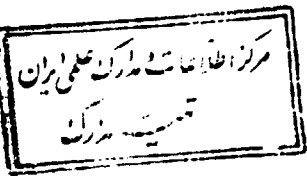


۳۳۰۹۳۵



۱۰ / ۱۲ / ۱۳۷۹

دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی خزش در دیسک توربین موتور مینی جت

۱۵۲۳۷

نسیم جولایی

استاد راهنما :

دکتر حمید رضا جاهد مطلق

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک

بهار ۷۹

۳۳۰۹۴

چکیده

اجزائیکه در دماهای بالا کار میکنند در معرض خزش بوده، شکست و تغییر شکل آنها وابسته به زمان است. لذا این اجزاء با یک عمر مشخص براساس میزان کرنش مجاز یا کرنش گسیختگی طراحی میگردند. توربینهای گازی از جمله اجزائی هستند که به علت کار در دما و تنش بالا، دچار آسیبهایی مانند خزش، برهمکنش خزش و خستگی، خستگی حرارتی، خوردگی داغ و ... میشوند. با اینکه سوپر آلیاژهای بکاررفته در توربین در دماهای بالا نیز از مقاومت خزشی خوبی برخوردارند ولی به دلیل اهمیت، بررسی این پدیده بخصوص در دیسک توربین لازم و ضروری بنظر میرسد.

این دیسکها تحت گرادیان دمایی در سرعت زاویه ای بسیار بالا کار میکنند. سرعت زاویه ای بالا باعث ایجاد نیروهای جانب مرکز و همزمان با آن، دمای بسیار زیاد، منجر به کاهش مقاومت ماده سازنده دیسک میگردد. لذا جهت دستیابی به مقادیر مطمئن از تنش ها و کرنشهای بوجود آمده در دیسک، میبایست رفتار مادی وابسته به دما را در تحلیل خود مد نظر قرار داده و دیسک به صورت غیرهمگن در نظر گرفته شود. در چنین دیسکهایی شرایط کاری باعث بروز نواحی پلاستیک میشود. از سوی دیگر باتوجه به اهمیت میزان تغییر شکل روتور، تحلیل خزشی نیز ضروری بنظر میرسد.

آنچه در این مبحث ارائه می گردد روش جدیدی در محاسبات خزشی است که در آن دیسک غیر همگن با ضخامت متغیر به تعداد محدودی حلقه با ضخامت وخواص ثابت تجزیه گردیده، تنشها و کرنشها در زمان صفر محاسبه می شوند.

با صرف نظرکردن از تغییرات ضخامت وخواص هر حلقه و بدست آوردن روابط نرخی مربوط به یک حلقه یکنواخت با خواص ثابت، می توان نرخ جابجایی شعاعی در داخل و خارج هر حلقه را بر حسب نرخ تغییرات فشار داخل و خارج، سرعت زاویه ای و دمای آن حلقه بیان نمود. شرایط تعادل و سازگاری با در هم نمودن کلیه حلقه ها در یکدیگر، بر مسأله اعمال می شود.

با محاسبه نرخ جابجایی های شعاعی در کل دیسک و در شعاع های مختلف می توان مقادیر نرخ تنش و نرخ کرنش را بدست آورد و سپس از طریق این مقادیر و تعریف گام زمانی مناسب، پارامترهای مورد نیاز در زمان بعدی را نیز محاسبه نمود. این فرآیند تا رسیدن به حالت تنش پایدار، باتوجه به تفرانس مورد نظر تکرار می شود و در نهایت تنش و کرنش وهمچنین مدت زمان لازم جهت رسیدن به حالت پایدار بدست می آید. در نهایت می توان مشاهده نمود نتایجی که به این ترتیب و با استفاده از کد نوشته شده بدست می آیند، بخوبی با نتایج حاصل از نرم افزار تحلیل اجزاء محدود (NISA II) مطابقت دارند.

با سپاس از زحمات جناب آقای دکتر
جاهد مطلق که انجام این پروژه به کمک
راهنماییها و پیشنهادات ارزنده ایشان
امکان پذیر گردیده است.

فصل اول : مقدمه

۱-۱	کلیات	۱.....
۱-۲	تاریخچه	۲.....
۱-۲-۱	تاریخچه تحلیل الاستیک دیسک دوار	۲.....
۱-۲-۲	تاریخچه تحلیل خزش	۴.....
۱-۲-۳	تاریخچه تحلیل خزش در دیسک دوار	۶.....
۱-۳	اهداف و تعریف مسأله	۷.....
۱-۳-۱	تحلیل خزشی دیسک دوار	۸.....
۱-۳-۲	تحلیل خزشی بلیسک	۸.....
۱-۴	مروری بر مطالب ارائه شده	۹.....

فصل دوم : خزش و تئوریهای آن

۲-۱	کلیات	۱۰.....
۲-۲	مکانیزمهای تغییر شکل خزشی :	۱۱.....
	لغزش نابجایی :	۱۲.....
	خزش نابجایی :	۱۲.....
	خزش نفوذی :	۱۶.....
	لغزش مرزدانه ای :	۱۷.....
۲-۳	نقشه های مکانیزم تغییر شکل	۱۸.....
۲-۴	آزمایش تنش-گسیختگی	۲۰.....
۲-۵	پیش بینی خواص طولانی مدت	۲۲.....
۲-۶	خزش در تنش ثابت تک محوره	۲۶.....
۲-۶-۱	تابع تنش	۲۸.....

۳۰.....	۲-۶-۲ تابع زمان	
۳۱.....	۲-۶-۳ تابع دما	
۳۳.....	خزش در تنش متغیر تک محوره	۲-۷
۳۳.....	۲-۷-۱ تئوری زمان سختی	
۳۴.....	۲-۷-۲ تئوری کرنش سختی	
۳۵.....	۲-۷-۳ تئوریهای ترکیبی	
۳۵.....	خزش تحت تنشهای مرکب	۲-۸
۳۸.....	تأثیر متقابل خزش و خستگی	۲-۹
۳۸.....	قانون انباشتگی صدمات	
۳۹.....	اصلاح روابط خستگی	
۴۱.....	تقسیم بندی ناحیه کرنش	

فصل سوم : تحلیل خزش در دیسک یکنواخت

۴۴.....	مقدمه	۳-۱
۴۶.....	محاسبه توزیع تنش در دیسک یکنواخت	۳-۲
۴۷.....	۳-۲-۱ دیسک یکنواخت تحت کشش	
۵۴.....	روش محاسبه	
۵۵.....	پارامتر زمان	
۵۷.....	مثال ۳-۱ تحلیل خزشی دیسک دوار با ضخامت و خواص ثابت	

فصل چهارم : روشی برای تحلیل خزشی دیسک دوار غیرهمگن با ضخامت متغیر (روش پیشنهادی)

۶۵.....	کلیات	۴-۱
۶۶.....	فرضیات	۴-۲
۶۸.....	معادلات حاکم بر تحلیل ترموالاستیک	۴-۳

۶۸.....	۴-۳-۱ معادله تعادل
۶۹.....	۴-۳-۲ معادلات سازگاری
۷۰.....	۴-۳-۳ معادله دیفرانسیل حاکم بر دیسک دوار
۷۲.....	۴-۴ روش پیشنهادی
۷۲.....	۴-۴-۱ حل ترموالاستیک دیسک دوار غیرهمگن با ضخامت متغیر
۷۶.....	۴-۴-۲ حل خزشی دیسک دوار غیرهمگن با ضخامت متغیر
۸۰.....	مثال ۴-۱
۸۳.....	مثال ۴-۲

فصل پنجم: تحلیل اجزاء محدود روتور توربین یک موتور مینی جت

۸۸.....	۵-۱ کلیات
۸۹.....	۵-۲ مشخصات موتور
۹۰.....	۵-۳ مشخصات توربین
۹۰.....	۵-۳-۱ بارهای وارد بر روتور توربین
۹۱.....	۱- بارهای ناشی از دوران روتور
۹۱.....	۲- بارهای ناشی از اختلاف درجه حرارت در تیغه و دیسک توربین
۹۴.....	۳- بارهای ناشی از نیروهای آئرودینامیکی وارد بر تیغه های روتور
۹۴.....	۴- بارهای ناشی از پرتاب کننده اولیه موتور و شتاب ناشی از کار موتور
۹۶.....	۵-۳-۲ جنس توربین و خواص آن
۹۶.....	خواص مکانیکی
۹۷.....	محاسبه پارامترهای خزشی
۹۸.....	۵-۴ مدلسازی توربین

فصل ششم: بحث و نتیجه گیری

۱۰۸.....	۶-۱ کلیات
----------	-----------

۱۰۹..... اعتبار روش ۶-۲

۱۱۱ پیوست ۱ : مراحل تحلیل خزش در نرم افزار NISA II

۱۱۵ پیوست ۲ : خواص سوپر آلیاژ Inconel 713LC

فهرست اشکال

فصل ۲

- شکل ۲-۱: توزیع تنش در نرخ پایدار ۱۵
- شکل ۲-۲: نقشه مکانیزم تغییر شکل ساده شده ۱۹
- شکل ۲-۳: نقشه مکانیزم تغییر شکل برای نیکل خالص با دانه های ۳۲ میکرومتری ۱۹
- شکل ۲-۴: روش رسم اطلاعات گسیختگی ۲۲
- شکل ۲-۵: رسم اطلاعات تنش گسیختگی در تنشهای گوناگون ۲۵
- شکل ۲-۶: منحنی اصلی پارامتر لارسن میلر برای استرولوی ۲۶
- شکل ۲-۷: سه نوع پارامتر زمان دما ۲۷
- شکل ۲-۸: منحنی خزش در آزمایش خزش استاندارد ۲۸
- شکل ۲-۹: مقایسه توابع تنش ۳۰
- شکل ۲-۱۰: منحنی خزش آلومینیوم تحت تنش ثابت و در دماهای مختلف ۳۲
- شکل ۲-۱۱: تخمین تاریخچه کرنش از تئوری زمان سختی ۳۴
- شکل ۲-۱۲: تخمین تاریخچه کرنش از تئوری کرنش سختی ۳۶
- شکل ۲-۱۳: تخمین تاریخچه کرنش از تئوری ترکیبی ۳۷
- شکل ۲-۱۴: دیاگرام خزش - خستگی در دمای ثابت ۳۹
- شکل ۲-۱۵: تقسیم بندی نواحی کرنش ۴۲
- شکل ۲-۱۶: یک حلقه هیستریزس کرنش خزش - خستگی ۴۳
- شکل ۲-۱۷: نمودار کافین مانسون ۴۳

فصل ۳

- شکل ۳-۱: چگونگی توزیع تنش کرنش تحت بارگذاری الاستیک ۴۵
- شکل ۳-۲: هندسه و چگونگی توزیع تنش در دیسک یکنواخت ۴۷
- شکل ۳-۳: فلوجارت تحلیل خزش ۵۶
- شکل ۳-۴: توزیع تنش مماسی در شعاع داخلی و خارجی نسبت به زمان واقعی ۵۹
- شکل ۳-۵: توزیع تنش مماسی در شعاع داخلی نسبت به زمان بدون بعد ۶۰

- شکل ۳-۶: توزیع تنش مماسی در شعاع داخلی در مختصات لگاریتمی نسبت به زمان بی بعد ۶۱
- شکل ۳-۷: توزیع نرخ تنش مماسی در شعاع داخلی نسبت به زمان بدون بعد ۶۲
- شکل ۳-۸: توزیع نرخ تنش مماسی در شعاع خارجی نسبت به زمان بدون بعد ۶۳
- شکل ۳-۹: توزیع کرنش بدون بعد شعاعی در شعاع داخلی نسبت به زمان بدون بعد ۶۴

فصل ۴

- شکل ۴-۱: پروفیل دیسک دوار و نیروهای وارد بر یک المان ۶۷
- شکل ۴-۲: (الف) دیسک دوار، (ب) حلقه در یک دیسک دوار ۶۸
- شکل ۴-۳: توزیع تنش مماسی در شعاع داخلی نسبت به زمان بدون بعد ۸۱
- شکل ۴-۴: توزیع تنش مماسی در شعاع داخلی در مختصات لگاریتمی نسبت به زمان بی بعد ۸۲
- شکل ۴-۵: توزیع تنش مماسی در شعاع داخلی نسبت به زمان واقعی ۸۴
- شکل ۴-۶: توزیع تنش مماسی در شعاع داخلی در مختصات لگاریتمی نسبت به زمان واقعی ۸۵
- شکل ۴-۷: توزیع تنش مماسی در دیسک توربین ۸۶
- شکل ۴-۸: تغییرات تنش مماسی در شعاع داخلی نسبت به زمان واقعی ۸۷

فصل ۵

- شکل ۵-۱: نمای کلی موتور مینی جت موردنظر ۸۹
- شکل ۵-۲: نمودار توزیع درجه حرارت در تیغه توربین مینی جت ۹۱
- شکل ۵-۳: نمودار توزیع فشار حول مقطع میانی تیغه توربین ۹۵
- شکل ۵-۴: مدل یکپارچه بلیسک ۱۰۰
- شکل ۵-۵: نحوه توزیع خواص ماده نسبت به دما ۱۰۱
- شکل ۵-۶: توزیع تنش معادل (فن میسز) در تحلیل استاتیکی ۱۰۲
- شکل ۵-۷: توزیع جایجائی شعاعی در تحلیل استاتیکی ۱۰۳
- شکل ۵-۸: توزیع تنش معادل (فن میسز) در تحلیل خزشی پس از بیست ساعت ۱۰۴
- شکل ۵-۹: توزیع جایجائی شعاعی در تحلیل خزشی پس از بیست ساعت ۱۰۵
- شکل ۵-۱۰: توزیع تنش معادل (فن میسز) در تحلیل خزشی پس از بیست ساعت نسبت به زمان (در نقاط دارای حداقل و حداکثر تنش) ۱۰۶

شکل ۱۱-۵: توزیع جابجائی شعاعی در تحلیل خزشی پس از بیست ساعت نسبت به زمان (در نقاط
دارای حداقل و حداکثر جابجائی) ۱۰۷

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- کلیات

طراحی اجزائی که در دماهای پایین (کمتر از میزان لازم جهت ایجاد خزش) کار میکنند معمولاً براساس میزان استحکام و استحکام کششی خستگی (با اعمال ضرایب ایمنی مناسب) میباشد. در این حالت تغییر شکل، وابسته به زمان نبوده و محدودیتی برای عمر طراحی آنها وجود ندارد. چنین قطعاتی تا زمانی که بیش از تنش طراحی به آنها وارد نشود بایستی تا ابد کار کنند، هرچند که در عمل عوامل بسیاری سبب کاهش عمر می گردند.

اما اجزائیکه در دماهای بالا کار میکنند در معرض خزش بوده، شکست و تغییر شکل آنها وابسته به زمان است. لذا این اجزاء با یک عمر مشخص براساس میزان کرنش مجاز یا کرنش گسیختگی طراحی میگردند.

توربینهای گازی از جمله اجزائی هستند که به علت کار در دما و تنش بالا، دچار آسیبهایی مانند خزش، برهمکنش خزش و خستگی، خستگی حرارتی، خوردگی داغ و ... میشوند. با اینکه سوپر

آلیاژهای بکاررفته در توربین در دماهای بالا نیز از مقاومت خزشی خوبی برخوردارند ولی به دلیل اهمیت، بررسی این پدیده بخصوص در دیسک توربین لازم و ضروری بنظر میرسد.

این دیسکها تحت گرادیان دمایی در سرعت زاویه ای بسیار بالا کار میکنند. سرعت زاویه ای بالا باعث ایجاد نیروهای جانب مرکز و همزمان با آن، دمای بسیار زیاد، منجر به کاهش مقاومت ماده سازنده دیسک میگردد. لذا جهت دستیابی به مقادیر مطمئن از تنش ها و کرنشهای بوجود آمده در دیسک، میبایست رفتار مادی وابسته به دما را در تحلیل خود مد نظر قرار داده و دیسک را به صورت غیرهمگن در نظر بگیریم. در چنین دیسکهایی شرایط کاری باعث بروز نواحی پلاستیک میشود. تحلیل هرچه دقیقتر تنشها و کرنشها و میدان جابجایی پلاستیک برای تحلیل خستگی اهمیت فراوانی دارد. از سوی دیگر باتوجه به اهمیت میزان تغییر شکل روتور، تحلیل خزش نیز ضروری بنظر میرسد. تحقیق حاضر به بیان روشی جهت تعیین تنشها، کرنشها و جابجایی های خزشی دیسک دوار غیرهمگن با ضخامت متغیر در سرعت و دمای بالا میپردازد.

۱-۲ تاریخچه

۱-۲-۱ تاریخچه تحلیل الاستیک دیسک دوار

حل تحلیلی دیسک دوار متقارن همگن با ضخامت ثابت، هنوز نیز به عنوان یک روش استاندارد در کتب مختلف الاستیسیته نظیر تیموشنکو^۱ موجود است. برای بررسی تنشهای موجود در یک دیسک دوار با ضخامت متغیر، لئوپولد^۲ روشی نیمه ترسیمی را برای محاسبه تنشهای الاستیک پیشنهاد کرد.

^۱-Timoshenko[1]

^۲-Leopold[2]

با افزایش روزافزون کاربرد کامپیوتر، روشهای عددی متعددی برای حل این مساله به کار گرفته شده است که از آن جمله می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

-روش تفاضل محدود مانسون^۱ و مندلسون

-روش تکرار دوم شیلزکی^۲

-روش المان محدود جنتا^۳ و همکارانش

-روش حل متوالی مندلسون و همکارانش [۶]

-روش المان مرزی عبدال محسن^۴ و همکارانش

یوان یه و هان^۵، یک فرمولبندی سیستماتیک را برای تعیین تنشهای الاستیک در یک دیسک دوار غیرهمگن با ضخامت دلخواه متغیر تحت بار حرارتی ارائه داده اند که در این روش دیسک غیرهمگن با ضخامت متغیر با تعداد محدودی حلقه با ضخامت و خواص ثابت تخمین زده شده و حل بسته ای برای آن استخراج میشود.

روش معمول تجزیه، همان است که توسط لئوپولد و دیگران ارائه شده و منجر به تشکیل یک سیستم معادلات جبری میشود که نیازمند شیوه ای عددی برای حل میباشد. اما در این روش، شرایط پیوستگی در محل اتصال هر دو حلقه مجزا برحسب شرایط مرزی کل مسأله بیان میشود. بنابراین به جای یک سیستم معادلات جبری، تنها یک معادله مستقل از تعداد حلقه های بکار رفته در تجزیه دیسک، بدست می آید.

^۱- Manson[3]

^۲-Shilizki[4]

^۳-Genta[5]

^۴-Abdul-Mihsein[7]

^۵-Yuan Yeh & Han[8]

این مفهوم بسیار مفید، برای برخورد تحلیلی با دیسک دوار غیرهمگن با ضخامت متغیر بکار می رود. دقت این روش بستگی به تعداد حلقه های بکاررفته در تجزیه دیسک دارد. با افزایش تعداد این حلقه ها، حل تقریبی به حل دقیق نزدیکتر میشود. آنها براساس این نتایج، روابطی تحلیلی برای تنشهای ترموالاستیک ارائه کرده اند.

۲-۱-۲ تاریخچه تحلیل خزش

اولین آزمایشات خزش در سال ۱۹۱۰ توسط آندرید^۱ انجام گردید. وی رابطه ای برای کرنش خزشی در دما و تنش ثابت ارائه داد و در آن کرنش خزشی را نسبت به زمان متغیر فرض نمود. بعدها آزمایشات نشان دادند که این رابطه بطور کامل صحیح نیست. چند دهه بعد قوانینی جهت بررسی حالات تنش متغیر همانند قوانین کرنش سختی، زمان سختی و ... ارائه گردید. ضمناً ثابت شد که با تغییر ناگهانی تنش، اثری زودگذر و ناپایدار بوجود می آید و سبب می گردد نرخ کرنش بیش از مقدار محاسبه شده توسط قانون کرنش سختی باشد [۹]. رابوتونف^۲ جهت اصلاح این مقدار، روش تعدیل قانون کرنش سختی را مطرح نمود.

بیلی^۳ و جانسون^۴ نیز تحقیقاتی را جهت بررسی اطلاعات خزشی در طراحی مهندسی و اهمیت اثرات سطح تنش در آن به انجام رسانیدند. بعدها با توجه به آنکه کلیه مفروضات و مشخصات خزش از نوع تک محوری است، این نظریه مطرح گردید که می توان از روابط پلاستیسیته (مانند روابط پراندتل رویس) نیز استفاده نمود [۱۳].

¹-Andrade [8]

²-Rabotonov [10]

³-Bailey, R.W. [11]

⁴-Johnson, A.E., Henderson, J. & Khan, B. [12]