در مقطع میانی در حالت دوبعدی و سه بعدی ۷۷
۱-٤- پارامترهای استفاده شده در محاسبات ۸٠
۲-٤- جهت مورد استفاده در محاسبات ۸۱
۳-٤- حد گسیختگی در ۱۰۰۰ ساعت ۸۲
٤-٤- شکل شماتیک استفاده شده در ۸٤
٥-٤- خروجی برنامهٔ تنش گریز از مرکز ۸٥
٦-٤- شکل تغییرات شعاعی ۸٦
۷-٤- اختلاف محوری ۸۷

۸-٤- خروجی برنامهٔ تنشهای افست ۸۹
۹-٤- اشکال مثلث سرعت ۹۰
۱۰-٤- فایل خروجی تنشهای گاز دینامیک ۹۳
۱۱-٤- پروفیل انتقال یافته به نرم‌افزار ANSYS ۹٤
۱۲-٤- دیاگرام کمبپل ۹٥
۱۳-٤- نمودار بارگذاری دینامیکی ۹٦
۱٤-٤- تنشهای گریز از مرکز ون میسز از ANSYS ۹۸
۱٥-٤- کانتور تنشهای گاز دینامیک از نرم افزار ANSYS ۹۹
۱-٥- دیاگرام S-N ۱۰۲
۲-٥- نمودار پارامتر نیوبر(ρ_N) ۱۰٥
۳-٥- نمودار پارامتر پیترسون و هریس ۱۰٦
٤-٥- نمودار ضریب هیوود ۱۰۷
٥-٥- دیاگرام کرنش بر حسب عمر ۱۰۸
٦-٥- نمودارضریب سطح بر حسب حدشکست ۱۱۱
۷-٥- ضریب حساسیت به ناچ بر حسب حد شکست ۱۱۳
۸-٥- نمودار روشهای مختلف تصحیح تنش متوسط ۱۱٤

فهرست جداول

عنوان | صفحه

۱-۲- تقسیم بندی پاسخ فرکانسی ۲۱
۲-۲- حالت‌های مختلف سیستم ۳۲
۳-۲- فرکانس از حل FEM ٤۳
٤-۲- نتایج آزمایش آزاد ٤۳
٥-۲- مقایسهٔ نتایج آزمایشی و تحلیل ٤٥
٦-۲- نتایج MASS CANCELLATION (حذف جرم) ٤۸
۷-۲- نتایج در سرعت‌های مختلف ٥۱
۸-۲- نتایج بدست آمده از روشهای مختلف ٥۳
۹-۲- فرکانس‌های تصحیح شده ٥٤
۱۰-۲- فرکانسهای سیستم ٥٥
۱-۳- پارامترهای شرایط آزمایش ٦٦
۲-۳- مختصات نقاط پروفیل پره (بی‌بعد) ٦۷
۱-٤- ترکیب شیمیایی ۸۲
۲-٤- خصوصیات مکانیکی RENE`80 ..... ۸۳
۳-٤- مقایسهٔ نتایج نرم‌افزار ANSYS و برنامه ۹۸
٤-٤- مقایسهٔ تنشهای گاز دینامیک ۹۹
۱-٥- عمر بر اساس معیار کرنش حالت رزونانس ۱۱۹
۲-٥- عمر بر اساس معیار تنش ۱۲۰
۳-٥- عمر بر اساس معیار کرنش حالت غیر رزونانس ۱۲۱
٤-٥- عمر بر اساس معیار تنش حالت غیر رزونانس ۱۲۱

فصل اول

مقدمه و تاریخچه