



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی اثر اتصال جوشی بر استحکام کمانش پوسته‌های استوانه‌ای تحت فشار خارجی

ارائه شده برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

نگارش:

مینا نبی یار

استاد راهنما:

دکتر رسول محرمی

استاد مشاور:

دکتر اسماعیل پورسعیدی

اسفندماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی اثر اتصال جوشی بر استحکام کمانش پوسته‌های استوانه‌ای تحت فشار خارجی

ارائه شده برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

نگارش:

مینا نبی یار

استاد راهنما:

دکتر رسول محرمی

استاد مشاور:

دکتر اسماعیل پورسعیدی

اسفندماه ۱۳۹۰

سپاسگزاری

از درگاه حضرت دوست به دلیل انجام این مطالعه سپاسگزارم. امید است با تمامی نواقص، رضای آن سرچشمه ی وجود را فراهم کرده باشد.

از زحمات بی دریغ استاد راهنمای گرامی، آقای دکتر رسول محرمی که راهنمایی‌های ایشان در به ثمر رسیدن این پژوهش نقش ویژه ای داشت قدردانی می نمایم.

از پدر، مادر عزیزم و همسر مهربانم نیز که در همه ی لحظات دشوار زندگی مایه ی دلگرمی و آرامشم بوده اند ممنونم.

در پایان از آقای دکتر رحمانی و دکتر مجتبی آیت اللهی که داوری این پایان نامه را بر عهده گرفتند نیز کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مینا نبی یار

اسفندماه ۱۳۹۰

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب مینا نبی یار متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب، تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه زنجان بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات و روال متعارف، ارجاع و در منابع ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه زنجان می باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه زنجان ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است.

چکیده

بار بحرانی کمانش، یکی از موارد مهم و قابل توجه در طراحی مخازن و لوله‌های تحت فشار خارجی است. هر چند برای طراحی و تحلیل این گونه سازه‌ها، مستندات و استانداردهای زیادی وجود دارد، ولی به دلیل پیچیدگی موضوع و همچنین وجود پارامترهای زیاد، فرمول‌های پیشنهادی به طور دقیق و جامع نیستند. از جمله پارامترهای مؤثر در کمانش این سازه‌ها، نقص شکل، ناهمگونی متالورژیکی، و تنش‌های پسماندی است که می‌تواند ناشی از خورد ورق‌ها و یا اتصالات جوشکاری باشد. جوشکاری یکی از روش‌های معمول و مهم در مراحل ساخت مخازن و لوله‌ها می‌باشد. موضوعات بسیاری با کنترل کیفیت سازه‌های جوش خورده در ارتباط هستند. در جوشکاری، فلزی که در مجاورت خط جوش قرار دارد شرایط دمایی مختلفی را تجربه می‌کند، به دلیل گرادیان حرارتی بالا، توزیع دمایی غیر یکنواخت در جوش و نواحی اطراف آن رخ می‌دهد. نتیجه‌ی این فرآیند به وجود آمدن تغییر شکل-ها و تنش‌های پسماند در سازه‌ی جوش خورده است. ترک‌ها، خوردگی و عیوب مکانیکی و متالورژیکی، از دیگر مشکلات رایج در اتصالات جوشی هستند. هر چند که اتصال جوشکاری شده از نظر استحکام، معمولاً بالاتر از اتصالات دیگر محسوب می‌شود، ولی جوشکاری با ایجاد همین عوارض، مقاومت سازه، از جمله مقاومت به کمانش را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در این تحقیق، از میان همه‌ی این عوارض ناشی از جوشکاری، تأثیر تنش‌های پسماند بر مقاومت کمانش، بررسی خواهد شد. برای این منظور، ابتدا با استفاده از نرم افزار ANSYS به بررسی میدان تنش‌های پسماند در انواع جوشکاری پوسته‌های استوانه‌ای پرداخته می‌شود، از جمله جوش اسپیرال، که امروزه در جوشکاری خطوط لوله کاربرد فراوان دارد. در ادامه، با تکرار مدل‌سازی برای یک صفحه و مقایسه‌ی نتایج تحلیل المان محدود با نتایج تجربی، صحت مدل‌سازی و روند تحلیل اعتبار سنجی می‌شود. سپس به بررسی پدیده‌ی کمانش پرداخته و نتایج المان محدود، در مورد یک صفحه، با روابط تحلیلی موجود برای کمانش صفحه، و در مورد یک سیلندر با نتایج یک مقاله‌ی معتبر مقایسه می‌شود. در آخر با بررسی بار بحرانی کمانش مربوط به این سازه‌ها بعد از عملیات جوشکاری، و مقایسه‌ی آن با نمونه‌ی بدون جوش، تأثیر عملیات جوشکاری و تنش پسماند ناشی از آن بر بار کمانش تحقیق خواهد شد.

طبق نتایج، تأثیر تنش‌های پسماند ناشی از فرآیند جوشکاری بر بار بحرانی کمانش ناچیز بوده و با در نظر گرفتن فقط تأثیر تنش‌های پسماند، تغییر بار بحرانی کمانش زیاد محسوس نخواهد بود، و باید تغییر شکل‌های جوشی و تغییر خواص متالورژیکی ناشی از جوشکاری را نیز در بررسی تأثیر جوش بر بار کمانش در نظر گرفت.

کلمات کلیدی: بار بحرانی کمانش، پوسته‌های استوانه‌ای، فشار خارجی، اتصال جوشی، تنش پسماند

فهرست مطالب

سپاسگزاری	أ.....
تعهدنامه اصالت اثر	ج.....
چکیده	ج.....
فهرست مطالب	د.....
فهرست اشکال	و.....
فهرست جداول	ط.....

فصل اول: مقدمه

مقدمه	۱-۱-۲.....
پوسته‌های استوانه‌ای	۲-۱-۳.....
فرآیند جوشکاری و انواع آن	۳-۱-۱۰.....
پدیده‌ی کمانش	۴-۱-۱۳.....
طرح مسئله	۵-۱-۱۵.....

فصل دوم: مرور پژوهش‌های انجام شده

مقدمه	۱-۲-۱۸.....
پژوهش‌های مربوط به تحلیل جوش	۲-۲-۱۸.....
پژوهش‌های مربوط به تأثیر تنش پسماند بر مقاومت کمانش	۳-۲-۲۲.....

فصل سوم: شبیه‌سازی فرآیند جوشکاری

مقدمه	۱-۳-۳۰.....
تنش پسماند	۲-۳-۳۰.....
روش‌های تخمین و اندازه‌گیری تنش‌های پسماند	۳-۳-۳۴.....
روش تحلیلی تعیین تنش پسماند	۱-۳-۳-۳۴.....
روش تجربی تعیین تنش پسماند	۲-۳-۳-۳۶.....
روش المان محدود	۳-۳-۳-۴۲.....
شبیه‌سازی المان محدود و تحلیل فرآیند جوشکاری	۴-۳-۴۳.....
روابط تئوری	۱-۴-۳-۴۵.....

۴۸.....	۲-۴-۳- مدل سازی المان محدود.....
۵۰.....	۳-۴-۳- خواص مواد.....
۵۱.....	۴-۴-۳- مدل حرارتی برای دستیابی به میدان‌های دمایی.....
۵۶.....	۵-۴-۳- مدل مکانیکی برای دستیابی به توزیع تنش پسماند.....

فصل چهارم: پدیده‌ی کمانش

۷۱.....	۱-۴- مقدمه.....
۷۱.....	۱-۱-۴- تعریف کمانش.....
۷۳.....	۲-۱-۴- انواع کمانش.....
۷۷.....	۲- اساس تحلیل کمانش در <i>ANSYS</i>
۷۷.....	۱-۲-۴- روند تحلیل خطی کمانش.....
۷۹.....	۲-۲-۴- تحلیل غیر خطی کمانش.....
۸۵.....	۳-۴- اعتبار سنجی روش مورد استفاده برای تحلیل کمانش.....
۸۵.....	۱-۳-۴- تحلیل کمانش یک صفحه و مقایسه با روابط تحلیلی.....
۹۱.....	۲-۳-۴- تحلیل کمانش برای سیلندر تحلیل شده در یک مقاله.....

فصل پنجم: تأثیر تنش پسماند بر استحکام کمانش

۹۵.....	۱-۵- مقدمه.....
۹۵.....	۲-۵- تحلیل المان محدود کمانش قطعه‌ی دارای تنش پسماند.....
۹۷.....	۱-۲-۵- بررسی کمانش صفحه دارای اتصال جوشی.....
۱۰۰.....	۲-۲-۵- بررسی کمانش سیلندر دارای اتصال جوشی.....

فصل ششم: جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۰۷.....	۱-۶- نتیجه گیری.....
۱۰۹.....	۲-۶- کارهای آینده.....
۱۱۰.....	فهرست منابع.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- کاربرد پوسته‌ها در سازه‌های مختلف..... ۳
- شکل ۲-۱- تنش‌ها در پوسته‌ی استوانه‌ای (انتها بسته) تحت فشار داخلی P..... ۶
- شکل ۳-۱- تنش‌ها در پوسته‌ی استوانه‌ای (انتها بسته) تحت فشار خارجی P..... ۷
- شکل ۴-۱- فروپاشی دو بخشی یک لوله تحت فشار خارجی..... ۸
- شکل ۵-۱- تقسیم‌بندی روش‌های مختلف جوشکاری..... ۱۱
- شکل ۶-۱- کمانش متقارن محوری سیلندر تحت فشار یکنواخت خارجی..... ۱۴
- شکل ۱-۲- (الف) جوش لب به لب (ب) توزیع تنش‌های پسماند طولی σ_x در طول XY و
(ج) عرضی σ_y در طول XY [۴]..... ۱۹
- شکل ۲-۲- (الف) تابع شکل‌های مختلف نقص شکل ناشی از جوش
(ب) تنش‌های پیرامونی در طول جوش [۲۳]..... ۲۳
- شکل ۳-۲- سیلو (چپ) و تانک (راست) ساخته شده با جوش الگویی..... ۲۴
- شکل ۴-۲- فرورفتگی جوشی در جوش (a) فقط محیطی، (b) فقط نصف النهاری، (c) الگویی..... ۲۴
- شکل ۵-۲- شکل شماتیک سه نوع تغییر شکل برای محل جوش (a) نوع A؛ (b) نوع B؛
(c) جوش محیطی تقویتی [۳۰]..... ۲۶
- شکل ۶-۲- تغییر شکل‌های ناشی از کمانش برای نمونه‌های تحت آزمایش تجربی کمانش [۳۰]..... ۲۷
- شکل ۷-۲- تغییر شکل‌های ناشی از کمانش برای نمونه‌ها، از طریق تحلیل المان محدود [۳۰]..... ۲۷
- شکل ۱-۳- توزیع دما و تنش‌های پسماند در ناحیه جوش و اطراف آن برای جوشکاری ذوبی..... ۳۱
- شکل ۲-۳- انواع روابط تحلیلی تعیین تنش پسماند..... ۳۵
- شکل ۳-۳- توزیع تنش پسماند در (الف) جوش لب به لب ورق؛ (ب) ورق تقویت شده؛
(ج) تیر جعبه‌ای؛ (د) ورق تقویت شده با تقویت کننده‌ی T شکل..... ۳۶
- شکل ۴-۳- عوامل مؤثر در تولید تنش پسماند [۳۴]..... ۳۷
- شکل ۵-۳- انواع روش‌های تعیین تنش پسماند..... ۳۸
- شکل ۶-۳- کانتور رسم شده برای یک نمونه خط جوش در ورق [۳۴]..... ۳۹
- شکل ۷-۳- نمونه‌ای از کاربرد روش نوترون در تعیین تنش پسماند [۳۴]..... ۴۱
- شکل ۸-۳- نمودار روند آنالیز تنش‌های پسماند [۳۶]..... ۴۴
- شکل ۹-۳- مدل المان محدود سه بعدی برای سیلندر با جوش اسپیرال و یخ "V"..... ۴۹
- شکل ۱۰-۳- خواص مواد ASTM A36 [۳۶]..... ۵۱
- شکل ۱۱-۳- توزیع دما در (الف) یک صفحه و (ب) روی سطح خارجی سیلندر حین جوشکاری..... ۵۳
- شکل ۱۲-۳- موقعیت ۴ نقطه‌ی مورد بررسی روی سیلندر..... ۵۳
- شکل ۱۳-۳- تغییرات دما بر حسب زمان، برای نقاط مورد نظر روی سیلندر با جوش طولی..... ۵۴
- شکل ۱۴-۳- تغییرات دما بر حسب زمان، برای نقاط مورد نظر در روی سیلندر برای جوش دو پاسه..... ۵۵
- شکل ۱۵-۳- توزیع تنش‌های پسماند طولی برای صفحه..... ۵۷
- شکل ۱۶-۳- توزیع تنش‌های پسماند عرضی برای صفحه..... ۵۸
- شکل ۱۷-۳- مقایسه تنش‌های طولی حاصل از تحلیل المان محدود (Mpa) با نتایج تجربی مرجع [۳۹]..... ۵۸
- شکل ۱۸-۳- توزیع تنش پسماند طولی بر روی سطح داخلی و خارجی مخزن با اتصال جوشی طولی..... ۵۹

- شکل ۳-۱۹- توزیع تنش پسماند محیطی بر روی سطح داخلی و خارجی مخزن با اتصال جوشی طولی..... ۶۰
- شکل ۳-۲۰- مدل مورد استفاده برای جوش محیطی..... ۶۱
- شکل ۳-۲۱- پیشروی منبع حرارتی روی محیط سیلندر..... ۶۱
- شکل ۳-۲۲- توزیع تنش پسماند محوری بر روی سطح داخلی و خارجی مخزن با اتصال جوشی محیطی..... ۶۲
- شکل ۳-۲۳- توزیع تنش پسماند محیطی بر روی سطح داخلی و خارجی مخزن با اتصال جوشی محیطی..... ۶۳
- شکل ۳-۲۴- خطوط لوله‌ی تولید شده به روش جوش اسپیرال..... ۶۴
- شکل ۳-۲۵- مراحل ساخت لوله با روش جوش اسپیرال..... ۶۴
- شکل ۳-۲۶- توزیع دما در ناحیه‌ی مجاور خط جوش، برای مدل سیلندر با جوش اسپیرال ۶۰ درجه..... ۶۵
- شکل ۳-۲۷- توزیع دما در ناحیه‌ی مجاور خط جوش، برای مدل سیلندر با جوش اسپیرال ۴۵ درجه..... ۶۶
- شکل ۳-۲۸- توزیع تنش پسماند طولی بر روی سطح خارجی مخزن با اتصال جوشی اسپیرال..... ۶۷
- شکل ۳-۲۹- توزیع تنش پسماند محیطی بر روی سطح خارجی مخزن با اتصال جوشی اسپیرال..... ۶۷
- شکل ۳-۳۰- تنش‌های پسماند محوری روی سطح داخلی و خارجی یک سیلندر با جوش محیطی در سرعت‌های مختلف جوشکاری [۴۰]..... ۶۸
- شکل ۳-۳۱- تنش‌های پسماند محیطی روی سطح داخلی یک سیلندر با جوش محیطی، در مقاطعی با فواصل مختلف از نقطه‌ی آغاز جوشکاری [۴۰]..... ۶۹
- شکل ۴-۱- منحنی بار- جابه‌جایی، نشان دهنده نقاط بیشینه و دو انشعابی برای یک نوع تحلیل غیر خطی..... ۷۲
- شکل ۴-۲- بار به صورت تابعی از مود تغییر شکل دو انشعابی..... ۷۲
- شکل ۴-۳- رفتار کمانشی و نمودار بار- جابه‌جایی برای (a) تیر (b) صفحه C سیلندر، تحت بار فشاری محوری..... ۷۵
- شکل ۴-۴- مودهای کمانشی برای (a) تیر (b) صفحه C سیلندر..... ۷۶
- شکل ۴-۵- مقایسه‌ی دو حل خطی و غیرخطی کمانش..... ۷۸
- شکل ۴-۶- گذر ساختار از حالت snap through..... ۷۸
- شکل ۴-۷- مقایسه‌ی روش نیوتن- رافسون و روش Arc length..... ۸۰
- شکل ۴-۸- نحوه‌ی عملکرد روش arc length..... ۸۱
- شکل ۴-۹- اعمال (a) نیرو، و (b) مومنت، برای ایجاد آشفستگی..... ۸۳
- شکل ۴-۱۰- اعمال جابه‌جایی رندوم برای ایجاد آشفستگی..... ۸۳
- شکل ۴-۱۱- ضریب کمانش صفحه تحت بار فشاری یکنواخت برای شرایط مرزی مختلف..... ۸۷
- شکل ۴-۱۲- مود اول کمانش برای حالت A..... ۸۸
- شکل ۴-۱۳- مود اول کمانش برای حالت C..... ۸۹
- شکل ۴-۱۴- مود اول کمانش برای حالت D..... ۸۹
- شکل ۴-۱۵- نمودار نیرو جابه‌جایی حاصل از تحلیل غیر خطی..... ۹۰
- شکل ۴-۱۶- مود تغییر شکل حاصل از حل خطی..... ۹۲
- شکل ۴-۱۷- اندازه‌ی تغییر شکل‌های شعاعی مربوط به مود کمانش..... ۹۳
- شکل ۵-۱- شرایط مرزی و بار گذاری برای مسئله‌ی کمانش صفحه..... ۹۶
- شکل ۵-۲- روند تحلیل تحلیل کمانش یک قطعه‌ی دارای تنش پسماند..... ۹۷
- شکل ۵-۳- شرایط مرزی و بار گذاری برای مسئله‌ی کمانش صفحه..... ۹۸
- شکل ۵-۴- چهار مود اول کمانش خطی صفحه، همراه با بارهای بحرانی هر مود..... ۹۸
- شکل ۵-۵- نمودار بار- جابه‌جایی حاصل از تحلیل غیرخطی کمانش صفحه..... ۹۹

-
- شکل ۵-۶- توزیع تنش‌های پسماند محیطی فراخوانی شده به مدل کمانش..... ۱۰۱
- شکل ۵-۷- مود تغییرشکل کمانشی و بار بحرانی کمانش خطی شرایط A..... ۱۰۲
- شکل ۵-۸- منحنی بار- جابجایی و بار بحرانی کمانش غیرخطی شرایط A..... ۱۰۲
- شکل ۵-۹- تنش فون مایرز ناشی از کمانش خطی..... ۱۰۳
- شکل ۵-۱۰- مود تغییرشکل کمانشی و بار بحرانی کمانش خطی شرایط B..... ۱۰۴
- شکل ۵-۱۱- مود تغییرشکل کمانشی و بار بحرانی کمانش خطی شرایط C..... ۱۰۵
- شکل ۶-۱- تنش‌های ناشی از کمانش پوسته‌ی سالم..... ۱۰۸
- شکل ۶-۲- برهم کنش تنش‌های پسماند و تنش‌های ناشی از کمانش..... ۱۰۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۲- نتایج المان محدود بارهای بحرانی کمانش [۲۶]..... ۲۵
- جدول ۱-۳ : مقایسه‌ی خصوصیات فیزیکی روش‌های تعیین تنش پسماند [۳۵]..... ۴۱
- جدول ۲-۳: مزیت‌ها و معایب انواع روش‌های تعیین تنش پسماند [۳۵]..... ۴۲
- جدول ۳-۳. پارامترهای جوشکاری فرض شده در این شبیه‌سازی..... ۵۲
- جدول ۱-۴- مقایسه نتایج حل خطی، غیرخطی و تئوری برای صفحه (مقادیر بر حسب Mpa)..... ۹۱
- جدول ۲-۴- مقایسه نتایج تحلیل کمانش سیلندر با نتایج مرجع [۴۱]..... ۹۳
- جدول ۱-۵- مقایسه بارهای بحرانی کمانش برای هر دو حالت با حضور تنش‌های پسماند و بدون تنش..... ۱۰۰
- جدول ۲-۵ نتایج بار بحرانی کمانش سیلندر سالم و سیلندر با جوش، برای شرایط A(Mpa)..... ۱۰۳
- جدول ۳-۵ نتایج بار بحرانی کمانش سیلندر سالم و سیلندر با جوش، برای شرایط B(Mpa)..... ۱۰۴
- جدول ۴-۵ نتایج بار بحرانی کمانش سیلندر سالم و سیلندر با جوش، برای شرایط C(Mpa)..... ۱۰۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

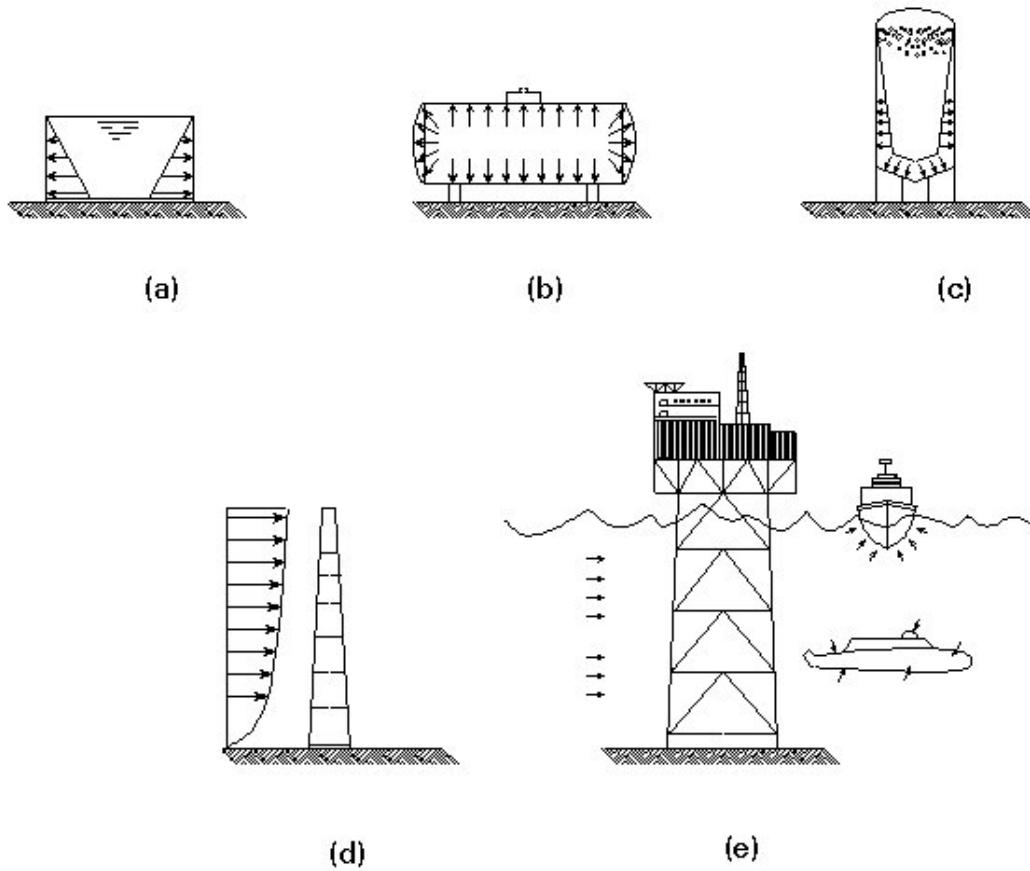
در بررسی عمر و پیش بینی شکست سازه فرض می‌شود که جسم بدون تنش و کرنش اولیه است. در حالی که ممکن است برای آماده‌سازی، تحت فرآیندهای مختلف مانند ریخته‌گری، نورد، آهن‌گری و جوشکاری و یا ترکیبی از این فرآیندها قرار گیرد. تاریخچه تنش کرنش و تغییر مکان‌های مختلف روی سازه بر روی عمر مفید قطعه یا سازه اثر خواهد داشت. البته می‌توان با اعمال روش‌های مختلف تنش‌زدایی، تنش پسماند موجود در قطعه را کم کرد یا از بین برد. ولی باید توجه داشت که برای بسیاری از قطعات یا سازه‌ها تنش‌زدایی ممکن و عملی نیست و یا ممکن است تنش‌زدایی به صورت کامل انجام نگیرد و یا توزیع آن تغییر کند. در هر حال نمی‌توان قطعه را به صورت اولیه و عاری از تنش و تغییر فرم برگرداند [۱].

امروزه جوشکاری از اهمیت خاصی برخوردار بوده و در تعمیر و ساخت قطعات کاربرد فراوانی دارد. گستره استفاده از فرآیند جوشکاری نیز وسیع بوده و از قطعات کوچک تا قطعات و سازه‌های عظیم را شامل می‌شود. این فرآیند در موارد بسیاری جای پرچکاری را گرفته و به جرات می‌توان گفت در حال حاضر نمی‌توان فرآیندی را جایگزین جوشکاری نمود. سازه‌های جوشکاری شده به هیچ عنوان خالی از اشکال نیستند و مشکلات زیادی به همراه دارند. به عنوان مثال اگر ترکی در سازه جوشی شروع به پیشروی کند، جلوگیری از آن بسیار مشکل خواهد بود. بنابراین مطالعه شکست سازه‌های جوشی موضوع مهمی است. در حالی که اگر یک ترک در سازه پرچکاری ایجاد شود تا محل پرچ شده رشد کرده و متوقف می‌شود و تا وقتی که ترک جدید جوانه نزده شکست اتفاق نمی‌افتد. به همین دلیل اتصالات پرچی در بعضی موارد به عنوان متوقف کننده ترک در سازه‌های جوشی به کار می‌روند. جوش‌ها اغلب دچار انواع مختلف عیوب می‌شوند؛ از جمله، تخلخل، ایجاد ترک و غیره که از مطلوبیت جوش می‌کاهند.

علاوه بر همه‌ی عیوب ذکر شده، فرآیند جوشکاری باعث ایجاد تنش‌های پسماند و تغییر شکل‌هایی در سازه می‌شود که بر کارکرد و استحکام آن تأثیر می‌گذارد. از جمله اتفاقاتی که در برخی از سازه‌ها نظیر تیرها و پوسته‌ها ممکن است رخ دهد، پدیده‌ی کمانش می‌باشد، و اگر در ساخت این سازه‌ها روش جوشکاری بکار رفته باشد، عیوب، تنش‌های پسماند و تغییر شکل‌های ناشی از آن بر استحکام کمانش این سازه‌ها تأثیر خواهد داشت، در این فصل، به معرفی کلی مخازن به عنوان پرکاربردترین پوسته‌های استوانه‌ای پرداخته شده، و استانداردهای طراحی مخازن همراه با روابط مورد استفاده در طراحی مخازن تحت فشار داخلی و خارجی ارائه شده است. از میان عملیات مختلف در ساخت مخازن، جوشکاری و انواع روش‌های آن، و تأثیری که بر استحکام سازه دارد مورد بررسی قرار گرفته، و در ادامه به معرفی کلی کمانش به عنوان عاملی برای تخریب سازه پرداخته شده است.

۱-۲-۲- پوستانه‌های استوانه‌ای

سازه‌های پوستانه‌ای کاربرد فراوانی در همه‌ی زمینه‌های صنعتی و ساختمانی دارند و از میان آنها، پوستانه‌های استوانه‌ای را عموماً می‌توان در ساخت مخازن و لوله‌های انتقال به وفور مشاهده کرد. از طرف دیگر، سازه‌هایی مانند زیردریایی و امثال آن نیز می‌توانند جزء پوستانه‌های استوانه‌ای تحت فشار به حساب آیند. پوستانه‌های استوانه‌ای بر حسب کاربردشان، تحت شرایط بارگذاری مختلف هستند و عوامل مختلفی را در طراحی آنها باید در نظر گرفت.



شکل ۱-۱- کاربرد پوستانه‌ها در سازه‌های مختلف

۱-۲-۱- مخازن تحت فشار

از رایج‌ترین موارد کاربرد پوستانه‌های استوانه‌ای، مخازن تحت فشار هستند که جهت انجام امور فرآیندی در صنایع، اعم از پالایشگاه، نیروگاه، پتروشیمی، صنایع غذایی، صنایع هوای فشرده و حتی به عنوان ضربه‌گیر در سیستم‌های آب‌رسانی شهری کاربرد داشته و مورد مصرف قرار می‌گیرند. این مخازن به دو گروه مخازن تحت فشار ثابت و سیار تقسیم می‌شوند. مخازن سیار جهت حمل محصولات نفتی و گازی و مواد مضر سمی و آتش‌زا مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مخازن ثابت از لحاظ شکل ظاهری خود به دو نوع عمودی و افقی تقسیم می‌شوند که هر نوع با توجه به کاربرد و شرایط مکان و موارد مصرف خاص انتخاب می‌گردند [۱].

شکل اکثر مخازن تحت فشار استوانه‌ای یا کروی بوده که فرم استوانه‌ای آن معمولاً با کلگیهای کروی یا بیضوی قابل ساخت و مونتاژ می‌باشد و این کلگیها به دو حالت نورد گرم یا سرد تولید می‌شود [۱].

❖ خصوصیات فنی مخزن تحت فشار

طراحی و ساخت مخازن تحت فشار براساس پارامترهای مختلف فنی از قبیل فشار عملیاتی، درجه حرارت عملیاتی، نوع فولاد مصرفی، اندازه، امکانات کارگاهی، اثرات محیطی و عوامل جوی نظیر باد و زلزله، عمر مفید، مقاومت در برابر خوردگی به گونه‌ای که در ذیل شرح می‌شود، انجام می‌گردد:

- فشار مخازن با توجه به استانداردهای طراحی مخازن تحت فشار از جمله استانداردهای ASME و BS، با ضخامت، تنش مجاز مواد اولیه و امکانات جوشکاری مرتبط بوده که استفاده از منابع و نرم افزارهای موجود محاسبات اولیه طراحی صورت می‌گیرد.
- درجه حرارت طراحی همچون فشار طراحی دارای اهمیت خاص بوده و تاثیر مستقیم با تنش مجاز بدنه و ضخامت پیشنهادی برای مخزن دارد.
- مواد اولیه در مخازن تحت فشار از جنس فولاد کربن استیل یا فولاد زنگ نزن و در موارد خاص آلومینیوم، مس و برنج می‌باشد. اخیراً نیز در صنایعی که بطور مستقیم با آب دریا در ارتباط هستند تیتانیوم در ساخت تجهیزات مزبور به شکل گسترده‌ای عمومیت یافته است. انتخاب مواد بر اساس استانداردهایی نظیر ASME، ASTM، BS و یا DIN با توجه به تنش مجاز، درجه حرارت عملیاتی، میزان خوردگی، فرم پذیری و قابلیت‌های جوشکاری آن انجام می‌شود.
- اندازه مخزن که مستقیماً مرتبط با قطر و ارتفاع آن است، معمولاً براساس فرایند مخزن تثبیت می‌شود و عامل وارد شونده در محاسبه برخی پارامترهای استقامتی مخزن خصوصاً ضخامت بدنه و میزان استقامت نگهدارنده‌ها است.
- پارامترهای ناشی از عوامل محیطی (مانند باد و زلزله) بصورت بار اضافی (افقی و عمودی) در شرایط مختلف محاسبه و در طراحی مخازن دخالت داده می‌شوند.
- تعیین ضخامت نهایی بدنه مخازن با توجه به مقاومت آن در برابر خوردگی محاسبه می‌شود.
- کلیه مراحل مختلف ساخت اعم از انتخاب مواد، رنگ‌زدایی، برش کاری، تست‌های مکانیکی، نورد، جوشکاری و نیز ساخت و مونتاژ قطعات تحت نظارت دقیق مسئولین کنترل کیفی و همین‌طور بازرسان کارفرما انجام می‌پذیرد [۲].

❖ طراحی مخازن

نیروهای وارد شده به مخزن یا به اتصالات مخزن، وابسته به بارگذاری‌های اعمال شده به آن است. در طراحی مخزن اولین پارامتر مورد نیاز محاسبه‌ی مقدار واقعی نیروها و شرایط کاری مخزن می‌باشد. نیروها و شرایط بر مبنای تجربه‌های قبلی، قوانین طراحی، محاسبات یا آزمایش به دست می‌آیند. عموماً مخازن تحت فشار، بر حسب کاربردشان، یا تحت فشار داخلی قرار دارند، مانند مخازن ذخیره و هوای فشرده، و یا فشار خارجی را تحمل می‌کنند، مانند مخازن خلاء. در استانداردهای طراحی محاسبات بر حسب نوع بارگذاری متفاوت است، معیارهای طراحی نیز برای بارگذاری‌های مختلف متفاوت می‌باشد. معیار طراحی برای مخازن تحت فشار داخلی بر اساس استحکام، و برای مخازن تحت فشار خارجی بر حسب استحکام و مقاومت کمانش می‌باشد.

➤ فشار طراحی

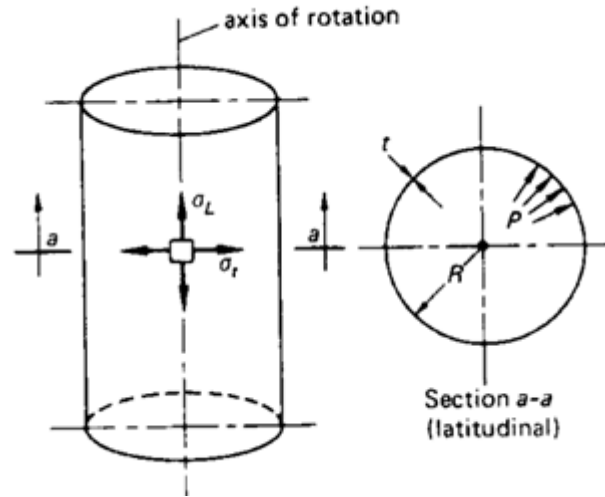
فشار طراحی فشاری است که جهت محاسبه‌ی حداقل ضخامت مورد نیاز هر بخش پوسته‌ی مخزن استفاده می‌شود و اختلاف فشار داخل و بیرون مخزن را مشخص می‌کند. معمولاً فشار طراحی حداقل به اندازه‌ی ۱۰ درصد فشار کاری یا ۱۰ psi، از فشار عملکرد بیشتر است. کمترین فشار طراحی برای مخزن غیر خلاء استاندارد ۱۵ psi است. برای مخزن‌های با فشار عملکرد نسبی منفی، مخزن را برای شرایط خلاء طراحی می‌کنند.

طبق تعریف استاندارد، ماکزیمم فشار مجاز عملکرد برابر است با ماکزیمم فشار نسبی که در بالای مخزن کامل شده در موقعیت عملکرد و در دمای انتخابی اعمال می‌شود. این فشار بر اساس ضخامت نامی مخزن، با در نظر گرفتن خوردگی مجاز و ضخامت مورد نیاز برای نیروهای اضافه بر فشار تعریف می‌شود. در اکثر موارد ماکزیمم فشار عملکرد برابر با فشار طراحی برای اجزای مخزن است.

بر اساس تعریف استاندارد، حداقل ضخامت مورد نیاز ضخامت دیواره‌ی مخزن که با روابط استاندارد محاسبه شده است، بدون در نظر گرفتن خوردگی مجاز می‌باشد در حالی که ضخامت طراحی حداقل ضخامت مورد نیاز با در نظر گرفتن خوردگی مجاز است و ضخامت نامی، مقدار گرد شده‌ی ضخامت طراحی است که در ساخت مخزن استفاده می‌شود. [۲].

➤ سیلندر تحت فشار داخلی یکنواخت

پوسته‌ی استوانه‌ای تحت فشار داخلی از سازه‌های پرکاربرد هستند و روابط زیادی برای طراحی این پوسته‌ها در استانداردها موجود است. همانطور که گفته شد معیار طراحی بر اساس استحکام تسلیم پوسته می‌باشد. تنش‌ها در یک پوسته‌ی استوانه‌ای با انتهای بسته تحت فشار داخلی P از شرایط معادله‌ی تعادل شکل زیر به دست می‌آید.



شکل ۱-۲ - تنش‌ها در پوسته‌ی استوانه‌ای (انتها بسته) تحت فشار داخلی P

$$2\pi R\sigma_L t = P\pi R^2 \quad \text{or} \quad \sigma_L = \frac{PR}{2t} \quad (1-1)$$

از معادله‌ی تعادل داریم:

$$\left(\frac{\sigma_L}{\infty}\right) + \left(\frac{\sigma_L}{R}\right) = \frac{P}{t} \quad (2-1)$$

بنابراین:

$$\sigma_t = \frac{PR}{t} \quad (3-1)$$

انبساط پوسته در راستای شعاعی برابر است با:

$$\Delta R = R e_t = \left(\frac{R}{E}\right)(c - \nu\sigma_L) = \left(\frac{PR^2}{Et}\right)\left(1 - \frac{\nu}{2}\right) \quad (4-1)$$

در پوسته‌ی استوانه‌ای، انتهای بسته تحت فشار داخلی پیچش ندارد. در روابط بالا E مدول الاستیسته است.

می‌توان تنش مماسی را بر اساس شعاع داخلی R_i تعریف کرد:

$$\sigma_L = \frac{PR}{t} = \frac{P(R_i + 0.5t)}{t} \quad (5-1)$$

بنابراین ضخامت پوسته برابر است با:

$$t = PR_i / (\sigma_L - 0.5P) \quad (6-1)$$

تنش استاندارد و رابطه‌ی ضخامت را بر اساس شعاع داخلی تقریب می‌زنند:

$$SE = \left(\frac{PR_i}{t}\right) + 0.6P$$

$$t = PR_i / (SE - 0.6P) \quad (7-1)$$

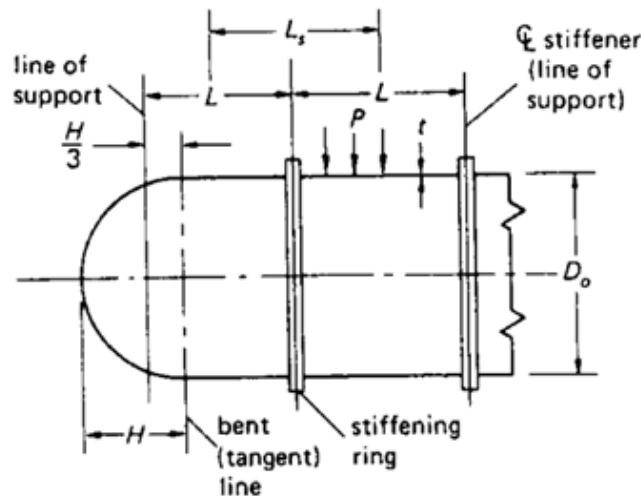
از $0.6P$ به جای $0.5P$ استفاده می‌شود، E ضریب بازدهی جوش استاندارد و S تنش مجاز استاندارد است. σ_L و σ_t تنش‌های اصلی هستند. هیچ تنش برشی در المان‌ها وجود ندارد [۲].

➤ سیلندر تحت فشار خارجی یکنواخت

در طراحی مخازن تحت فشار خارجی، علاوه بر استحکام تسلیم، باید مقاومت نسبت به کمناش را نیز در نظر گرفت، چرا که ممکن است سازه قبل از رسیدن به حد تسلیم، دچار کمناش شده و کارایی خود را از دست بدهد.

برای محاسبه‌ی تنش‌های پوسته‌ای در یک پوسته‌ی استوانه‌ای تحت فشار خارجی، اگر به جای P ، $-P$ جای‌گذاری شود، همان روابط فشار داخلی قابل استفاده است. اگر به مخازن جدار نازک تحت فشار خارجی، تنشی خیلی کمتر از مقاومت نهایی اعمال شود، به دلیل ناپایداری پوسته دچار شکست می‌شود. علاوه بر مشخصات فیزیکی ماده‌ی سازه در دمای عملکرد، ضریب اصلی غالب در ناپایداری، فشار بحرانی CP است که وابسته به هندسه‌ی پوسته می‌باشد:

در شکل ۱-۳، L طول بدون تکیه‌گاه پوسته، t ضخامت پوسته، D_0 شعاع خارجی می‌باشد [۲].



شکل ۱-۳- تنش‌ها در پوسته‌ی استوانه‌ای (انتهای بسته) تحت فشار خارجی P

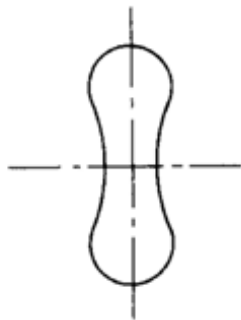
فاصله‌ی بین دو خط نگهدارنده = L، عمق هد = h

مجموع نیمی از فواصل از سفت کننده تا خطوط نگهدارنده در هر طرف سفت کننده = L_S

رفتار پوسته‌های استوانه‌ای جدار نازک تحت فشار خارجی یکنواخت P نسبت به طول استوانه متغیر است، که عبارتند از:

۱. استوانه‌های خیلی بلند:

وقتی استوانه تحت فشار بحرانی قرار می‌گیرد، منقبض می‌شود و مانند شکل به دو بخش که به صورت الاستیک پیچش یافته تبدیل می‌شود (مطابق شکل ۱-۳). فشار بحرانی مستقل از طول بدون تکیه‌گاه پوسته است و همچنین سفت کننده‌ها یا انتهای بسته پوسته تأثیری روی فشار بحرانی نمی‌گذارد [۲].



شکل ۱-۴- فروپاشی دو بخشی یک لوله تحت فشار خارجی.

(بخش‌ها ممکن است بی نظم باشند).

$$P_c = \left[\frac{2E}{(1-\nu^2)} \right] \left(\frac{t}{D_o} \right)^3 \quad (۸-۱)$$