بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مرتبط بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

عنوان پایان نامه:

پوسته استوانه ای ارتوتروپیک FGM تحت بار حرارتی

استاد راهنما:

دکتر محمد حسین یاس

نگارش:

علی تلافی داریان

اسفند ۱۳۸۸

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی مکانیک

گرایش طراحی کاربردی نام دانشجو علی تلافی داریان

تحت عنوان:

پوسته استوانه ای ارتوتروپیک FGM تحت بار حرارتی

در تاریخ ۸۸/۱۲/۳ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای گروه مکانیک دکتر محمد حسین یاس با مرتبه ی علمی دانشیار

امضاء

۲- استاد داور داخل گروه مکانیک دکتر حشمت اله حقیقت با مرتبه ی علمی استادیار

امضاء

۳- استاد داور خارج از گروه مکانیک دکتر اکبر علی بیگلو با مرتبه ی علمی دانشیار

امضاء

سپاسگزاری

با حمد و ستایش و سپاس بیکران از ایزد منان، پروژه حاضر تحت عنوان " پوسته استوانه ای هدفمند ارتوتروپیک تحت بار حرارتی " توسط استاد فاضل و ارجمند جناب آقای دکتر محمد حسین یاس به اینجانب علی تلافی داریان دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی کاربردی، پیشنهاد گردید، با کوشش و تلاش مستمر خود زیر نظر جناب آقای دکتر یاس نگارش نمودم. از زحمات بی دریغ استاد معزز جناب آقای دکتر یاس که در چندین ترم نیز از محضر علمی درخشانشان بهره مند گردیدم، تشکر خالصانه و مخلصانه داشته و این مجموعه علمی را به حضورشان تقدیم می دارم، شاید که مورد قبول واقع گردد.

علی تلافی داریان

۱۳۸۸

تقدیم اثر

با سپاس و تشکر فراوان از پدر، مادر و همسر عزیزم که در لحظات سخت زندگی یار ویاورم بودند ، این مجموعه را هر چند ناچیز به حضورهمسر مهربانم تقدیم می نمایم.

علی تلافی داریان

چکیده:

هدف از انجام این پروژه، تحلیل پوسته استوانه ای هدفمند ارتوتروپیک تحت بار گذاری حرارتی واستاتیکی است. به این منظور ابتدا تحلیل حرارتی واستاتیکی پوسته استوانه ای هدفمند با طول بی نهایت تحت بارگذاری حرارتی و استاتیکی با استفاده از روش عددی (تفاضل محدود) انجام شده است. حل این قسمت، با توجه به اینکه بارگذاری حرارتی واستاتیکی به صورت متقارن محوری و با طول بی نهایت است، تحت حالت کرنش صفحه‌ای، انجام شده است. معادلات حاکم با استفاده از چهار معادله تعادل استخراج می‌شود و برای حل آنها از روش تفاضل محدود استفاده می‌شود و برای یافتن جواب های مورد نظر از روش غیرمستقیم گوس سایدل استفاده شده است. در اینجا مدول یانگ و ضریب هدایت حرارتی و ضریب انبساط حرارتی به صورت رابطه غیرخطی در راستای ضخامت پوسته تغییر می کند.

با حل معادلات حاکم مقادیر جابجایی برای لایه های مختلف بدست آمده و با استفاده از روابط کرنش- جابجایی و تنش- کرنش، مقادیر تنش در لایه های مختلف بدست آمده است. در اینجا رفتار استاتیکی استوانه جدار ضخیم هدفمند ارتوتروپ برای مقادیر مختلف از توان ماده هدفمند بررسی شده و همچنین رفتار استاتیکی استوانه جدار ضخیم هدفمند ارتوتروپ با رفتار استاتیکی استوانه جدار ضخیم ساخته شده از مواد مرکب دو لایه ، سه لایه و چهار لایه تحت شرایط متشابه مقایسه شده است. درنهایت رفتار استاتیکی استوانه هدفمند ارتوتروپ برای مقادیر مختلف از توان ماده هدفمند برای ضخامت های مختلف بررسی شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تاریخچه ۷

فصل دوم- روشهای تولید مواد «هدفمند» و روابط حاکم بر آنها

۲-۱- روش های تولید مواد هدفمند ۹

۲-۱-۱- روش متالوژی پودر ۹

۲-۱-۲- روش پلاسما جت ۱۰

۲-۱-۳- روش گریز از مرکز ۱۱

۲-۱-۴- روش های الکترو فیزیکی ۱۱

۲-۱-۵- نشت بخار مواد، توسط روش های شیمیایی و فیزیکی ۱۲

۲-۲- مواد هدفمند برتر ازمواد مرکب لایه ای ۱۳

۲-۳- مدلهای ریاضی موجود برای خواص مکانیکی مواد هدفمند ۱۵

فصل سوم- تحلیل پوسته استوانه ای از جنس مواد هدفمند ارتوتروپیک تحت بارگذاری حرارتی و استاتیکی

۳-۱- روابط حاکم ۲۰

۳-۱-۱- ارتباط تنش- کرنش مواد، در حالت ارتوتروپیک ۲۲

۳-۱-۲- سختی‌ها و ثابت های مهندسی مواد ارتوتروپ..... ۲۴

۳-۱-۳- استخراج معادله های تعادل بر حسب جابجایی..... ۲۵

۳-۲- حل مساله..... ۳۰

۳-۲-۱-روش تفاضل محدود..... ۳۰

۳-۲-۲-روش گوس سایدل..... ۳۱

۳-۲-۳- حل مسأله به روش تفاضل محدود..... ۳۲

فصل چهارم- تحلیل و بررسی نتایج

۴-۱-مقدمه..... ۴۳

۴-۲-نتایج عددی ۴۴

۴-۳-نتیجه گیری..... ۷۱

۴-۴-پیشنهادها..... ۷۳

فهرست نمودارها و جدول ها

الف) فهرست نمودارها

شـکل(۳-۱)- تغییـرات E_1 در راسـتای ضـخامت اسـتوانه بـا شـعاع داخلـی ۰/۲۵ متـر و شـعاع خـارجی ۰/۵ متر..... ۲۰

شـکل(۳-۲)- تغییـرات α_1 در راسـتای ضـخامت اسـتوانه بـا شـعاع داخلـی ۰/۲۵ متـر و شـعاع خـارجی ۰/۵ متر..... ۲۱

شکل(۴-۱)- تغییرات تنش شـعاعی σ_r بـرای مـاده ی هدفمنـد ایزوتـروپ در راسـتای ضـخامت بـرای N=0.01..... ۴۶

شکل(۴-۲)- تغییرات تـنش شـعاعی σ_r بـرای مـاده ی هدفمنـد ایزوتـروپ در راسـتای ضـخامت بـرای N=0.5 ..... ۴۷

شـکل(۴-۳)- تغییـرات تـنش شـعاعی σ_r بـرای مـاده ی هدفمنـد ایزوتـروپ در راسـتای ضـخامت بـرای N=5 ..... ۴۷

شکل(۴-۴)- تغییـرات تـنش شـعاعی σ_r بـرای مـاده ی هدفمنـد ایزوتـروپ در راسـتای ضـخامت بـرای N=20 ..... ۴۸

شـکل(۴-۵)- تغییـرات تـنش محیطـی σ_θ بـرای مـاده ی هدفمنـد ایزوتـروپ در راسـتای ضـخامت بـرای N=5..... ۴۸

شـکل(۴-۶)- تغییـرات تـنش محیطـی σ_θ بـرای مـاده ی هدفمنـد ایزوتـروپ در راسـتای ضـخامت بـرای N=20..... ۴۹

شـکل(۴-۷)- تغییـرات تـنش طـولی σ_x بـرای مـاده ی هدفمنـد ایزوتـروپ در راسـتای ضـخامت بـرای N=5 ..... ۴۹

شکل(۴-۸)- تغییرات تنش طولی σ_x برای ماده ی هدفمند ایزوتروپ در راستای ضخامت برای N=20 ..... ۵۰

شکل(۴-۹)- تغییرات تغییر دمای شعاعی در راستای ضخامت استوانه برای مقادیر مختلف از توان هدفمند..... ۵۱

شکل(۴-۱۰)- تغییرات تغییر مکان شعاعی در راستای ضخامت استوانه برای مقادیر مختلف از توان هدفمند..... ۵۲

شکل(۴-۱۱)- تغییرات تنش شعاعی σ_r در راستای ضخامت برای مقادیر مختلف از توان هدفمند ۵۳

شکل(۴-۱۲)- تغییرات تنش طولی σ_x در راستای ضخامت برای مقادیر مختلف از توان هدفمند ۵۴

شکل(۴-۱۳)تغییرات تنش محیطی σ_θ در راستای ضخامت برای مقادیر مختلف از توان هدفمند ۵۵

شکل(۴-۱۴)- تغییرات دماشعاعی در راستای ضخامت استوانه برای ماده هدفمند(N=1) و مقایسه با پوسته های مرکب دو لایه، سه لایه..... ۵۷

شکل(۴-۱۵)- تغییرات تغییر مکان شعاعی در راستای ضخامت استوانه برای ماده هدفمند(N=1) و مقایسه با پوسته های مرکب دو لایه، سه لایه..... ۵۸

شکل(۴-۱۶)- تغییرات تنش شعاعیσ_r در راستای ضخامت استوانه برای ماده هدفمند(N=1) و مقایسه با پوسته های مرکب دو لایه، سه لایه و چهار لایه..... ۵۹

شکل(۴-۱۷)- تغییرات تغییر مکان شعاعی نسبت به ضخامت استوانه برای N=0.01 برای ضخامت های مختلف ۶۰

شکل(۴-۱۸)- تغییرات تغییر مکان شعاعی نسبت به ضخامت استوانه برای N=0.5 برای ضخامت های مختلف..... ۶۱

شکل(۴-۱۹)- تغییرات تغییر مکان شعاعی نسبت به ضخامت استوانه برای N=5 برای ضخامت های مختلف ۶۱

شکل(۴-۲۰)- تغییرات تغییر مکان شعاعی نسبت به ضخامت استوانه برای N=20 برای ضخامت های مختلف..... ۶۲

شکل(۴-۲۱)- توزیع تنش شعاعی σ_r نسبت به ضخامت استوانه برای N=0.01 برای ضخامت های متفاوت..... ۶۳

شکل(۴-۲۲)- توزیع دما نسبت به ضخامت استوانه برای N=0.5 برای ضخامت های متفاوت..... ۶۴

شکل(۴-۲۳)- توزیع دما نسبت به ضخامت استوانه برای N=5 برای ضخامت های متفاوت.....۶۴

شکل(۴-۲۴)- توزیع دما نسبت به ضخامت استوانه برای N=20 برای ضخامت های متفاوت.....۶۵

شکل(۴-۲۵)- توزیع تنش محیطی σ_θ نسبت به ضخامت استوانه برای N=0.01 برای ضخامت های متفاوت.....۶۶

شکل(۴-۲۶)- توزیع تنش محیطی σ_θ نسبت به ضخامت استوانه برای N=0.5 برای ضخامت های متفاوت.....۶۶

شکل(۴-۲۷)- توزیع تنش محیطی σ_θ نسبت به ضخامت استوانه برای N=5 برای ضخامت های متفاوت.....۶۷

شکل(۴-۲۸):توزیع تنش محیطی σ_θ نسبت به ضخامت استوانه برای N=20 برای ضخامت های متفاوت.....۶۷

شکل(۴-۲۹)- توزیع تنش طولی σ_x نسبت به ضخامت استوانه برای N=0.01 برای ضخامت های متفاوت.....۶۸

شکل(۴-۳۰)- توزیع تنش طولی σ_x نسبت به ضخامت استوانه برای N=0.5 برای ضخامت های متفاوت.....۶۹

شکل(۴-۳۱)- توزیع تنش طولی σ_x نسبت به ضخامت استوانه برای N=5 برای ضخامت های متفاوت.....۶۹

شکل(۴-۳۲)- توزیع تنش طولی σ_x نسبت به ضخامت استوانه برای N=20 برای ضخامت‌های متفاوت.....۷۰

ب) فهرست جدول ها

جدول(۳-۱)- نمادهای قابل نمایش تنش-کرنش.....۲۳

جدول(۴-۱)- تغییر مکان سطح داخلی وخارجی پوسته ی هدفمند به ازای Nهای مختلف.....۴۵

جدول(۴-۲). خواص آلومینیم و گرافیت – اپوکسی.....۵۶

جدول(۴-۳). کسر حجمی آلومینیم و گرافیت - اپوکسی در پوسته استوانه ای۲لایه ارتوتروپیک۳لایه ارتوتروپیک و پوسته ساخته شده از مواد هدفمند ارتوتروپیک.....۵۶

علائم

تانسور سختی الاستیک ماده ی هدفمند $(\frac{N}{m^2})$	C
مولفه های تانسور سختی الاستیک ماده ی هدفمند $(\frac{N}{m^2})$	C_{ji}
مدول یانگ استوانه ی هدفمند در جهت i $(\frac{N}{m^2})$	$E_i(r)$
ضریب انبساط حرارتی در جهت i $(\frac{1}{^oC})$	$\alpha_i(r)$
مدول برشی $(\frac{N}{m^2})$	G
شعاع داخلی استوانه (m)	R1,یا Riیا a یا Rin
شعاع خارجی استوانه (m)	R2 یا Ro یا Routیا b
مولفه های تانسور سازگاری ماده ی هدفمند	S_{ji}
ضخامت استوانه(m)	h
تعداد گره ها در جهت ضخامت استوانه	n
مقدار بار بر سطح $(\frac{N}{m^2})$	q
مولفه ی شعاعی بردار تغییر مکان(m)	u
تغییر مکان شعاعی گره ی iام(m)	u_i
مولفه ی محیطی بردار تغییر مکان(m)	v
مولفه ی طولی بردار تغییر مکان(m)	w

تانسور کرنش	ε
کرنش شعاعی	ε_r
کرنش محیطی	ε_θ
کرنش طولی	ε_x
کرنش برشی	γ_{xr}
تانسور تنش $(\frac{N}{m^2})$	σ
تنش شعاعی $(\frac{N}{m^2})$	σ_r
تنش محیطی $(\frac{N}{m^2})$	σ_θ
تنش طولی $(\frac{N}{m^2})$	σ_r
تنش برشی $(\frac{N}{m^2})$	τ_{ij}
ضرائب پوآسون (نسبت کاهش طول در جهت j بر اثر افزایش طول در جهت i)	ν_{ij}

فصل (۱)

مقدمه

۱-۱- مقدمه

با گسترش روزافزون علوم و فنون و در همین ارتباط تکنولوژی نوین، شناخت و به کارگیری مواد نو در صنایع روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شوند. در این راستا تحقیقات صنعتی و دانشگاهی توجه خاصی به شناخت، تولید و گسترش مواد نو دارند. به کارگیری مواد مرکب لایه ای، آلیاژهای حافظه دار و مواد پیزوالکتریک و ... و گسترش دامنه استفاده از این مواد از جمله تلاش های محققین جهت نیل به اهداف فوق می‌باشد. به طور کلی هریک از مواد مورد اشاره دارای ویژگی خاصی هستند که حوزه کاری هر دسته را محدود می‌نماید. مواد نو که در سال های اخیر تولید و مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به صورت زیر دسته بندی می‌شوند:

- مواد مرکب[۱]
- آلیاژهای حافظه دار[۲]
- مواد پیزوالکتریک[۳]
- نانو مواد[۴]
- مواد هدفمند[۵]

گسترش به کارگیری این نوع مواد در صنایع باعث گردید فعالیت های علمی و صنعتی بی‌شماری در زمینه‌های تولید و بررسی خواص متالورژیکی و همچنین تحلیل و به کارگیری این نوع مواد در سازه‌ها و اجزاء مکانیکی صورت گیرد.

یک دسته از این مواد نو، مواد هدفمند می‌باشند که در بخش‌های بعد در این فصل به خواص و کاربردهای این مواد، بیشتر پرداخته خواهدشد.

---

[1] - Composites
[2] - Shape memory alloy
[3] - Piezo electricity material
[4] - Nano material
[5] - Functionally graded material

اف.جی.ام(FGM) چیست؟ کلمه اف.جی.ام عبارتی مخفف شده از کلمات Functionally Graded Material بوده و به معنی ماده ای است غیر هموژن (از دو ماده مختلف تشکیل شده است که بصورت یکنواخت با هم ترکیب نشده اند) که از ترکیب دو ماده مختلف به دست آمده و تغییرات ترکیب مواد مذکور، توسط تابع معینی بیان میشود[۱].

براساس این تعریف می‌توان مواد گوناگون فلز و یا غیرفلز را به صورت یک ترکیب واحد در قالب مواد هدفمند بدست آورد که این امر باعث کاربرد بسیار گسترده مواد هدفمند در زمینه های مختلف مهندسی و کاربردی از جمله برق و الکترونیک، برق قدرت، مکانیک جامدات، شیمی، هوا فضا، معدن، عمران و ... خواهدبود.

مفهوم مواد هدفمند اولین بار در سال ۱۹۸۴ توسط دانشمندان مواد ناحیه سندایی[1] در ژاپن ارائه گردید[۱و۲]. در ابتدا این ایده فقط در حد یک نظریه باقی ماند و توانایی بالقوه این نظریه برای کسی مشخص نگردید. اما امروزه با توجه به توانایی مواد هدفمند برای تولید شدن با هر ترکیبی، کاربرد آن در صنایع مختلف برای همه بارز و مشخص است. در بسیاری از صنایع، قطعات به کار رفته در نقاط مختلف، معمولاً دارای مرزهای متفاوت هستند که بسته به شرایط کاربرد آن قطعات، یک یا چند مرز مربوط به آنها در شرایط نامطلوب فیزیکی قرار می‌گیرند. در حالی که مرزهای دیگر اینگونه نیستند. مواد هدفمند این فکر را در ذهن بشر راه داد که عملاً به جای اینکه تمام قطعه از مواد باارزش و احیاناً گران قیمت که مقاومت خوبی در شرایط مرزی نامطلوب حاکم دارند، ساخته شود، می‌توان فقط در نواحی نزدیک مرزهایی با شرایط نامطلوب، از مواد مقاوم و گرانتر استفاده نمود و باقی قطعه را با کمک مواد ارزان تر و یا خواص فیزیکی مطلوب دیگر پوشش داد. مرز نامطلوب مذکور می‌تواندتحت حرارت بیش از حد یا بارگذاری مکانیکی زیاد و ...باشد. همچنین از کاربردهای دیگر مواد هدفمند می‌توان به استفاده در تولید موادی که در آنها خواستار خواص متفاوت درونی از قبیل مقاومت الکتریکی و یا خواص اپتیکی و مانند آن است، اشاره کرد.

[1] - Sendai

با پیشرفت سریع هواپیماها و وسایل فضایی مربوط به علوم هوا فضا، نیاز به مقاومت در برابر گرادیان های شدید دمایی احساس گردید. این مسأله بخصوص برای بهبود عملکرد موتورهای دیزلی و بنزینی از دسته موتورهای احتراق داخلی و همچنین موتورهای توربینی از دسته موتورهای احتراق خارجی نیز صادق بوده و گرادیان های شدید دمایی در این وسایل نیز مشکل ساز گردیده و نیاز روز افزون به ماده ای چون ماده هدفمند احساس گردید. در این وسایل همان گونه که گفته شد شرایط نامطلوب، بارگذاری دمایی می‌باشد. این مسائل فقط در گوشه کوچکی از مسائل مکانیکی مطرح می‌باشند، ولی با توجه به وسعت عظیم کاربرد وسایل مذکور در سراسر دنیا توجه خاص به این گوشه کوچک لازم گردید[۳].

مهمترین مزایای این مواد عبارتند از:

- قابلیت بالای مقاومت حرارتی

- قابلیت بالای مقاومت مکانیکی

- قابلیت بالای مقاومت خوردگی

- تولید این نوع مواد منطبق با شرایط بهینه

کاربردهای مواد هدفمند:

- کاربرد وسیع در صنایع هوا فضا

- تولید پره های توربین

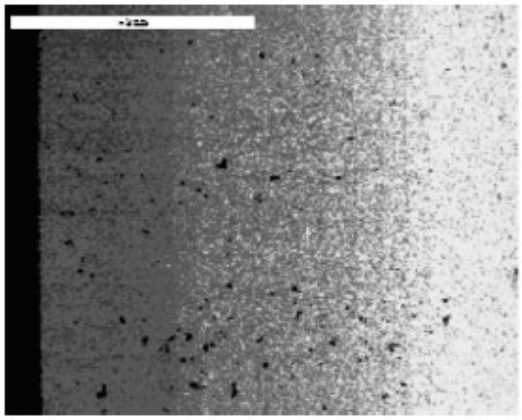
- به کارگیری در راکتورهای صنایع هسته‌ای

- به کارگیری در سیستم‌های تبدیل انرژی

- به کارگیری در مهندسی پزشکی[۴-۶]

خواص مکانیکی مواد هدفمند شامل: مدول الاستیسیته، چگالی، ضریب انتقال حرارت هدایتی به صورت تابعی پیوسته می‌باشند. به عبارت دیگر ریز ساختار این مواد به گونه‌ای است که به صورت پیوسته و

تدریجاً از یک ماده، در راستایی مشخص به ماده‌ای کاملاً متفاوت میل می‌کند. در برخی از این مواد، خواص مکانیکی و نیز ریز ساختار آن، از ماده سرامیکی به سمت ماده فلزی میل می‌کند که این دسته از مواد هدفمند بیشترین کاربرد را در ارتباط با تحمل تنش‌های حرارتی دارا می‌باشند. همان طور که در شکل(۱-۱) نشان داده شده در هیچ نقطه‌ای از این ماده گسستگی یا انفصال در ریز ساختار مشاهده نمی‌شود و تغییرات به صورت کاملاً یکنواخت و با نرخی مشخص به صورت پیوسته می‌باشد[۷].



شکل(۱-۱):پیوستگی ریز ساختار مواد هدفمند[۱]

اولین بار پوشش حرارتی بوسیله اسپری پلاسما، که توسط آلیاژهای مختلف انجام گرفت، توانست حرفهای ناگفته مواد هدفمند را به کرسی بنشاند و عملکرد فوق العاده و متحول کننده در این صنعت داشته باشد و توانست برای اولین بار ماده ای متشکل از دو ماده غیر فلز سرامیک و فلز را آنچنان در برابر هم قرار دهد که مقاومت برش میان آنها ماورای تصور گردد و از طرف دیگر تغییرات خواص میان دو ماده بسیار آرام و به دلخواه صورت گیرد.

به منظور تحلیل استوانه از جنس مواد هدفمند، استوانه تحت بار گذاری حرارتی و استاتیکی قرار گرفته و محاسبات انجام می‌پذیرد. برای این منظور فرض می‌شود که استوانه دارای طول نامحدود بوده و شرایط بارگذاری استوانه به گونه ای است که شرط تقارن محوری برقرار باشد. بارگذاری حرارتی و استاتیکی می‌تواند به صورت فشار داخلی و یا فشار خارجی و یا اعمال هر دو فشار به صورت هم زمان باشد. در این تحلیل فرض بر این است که استوانه تحت اثر فشار داخلی بوده و فشار خارجی صفر است.