

اثر استفاده از رینگ تقویتی برای عدسی توریسفریکال تحت فشار داخلی

- مهندس آرش زمانی: کارشناس ارشد مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر، شرکت ستین صنعت اسپادان
- مهندس سید خلیل حسن دخت: کارشناس مکانیک دانشگاه کاشان، شرکت نفت و گاز پارس
- مهندس سعید فاضلی: کارشناس ارشد مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر، شرکت ستین صنعت اسپادان
- دکتر سعید گلابی: دکتری مکانیک، دانشیار دانشکده مکانیک دانشگاه کاشان

چکیده

ابتدا بهترین محل جهت نصب رینگ بر روی عدسی تعیین و پس از آن ابعاد بهینه رینگ تقویتی مشخص گردیده است. در انتها میزان کاهش و ضخامت نهایی عدسی در صورت اتصال رینگ مذکور تعیین و به صورت نموداری برای حالات مختلف ارائه گردیده است. روش عددی مورد استفاده در این مقاله آلمان محدود می باشد که نتایج بدست آمده از مدلسازی کامپیوتری با نمونه عملی و آزمایشگاهی ساخته شده نیز مقایسه گردیده است. نتایج این تحقیق نشان داد که در پاره ای از موارد با اتصال رینگ تقویتی بر روی درپوش مخازن می توان حتی تا ۳۱٪ از ضخامت عدسی و بالطبع هزینه های مربوط به تامین مواد اولیه و ساخت کاست.

واژه های کلیدی: عدسی توریسفریکال، مبدل حرارتی پوسته لوله، مخزن تحت فشار، رینگ تقویتی، بهینه سازی، آلمان محدود

عدسی توریسفریکال (Torispherical) یکی از رایج ترین انواع درپوش مورد استفاده در مخازن تحت فشار و مبدل های پوسته و لوله می باشد. این گونه از عدسی ها به ویژه در قطرهای متوسط و بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند. ضخامت بالای این عدسی ها که در فشارهای طراحی زیاد اجتناب ناپذیرند عموماً یکی از مشکلات سازندگان این گونه از عدسی ها بشمار می رود. از آنجایی که استفاده از رینگ های تقویتی در کاهش ضخامت پوسته های استوانه ای تحت فشار خارجی به عنوان راهکاری جهت کاهش ضخامت توسط استانداردهای مرجع و سازندگان مخازن شناخته شده است، در مقاله پیش رو تاثیر استفاده از رینگ های تقویتی جهت کاهش ضخامت عدسی های توریسفریکال تحت فشار داخلی مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصه اصلی هر رینگ که عبارتست از محل مناسب اتصال و ابعاد آن و نیز میزان کاهش ضخامت عدسی در این پژوهش بررسی و پس از انجام بهینه سازی های مورد نظر نمودارهایی جهت طراحی رینگ با ابعاد مناسب ارائه گردیده است. جهت نیل به این هدف



۱- مقدمه

ضخامت ورق مخزن کاست. Anderson در تحقیقات خود ترکیب بارهای حرارتی و نیروهای محوری و Chang کمناش حرارتی در پوسته‌های تقویت شده را بررسی نمودند [۶ و ۵]. علاوه بر تحقیقات فوق محاسبات عددی و روابط تحلیلی مربوط به تنش در نقاط تمرکز تنش عدسی‌های توریسفریکال Torispherical و بیضوی (Ellipsoidal) در مقالاتی ارائه شده است [۷ و ۸].

عدسی‌های توریسفریکال به عنوان یکی از درپوش‌های رایج در مبدل‌های پوسته و لوله که قسمت جلویی آن‌ها (Front End) از نوع B و قسمت انتهایی‌شان (Rear End) از نوع S، T، U و برخی از انواع M باشد [۹] مورد استفاده قرار می‌گیرند. در میان انواع مختلف

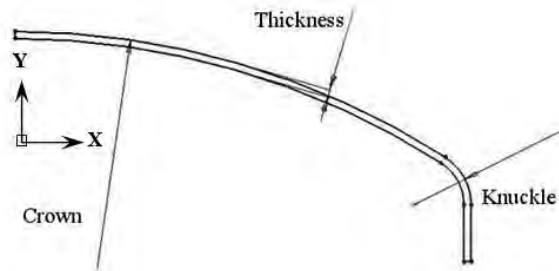
استفاده از رینگ‌های تقویتی یکی از بهترین راهکارهای کاهش ضخامت بدنه مخازن تحت فشار خارجی می‌باشد. کد طراحی مخازن (ASME) نحوه محاسبه سطح مقطع و چگونگی اتصال این رینگها را در قسمت‌هایی از Section VIII توضیح داده است. این قسمت‌ها عبارتند از بندهای UG29 و UG30 در Division 1 و AD330 در Division 2 [۱ و ۲]. استفاده اصلی از این رینگها در کاهش اثرات کمناش در مخازن تحت فشار خارجی می‌باشد. این اثرات در تحقیقات Donnel و همکارانش بررسی شده‌اند [۳ و ۴]. با افزایش تعداد رینگها طول موثر در کمناش مخزن کاهش یافته و در نتیجه با انتخاب تعداد و محل نصب بهینه آن‌ها می‌توان از



شعاع متفاوت به نام Crown و Knuckle تشکیل شده اند. در روش دوم ابتدا شعاع Crown بوسیله قالب کروی و پرس هیدرولیکی ایجاد شده و پس از آن شعاع Knuckle بوسیله دستگاه فلنجینگ ماشین (Flanging Machine) شکل دهی می شود. در روش سوم که بیشتر در عدسی هایی با قطر زیاد بکار می رود عدسی از قطعاتی که هر کدام با قالب شکل دهی شده اند و اتصال آن ها به یکدیگر به روش جوشکاری ایجاد می شود. موضوع مورد بحث در این مقاله بررسی و تعیین راهکاری جهت کاهش ضخامت عدسی های ساخته شده در روش های دوم و سوم خواهد بود. کاهش ضخامت عدسی علاوه بر کاهش وزن و هزینه های مواد اولیه، هزینه های ساخت و پرس کاری را نیز کاهش خواهد داد.

لازم به ذکر است که از آنجایی که کد ASME مطلبی جهت استفاده یا عدم استفاده از رینگ تقویتی بر روی درپوش مخازن ارائه نکرده است. اهداف پژوهش جاری عبارت خواهد بود از:

- ۱- مطالعه و امکان سنجی استفاده از رینگ های تقویتی جهت کاهش ضخامت عدسی های توریسفریکال.
- ۲- تعیین رابطه بین فشار، قطر و محل رینگ در کاهش ضخامت عدسی
- ۳- تعیین ابعاد بهینه ای برای رینگ مورد استفاده برای درپوش مخزن.



شکل ۱: عدسی توریسفریکال و شعاع های Crown و Knuckle

درپوش، عدسی های توریسفریکال بیشترین استفاده را در صنعت مبدل سازی و خصوصاً در فشارهای پایین دارند در فشارهای کاری بسیار زیاد عدسی های بیضوی و کروی رایج تر می باشند [۱۰]. از دیگر منظر شکل دهی و تهیه عدسی های توریسفریکال و بیضوی را می توان به سه روش رایج تقسیم نمود. روش اول که در عدسی های با قطر پایین بکار می رود معمولاً با شکل دهی در یک مرحله و توسط قالب و پرس های هیدرولیکی انجام می شود. عدسی های بیضوی بیشتر با این روش تولید می شوند. عدسی های با اندازه متوسط را معمولاً نمی توان با یک حرکت تولید نمود. به همین جهت در اینگونه اقطار بیشتر از عدسی های توریسفریکال استفاده می شود که مطابق شکل (۱) از دو

جهت نیل به این اهداف تعدادی درپوش تورسیسفریکال با اقطار و ضخامت های متفاوت در حالت بدون رینگ و با وجود رینگ مدل سازی و مورد بررسی قرار گرفته اند. با فرض استقلال دو پارامتر بهینه سازی یعنی محل مناسب نصب رینگ و ابعاد آن در مرحله اول محل مناسب رینگ تعیین و سپس ابعاد بهینه ای برای آن تعیین شده است.

۲- مدل سازی عدسی و رینگ تقویتی

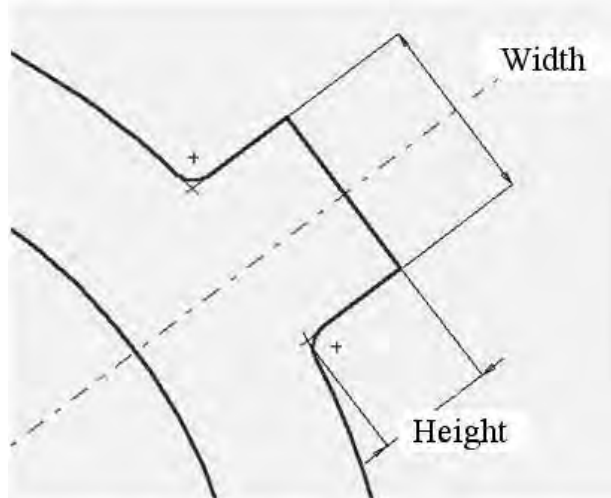
مساله مورد نظر یک مورد بهینه سازی می باشد که در آن کاهش ضخامت هدف و تنش قید مساله خواهد بود. پارامترهای قابل تغییر نیز عبارتند از محل مناسب نصب رینگ و ابعاد آن. در این بهینه سازی مدل سازی به صورت سه بعدی و توسط نرم افزار SolidWorks انجام گرفته است. تحلیل تنش توسط روش المان محدود و به کمک نرم افزار CosMos انجام پذیرفته است. همچنین لازم به ذکر است که نتایج تنش در تمامی مدل ها با معیار فون میزز (Von Mises) بدست آمده است.

از آنجایی که کد ASME استفاده از تسمه ها را به عنوان رینگ تقویت مجاز می داند در این تحقیق رینگ تقویتی به شکل تسمه مدل شده است. همچنین رینگ و درپوش مطابق با شکل (۲) به صورت یکپارچه مدل شده و در نتیجه اثر جوش اتصالی رینگ و عدسی در این تحقیق مورد بررسی قرار نخواهد گرفت.

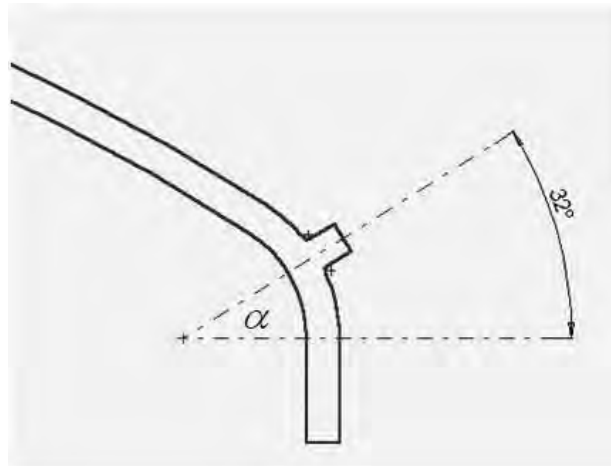
فلز مورد استفاده در این تحقیق SA-516 Gr70 است همچنین بازده اتصال برابر با ۱ و حد مجاز خوردگی ۰/۱۲۵ اینچ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است از آنجایی که تغییر پارامترهای یاد شده بر ضخامت نهایی عدسی موثر می باشد، با ثابت نگذاشتن آن ها تنها پارامترهای فشار و قطر به عنوان داده های ورودی و ابعاد و موقعیت رینگ به عنوان متغیرهای بهینه سازی مساله عمل خواهند نمود.

۳- تعیین محل بهینه نصب رینگ

در مرحله اول محل مناسب قرار گیری رینگ تقویتی بر روی عدسی بررسی خواهد شد. در این مرحله فرض شده است که پارامترهای محل مناسب قرار گیری رینگ و ابعاد بهینه آن مستقل از یکدیگر عمل می کنند. لذا با در نظر گرفتن این فرض میتوان در مرحله اول با ثابت نگذاشتن ابعاد رینگ تنها پارامتر محل نصب را تغییر داد. ابعاد ثابت در نظر گرفته شده برای رینگ به ترتیب برای ارتفاع و عرض مطابق با شکل (۲) به ترتیب برابرند با ۱ و ۱/۵ برابر ضخامت عدسی. مشابه فرمول های تئوری در بخش ۲-۲ از مرجع [۱۱] نتایج عددی نیز نشان داد که تنها نصب رینگ بر روی بخشی از عدسی که ناحیه



شکل ۲: رینگ تقویتی بر روی عدسی



شکل ۳: عدسی تورسیسفریکال با رینگ تقویتی در زاویه ۳۲ درجه



جدول ۱: زاویه بهینه نصب رینگ تقویت

OD (in)	Thickness (in)	Internal Pressure (Psi)	Angle (α)
۱۴	۰/۳۷۵	۴۷۶	۳۹
۴۸	۱/۳۷۵	۶۹۴	۳۸
۸۴	۳	۹۰۰	۳۷
۱۲۰	۰/۷۵	۱۱۰	۳۷

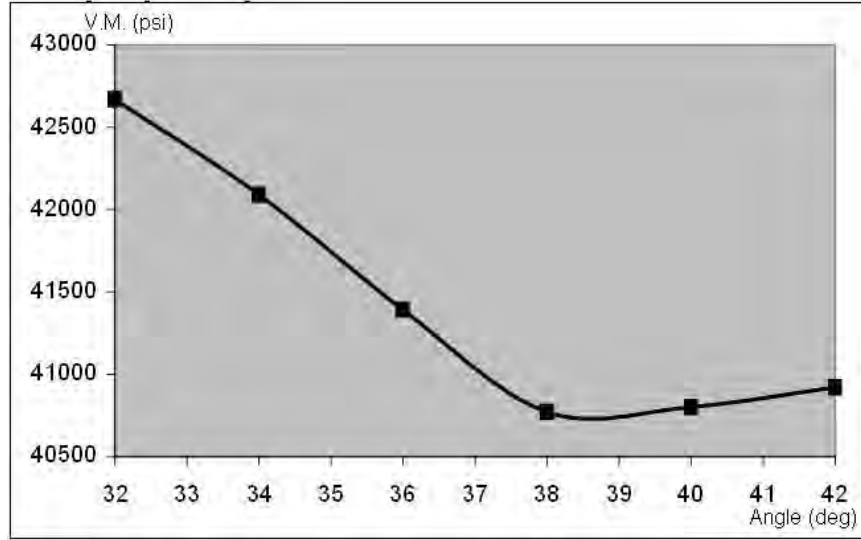
مربوط به شعاع Knuckle می باشد (مطابق شکل (۱)) می تواند بر کاهش تمرکز تنش در عدسی کمک نماید. بر این اساس محدوده تغییرات محل نصب رینگ در زاویه بین خط افقی عبوری از مرکز دایره Knuckle و خط عبوری از مرکز رینگ و مرکز Knuckle مطابق با شکل (۳) در نظر گرفته شده است.

تحلیل بر روی چهار عدسی با اقطار مختلف و هر کدام با سه ضخامت متفاوت تکرار گردید. جهت تعیین ضخامت و فشار مجاز عدسی ها از روابط بند UG 32 استفاده گردید [۱]. با ترسیم تنش فون میز بر حسب زاویه کمترین مقدار تنش به عنوان محل بهینه نصب رینگ تعیین گردید. شکل (۴) تغییرات تنش بر حسب زاویه نصب را برای عدسی با قطر ۸۴ و ضخامت ۰/۳۷۵ اینچ تحت فشار داخلی ۳۳۱ Psi نشان میدهد. با انجام تحلیل های مختلف مشخص شد که زاویه بهینه نصب بین زوایای ۳۵ الی ۴۰ درجه قرار دارد. جدول شماره (۱) برخی از زوایای بهینه برای اقطار و ضخامت های مختلف را نشان می دهد.

۴- تعیین ابعاد بهینه رینگ

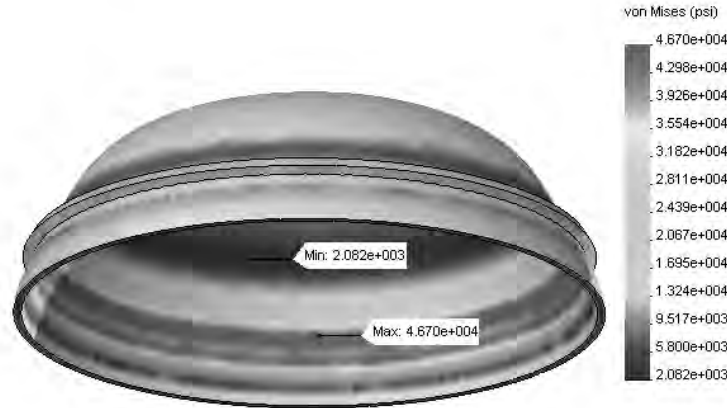
پس از تعیین نقطه بهینه نصب رینگ ابعاد آن باید مشخص گردد. در این مرحله برای هر کدام از حالات یاد شده برای قطر و ضخامت که در قسمت قبلی توضیح داده شد یک رینگ با سطح مقطع مربعی در محل بهینه نصب تعیین شده در مرحله قبل مدل قرار داده شده است. ابعاد رینگ یاد شده با نسبت مساوی و به صورت مربعی به تدریج افزایش و تنش فون میز برای هر حالت استخراج گردیده است. شکل (۵) مدل کامپیوتری تحلیل شده برای عدسی با رینگ را نشان می دهد.

شکل (۶) تنش های فون میز ماکسیم ناشی از تحلیل های مختلف بر حسب ارتفاع رینگ را نشان می دهد. همانگونه که از نمودار نمایان می باشد با افزایش ابعاد رینگ تنش در عدسی کاهش می یابد. آنچه در شکل (۶) و سایر نمودارهای مشابه مهم به نظر می رسد آنست که شیب منحنی عبور داده شده از نتایج بدست آمده از تحلیل ها از نقطه ای به بعد تقریباً ثابت و بدون تغییر می شود. به این ترتیب از این نقطه که بیان کننده ارتفاع و عرض خاصی برای رینگ است تغییرات تنش کاهش می یابد. این نقطه را می توان به عنوان نقطه بهینه در نظر گرفت. چرا که با افزایش ابعاد رینگ تاثیر چندانی در کاهش تنش واقع نخواهد شد بلکه وزن مجموعه افزایش و هزینه های ساخت نیز بالا می رود. نکته دیگر در این نمودارها در اینست که نصب یک رینگ با ابعاد بسیار کوچک حتی می تواند میزان تنش در عدسی را



شکل ۴: ماکسیمم تنش فون میزز عدسی ۸۴ اینچ برحسب زاویه نصب رینگ

Model name: Part166
 Study name: hj
 Plot type: Static Nodal stress-Plot1
 Deformation Scale: 105.707

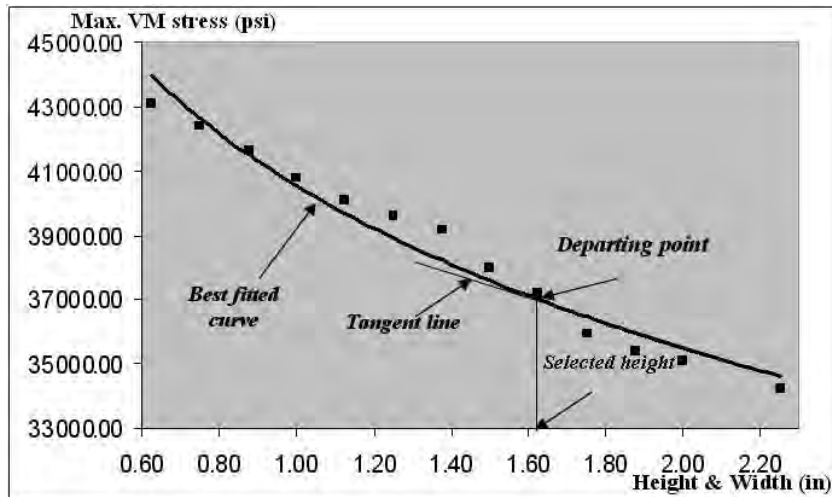


شکل ۵: تنش مینیمم و ماکسیمم در عدسی تورسیفریکال با رینگ تقویتی تحت فشار داخلی

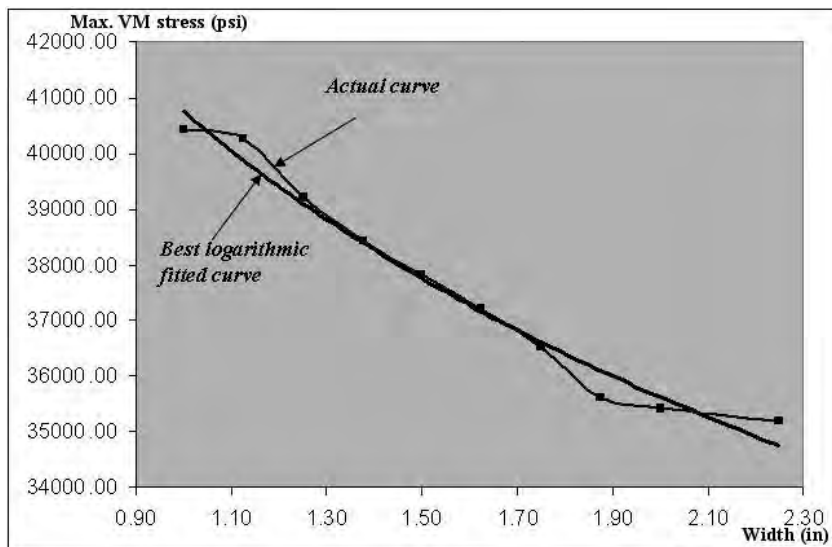
عبارتند از :

- انتخاب نقطه بدست آمده از نمودار به عنوان ارتفاع بهینه و انجام تحلیل های مشابه با تغییر دادن عرض رینگ به منظور دستیابی به عرض بهینه
- حالت برعکس یعنی انتخاب نقطه حاصل از نمودار به عنوان عرض

نسبت به حالت بدون عدسی افزایش دهد. دلیل این پدیده را می توان در افزایش تمرکز تنش در اطراف رینگ تحلیل نمود. از آنجا که در این مرحله ابعاد رینگ هنوز به صورت مربعی می باشد. این نقطه را می توان هم به عنوان ارتفاع و هم عرض بهینه تلقی نمود که در این صورت یکی از دو حالت زیر در ادامه تحلیل وجود خواهد آمد که



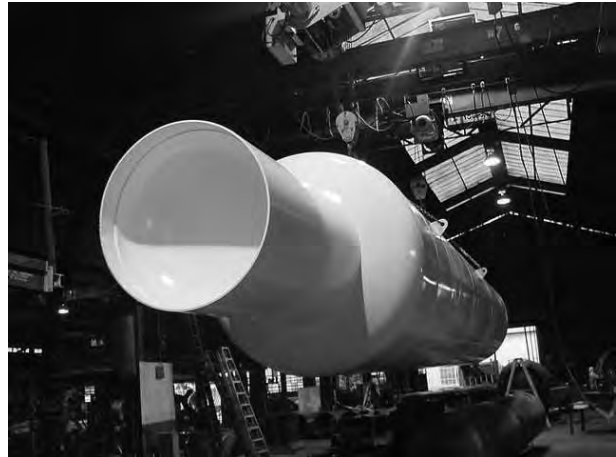
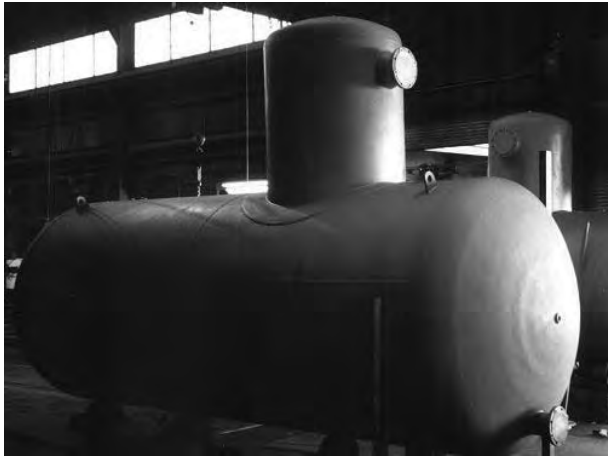
شکل ۶: انتخاب ارتفاع بهینه برای رینگ



شکل ۷: ماکسیمم تنش فون میز در برابر تغییرات عرض رینگ

روندی مشابه عرض رینگ را تغییر و با ترسیم ماکسیمم تنش فون میز بر حسب عرض آن، نقطه بهینه مربوط به عرض رینگ را مشابه حالت قبل نقطه تثبیت شیب مماس بر منحنی در نظر می گیریم. شکل (۷) نقاط حاصل از تحلیل های ناشی از تغییر عرض عدسی به همراه منحنی لگاریتمی عبور داده شده از میان نقاط را نشان می دهد. نهایتاً به کمک این روش می توان ابعاد بهینه رینگ تقویت و محل

بهینه و ادامه تحلیل با اعمال تغییرات در ارتفاع رینگ به منظور تعیین ارتفاع بهینه. هر دو حالت در تحلیل مجزا بررسی شد و از آنجا که گزینه دوم نتایج بهتری را در بر داشت این حالت مبنای ادامه بررسی ها قرار گرفت. همچنین نقطه مشخص شده در شکل (۶) به عنوان ارتفاع بهینه رینگ بدست آمده است. پس از انتخاب ارتفاع بهینه رینگ با ثابت نگه داشتن آن این بار با



ماکسیمم در حالت بدون عدسی گردد کاهش می یابد. در انتهای این روند عدسی با ضخامت کاهش یافته همانند عدسی بدون رینگ رفتار خواهد نمود. جدول شماره (۲) تاثیر استفاده از رینگ در برخی از حالت های تحلیل شده را نشان می دهد. نصب رینگ تقویتی در برخی از حالات باعث ایجاد کاهشی تا ۳۱٪ در ضخامت عدسی شد که این اثر به نوبه خود تاثیر زیادی در کاهش هزینه های مواد اولیه و تولید عدسی خواهد گذاشت.

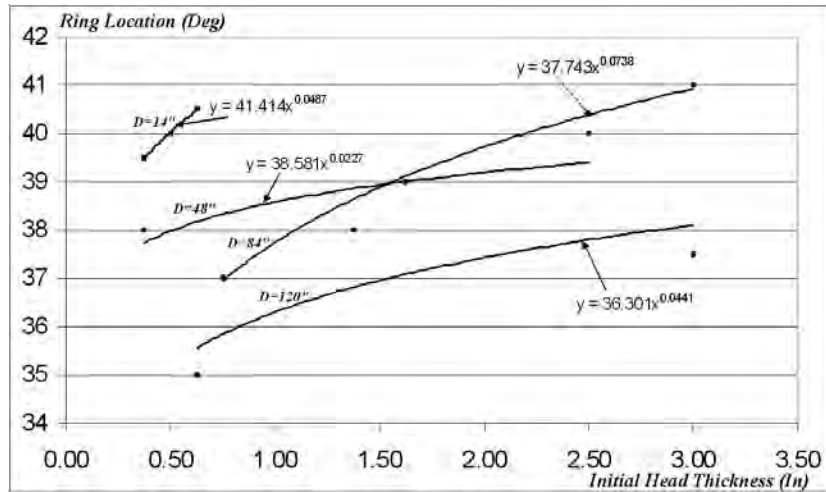
۶- تحلیل نتایج

نکته ای که از اکثر تحلیل ها استخراج می شود اینست که در بیشتر مدل ها عرض رینگ از ارتفاع آن بیشتر است و برخلاف رینگ های

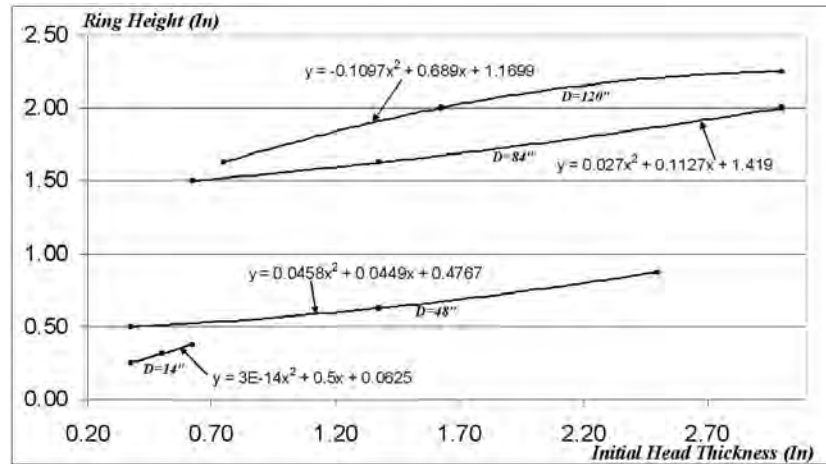
مناسب نصب آن بر روی عدسی تورسیفریکال را برای حالات مختلف اعم از تغییر قطر و ضخامت عدسی تعیین نمود.

۵- کاهش ضخامت عدسی

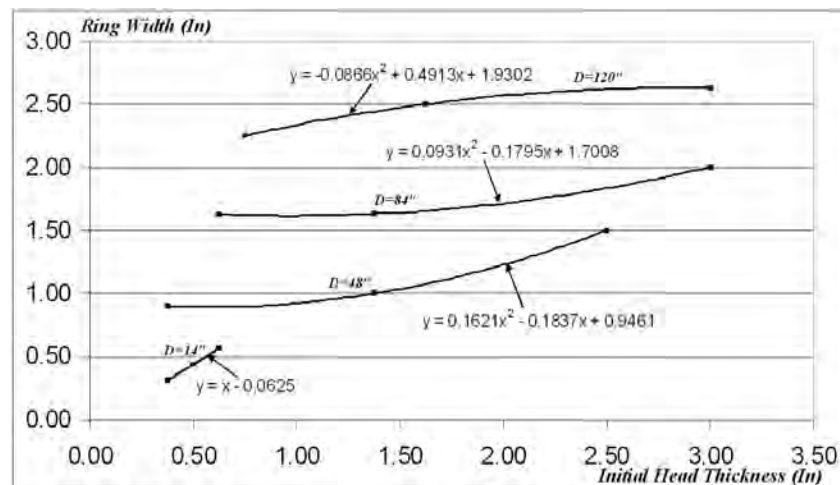
نصب رینگ با ابعاد بهینه بر روی عدسی مقدار تنش های فون میزز در آن را کاهش می دهد. از آنجا که هدف اصلی از اتصال رینگ تقویتی بر روی عدسی کاهش ضخامت عدسی است آخرین مرحله از پروسه اتصال رینگ یافتن ضخامت جدیدی برای عدسی می باشد. در این قسمت رینگ بهینه که در قسمت های قبلی محل اتصال و ابعاد آن مشخص گردید بر روی عدسی مدل شده و ضخامت عدسی تا جایی که تنش های فون میزز ماکسیمم در آن برابر با تنش فون میزز



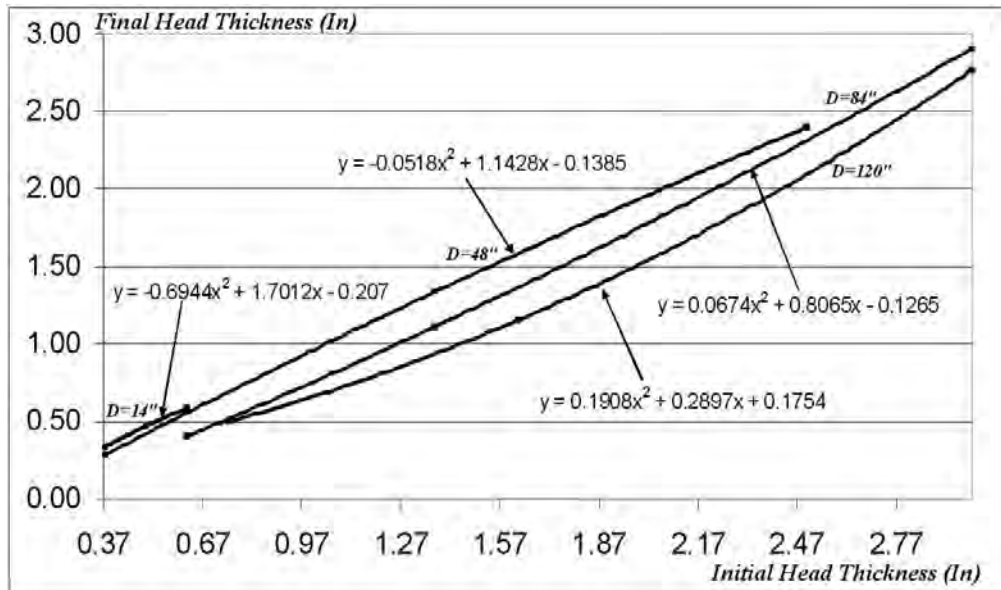
شکل ۸: محل نصب رینگ بر اساس قطر و ضخامت اولیه عدسی



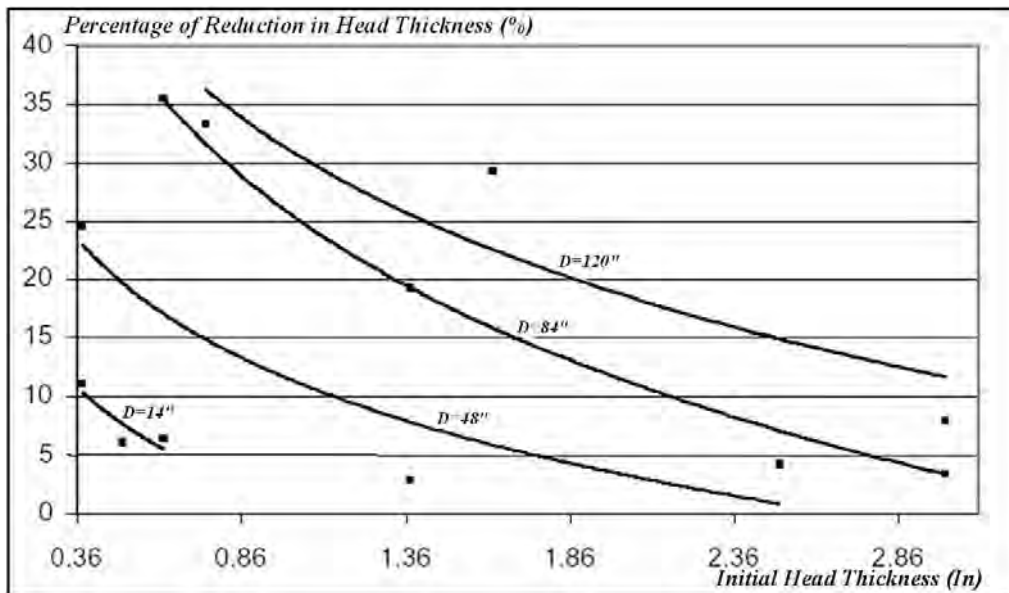
شکل ۹: ارتفاع رینگ بر اساس قطر و ضخامت اولیه عدسی



شکل ۱۰: عرض رینگ بر اساس قطر و ضخامت اولیه عدسی



شکل ۱۱: ضخامت نهایی عدسی پس از استفاده از رینگ بر حسب قطر و ضخامت اولیه



شکل ۱۲: درصد کاهش ضخامت عدسی بر حسب قطر و ضخامت اولیه

در محل اتصال رینگ و عدسی می شوند که انتخاب رینگ با عرض بیشتر می تواند باعث ایجاد توزیع تنش ملایم تر در اطراف رینگ شود. این نتیجه می تواند در مورد پوسته های استوانه ای تحت فشار خارجی نیز بکار برده شود.

تقویتی مورد استفاده در پوسته های استوانه ای تحت فشار خارجی ممان اینرسی محوری رینگ مطابق توضیحات بند UG29 [۱] اثر کمتری در رینگ های استفاده شده در حالات فشار داخلی دارد. به همین ترتیب رینگ های با عرض کم سبب افزایش تمرکز تنش



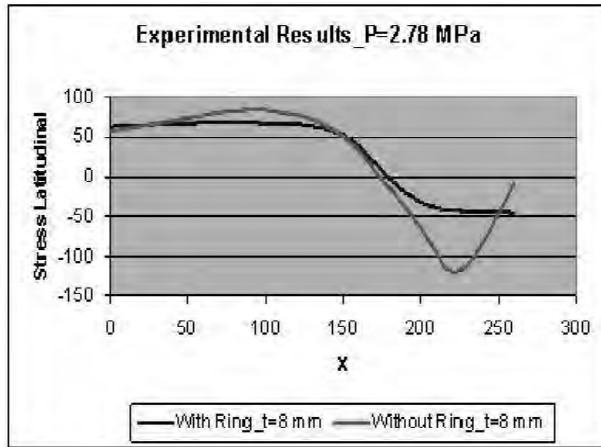
شکل ۱۳: مدل ساخته شده به همراه چیدمان استرین گیجها [۱۲]

و در پایان نمودار (۱۲) درصد کاهش ضخامت در برابر قطرها و ضخامت های مختلف را نشان می دهد.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله روش جدیدی جهت کاهش ضخامت عدسی توریسفریکال تحت فشار داخلی ارائه شد. در این روش رینگ تقویتی با سطح مقطع مستطیلی به گونه ای انتخاب گردید تا تنش فون میزز در عدسی بدون رینگ با تنش فون میزز در عدسی دارای رینگ و در حالیکه

در ادامه نتایج تحلیل برای ابعاد و ضخامتهای متفاوت به صورت نمودارهایی ارائه شده است. با در اختیار داشتن قطر و ضخامت عدسی محل مناسب نصب رینگ مطابق نمودار شماره (۸) تعیین می شود پس از آن ارتفاع و عرض رینگ به ترتیب از طریق نمودارهای (۹) و (۱۰) استخراج می شوند. نصب رینگ با ابعاد حاصله از نمودارهای قبل و در محل مناسب سبب کاهش ضخامت عدسی که هدف اصلی این تحقیق می باشد می شود. ضخامت جدید عدسی پس از نصب رینگ با مشخصات یاد شده از طریق نمودار (۱۱) بدست می آید



شکل ۱۴: تنش بر روی عدسی ساخته شده در مدل آزمایشگاهی در حالت نصب رینگ تقویتی و بدون آن [۱۲]

ضخامت آن کاهش یافته برابر گردد. به کمک این روش چهار مرحله زیر را می توان معین نمود:

- ۱- تعیین بهترین مکان روی عدسی برای نصب رینگ
 - ۲- تعیین مناسب ترین عرض برای رینگ
 - ۳- تعیین مناسب ترین ارتفاع برای رینگ
 - ۴- تعیین میزان کاهش ضخامت عدسی پس از نصب رینگ
- آنالیزهای کامپیوتری انجام شده نشان می دهد که نصب رینگ تقویتی بر روی درپوش مخازن و مبدل های حرارتی می تواند به عنوان روش موفقیت آمیزی در کاهش ضخامت عدسی و متعاقباً کاهش هزینه های مربوطه شود. شکل (۱۲) بیان می کند که این روش به ویژه در درپوشهایی با قطر زیاد و ضخامت کم تاثیر بیشتری داشته و در برخی موارد تا ۳۱٪ موجب کاهش ضخامت عدسی می گردد. برای مقایسه نتایج آلمان محدود از نمونه تجربی و آزمایشگاهی نیز استفاده شد که نتایج عملی و تحلیلی تطابق خوبی را با یکدیگر نشان می دهند. شکل (۱۳) نمونه آزمایشگاهی ساخته شده به منظور بررسی نتایج و استرین گیجهای (Strain Gauge) نصب شده بر روی آن را نشان می دهد. شکل (۱۴) نیز نتایج تنش ناشی از فشار داخلی در مدل آزمایشگاهی ساخته شده را در حالت نصب رینگ و بدون آن نشان می دهد. در این نمودار محور افقی بیان کننده فاصله از مرکز عدسی مطابق آنچه در شکل (۱) نشان داده شده است خواهد بود. نتایج انجام شده بر روی مدل عملی در مقالات دیگری به تفصیل ارائه شده است [۱۲ و ۱۳].
- در پایان نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که محل شعاع Knuckle (مطابق شکل (۱)) که نصب نازل در آن مطابق استاندارد ممنوع می باشد بهترین مکان برای نصب رینگ تقویتی بوده و نیز افزایش تعداد رینگ به بیش از یک عدد تاثیر ناچیزی بر کاهش ضخامت عدسی خواهد داشت.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از شرکت تقطیران کاشان جهت فراهم آوری امکانات و تجهیزات مورد نیاز جهت ساخت نمونه و انجام آزمایشات لازم بر روی آن تشکر و قدردانی می نمایند.

مراجع

- 1- American Society of Mechanical Engineers, "Rules for Construction of Pressure Vessel", Division 1, ASME, 2004.
- 2- American Society of Mechanical Engineers, "Rules for Construction of Pressure Vessel", Division 2, ASME, 2004.

- 3- Donnel, L. H. , « Effect of Imperfection on Buckling of Thin Cylinder and Columns Under Axial Compression» , Trans. ASME J. Appl. Mech. , Vol. 17 , pp 731950 , 83-.
- 4- Donnel, L. H. , «Effect of Imperfection on Buckling of Thin Cylinder Under External Pressure» , Trans. ASME J. Appl. Mech. , Vol. 23 , pp 5691956 , 580-.
- 5-Anderson, M. S. , «Combination of Temperature and Axial Compression Required for Buckling of a Ring Stiffend Cylinder», TN D-121, NASA, April 1962.
- 6- Chang, L. K. and M. F. Card, «Thermal Buckling of stiffened cylindrical shells», Proceeding of the AIAA/ASME 11th structures, Structural Dynamics and Material conference, pp: 2601970 ,272-.
- 7- Li, J. Z. , Liu, Y. H. , Cen, Z. Z. and Xu, B. Y. , «Finite Element Analysis for Buckling of Pressure Vessels with Ellipsoidal Head» Int. J. Pressure Vessels & Piping, Vol. 75 , pp 1151988 ,120-.
- 8- Magnuckia, K. , Szyca, W. and Lewin´ski, J. , «Minimization of Stress Concentration Factor in Cylindrical Pressure Vessels with Ellipsoidal Heads» , Int. J. Pressure Vessels & Piping, Vol. 79, pp 8412002 , 846-.
- 9- Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association, TEMA, Ninth Edition, 2007.
- 10- Kuppan, T. , «Heat Exchanger Design Handbook» , Marcei Dekker Inc. , New York, Basel , 2000.
- 11- Moss, D. R. , «Pressure Vessel Design Manual», Gulf Publication Company, Houston, Texas, 2003.
- 12- Golabi, S. , Ghorbanpour arani, A. and Zamani, A. , «Numerically Studying the Effect of Stiffening Rings on Reducing the Thickness of Torospherical Heads under Pressure on Their Concave Side “ , American Journal of Applied Sciences, Vol. 5, No. 5, pp 5532008 ,558-.
- 13- Golabi, S. , Ghorbanpour arani, A. and Tahvilian, M. , “ Experimental and Numerical Study of the Effect of Stiffeningrings on Reducing the Thickness of Torispherical Heads with Pressure on Their Concave Side”, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Vol. 32, No. B4, pp 4252008 ,436-.