

بسمه تعالی



واحد صنعتی نواب شیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی هوافضا

گروه سازه های هوایی

پایان نامه کارشناسی ارشد

تدوین کد کامپیوتری طراحی سازه نازل موتور سوخت مایع

اساتید راهنما :

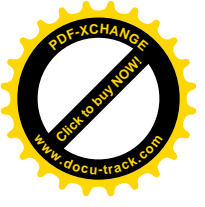
دکتر علی مظفری

دکتر حسن کریمی مزرعه شاهی

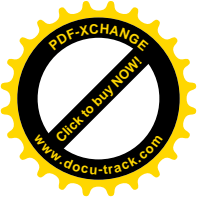
دانشجو :

محسن بهادری 8605714

اسفند 88



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



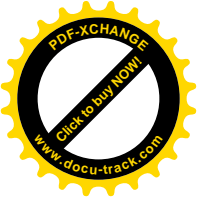
تقديم به:

پدر و مادر عزیزم



بسمه تعالی

شماره: تاریخ:	<h2>تأییدیه هیأت داوران</h2>	 تاسیس 1307 دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
<p style="text-align: center;">هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان :</p> <p style="text-align: center;">تدوین کد کامپیوتری طراحی سازه نازل موتور سوخت مایع</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>توسط آقای / خانم محسن بهادری ، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا گرایش سازه های هوایی در تاریخ 1388 /12 /2 مورد تأیید قرار می دهند.</p>		
امضاء	..... جناب آقای / سرکار خانم دکتر	1- استاد راهنمای اول
امضاء	..... جناب آقای / سرکار خانم دکتر	2- استاد راهنمای دوم
امضاء	..... جناب آقای / سرکار خانم دکتر	3- استاد مشاور
امضاء	..... جناب آقای / سرکار خانم دکتر	4- ممتحن داخلی
امضاء	..... جناب آقای / سرکار خانم دکتر	5- ممتحن
امضاء	..... جناب آقای / سرکار خانم دکتر	6- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده




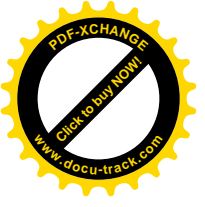
بسمه تعالی

شماره: تاریخ:	اظهارنامه دانشجو	 تاسیس 1307 دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
<p>اینجانب محسن بهادری دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا گرایش سازه های هوایی دانشکده مهندسی هوافضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان</p> <p>تدوین کد کامپیوتری طراحی سازه نازل موتور سوخت مایع</p> <p>با راهنمایی استاد محترم جناب آقای / سرکار خانم دکتر علی مظفری و حسن کریمی مزرعه شاهی توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید 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.</p> <p>امضاء دانشجو:</p> <p>تاریخ:</p> <p>4217-1387/10/29</p>		



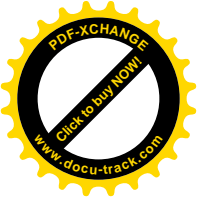
بسمه تعالی

شماره: تاریخ:	حق طبع و نشر و مالکیت نتایج	 <p>تاسیس 1307 دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی</p>
<p>1- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی هوافضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.</p> <p>ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.</p> <p>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.</p> <p>همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی باشد.</p> <p>* توجه:</p> <p>این فرم می بایست پس از تکمیل، در نسخ تکثیر شده قرار داده شود.</p> <p>4214-1387/10/29</p>		



تقدیر و تشکر:

از جناب آقای دکتر مظفری و کریمی مزرعه شاهی که اینجانب را در تمامی مراحل تهیه و تدوین پایان نامه حاضر راهنمایی فرمودند، کمال تشکر و قدردانی می نمایم. همچنین از جناب آقای حامد کاشانی کمال سپاسگذاری را دارم.



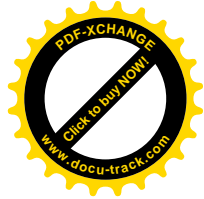
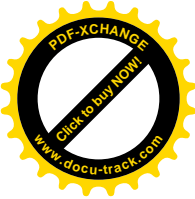
چکیده :

با توجه به اینکه سازه های مورد استفاده در صنایع هوا فضایی باید دارای قابلیت اطمینان مناسب و در عین حال وزن پایین بوده، استفاده از پوسته های بهم پیوسته یا همان سازه های ساندویچی بسیار متداول می باشد، زیرا این سازه ها در عین وزن پایین، توانایی تحمل بارهای زیاد، را نیز دارا می باشند.

یکی از بخش های اصلی در طراحی وسایل هوا فضایی، طراحی موتور آنها می باشد، و بخش مهم هر موتور، محفظه احتراق و نازل آن می باشد. اصولاً طراحی موتور نیازمند یک دیدگاه سیستمی بوده، زیرا عوامل متفاوتی در طراحی آن دخیل هستند. تحلیل سازه ای محفظه موتور نقش مهمی در طراحی موتور دارد.

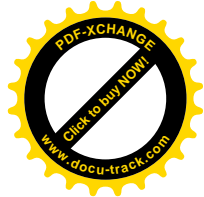
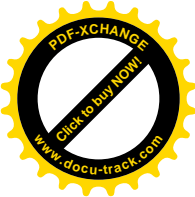
هدف از این پایان نامه بررسی و تحلیل سازه محفظه موتور سوخت مایع می باشد و سعی شده که با در نظر گرفتن کلیه شرایط و بارگذاری موجود روی سازه یک محفظه، یک مدل تحلیلی برای محاسبات استحکامی محفظه موتور ارائه نماییم. در تحلیل های انجام شده اثرات هم زمان بارهای فشاری و حرارتی در نظر گرفته شده اند. با توجه به مدل ریاضی نگاشته شده، یک کد کامپیوتری تدوین شده است. در ادامه با مدل کردن یک نمونه محفظه موتور سوخت مایع با مجرای خنک کننده فینی و با استفاده از نرم افزارهای المان محدودی، تحلیل روی آن صورت گرفته و نتایج بدست آمده از آن، با نتایج استخراج شده از کد کامپیوتری مقایسه شده است. در انتها با تغییر پارامترهای تأثیر گذار روی سازه، طراحی بهینه محفظه از منظر سازه ای مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: سازه ساندویچی - نازل - مجرای خنک کاری - بارهای حرارتی - مدول الاستیک پلاستیک.

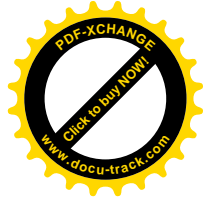
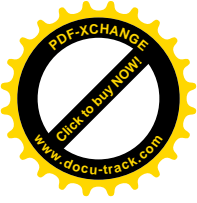


فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول : مقدمه
1-1-1	مقدمه 1
2-1-1	سازه های ساندویچی 3
1-2-1-1	تئوری های مختلف سازه های ساندویچی 3
2-2-1-1	شکست در سازه های ساندویچی 4
3-1-1	تاریخچه ای از طراحی موتور سوخت مایع 5
4-1-1	نمونه هایی از موتورهای سوخت مایع 7
5-1-1	مروری بر کارهای انجام شده 11
	فصل دوم : موتورهای سوخت مایع
1-2-1	آشنایی با موتور سوخت مایع 18
1-1-1-2	حالت ساده ای از یک موتور سوخت مایع 19
2-1-1-2	پارامترهای اساسی موتور سوخت مایع 20
3-1-1-2	طراحی سیستمی موتور 23
1-3-1-2	مراحل اساسی 23
4-1-1-2	اجزای اصلی و تجهیزات موتور سوخت مایع 25
5-1-1-2	محفظه موتور سوخت مایع 27
6-1-1-2	عملکرد موتور سوخت مایع 27



- 28 7-1-2- انواع موتور سوخت مایع
- 30 8-1-2- روش های خنک کاری
- 30 1-8-1-2- مقدمه
- 33 2-8-1-2- انواع مسیرهای خنک کاری
- 35 3-8-1-2- محفظه های کروگیتی و فینی
- 38 4-8-1-2- مقایسه اتصالات کروگیتی و فینی
- 40 9-1-2- رژیم های کاری محفظه
- 44 2-2- اصول محاسبات ترمودینامیک – دینامیک گاز موتور سوخت مایع
- 45 1-2-2- معادلات دینامیک گاز سیال عامل در نازل همگرا – واگرا
- 47 2-2-2- شکل دهانه خروجی نازل مافوق صوت
- 52 3-2- انتقال حرارت در موتورهای سوخت مایع
- 52 1-3-2- انواع حالت های انتقال حرارت در موتورهای سوخت مایع
- 52 2-3-2- شکل کلی انتقال حرارت
- 53 3-3-2- محاسبه نرخ انتقال حرارت جابجایی اگازها داغ محفظه به دیواره محفظه
- 54 1-3-3-2- مراحل محاسبه شار حرارتی جابجایی
- 55 4-3-2- محاسبه انتقال حرارت از دیواره به سیال خنک کننده
- 58 5-3-2- انتقال حرارت فین و کروگیت
- 60 6-3-2- محاسبه نرخ حرارتی تشعشی در محفظه موتور سوخت مایع
- 63 7-3-2- محاسبه افت فشار هیدرولیکی



66 1-7-3-2 فشار سیال مبرد

فصل سوم : محاسبات سازه ای محفظه

67 1-3 مقدمه

67 2-3 ویژگی های ساختاری محفظه موتور

69 3-3 رژیم های بارگذاری

70 4-3 محاسبات سازه ای محفظه

70 1-4-3 روش تحلیلی

70 1-1-4-3 هندسه محفظه

71 2-1-4-3 محاسبه نیروهای وارد بر محفظه

75 3-1-4-3 تحلیل تنش و کرنش

76 4-1-4-3 تحلیل الاستیک - پلاستیک

82 5-3 کد محاسباتی

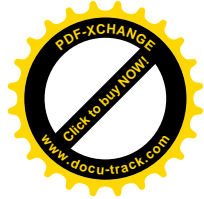
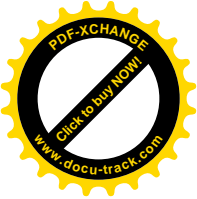
95 6-3 بهینه سازی محفظه

95 1-6-3 پوسته داخلی

95 2-6-3 پوسته خارجی

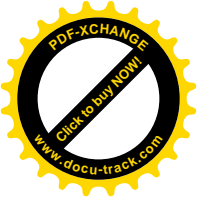
97 7-3 تحلیل لایه میانی کاروگیتی

101 8-3 فلوجارت کد کامپیوتری



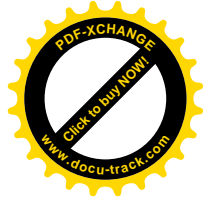
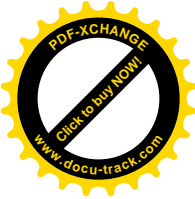
فصل چهارم : تحلیل المان محدودی و مقایسه نتایج

- 106 1-4- مقدمه
- 108 2-4- مدلسازی المان محدودی
- 110 3-4- تحلیل کامپیوتری
- 111 1-3-4- نمونه ای از تحلیل با نرم افزار COSMOS
- 112 2-3-4- لایه داخلی با کانال های فینی
- 112 3-3-4- پوسته کامل شده محفظه
- 113..... 4-3-4- مشخصات ماده در حل المان محدودی
- 113 5-3-4- اطلاعات شرایط مرزی و بار گذاری
- 114 6-3-4- شرایط حل المان محدودی
- 115 4-4- مقایسه حل کامپیوتری با نتایج کد محاسباتی
- 115 1-4-4- هندسه محفظه
- 116 2-4-4- مدل نرم افزاری
- 116 3-4-4- مشخصات سازه ای
- 116 4-4-4- مقایسه نتایج
- 118 1-4-4-4- مقایسه نتایج در طول محفظه
- 119 5-4-4- خروجی های نرم افزار از حل المان محدودی
- 120 5-4-4- بروز خطا



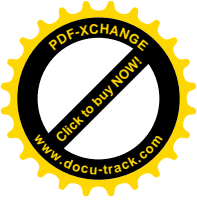
فصل پنجم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

- 121 1-5- مقدمه
- 121 2-5- پارامترهای مختلف اثر گذار روی مقادیر تنش
- 122 1-2-5- اثر فشار گاز
- 125 2-2-5- اثر جنس پوسته
- 128 3-2-5- اثر ضخامت پوسته داخلی
- 129 4-2-5- اثر ضخامت پوسته خارجی
- 130 5-2-5- اثر ارتفاع مجرای خنک کاری
- 131 6-2-5- اثر ضخامت فین
- 132 7-2-5- اثر تغییر گام روی تنش های وارد بر مجرای فینی
- 133..... 8-2-5- اثر تغییر ضخامت فین روی مقادیر تنش
- 135 9-2-5- اثر تغییر فشار محفظه روی تنش های وارد بر مجرای خنک کاری
- 136 3-5- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات
- 137..... مراجع

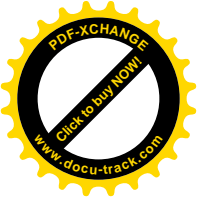


فهرست اشکال

صفحه	عنوان
	فصل اول
8.....	شکل 1-1: موشک V2
9.....	شکل 2-1: موتور RD-214
9.....	شکل 3-1: موتور RL-10
10.....	شکل 4-1: موتور RD-218 و RD-219
	فصل دوم
19.....	شکل 2-1: شمای ساده شده ای از یک سامانه پیشران دارای موتور سوخت مایع
25.....	شکل 2-2: مدار پنوموهیدرولیکی یک موتور سوخت مایع دمشی
26.....	شکل 2-3: مدار پنوموهیدرولیکی یک موتور سوخت مایع توربوپمپی
27.....	شکل 2-4: موتور سوخت مایع
29.....	نمودار 2-1: نمودار انواع موتور موشک با سوخت مایع
30.....	شکل 2-5: نمودار دما ، فشار و سرعت در طول محفظه موتور سوخت مایع
32.....	جدول 2-1: روش های مورد استفاده برای خنک کاری محفظه موتور
34.....	شکل 2-6: دو طرح مسیر خنک کاری از نوع پوسته های به هم پیوسته
35.....	شکل 2-7: مسیر خنک کاری لوله ای
36.....	شکل 2-8: شمای کلی اتصال مارپیچی پوسته های محفظه



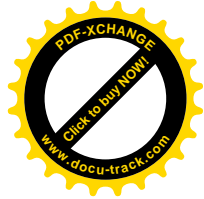
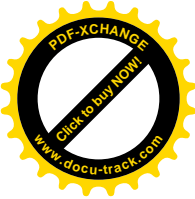
- شکل 9-2: تغییر گام بین نقاط اتصال کروگیت با پوسته های نازل.....36
- شکل 10-2: محدوده ابعاد توصیه شده در اتصال نوع فینی و کروگیتی37
- شکل 11-2: محدودیت گام در بخش ها یا مقطع های مختلف اتصالات38
- شکل 12-2: ضریب گرفتگی مسیر جریان در انواع ساختارهای اتصال پوسته ها40
- شکل 13-2: روش بارگذاری محفظه در تست هیدرولیک الف)محفظه احتراق ، ب) کل محفظه41
- شکل 14-2: توزیع پارامترها در طول محفظه در رژیم نامی42
- شکل 15-2: نمودار $h - s$ تحول گاز در نازل همگرا - واگرا در حالت واقعی و ایده آل46
- جدول 2-2: وضعیت مشخصه های دینامیک گاز در نازل همگرا - واگرا47
- شکل 16-2: نمودار تابع $\frac{A_a}{A_{kp}} = f\left(\frac{P_k}{P_a}\right)$ 50
- جدول 3-2: مقادیر A_k برای k_s مختلف51
- شکل 17-2: شمایی از مجرای خنک کاری الف) فینی و ب) کاروگیتی60
- شکل 18-2: توزیع فشار سیال مبرد66
- فصل سوم**
- شکل 1-3: محفظه موتور سوخت مایع68
- شکل 2-3: پروفیل گاز دینامیکی69
- شکل 3-3: جهت محورهای انتخابی71
- شکل 4-3: نیروهای اعمال شده بر المانی از محفظه71
- شکل 5-3: نمودار تنش و کرنش در ناحیه الاستیک پلاستیک76
- شکل 6-3: نمودار تنش-کرنش با فرض خطی در ناحیه پلاستیک77



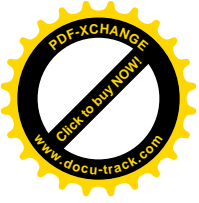
- شکل 3-7: پوسته دو لایه ای 79
- شکل 3-8: پروفیل محفظه موتور 83
- شکل 3-9: توزیع فشار ، دما و چگالی گاز در طول نازل 84
- شکل 3-10: افت فشار سیال خنک کننده 85
- شکل 3-11 (الف) دما بدست آمده توسط marchi 86
- شکل 3-11 (ب) دمای پوسته های محفظه 87
- شکل 3-12: توزیع نیروی ناشی از فشار محفظه احتراق 88
- شکل 3-13: توزیع نیروی الف) محوری ب) محیطی 89
- شکل 3-14: توزیع تنش در پوسته داخلی 90
- شکل 3-15: توزیع تنش در پوسته خارجی 90
- شکل 3-16: توزیع تنش در لایه میانی تحت اثر فشار سیال مبرد 91
- شکل 3-17: توزیع کرنش روی محفظه در جهات محیطی و محوری 92
- شکل 3-18: توزیع کرنش در لایه میانی 93
- جدول 3-1 : ضرایب اطمینان 94
- نمودار 1 – 3 : روند کد کامپیوتری 102

فصل چهارم

- شکل 4-1: المان بندی ورق سوراخ دار و سد وزنی به همراه فونداسیون 107
- شکل 4-2: المان بندی اتصال دو لوله و ناحیه اتصال قاب فولادی پل 107
- شکل 4-3: شمای سطح مقطع سازه ساندویچی فینی 109

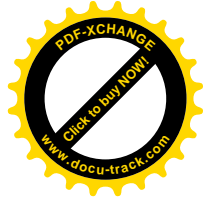
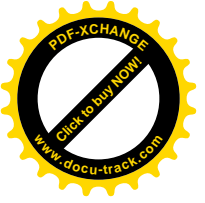


- شکل 4-4: مسیر ترسیم سطح مقطع سازه محفظه 110
- شکل 4-5: نمونه ای از تحلیل المان محدودی توسط نرم افزار COSMOS 111
- شکل 4-6: مدل پوسته داخلی و مجرای خنک کاری استفاده شده در نرم افزار COSMOS 112
- شکل 4-7: مدل نهایی محفظه 112
- جدول 4-1: مشخصات لایه داخلی و میانی 113
- جدول 4-2: شرایط تکیه گاهی روی مدل 113
- جدول 4-3: بارگذاری روی مجرای میانی 113
- جدول 4-4: شرایط المان بندی مدل 114
- شکل 4-12: مقایسه مقادیر تنش در طول محفظه تحت تست هیدرولیکی 114
- شکل 4-8: پروفیل محفظه 115
- شکل 4-9: مدل محفظه جهت تحلیل کامپیوتری 116
- شکل 4-10: مقادیر تنش بدست آمده از کد محاسباتی 117
- شکل 4-11: مقادیر بدست آمده از نرم افزار COSMOS 117
- جدول 4-5: مقایسه نتایج تست مقاومتی محفظه 118
- جدول 4-6: شرایط تنش فون میزز 119
- جدول 4-7: شرایط جابجایی محفظه 119
- جدول 4-8: مشخصات استحکامی پوسته محفظه 120



فصل پنجم

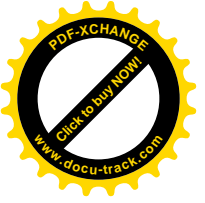
- 121 نمودار 1-5 : مراحل طراحی محفظه موتور سوخت مایع
- 122..... شکل 1-5: الف) توزیع تنش روی پوسته خارجی با توجه به فشار گاز
- 123..... شکل 1-5: ب) توزیع تنش روی پوسته داخلی با توجه به فشار گاز
- 124 جدول 1-5 : تغییرات تنش بر حسب تغییرات فشار
- 125..... شکل 2-5: الف) توزیع تنش روی پوسته داخلی تحت اثر جنس مواد بکار رفته
- 126..... شکل 2-5: ب) توزیع تنش روی پوسته خارجی تحت اثر جنس مواد بکار رفته
- 127 جدول 2-5 : تغییرات تنش بر حسب تغییرات جنس
- 128..... شکل 3-5: توزیع تنش روی لایه داخلی با تغییرات ضخامت لایه داخلی
- 129 جدول 3-5 : تغییرات تنش بر حسب تغییرات ضخامت لایه داخلی
- 129 شکل 4-5: توزیع تنش روی پوسته خارجی در اثر تغییرات ضخامت پوسته خارجی
- 130 جدول 4-5 : تغییرات تنش بر حسب تغییرات ضخامت لایه خارجی
- 130..... شکل 5-5: تأثیر ارتفاع مجرای خنک کاری روی توزیع تنش در پوسته داخلی و خارجی
- 131 جدول 5-5 : تغییرات تنش بر حسب تغییرات ارتفاع مجرای خنک کاری
- 131..... شکل 6-5: توزیع تنش روی پوسته داخلی و خارجی با توجه به تغییر ضخامت فین
- 132 شکل 7-5 : توزیع تنش در طول محفظه بر حسب تغییرات گام فین
- 133 جدول 6-5 : تغییرات تنش در مجرای خنک کاری بر حسب گام فین
- 133 شکل 8-5 : توزیع تنش در طول محفظه بر حسب تغییرات ضخامت فین
- 134 جدول 7-5 : تغییرات تنش در لایه میانی بر حسب تغییر ضخامت فین



ف

شکل 9-5: توزیع تنش در مجرای خنک کاری بر حسب تغییرات فشار 135

جدول 8-5: تغییرات تنش در لایه میانی بر حسب تغییرات فشار محفظه احتراق 135



فهرست علائم و اختصارات

Δx	طول المان
y	شعاع پروفیل
F_{Pg}	توزیع فشار گاز روی المان
φ_j	نیروی ناشی از فشار گاز در المان
β	زاویه پروفیل محفظه
P_c	فشار سیال مبرد
A_c	مساحت جریان سیال مبرد
h	ارتفاع کانال خنک کاری
A_s	مساحت کاروگیت
A_f	مساحت فین
S_x	نیروی محوری
S_t	نیروی محیطی
R	شعاع انحناء
σ_i	تنش اصلی
ε_i	کرنش اصلی
σ_x	تنش محوری
ε_x	کرنش محوری