٤٠٠٩

۱۳۸۰ /۱۲/ ۲۸

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکدهٔ مهندسی مکانیک

عنوان پروژه :

تخمین نیروهای حد بالا و پایین و Shakedown در مخزن تحت ماهواره در شرایط خلا و حرارتی به کمک روش کاهش مدول الاستیسیته

توسط :

مجتبی اسمعیلی

پایان نامه جهت دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد

در رشتهٔ مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

استاد راهنما :

دکتر علیرضا گوهری انارکی

016671

آبان ماه ۱۳۸۰

۶۰۰۵۶

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

چکیده :

یک روش ساده برای تخمین بارهای حد و **Shakedown** ، استفاده از تحلیل اجزاء محدود الاستیک متوالی و تئوری باند پائین و بالا می باشد . این روش تحت عنوان جبرانی الاستیک موجود است . این روش تحلیل الاستیک تکراری برای- اصلاح متوالی مدول الاستیسیته در نواحی که تنش معادل محاسبه شدهٔ الاستیک از مقاومت تسلیم مواد بیشترمی شود بکار گرفته می شود . این تکنیک اولین بار برروی پوسته های ضخیم کروی واستوانه ای تحت فشاراعمال شده ومشاهده شد که این روش با حلهای الاستیک- پلاستیک تحلیلی همبستگی خوبی دارد . دراین کار ابتدا روش فوق را بررسی کرده و مثالهائی که با آن حل شده اند آورده شده است و سپس آنرا بر روی سازهٔ محفظهٔ تستر خلا حرارتی پیاده می کنیم . همچنین در این کار به بررسی مقاومت سازه دربرابرپدیدهٔ رشد کرنش **(Ratchetting)** می پردازیم . بالاخره در انتها به طراحی این مخزن با استفاده از کد **ASME** پرداخته شده است .

ازجناب آقای دکترگوهری برای

راهنمائی‌ایشان و همچنین از صنایع

شهید موحد (شهیدهمت)، برای

همکاری در انجام این پایان نامه

قدردانی‌می نمایم.

فهرست

الف - چکیده

فصل ۱ - مقدمه ۱

فصل ۲ - تاریخچه ۷

فصل ۳ - روشهای مدول کاهش یافته در طراحی مخازن تحت فشار..... ۱۱

۳-۱- مقدمه..... ۱۲

۳-۲- روش مدول کاهش یافته ۱۳

فصل ۴ - بارهای حد پائین و بالا و Shakedown ۲۳

۴-۱- بارهای حد پائین و بالا ۲۴

۴-۱-۱- مقدمه ۲۴

۴-۱-۲- حد پائین ۲۵

۴-۱-۳- حد بالا ۳۱

۴-۲- بار Shakedown ۳۴

۴-۲-۱- مقدمه ۳۴

۴-۲-۲- روش ملان برای تعیین حد پائین Shakedown ۳۵

۴-۲-۳- روش کویتربرای تعیین حد بالای Shakedown ۳۹

فصل ۵ - مثالهایی برای مقایسهٔ روش تحلیلی و اجزاء محدود ۴۲

فصل ۶ - محفظهٔ تستر خلا حرارتی ۵۴

فصل ۷ - مدل اجزاء محدود برای تحلیل سازهٔ محفظهٔ تستر خلا حرارتی ۶۱

فصل ۸ - تحلیل الاستیک – پلاستیک ۶۵

فصل ۹ - تحلیل الاستیک تکراری با استفاده ازروش مدول کاهش یافته برروی مدل اجزاء محدود ۷۲

فصل ۱۰ - محاسبات و نتیجه گیری ۸۰

فصل ۱۱ - ضمائم ۸۷

۱-۱۱- ضمیمهٔ الف ۸۸

۲-۱۱- ضمیمهٔ ب ۹۰

منابع ۹۲

فهرست جدولها ، نمودارها و شکلها

شماره	عنوان	صفحه
۱	ترسیم نرمنیزهٔ تنش-کرنش.	۱۴
۲	ترسیم تنش معادل بر حسب کرنش معادل .	۲۱
۳	شمای جسمی که برای تشریح حد پائین داریم.	۲۵
۴	ترسیم تنش معادل بر حسب تکرار.	۲۸
۵	تغییرات انرژی کرنشی و انرژی تلف شدهٔ داخلی بر حسب نیروهای خارجی.	۳۳
۶	تغییرات P_{L1_i} و P_{L2_i} بر حسب تعداد تکرار.	۳۹
۷	تغییرات P_{s_i} بر حسب تعداد تکرار.	۳۹
۸	تغییرات P_{k_i} بر حسب تعداد تکرار.	۴۱
۹	سازهٔ دو میله ای تحت نیروی F	۴۳
۱۰	تیر تحت اثر گشتاور خمشی خالص.	۴۵
۱۱	توزیع تنش درحالتهای الاستیک و مدول تصحیح شده.	۴۷
۱۲	اتصال لازل به کره.	۴۸
۱۳	ترسیم تنش معادل بر حسب کرنش معادل برای دو فشار.	۴۹
۱۴	بعد بری یک انتهای چنبره-کروی.	۵۰
۱۵	طرح تغییر فرم در انتهای چنبره-کروی.	۵۱
۱۶	تحلیل الاستوپلاستیک درپوش۳۱.	۵۳
۱۷	تحلیل الاستوپلاستیک درپوش۳۲.	۵۳
۱۸	تحلیل الاستوپلاستیک درپوش۴.	۵۳
۱۹	تحلیل الاستوپلاستیک درپوش۲۶.	۵۳
۲۰	شمائی از یک سیستم خلاء بالا.	۵۶
۲۱	شمائی از یک محفظهٔ خلاء حرارتی با تجهیزات مربوطه.	۵۸
۲۲	نمای بیرونی سازهٔ محفظهٔ خلاء حرارتی .	۵۹

شماره	عنوان	صفحه
۲۳	نمای برش خوردهٔ سازهٔ محفظهٔ خلاء حرارتی.	۵۹
۲۴	ابعاد سازهٔ محفظهٔ خلاء حرارتی مورد نظر.	۶۰
۲۵	مدل نرم افزاری سازهٔ محفظهٔ خلاء حرارتی .	۶۳
۲۶	مدل شبکه بندی شدهٔ سازهٔ محفظه خلاء حرارتی.	۶۳
۲۷	مدل مواد برای تحلیل الاستو پلاستیک.	۶۶
۲۸	توزیع برداری تنش معادل در سازهٔ محفظهٔ خلاء حرارتی.	۶۷
۲۹	توزیع تنش معادل و شکل تغییر فرم یافته.	۶۷
۳۰	نمودار تغییرات دما بر حسب زمان.	۶۸
۳۰	تغییرات تنش معادل بر حسب زمان در گرهٔ بحرانی .	۶۹
۳۲	تغییرات کرنش معادل الاستیک بر حسب زمان در گرهٔ بحرانی.	۶۹
۳۳	تغییرات کرنش معادل پلاستیک بر حسب زمان در گرهٔ بحرانی.	۷۰
۳۴	تغییرات کرنش حرارتی معادل بر حسب زمان در گرهٔ بحرانی.	۷۰
۳۵	تغییرات تنش معادل بر حسب مجموع کرنشها در گرهٔ بحرانی.	۷۱
۳۶	جد سازی المانهای بحرانی در کل سازهٔ محفظه.	۷۴
۳۷	المانهای موجود در نواحی بحرانی سازه.	۷۴
۳۸	تغییرات تنش معادل بر حسب کرنش معادل در بحرانیترین گره.	۷۵
۳۹	تغییرات تنش معادل بر حسب تعداد تکرار تحلیل الاستیک در بحرانیترین گره.	۷۶
۴۰	مدول الاستیسیته المانهای ۵۲۶ ، ۵۲۷ ، ۵۲۸ ، ۷۸۵ ، ۷۸۶ و ۷۸۷ بر حسب تعداد تکرار تحلیل الاستیک.	۷۸
۴۱	مدول الاستیسیته المانهای۱۰۴۱،۱۰۴۰، ۱۱۶۷، ۱۱۹۵، ۱۱۹۶ و۱۶۵۶ برحسب تعدادتکرار تحلیل الاستیک.	۷۹
۴۲	توزیع تنش پسماند در سازهٔ محفظه با استفاده از روش کاهش مدول الاستیسیته.	۸۳
۴۳	توزیع تنش پسماند در سازهٔ محفظه با استفاده از امکانات الاستیک – پلاستیک نرم افزار.	۸۳
۴۴	نمودار برای بدست آوردن فاکتور A.	۸۵
۴۵	نمودار برای بدست آوردن فاکتور B.	۸۶
جدول۱	ابعاد مدلهائی که مراحل تحلیل بر روی آنها انجام می شود.	۵۲
جدول۲	تغییرات مدول الاستیسیته در هر تکرار برای المانهای بحرانی .	۷۷

لیست علائم و اختصارات :

α, β, μ : ضریب تنش

θ : زاویه

ε_i : کرنش در تکرار i

ε_P : کرنش پلاستیک

σ_A : تنش الاستیک در نقطه A

σ_e : تنش الاستیک

σ_{ref} : تنش مرجع

σ_Y : تنش تسلیم

A : سطح مقطع

D_d : کار تلف شده داخلی

E_m : مدول الاستیسیته اصلاح شده

V : حجم

E_0 : مدول الاستیسیته اولیه

E_R : مدول الاستیسیتهٔ کاهش یافته

F_L : بار حد

I : گشتاوردوم سطح

L : طول

M : گشتاور خمشی

P : فشار

P_a : فشار حد

P_D, P_L, P_u : فشار حد

P_d : فشار اولیه

PSF,r : فاکتور تنش اولیه

Rot_i : دوران حول محور i

SI : شدت تنش

S_m : تنش مجاز از کد

u_i : جابجائی در راستای i

فصل اول

مقدمه

فصل اول : مقدمه

در گذشته اساس محاسبات در طراحی سازه ها و قطعات صنعتی مشخصهٔ تسلیم بوده است . در این دوران محاسبات فقط در محدودهٔ الاستیک انجام می شد و با اعمال یک ضریب اطمینان ، طراحی انجام می گرفت.باتوجه به پیشرفت صنایع،وزن پائین واستحکام بالای قطعات مورد توجه فوق العاده قرارگرفته است بر این اساس استفاده از تحلیلهای الاستیک – پلاستیک اهمیت بسزایی یافته است . حل مسائل الاستیک – پلاستیک متاسفانه با استفاده از روشهای تحلیلی و عددی بسیار مشکل ، پیچیده و وقتگیر می باشد.دلیل این پیچیدگی،وابستگی شدیدبه مسیر بارگذاری تغییر شکلهای خمیری ایجادشده می باشد . بجزپیچیدگی تحلیل وحجم محاسباتی زیاد نیاز به کنترل دقیق و حساس رفتار واقعی ماده در حل مسئلهٔ غیر خطی می باشد . برای پرهیز از چنین تحلیلهای پیچیده روش آنالیز حد در طراحی قطعات پیشنهاد شده است . در این روش ، هدف تعیین تنشها و کرنشها نمی باشد بلکه میزان یا حد باری که جسم در شرایط بارگذاری و یا بار برداری تحمل می کند ، تا خراب شود مورد نظراست . این نوع باررا در شرایط بارگذاری قطعه بارحدی یابارشکست خمیری(Collapse Load) ودرشرایط باربرداری Shakedown Load می نامیم . معمولا در مسائل ساده که توزیع تنش ثابت و یا خطی بوده می توان بطور دقیق میزان بار حدی و Shakedown Load را محاسبه نمود . در مسائل پیچیده که درجهٔ توزیع تنش بالا بوده دیگر نمی توان مقادیردقیق بارهای حدرامحاسبه نمود بلکه می توان حد بالا و پائین این بارها را محاسبه کرد یا به عبارت بهتر می توان بارهائی را محاسبه نمود که مقادیرآنها کمتر یا بیشتر از نیروهای واقعی هستند ودر نتیجه در یک محدوده ای که از نظر مهندسی و کارهای محاسباتی مورد قبول است مقدار بار نهائی را مشخص کرد . محاسبهٔ مستقیم نیروهای حد به کمک تئوریهای کران بالا و پائین بسیار مشکل است زیرا ایجاد میدانهای تنش مجازاستاتیکی درتئوری کران پائین ومیدان تغییرمکان مجازسینماتیکی در تئوری کران

بالا مشکلات پیچیده ای را در بر دارد . بدین معنا که تعیین معادلات تعادل بین بارهای خارجی و تنش ، همچنین معادلات سازگاری بین مؤلفه های کرنش و تغییر مکان نیازبه یک حل شکست خمیری غیرخطی پیچیده ای دارد . لذا برای پرهیز از چنین تحلیلهائی تئوریهای کران بالا و پائین به روشهای ساده تری که مورد توجه بسیاری از محققین است مورد تحلیل قرار می گیرد . در این روشها اثر رفتار غیر خطی ماده به کمک یک سری تحلیل خطی الاستیک تکراری به روش المانهای محدود ،شبیه سازی می شود . به طوری که در هر تکرار مدول الاستیسیتهٔ ماده کاهش یافته تا به یک حد معین برسد . این روش به روش کاهش مدول معروف است. همچنین در تحلیل خطی الاستیک تکراری به روش المانهای محدود ، کاهش مدول الاستیسیته در هر تکرار طوری انجام می گیرد که شرایط لازم برای تئوریهای کران پائین و بالا را که ایجاد میدانهای تنش مجاز استاتیکی و تغییر مکان مجاز سینماتیکی می باشد فراهم سازد .

طراحی توسط تحلیل درمخازن تحت فشارمعمولا براساس یک تحلیل اجزاء محدودکوپل شده با کدهای حاضر مانند کد مخازن تحت فشار و بویلر ASME وBS انجام می شود . زمانیکه طراحی بر اساس تحلیل الاستیک انجام می شود ، طراح باید تنشهای محاسبه شده را به سه نوع تنش Peak ، اولیه (Primary) و ثانویه (Secondary) تقسیم بندی نمایدکه هر کدام از تنشهای مربوطه مکانیزمهای واماندگی متمایزی دارند (مانند خستگی ، تغییر فرم زیاد و پدیده رشد کرنش (Ratchetting)) که بر طبق حدهای تنش متناسب بدست آمده اند . بنابراین کد یک راهنمایی برای دسته بندی تنشها در محلهای جزئی که در بارگذاری رشد می کنند می دهد . این راهنمایی ها بر اساس مفاهیم رشد از تئوری پوسته الاستیک خطی مانند تنشهای غشائی وخمشی بوده وبه راحتی قابل اعمال بر نتایج تنش پیوسته گرفته شده از تحلیل اجزاء محدود Solid دو و سه بعدی نمی باشند . بر اساس وسیله مورد دسترسی ، طراح در طبقه بندی درست تنشهای پیوسته ، یک تعداد روشهای ساده شده مانند روشهای طبقه بندی خطی سازی و مدول کاهش

یافته را در سالهای اخیر اگر چه این روشها برای خود در تشریحشان ابهام آمیز نشان می دهند توسعه داده است . هرچند کدASME به طراح اجازه یافتن خیلی از مسائل که در طراحی توسط تحلیل الاستیک توسط فراهم کردن تحلیل پلاستیک یاحد ازقطعه موردطراحی رشدکرده اند می دهد . بر خلاف تحلیل الاستیک ، این تحلیلها تعدادی از توزیع دوباره تنش بالای حالت تسلیم را در نظر می گیرند . در حال حاضر بحث بر این است که تحلیل پلاستیک باید روش استانداردی برای ارزیابی مودهای واماندگی مربوط به تغییر فرم زیاد در طول کاربرد تنهای فشار باشد و اینکه فشارهای طراحی محاسبه شده توسط تحلیلهای دیگر قابل قبول می باشند اگر این موضوع قابل توضیح باشد که آنها از فشارهایی که توسط تحلیل پلاستیک محاسبه می شوند نباید بیشتر باشند . مقدار محدود شده از داده های طراحی غیرالاستیک یا حد برای اجزای پیچیده ، یافتن این مشخصات اضافی موجود در طراحی الاستیک را مشکل می کند . بارهای حد تئوری برای یک تعداد از سازه های ساده مانند تیرها (Beams) و برخی پوسته های متقارن محوری بدست آمده اند اما در مورد سازه های با پیچیدگی بیشتر ، بارهای حد بصورت تجربی بدست می آیند . در نتیجه اگر تحلیل پلاستیک باید اساس طراحی قرار گیرد ، تحلیل پلاستیک یا حد باید بر روی قطعات انجام شود . تحلیل اجزاء محدود غیر خطی بصورت یک تکنیک ، و یک تعداد برنامه های غیر خطی بصورت تجاری در دسترس می باشند. به هر حال تحلیل اجزاء محدود غیر الاستیک منابع محاسبه بیشتری از تحلیل الاستیک فراهم ساخته و بنابراین برای استفاده ، خیلی گران تمام می شود . این هدف اقتصادی یک فاکتور کمکی در محدود کردن استفاده از تحلیل غیر الاستیک در طراحی مخازن تحت فشار می باشد اما شاید محدوده های محاسباتی بدلیل پیوستگی در توسعه تکنولوژی کامپیوتر ، این محدودیتها کاسته شوند. فاکتور عمده این است که تحلیل غیرالاستیک ذاتا برای استفاده کردن و ارزیابی از تحلیل الاستیک خیلی مشکلتر می باشد . از این مشکلات می توان به تعریف مدلهای مواد و کنترل روش

حل تکراری اشاره نمود . همچنین محاسبه مستقیم بارهای حد با استفاده از فرضیات باند پایین و بالا نیز مشکل می باشد . در اینجا قابل ذکر است که برای ایجاد تحول از الاستیک به غیر الاستیک یا بار حد بر اساس طراحی برای سازه های واقعی ، روشهای تحلیل ساده شده فراهم شده اند . بحثی که در اینجا انجام شده روشی است که فقط توسط تحلیلهای الاستیک عمومی انجام می شود . یک روش ساده شده ممکن است در تخمین بارهای دقیق یا بارهای حد با ضریب اطمینان بالا که از یک تکنیک که با روش مدول کاهش یافته برای دسته بندی تنش شناخته می شودتوسعه داده شده موفق باشد . تکنیک پیشنهادی به تکنیک جبرانی الاستیک ارجاء داده شده و هدف از آن تولید یک میدان تنش مناسب برای قضیه باند پایین می باشد .

با توجه به مسائل بالا در طراحی توسط تحلیل برای مجاز ساختن استفاده از طراحی بر اساس تحلیل حد ، محققین یک تکنیک ساده را بر اساس تحلیل اجزاء محدود تکراری با اصلاحات موفق برای مدول الاستیسیته پیشنهاد کرده اند ، که می توان آنرا برای توسعه میدانهای تنش مناسب برای قضیه باند پائین مورد استفاده قرار داد . تکنیک حاضر که به روش جبرانی الاستیک رجوع می کند ، نشان داده شده است که نتایج دقیق برای مسائل ساده و مسائل مخزن تحت فشار نوعی انتخابی در اختیار قرار می دهد . این روش جدید نیست اما نشان داده شده است برای فراهم ساختن یک رویه سیستماتیک که بتوان برای تخمین بارهای حد بصورت قابل اعتماد با استفاده از تحلیل الاستیک متداول عمل کرد چه رویه ای دنبال می شود . این روش برای مسائل کلاسیک مانند درپوش چنبره ای- کروی ، اتصال نازل به کره و غیره بسیار کاربردی می باشد . از آنجا که متاسفانه تحلیلهای حد یا الاستیک – پلاستیک مستقیم برای مخازن سه بعدی پیچیده بدون جواب و منابع محاسبه مناسب باقی می مانند بنابراین برای اهداف طراحی چندان مناسب به نظر نمی رسند . برای غلبه بر این مشکلات همانطور که گفته شد در اینجا یک روش ساده شده

متناوب بر پایه استفاده از یک تحلیل الاستیک متوالی که هدف از آن تولید یک توزیع تنش مجاز مؤثر برای تئوری باندپائین می باشد فرض شده است.این روش بعنوان رویه جبرانی الاستیک(Elastic Compensation) نامیده شده وبصورت موفقیت آمیز، مدول الاستیسیته نواحی بحرانی را تصحیح می نماید .