٣٩٨١٠

۱۳۸۰ /۱۲/ ۱۹

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکدهٔ مهندسی مکانیک

016154

عنوان پروژه :

طراحی بهینه دیسک دوار با ضخامت متغیر در دمای بالا

دانشجو :

عبدالحسین محرابیان

پایان نامه جهت دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد

در رشتهٔ مهندسی مکانیک

استاد راهنما :

دکتر حمید رضا جاهد مطلق

استاد مشاور :

دکتر بهروز فرشی

آذرماه ۱۳۸۰

۳۰۹۸۱

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم به پاس زحمات
بی‌دریغشان در مسیر تحصیل و زندگیم

در

گردیده

(پروفیا

آخرین

چکیده :

دیسک دوار به علت کاربردهای فراوانی که در صنعت دارد از دیرباز زمینه تحقیقات و مطالعات متعددی بوده است از جمله این کاربردها می توان به دیسک توربین گاز اشاره نمود. دیسک توربین گاز اغلب تحت گرادیان های دمایی بالا و سرعت زاویه ای زیاد کار می کند. سرعت زاویه ای بالا باعث ایجاد نیروهای گریز از مرکز بالا در دیسک می گردد و همزمان با آن دمای بسیار زیاد ، منجر به کاهش مقاومت ماده سازنده دیسک می شود که این امر خود باعث افزایش تنش ها در دیسک می‌شود لذا برای تحلیل مطمئن و قابل قبول از دیسک و بدست آوردن تنش های ایجاد شده در دیسک ، بایستی روشی برای حل استفاده گردد که بتواند تغییرات رفتار ماده را متناسب با دما در نظر بگیرد که بدین منظور از تبدیل دیسک غیر همگن با ضخامت متغیر به تعداد محدودی حلقه با ضخامت ثابت و تعیین تنش ها در هر حلقه و سپس بر هم نهی حلقه ها و رسیدن به توزیع تنش نهایی در دیسک استفاده گردیده است.

از طرفی بهینه کردن ، پارامترهایی همچون وزن از جمله مواردیست که در طراحی و ساخت روتور توربین گاز مورد نظر می باشد. در این تحقیق پس از محاسبه تنش ها ، پروسه بهینه سازی دیسک آغاز می گردد. برای تعیین پروفیل بهینه دیسک از روش کره محاطی استفاده گردیده است که از مهمترین مزایای این روش ، سرعت همگرایی بالا و دقت روش برای رسیدن به نقطه بهینه در محدودیت های غیر خطی می باشد. در این پروسه بردار طراحی ضخامت متوسط هر حلقه دیسک تابع هدف وزن دیسک و محدودیت های بهینه سازی پایین تر بودن تنش ایجاد شده در حلقه ها از حد تحمل ماده می باشد.

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم که از اساتید راهنمای خود آقایان دکتر حمیدرضا جاهد مطلق و دکتر بهروز فرشی به پاس زحمات زیاد ، حمایت پیوسته و راهنماییهای ارزنده شان در انجام این پروژه تشکر نمایم.

همچنین از آقایان دکتر سعید سهراب پور و دکتر صدیقی که زحمت مطالعه و بررسی و شرکت در جلسه دفاعیه اینجانب را پذیرفتند کمال تشکر را دارم.

از آقایان مهندس شرکتی ، مهندس شمسایی و مهندس یزدان مهر که در انجام این پروژه مرا یاری نمودند سپاسگزارم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱- کلیات	۲
۱-۲- تاریخچه	۳
۱-۲-۱- تاریخچهٔ تحلیل الاستیک دیسک دوار	۳
۱-۲-۲- تاریخچهٔ تحلیل الاستیک - پلاستیک دیسک دوار	۴
۱-۲-۳- تاریخچهٔ بهینه سازی دیسک دوار	۵
۱-۳- اهداف و تعریف مسأله	۷
۱-۴- مروری بر مطالب ارائه شده	۷
فصل دوم : حل ترموالاستیک دیسک دوار	۹
۲-۱- شرایط ترمومکانیکی حاکم بر دیسک توربین گاز در حین کار	۱۰
۲-۲- روش حل الاستیک دیسک دوار	۱۱
۲-۳- معادلات حاکم بر رفتار ترموالاستیک دیسک دوار	۱۲
۲-۳-۱- معادله تعادل	۱۳
۲-۳-۲- معادلات سازگاری	۱۴
۲-۳-۳- معادله دیفرانسیل حاکم بر دیسک دوار	۱۵
۲-۴- تابع توزیع دما در دیسک دوار	۱۶
۲-۵- حل ترموالاستیک دیسک دوار غیر همگن با ضخامت متغیر	۱۷
فصل سوم : بهینه سازی	۲۷
۳-۱- تاریخچه بهینه سازی	۲۸
۳-۲- تعریف یک مسأله از دید بهینه سازی	۲۹

فهرست مطالب (ادامه)

عنوان	صفحه
۳-۳- جهت عملی و جهت قابل قبول در بهینه سازی	۳۱
۳-۴- دسته بندی مسایل بهینه سازی بر مبنای وجود محدودیت ها	۳۳
۳-۴-۱- مسایل بهینه سازی نامقید	۳۳
۳-۴-۲- مسایل بهینه سازی مقید	۳۴
۳-۵- روش های متداول حل مسایل بهینه سازی مقید	۳۵
۳-۵-۱- روش استفاده از جهت قابل قبول برای بهینه سازی	۳۵
۳-۵-۲- روش تابع پنالتی در حل مسایل بهینه سازی مقید	۳۷
۳-۵-۲-۱- روش حل تابع پنالتی بیرونی	۳۸
۳-۵-۲-۲- روش حل تابع پنالتی درونی	۳۹
۳-۵-۳- روش حل برنامه ریزی خطی مکرر	۳۹
۳-۵-۴- روش حل کره محاطی	۴۰
۳-۵-۵- روش حل برنامه ریزی خطی در حل مسائل بهینه سازی مقید	۴۵
۳-۶- مقایسه بین روش های حل مسائل بهینه سازی مقید	۴۹
فصل چهارم : بهینه سازی دیسک توربین گاز تحت گردیان دمایی	۵۳
۴-۱- جایگاه بهینه‌سازی دیسک متقارن توربین گاز در طراحی نهایی‌دیسک توربین	۵۴
۴-۲- معرفی روش استفاده شده در این پروژه برای بهینه سازی دیسک	۵۵
۴-۳- معرفی الگوریتم حل‌دیسک توربین تحت گرادیان دمایی	۵۸
۴-۴- پارامترهای مهم پروسه بهینه‌سازی دیسک	۶۲
۴-۵- مثالها	۶۴
۴-۵-۱- مقایسه دیسک بهینه مطرح شده در مرجع [30] با دیسک بهینه شده بـه کمک روش حاضر	۶۴

فهرست مطالب (ادامه)

عنوان	صفحه
۲-۵-۴- مقایسه دیسک بهینه مطرح شده در مرجع [19] (دیسک توربین طلوع ۴) با دیسک بهینه شده به کمک روش حاضر	۶۷
۶-۴- مقایسه همگرایی جواب ها در الگوریتم بهینه سازی مطرح شده به ازای نقاط شروع مختلف	۷۱
فصل پنجم : بحث و نتیجه گیری	۸۰
۱-۵- کلیات	۸۱
۲-۵- مروری بر روش ارائه شده	۸۲
۳-۵- اعتبار روش	۸۳
۴-۵- نتیجه گیری	۸۳
۵-۵- کارهای آتی	۸۴
فهرست منابع	۹۱
ضمائم و پیوستها	۹۲
ضمیمه یک : حل یک مسئله بهینه‌سازی به روش برنامه‌ریزی خطی	۹۳
ضمیمه دو : روش تشکیل‌الگوریتم کرهٔ محاطی در بهینه‌سازی دیسک توربین گاز	۹۶
ضمیمهٔ سه : متن برنامهٔ بهینه سازی دیسک توربین گاز به روش کرهٔ محاطی	۹۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۲ : پروفیل دیسک دوار و نیروهای وارد بر یک المان ۱۲

شکل ۲-۲ : (الف) دیسک دوار ، (ب) حلقه در یک دیسک دوار ۱۷

شکل ۳-۲ : نمودار روش حل الاستیک دیسک متقارن ۲۲

شکل ۴-۲ : مقایسهٔ جابجایی بدست آمده از روش ارائه شده با حل دقیق آن برای یک دیسک الاستیک برای ۵ حلقهٔ مجزا ۲۵

شکل ۵-۲ : مقایسهٔ تنشهای بدست آمده از روش ارائه شده با حل دقیق آنها برای یک دیسک الاستیک برای حلقهٔ مجزا ۲۵

شکل ۱-۳ : نمایش جهت عملی و جهت قابل قبول در بهینه سازی ۳۱

شکل ۲-۳ : نمایش تابع هدف و محدودیت ها در روش کره محاطی ۴۱

شکل ۳-۳ : نمایش مرحله دوم پروسه بهینه سازی در روش کرهٔ محاطی ۴۲

شکل ۴-۳ : نمایش تابع هدف و محدودیت ها و جهت حرکت در پروسه بهینه سازی به روش کره محاطی ۴۲

شکل ۵-۳ : نمایش تابع هدف جدید در روش حل تابع پنالتی خارجی برای مقادیر مختلف r_p ۵۰

شکل ۶-۳ : نمایش نقطه بهینه واقعی و نقطه بهینه سازی بدست آمده از الگوریتم برنامه ریزی خطی مکرر ۵۲

شکل ۱-۴ : نمودار روش بهینه سازی دیسک متقارن ۶۱

شکل ۲-۴ : پروفیل دیسک قبل از شروع پروسه بهینه سازی ۶۵

شکل ۳-۴ : پروفیل دیسک بعد از انجام پروسه بهینه سازی ۶۵

فهرست اشکال (ادامه)

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۴ : مقایسه پروفیل اولیه و پروفیل نهایی بدست آمده توسط مقاله و توسط روش ارائه شده در این تحقیق ۶۸

شکل ۴-۵ : توزیع تنش ایجاد شده در پروفیل نهایی بهینه سازی شده ۶۹

شکل ۴-۶ : (الف) پروفیل ضخامت دیسک ، (ب) توزیع دما روی دیسک ۷۰

شکل ۴-۷ : مقایسه پروفیل دیسک طلوع ۴ با پروفیل بهینه بدست آمده توسط روش ارائه شده در این تحقیق ۷۲

شکل ۴-۸ : نمایش پروفیل اولیه دیسک برای ورودی های متفاوت ۷۵

شکل ۴-۹ : نمایش پروفیل بهینه نهایی به ازای ۴ دسته پروفیل اولیه متفاوت ۷۶

شکل ۴-۱۰ : نمایش توزیع تنش نهایی در ۴ پروفیل نهایی بدست آمده ۷۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۴ : تغییرات مشخصه های فیزیکی و رفتار ماده با دما برای Inconel 713LC ۷۰

فصل اول

مقدمه

فصل اول : مقدمه

۱-۱- کلیات

دیسک دوار به علت کاربردهای فراوانی که در صنعت دارد ، از دیرباز زمینه تحقیقات و مطالعات متعددی بوده است. از جمله کاربردهای دیسک دوار می توان به دیسک‌های توربین[1] و کمپرسورهای[2] توربین های گازی اشاره نمود. دیسک توربین گاز اغلب تحت گرادیان های دمایی بالا و سرعت زاویه‌ای زیاد کار می‌کند ، سرعت زاویه ای بالا باعث ایجاد نیروی گریز از مرکز بزرگ در دیسک می‌گردد و همزمان با آن ، دمای بسیار زیاد ، منجر به کاهش مقاومت ماده سازنده دیسک می شود که این خود باعث افزایش تغییرشکل در دیسک می گردد ، برای تحلیل مطمئن و قابل قبول از دیسک و بدست آوردن تنش های ایجاد شده ، باید روشی برای حل استفاده گردد که بتواند تغییرات رفتار ماده را متناسب با دما در نظر بگیرد.

از طرفی بهینه کردن پارامترهایی همچون وزن از جمله مواردیست که در طراحی و ساخت دیسک توربین گاز علی الخصوص در موتورهای هوایی مورد نظر می باشد. در این پروسه بایستی پارامترهایی مانند عمر خستگی و تنش ایجاد شده در دیسک کنترل گردد تا کاهش وزن ، محدودیت های فیزیکی مسأله را نقض ننماید.

تحقیق حاضر به بیان روشی برای بهینه سازی دیسک توربین گاز پرداخته و حول این مسئله بنا شده است که چگونه وزن دیسک توربین گاز را کمینه نماییم بطوریکه محدودیت های تنش (پایین‌تر بودن تنش از حد تحمل ماده) را ارضا نماید و هندسه دیسک را نیز در محدوده قابل قبول نگهدارد.

1- Turbine Wheel
2- Compressor Discs

۲-۱- تاریخچه

۱-۲-۱- تاریخچه تحلیل الاستیک دیسک دوار

حل تحلیلی دیسک دوار متقارن و همگن با ضخامت ثابت ، هنوز نیز به عنوان یک روش استاندارد در کتب مختلف الاستیسیته نظیر کتاب تیموشنکو[۱] [۱] موجود است. برای بررسی و محاسبه تنش‌های موجود در یک دیسک دوار با ضخامت متغیر ، لئوپولد[۲] [۲] روشی نیمه ترسیمی را برای محاسبه تنشهای الاستیک در دیسک پیشنهاد کرده است. با افزایش کاربرد روش های عددی و استفاده از کامپیوتر در محاسبات عددی ، روش های عددی فراوانی برای حل مسأله دیسک با ضخامت متغیر مورد مطالعه قرار گرفت که از آن جمله می توان به موارد ذیل اشاره کرد :

روش تفاضل محدود مانسون[۳] [۳] ، روش تکرار دوم شیلزکی[۴] ، روش المان محدود جنتا[۵] و همکاران [۵] ، روش حل متوالی مندلسون[۶] [۶] و روش المان مرزی عبدالمحسن[۷] و همکارانش[۷].

یوان یه و هان[۸] [۸] یک فرمولبندی سیستماتیک را برای تعیین تنش های الاستیک در یک دیسک دوار غیر همگن با ضخامت دلخواه متغیر تحت بار حرارتی ارائه نموده اند که در این روش دیسک غیر همگن با ضخامت متغیر به تعداد محدودی حلقه با ضخامت و خواص ثابت تخمین زده می شود و حل مستقل بسته ای برای آن استخراج می گردد. روش معمول تجزیه همان است که توسط لئوپولد و دیگران ارائه شده و منجر به تشکیل یک سیستم معادلات جبری می شود که نیازمند

1- Timoshenkov
2- Leopold
3- Manson
4- Shilizki
5- Genta
6- Mendelson
7- Abdol - Mishein
8- Yuan Yeh & Huan

شیوه ای عددی برای حل می باشد ، اما در این روش ، شرایط پیوستگی در محل اتصال هر دو حلقه مجزا بر حسب شرایط مرزی کل مسأله بیان می شود. بنابراین بجای یک سیستم معادلات جبری ، تنها یک معادله فارغ از تعداد حلقه های بکار رفته در تجزیه دیسک بدست می آید. این مفهوم بسیار مفید برای برخورد تحلیلی با دیسک دوار غیر همگن با ضخامت متغیر بکار می رود. این روش مبنای کار جاهد - شرکتی [۹] در تعیین تنشهای الاستیک و پلاستیک در دیسک بوده است. همچنین لازم به ذکر است دقت این روش بستگی به تعداد حلقه های بکار رفته در تجزیه دیسک دارد و با افزایش تعداد حلقه ها ، دقت حل زیاد می‌گردد.

۲-۲-۱- تاریخچهٔ تحلیل الاستیک پلاستیک دیسک دوار

اولین تحلیل تفصیلی الاستیک - پلاستیک توسط مانسون و میلنسون[1] [10] صورت گرفت که تنش های الاستیک - پلاستیک را در یک دیسک توربین گاز از روش تفاضل محدود بدست آورند و شیوه ای عددی را برای تحلیل خود بکار بردند. اولین برخورد مدرن برای یک دیسک الاستیک - پلاستیک توخالی با سخت شوندگی خطی تحت فشار خارجی توسط گامر[2] صورت گرفت [11-14]. در این تحلیل ضخامت و خواص مادی دیسک ثابت فرض شده و برای ماده ای با سخت شوندگی خطی برمبنای معیار تسلیم ترسکا ، تنش های ایجاد شده در دیسک محاسبه شده است. پاسخ تحلیلی برای تنش ها و جابجایی های شعاعی در یک دیسک دوار توخالی که در آن ضخامت و چگالی با هر توانی از شعاع بطور نمایی تغییر می کند برای یک ماده با سخت شوندگی خطی بر مبنای معیار تسلیم

1- Millenson 2- Gamer