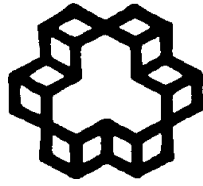


صلاة الاضلاع

بسمه تعالی



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان :

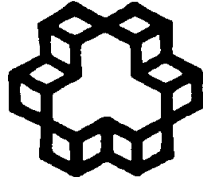
بررسی تاثیر پوشش های محافظ حرارتی بر روی مواد تحت بار حرارتی

نگارش : سعید مهربابانی

استاد راهنما : دکتر قاجار

بهمن 1389

بسمه تعالی



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان:

بررسی تاثیر پوشش‌های محافظ حرارتی بر روی مواد تحت بار حرارتی

توسط آقای سعید مهربایانی، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی، مورد تایید قرار می‌گیرد.

1. استاد راهنما: دکتر رحمت الله قاجار

2. استاد ممتحن داخلی: دکتر امیررضا شاهانی

3. استاد ممتحن خارجی: دکتر حسین محمدی شجاع

4. نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر امیررضا شاهانی

اظهارنامه دانشجو

اینجانب سعید مهربانی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، گواهی می‌دهم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان:

بررسی تاثیر پوشش‌های محافظ حرارتی بر روی مواد تحت بار حرارتی

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر رحمت الله قاجار، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تایید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

1- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد و هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده و یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

2- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی باشد.

تقدیم

به سایه‌ی با شکوه زندگیم

آنکه با خم شدن قامت خود قامتم را استوار نگاه داشت:

((پدر عزیزم))

به طراوت زندگیم

آنکه خود سوخت و با گرمای عشقش معنای زندگی را به من آموخت:

((مادر مهربانم))

و به همه‌ی عزیزانی که با لطف خود بارقه‌ای از محبت و معرفت را به من آموختند.

بر خود لازم می‌دانم که از استاد راهنمای خود جناب آقای دکتر رحمت الله قاجار که در مراحل مختلف انجام و تدوین این پایان‌نامه زحمات خالصانه و بی‌دریغی را مبذول داشته‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

از داوران محترم آقایان دکتر حسین محمدی شجاع (استاد دانشگاه صنعتی شریف) و دکتر امیررضا شاهانی (استاد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی) که با دقت رساله را مطالعه و نکات ارزنده‌ای را ارائه دادند، تقدیر و تشکر می‌گردد.

ضمناً از زحمات و کمک‌های دوستان و دانشجویان آزمایشگاه تحقیقاتی خواص مکانیکی مواد دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تقدیر می‌گردد.
خداوند تبارک و تعالی به همگی آنان اجر فراوان عطا فرماید.

چکیده :

با پیشرفت تکنولوژی در صنایع هوافضا، خودروسازی و ... نیاز به استفاده از قطعاتی که بتوانند دماهای بالاتری را نسبت به دماهای معمول تحمل کنند، از سال‌ها قبل احساس شده است. یکی از راه‌هایی که برای افزایش دمای کاری قطعات دما بالایی نظیر پره‌های توربین گازی، قطعات موتورهای احتراق داخلی و موتور جت استفاده می‌شود، استفاده از پوشش‌های محافظ حرارتی¹ است. در این پژوهش، تحلیل ترموالاستیک استوانه جدار ضخیم با پوشش داخلی از جنس مواد تابعی² تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی و همچنین محاسبه تنش‌های پسماند حرارتی ناشی از فرایند پوشش‌دهی انجام شده است. خواص مکانیکی و حرارتی پوشش به جز ضریب پواسون، بصورت کسر حجمی و بر حسب مختصات شعاعی تعریف می‌شوند. به منظور بدست آوردن تنش‌های پسماند حرارتی، از مدل استوانه چندلایه استفاده شده است. با در نظر گرفتن شرایط سازگاری در محل اتصال لایه‌ها و شرایط تعادل در راستای محور استوانه، مقادیر نیروی محوری هر لایه و فشار در محل اتصال لایه‌ها بدست آمده و در نتیجه توزیع تنش‌های پسماند حرارتی شعاعی، محیطی و محوری در استوانه و پوشش بدست آمده‌اند. به منظور تحلیل ترموالاستیسیته استوانه با پوشش ساخته شده از مواد تابعی نیز با استفاده از مدل استوانه جدار ضخیم چند لایه و تبدیل لاپلاس، معادلات انتقال حرارت و ناویر برای هر لایه بصورت جداگانه حل شده و میدان تنش‌های حرارتی گذرا در استوانه و پوشش بر حسب زمان بدست آمده‌اند. از مدلسازی نرم‌افزاری توسط نرم‌افزار Abaqus 6.9 برای مقایسه نتایج آن با نتایج حل تحلیلی استفاده شده است. ضمناً از مدلسازی نرم‌افزاری برای بررسی تاثیر وجود پوشش‌های محافظ حرارتی روی ضریب شدت تنش ترکی لبه‌ای نیز استفاده شده است. با ارائه یک مثال، تاثیر ضخامت، پروفیل تغییرات خواص، خواص مکانیکی و حرارتی پوشش، در توزیع تنش‌های پسماند حرارتی و همچنین میدان گذرای دما، جابجایی و تنش‌های حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از تاثیر بسیار زیاد پروفیل تغییرات خواص و ضخامت پوشش در توزیع تنش‌های حرارتی است.

کلمات کلیدی: استوانه جدار ضخیم، تحلیل حرارتی گذرا، پوشش‌های تابعی، تنش‌های پسماند حرارتی

¹ Thermal Barrier Coating

² Functionally Graded Materials

فهرست عناوین

صفحه	عناوین
1	فصل اول : مقدمه
2	1-1- مقدمه
2	2-1- پوشش‌های محافظ حرارتی
3	1-2-1- مزایای پوشش‌های محافظ حرارتی
3	3-1- روش‌های پوشش‌دهی
4	1-3-1- انواع فرایندهای پاشش حرارتی [3]
9	2-3-1- روش‌های پوشش‌دهی رسوب‌دهی شیمیایی و فیزیکی بخار
10	4-1- پوشش‌های تابعی
11	1-4-1- مقدمه‌ای بر مواد تابعی
11	2-4-1- تاریخچه مواد تابعی [11]
12	3-4-1- فرایندهای ساخت مواد تابعی
12	4-4-1- ماهیت مکانیکی مواد تابعی
14	5-1- مدل‌سازی مواد تابعی
14	1-5-1- کلیات
16	6-1- تنش‌های پسماند حرارتی
17	1-6-1- کلیات تنش‌های پسماند حرارتی:
17	7-1- تئوری ترموالاستیسیته
17	1-7-1- مقدمه
19	2-7-1- معادلات ترموالاستیسیته
21	8-1- مروری بر تحقیقات انجام شده
21	1-8-1- تحقیقات بر روی قطعات صنعتی
22	2-8-1- تحقیقات بر روی هندسه‌های ساده
25	9-1- لزوم انجام پروژه
27	فصل دوم : حل تحلیلی مسئله
28	1-2- مقدمه
28	2-2- بررسی تنش‌های پسماند حرارتی ناشی از فرایند پوشش‌دهی
35	3-2- حل ترموالاستیسیته استوانه پوشش‌دار تابعی
47	فصل سوم : مدل‌سازی اجزاء محدود

48.....	1-3-1- مقدمه
48.....	2-3-2- تنش پسماند در استوانه پوشش دار
48.....	1-2-3- معرفی هندسی
49.....	2-2-3- معرفی نوع تحلیل و المان بکار رفته در مدل سازی
49.....	3-2-3- شرایط مرزی و بارگذاری
50.....	3-3-3- استوانه پوشش دار تابعی تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی
50.....	1-3-3- معرفی هندسی
51.....	2-3-3- معرفی نوع تحلیل و المان بکار رفته در مدل سازی
51.....	3-3-3- شرایط مرزی و بارگذاری
52.....	4-3-4- مدل سازی استوانه ترک دار
53.....	1-4-3- معرفی هندسی
53.....	2-4-3- معرفی نوع تحلیل و المان بکار رفته در مدل سازی
54.....	3-4-3- شرایط مرزی و بارگذاری
55.....	فصل چهارم : بحث و بررسی نتایج
56.....	1-4-1- مقدمه
56.....	2-4-2- صحت سنجی نتایج
62.....	3-4-3- تحلیل تنش های پسماند حرارتی
65.....	1-3-4- بررسی تاثیر پروفیل تغییرات خواص بر روی توزیع تنش های پسماند حرارتی
66.....	2-3-4- بررسی تاثیر خواص پوشش بر روی توزیع تنش های پسماند حرارتی
69.....	3-3-4- بررسی تاثیر ضخامت پوشش تابعی بر روی توزیع تنش های پسماند حرارتی
70.....	4-4-4- تحلیل استوانه پوشش دار تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی
74.....	1-4-4- مقایسه استوانه با پوشش تابعی، پوشش همگن و بدون پوشش تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی
75.....	2-4-4- بررسی میزان ناپیوستگی مقادیر تنش های حرارتی در استوانه با پوشش همگن
78.....	3-4-4- بررسی تاثیر پروفیل تغییرات خواص پوشش تابعی
80.....	4-4-4- بررسی تاثیر خواص پوشش تابعی
86.....	5-4-4- بررسی تاثیر تغییرات ضخامت پوشش
89.....	6-4-4- بررسی تاثیرات تغییرات شدت بار حرارتی و بار مکانیکی
92.....	7-4-4- تاثیر تنش های پسماند حرارتی بر روی توزیع تنش در استوانه پوشش دار، تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی
95.....	8-4-4- استوانه ترک دار تحت بار حرارتی و مکانیکی
103.....	فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات
104.....	1-5-1- مقدمه
104.....	2-5-2- جمع بندی نتایج
108.....	3-5-3- پیشنهادات

فهرست اشکال

صفحه	عناوین
6	شکل 1-1 نمای شماتیک فرایند پاشش شعله‌ای
7	شکل 2-1 نمای شماتیک فرایند پاشش قوس الکتریکی
8	شکل 3-1 روش پوشش‌دهی پاشش پلاسما
8	شکل 4-1 روش پوشش‌دهی تفنگ انفجاری
9	شکل 5-1 روش پوشش‌دهی اکسیژن-سوخت با سرعت زیاد
9	شکل 6-1 نمای شماتیکی از فرایندهای رسوب‌دهی فیزیکی و شیمیایی بخار
15	شکل 7-1 نمودارهای تغییرات ضریب انبساط حرارتی بصورت مدل کسر حجمی
15	شکل 8-1 نمودارهای تغییرات ضریب انبساط حرارتی بصورت مدل توانی
16	شکل 9-1 نمودارهای تغییرات ضریب انبساط حرارتی بصورت مدل توان نمایی
28	شکل 1-2 استوانه جدار ضخیم با پوشش داخلی از جنس مواد تابعی
29	شکل 2-2 استوانه با پوشش داخلی از جنس مواد تابعی
35	شکل 3-2 استوانه پوشش‌دار
48	شکل 1-3 استوانه به همراه پوشش تحت شرایط متقارن محوری
50	شکل 2-3 شرایط مرزی متقارن محوری
51	شکل 3-3 استوانه تحت شرایط کرنش صفحه‌ای
52	شکل 4-3 اعمال شرط مرزی جابجایی
53	شکل 5-3 استوانه ترک‌دار
54	شکل 6-3 مش‌بندی نوک ترک
54	شکل 7-3 اعمال شرط مرزی جابجایی
56	شکل 1-4 توزیع تنش‌های شعاعی و محیطی در استوانه همگن جدارضخیم تحت فشار داخلی
57	شکل 2-4 توزیع گذرای دما در طول ضخامت استوانه همگن تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی برای زمان‌های مختلف
58	شکل 3-4 توزیع گذرای تنش شعاعی در طول ضخامت استوانه استوانه همگن تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی برای زمان‌های مختلف

- شکل 4-4 توزیع گذرای تنش محیطی در طول ضخامت استوانه استوانه همگن تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی برای زمان های مختلف 58
- شکل 4-5 توزیع دما در طول ضخامت استوانه تابعی تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی 60
- شکل 4-6 توزیع تنش شعاعی در طول ضخامت استوانه تابعی تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی 60
- شکل 4-7 توزیع تنش محیطی در طول ضخامت استوانه تابعی تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی 61
- شکل 4-8 ترکی لبه‌ای بر روی سطح خارجی استوانه همگن [65] 61
- شکل 4-9 مقایسه ضرایب شدت تنش حل عددی و تحلیلی ترکی لبه‌ای روی سطح خارجی استوانه همگن تحت بارگذاری حرارتی و مکانیکی 62
- شکل 4-10 همگرایی نتایج مدل‌سازی اجزاء محدود تنش‌های پسماند حرارتی 63
- شکل 4-11 توزیع تنش‌های حرارتی پسماند در دو نوع پوشش همگن و تابعی (الف) تنش پسماند شعاعی (ب) تنش پسماند محیطی (پ) تنش پسماند محوری 64
- شکل 4-12 توزیع تنش‌های پسماند حرارتی ناشی از فرایند پوشش‌دهی، در طول ضخامت استوانه با پوشش تابعی و پوشش همگن برای پروفیل‌های مختلف تغییر خواص (الف) تنش پسماند شعاعی (ب) تنش پسماند محیطی (پ) تنش پسماند محوری 66
- شکل 4-13 بررسی تاثیر مدول الاستیسیته پوشش بر روی توزیع تنش‌های پسماند حرارتی (الف) تنش پسماند شعاعی (ب) تنش پسماند محیطی (پ) تنش پسماند محوری 68
- شکل 4-14 بررسی تاثیر ضریب انبساط حرارتی پوشش بر روی توزیع تنش‌های پسماند حرارتی (الف) تنش پسماند شعاعی (ب) تنش پسماند محیطی (پ) تنش پسماند محوری 68
- شکل 4-15 تغییرات تنش‌های پسماند حرارتی در طول ضخامت پوشش در ضخامت‌های مختلف پوشش (الف) تنش پسماند شعاعی (ب) تنش پسماند محیطی (پ) تنش پسماند محوری 69
- شکل 4-16 تغییرات تنش فون - مایرز در محل اتصال پوشش به فلز پایه بر حسب تعداد المان 70
- شکل 4-17 تغییرات دمای سطح تماس پوشش و استوانه بر حسب زمان 71
- شکل 4-18 تغییرات جابجایی شعاعی سطح داخلی پوشش RC، سطح تماس پوشش و استوانه RS و سطح خارجی استوانه RO بر حسب زمان 71
- شکل 4-19 تغییرات فشار سطح تماس پوشش و استوانه بر حسب زمان 71
- شکل 4-20 تغییرات تنش محیطی سطح داخل پوشش RC، سطح تماس پوشش و استوانه RS و سطح خارج استوانه RO بر حسب زمان 71
- شکل 4-21 تغییرات تنش محوری سطح داخل پوشش RC، سطح تماس پوشش و استوانه RS و سطح خارج استوانه RO بر حسب زمان 71

- شکل 4-22 تغییرات تنش فون- مایرز سطح داخل پوشش RC، سطح تماس پوشش و استوانه RS و سطح خارج استوانه RO بر حسب زمان 71
- شکل 4-23 تغییرات دما در طول ضخامت استوانه در زمان‌های مختلف 73
- شکل 4-24 تغییرات جابجایی محوری در طول ضخامت استوانه در زمان‌های مختلف 73
- شکل 4-25 تغییرات تنش حرارتی شعاعی در طول ضخامت استوانه در زمان‌های مختلف 73
- شکل 4-26 تغییرات تنش حرارتی محیطی در طول ضخامت استوانه در زمان‌های مختلف 73
- شکل 4-27 تغییرات تنش حرارتی محوری در طول ضخامت استوانه در زمان‌های مختلف 73
- شکل 4-28 تغییرات تنش فون- مایرز در طول ضخامت استوانه در زمان‌های مختلف 73
- شکل 4-29 تغییرات دما در سه نوع استوانه بر حسب ضخامت در زمان 10 ثانیه 74
- شکل 4-30 تغییرات جابجایی در سه نوع استوانه بر حسب ضخامت در زمان 10 ثانیه 74
- شکل 4-31 تغییرات تنش حرارتی شعاعی در سه نوع استوانه بر حسب ضخامت در زمان 10 ثانیه 75
- شکل 4-32 تغییرات تنش حرارتی محیطی در سه نوع استوانه بر حسب ضخامت در زمان 10 ثانیه 75
- شکل 4-33 تغییرات تنش حرارتی محوری در سه نوع استوانه بر حسب ضخامت در زمان 10 ثانیه 75
- شکل 4-34 تغییرات تنش فون- مایرز در سه نوع استوانه بر حسب ضخامت در زمان 10 ثانیه 75
- شکل 4-35 تغییرات میزان ناپیوستگی تنش‌های حرارتی بر حسب تغییرات مدول الاستیسیته پوشش 76
- شکل 4-36 تغییرات میزان ناپیوستگی تنش‌های حرارتی بر حسب تغییرات ضریب انبساط حرارتی پوشش 76
- شکل 4-37 تغییرات میزان ناپیوستگی تنش‌های حرارتی بر حسب تغییرات ضریب هدایت حرارتی پوشش 76
- شکل 4-38 تغییرات میزان ناپیوستگی تنش‌های حرارتی بر حسب تغییرات ضریب پخش حرارتی پوشش 76
- شکل 4-39 تغییرات میزان ناپیوستگی تنش‌های حرارتی بر حسب تغییرات ضخامت پوشش 77
- شکل 4-40 تغییرات میزان ناپیوستگی تنش‌های حرارتی بر حسب تغییرات بار حرارتی 77
- شکل 4-41 تغییرات میزان ناپیوستگی تنش‌های حرارتی بر حسب تغییرات فشار داخلی 77
- شکل 4-42 توزیع دما در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای پروفیل‌های مختلف تغییرات خواص پوشش 79
- شکل 4-43 توزیع جابجایی شعاعی در طول ضخامت استوانه در 10 ثانیه برای پروفیل‌های مختلف تغییرات خواص پوشش 79
- شکل 4-44 توزیع تنش حرارتی شعاعی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای پروفیل‌های مختلف تغییرات خواص پوشش 79
- شکل 4-45 توزیع تنش حرارتی محیطی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای پروفیل‌های مختلف تغییرات خواص پوشش 79

- شکل 4-46 توزیع تنش حرارتی محوری در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای پروفیل‌های مختلف تغییرات خواص پوشش 79
- شکل 4-47 توزیع تنش فون- مایرز در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای پروفیل‌های مختلف تغییرات خواص پوشش 79
- شکل 4-48 توزیع دما در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف مدول الاستیسیته پوشش 81
- شکل 4-49 توزیع جابجایی شعاعی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف مدول الاستیسیته پوشش 81
- شکل 4-50 توزیع تنش حرارتی شعاعی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف مدول الاستیسیته پوشش 81
- شکل 4-51 توزیع تنش حرارتی محیطی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف مدول الاستیسیته پوشش 81
- شکل 4-52 توزیع تنش حرارتی محوری در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف مدول الاستیسیته پوشش 81
- شکل 4-53 توزیع تنش فون- مایرز در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف مدول الاستیسیته پوشش 81
- شکل 4-54 توزیع دما در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب انبساط حرارتی پوشش 83
- شکل 4-55 توزیع جابجایی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب انبساط حرارتی پوشش 83
- شکل 4-56 توزیع تنش حرارتی شعاعی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب انبساط حرارتی پوشش 83
- شکل 4-57 توزیع تنش حرارتی محیطی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب انبساط حرارتی پوشش 83
- شکل 4-58 توزیع تنش حرارتی محوری در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب انبساط حرارتی پوشش 83
- شکل 4-59 توزیع تنش فون- مایرز در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب انبساط حرارتی پوشش 83
- شکل 4-60 توزیع دما در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب هدایت حرارتی پوشش 84
- شکل 4-61 توزیع جابجایی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب هدایت حرارتی پوشش 84
- شکل 4-62 توزیع تنش حرارتی شعاعی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب هدایت حرارتی پوشش 84
- شکل 4-63 توزیع تنش حرارتی محیطی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب هدایت حرارتی پوشش 84

- شکل 4-64 توزیع تنش حرارتی محوری در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب هدایت حرارتی پوشش 84
- شکل 4-65 توزیع تنش فون- مایرز در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب هدایت حرارتی پوشش 84
- شکل 4-66 توزیع دما در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب پخش حرارتی پوشش 85
- شکل 4-67 توزیع جابجایی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب پخش حرارتی پوشش... 85
- شکل 4-68 توزیع تنش حرارتی شعاعی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب پخش حرارتی پوشش 86
- شکل 4-69 توزیع تنش حرارتی محیطی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب پخش حرارتی پوشش 86
- شکل 4-70 توزیع تنش حرارتی محوری در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب پخش حرارتی پوشش 86
- شکل 4-71 توزیع تنش فون- مایرز در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضریب پخش حرارتی پوشش 86
- شکل 4-72 توزیع دما در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضخامت پوشش 87
- شکل 4-73 توزیع جابجایی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضخامت پوشش 87
- شکل 4-74 توزیع تنش حرارتی شعاعی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضخامت پوشش ... 88
- شکل 4-75 توزیع تنش حرارتی محیطی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضخامت پوشش .. 88
- شکل 4-76 توزیع تنش حرارتی محوری در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضخامت پوشش... 88
- شکل 4-77 توزیع تنش فون- مایرز در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف ضخامت پوشش 88
- شکل 4-78 توزیع دما در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف بار حرارتی 90
- شکل 4-79 توزیع جابجایی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف بار حرارتی 90
- شکل 4-80 توزیع تنش حرارتی شعاعی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف بار حرارتی 90
- شکل 4-81 توزیع تنش حرارتی محیطی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف بار حرارتی 90
- شکل 4-82 توزیع تنش حرارتی محوری در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف بار حرارتی 90
- شکل 4-83 توزیع تنش فون- مایرز در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف بار حرارتی 90
- شکل 4-84 توزیع دما در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف فشار داخلی 91
- شکل 4-85 توزیع جابجایی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف فشار داخلی 91

- شکل 4-86 توزیع تنش حرارتی شعاعی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف فشار داخلی 91
- شکل 4-87 توزیع تنش حرارتی محیطی در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف فشار داخلی 91
- شکل 4-88 توزیع تنش حرارتی محوری در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف فشار داخلی 91
- شکل 4-89 توزیع تنش فون- مایز در طول ضخامت استوانه در زمان 10 ثانیه برای مقادیر مختلف فشار داخلی 91
- شکل 4-90 تاثیر تنش پسماند حرارتی بر روی توزیع تنش شعاعی در طول ضخامت استوانه با پوشش همگن در زمان 10 ثانیه 92
- شکل 4-91 تاثیر تنش پسماند حرارتی بر روی توزیع تنش محیطی در طول ضخامت استوانه با پوشش همگن در زمان 10 ثانیه 92
- شکل 4-92 تاثیر تنش پسماند حرارتی بر روی توزیع تنش محوری در طول ضخامت استوانه با پوشش همگن در زمان 10 ثانیه 93
- شکل 4-93 تاثیر تنش پسماند حرارتی بر روی توزیع تنش شعاعی در طول ضخامت استوانه با پوشش تابعی با توان تغییرات 3 و در زمان 10 ثانیه 94
- شکل 4-94 تاثیر تنش پسماند حرارتی بر روی توزیع تنش محیطی در طول ضخامت استوانه با پوشش تابعی با توان تغییرات 3 و در زمان 10 ثانیه 95
- شکل 4-95 تاثیر تنش پسماند حرارتی بر روی توزیع تنش محوری در طول ضخامت استوانه با پوشش تابعی با توان تغییرات 3 و در زمان 10 ثانیه 95
- شکل 4-96 همگرایی مقادیر ضریب شدت تنش مود اول ترکی لبه‌ای بر روی سطح خارجی استوانه پوشش‌دار 96
- شکل 4-97 تغییرات ضریب شدت تنش سه نوع استوانه بدون پوشش، با پوشش همگن و با پوشش تابعی بر حسب زمان ... 97
- شکل 4-97 تغییرات ضریب شدت تنش سه نوع استوانه بدون پوشش، با پوشش همگن و با پوشش تابعی بر حسب زمان بعد از اصلاح مقادیر 97
- شکل 4-98 تغییرات ضریب شدت تنش مود اول برای پروفیل‌های مختلف تغییرات خواص پوشش 98
- شکل 4-99 تغییرات ضریب شدت تنش مود اول بر حسب مدول الاستیسیته پوشش 98
- شکل 4-100 تغییرات ضریب شدت تنش مود اول بر حسب ضریب انبساط حرارتی پوشش 98
- شکل 4-101 تغییرات ضریب شدت تنش مود اول بر حسب ضریب هدایت حرارتی پوشش 98
- شکل 4-102 تغییرات ضریب شدت تنش مود اول بر حسب ضریب پخش حرارتی پوشش 99
- شکل 4-103 ضرایب شدت تنش مود اول ترک لبه‌ای در سه حالت استوانه بدون پوشش، استوانه با پوشش همگن و استوانه با پوشش تابعی 100
- شکل 4-104 تغییرات ضریب شدت تنش مود اول به ضخامت پوشش 101

شکل 4-105 تغییرات ضریب شدت تنش مود اول با طول ترک 101

شکل 4-106 تغییرات ضریب شدت تنش مود اول بر حسب دمای داخلی استوانه 102

شکل 4-107 تغییرات ضریب شدت تنش مود اول بر حسب فشار داخلی استوانه 102

فهرست جداول

صفحه

عناوین

جدول 1-4 خواص مواد مورد استفاده در استوانه و پوشش [66].....63

فصل اول :

مقدمه