Archive of SID

طراحی و ساخت محفظه استوانه‌ای شیشه‌ای برای دستگاه تبخیر حرارتی در خلأ

حسین زمانی[۱] ، مسعود پور [۲]، ابوذر امینی [۳] ، سید حسین کشمیری[۴]

[۱] پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان رضوی، پارک علم و فناوری خراسان، zamani@kstp.ir

[۲] پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، گروه مکانیک

[۳] پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، گروه مکانیک

[۴] آزمایشگاه تحقیقاتی میکروالکترونیک، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، keshmiri@um.ac.ir

چکیده

در این مقاله گزارش طراحی و ساخت یک محفظه شیشه‌ای که برای سیستم تبخیر حرارتی تحت خلأ در محدوده $۱۰^{-۷}$ میلی‌بار مورد استفاده قرار گرفته است، ارائه می‌گردد. بعد از بررسی مواد اولیه مناسب برای ساخت محفظه، فلانج بالایی و درزبندهای آن، به تبیین معیارهای طراحی محفظه پرداخته و مراحل و روش آن ارائه شده است. طراحی ابعاد محفظه و فلانج بالایی به روش نرم‌افزاری مدل‌سازی شده و با روش تحلیلی نیز کنترل شده است در پایان نتایج عملی آزمایش یک نمونه ساخته شده ارائه شده است.

Design and manufacturing of a glass vessel for thermal evaporation system

Abstract

In this article, design and manufacturing of a glass vessel for vacuum evaporation system under $۱۰^{-۷}$ mbar will be discussed. In this research after reviewing suitable materials for making vessel, upper flange and sealing materials, design criteria and designing procedure was established. Design of vessel and upper flange are modeled by using software and analytical methods. Design criteria and design process and empirical results are also reviewed in this paper.

مقدمه

تمام سیستم‌های خلأ نیازمند یک محفظه خلأ هستند. استفاده‌هایی که برای یک سیستم خلأ تعریف می‌شود و مقصود نظر فناوران این رشته می‌باشد در فضای محفظه صورت می‌گیرد. بنابراین محفظه خلأ یکی از اجزاء کلیدی تمامی سیستم‌های خلأ می‌باشد. بسته به نوع فرایندی که در محیط خلأ انجام می‌شود حدی از خلأ مورد نیاز می‌باشد. بر این اساس در کتب مرجع، خلأ به مراتب پایین، متوسط، بالا، فوق بالا تقسیم می‌شود[۱]. اختلاف فیزیکی شرایط حاکم بر محیط خلأ به گونه‌ای است که عبور از هر حد خلأ برای رسیدن به حد بالایی سطح تکنولوژی مورد نیاز را کاملا دگرگون می‌کند که این امر بر انتخاب مواد، فرایندهای طراحی، ساخت و تولید قطعات، تمیزکاری و حتی نگهداری و مراقبت نرم‌افزاری از سیستم اثر می‌گذارد. از این جهت، ساخت محفظه برای سیستم‌های خلأ بالا نیازمند ملاحظات جدی در عرصه‌های انتخاب مواد، طراحی، ساخت، مونتاژ و آزمایش می‌باشد.

معمولا در ساخت سیستم‌های خلأ تا مرتبه خلأ خیلی بالا از محفظه‌های شیشه‌ای پیرکس استفاده می‌شود دلیل این امر نیز امکان دیدن فرایندهای داخل محفظه توسط کاربر است. ولی برای خلأهای فوق بالا به دلیل اهمیت گازپس‌دهی و ضرورت پخت سیستم، از محفظه‌های فولادی استفاده می‌شود[۲].

www.SID.ir

Archive of SID

روش طراحی محفظه

عوامل مهم در انتخاب مواد مناسب برای استفاده در محیط-های خلأ شامل استحکام مکانیکی، آهنگ گازپس‌دهی، مقاومت در برابر عوامل شیمیایی و خواص فیزیکی می‌باشند. در ساخت محفظه‌های خلأ با توجه به شرایط کاری از موادی نظیر؛ فلزات، شیشه و سرامیک و الاستومرها استفاده می‌شود. موادی که برای ساخت محفظه مورد استفاده قرار می‌گیرند از نظر شیمیایی و فیزیکی مشکلی ندارند لذا معیار میزان گازپس‌دهی، تعیین کننده می‌باشد.

از جمله موارد مهم برای محفظه درزبندی، خواص الاستسیته، پلاستیسیته، سختی، قابلیت فشرده‌شدن، بارگذاری و میزان گازپس‌دهی الرینگ‌های آن می‌باشد. میزان فشردگی وسایل درزبندی یکی از فاکتورهای مهم می‌باشد که براساس درجه حرارت کاری درصد آن تغییر می‌کند. با توجه به محدوده دمایی کاری محفظه از ماده درزبندی وایتون[1] استفاده می‌شود که برای این محدوده از خلأ توصیه می‌گردد برای خلأهای بالاتر از این مقدار از درزبندهای فلزی، از جنس مس استفاده می‌شود[3]. در جدول۱. گازپس‌دهی چند ماده متداول ارائه شده است.

جدول۱. مقایسه آهنگ گازپس‌دهی مواد مناسب محفظه خلأ [۴]

نوع مواد	آهنگ گازپس‌دهی torr/liter/sec/leanr cm
فولاد ضد زنگ آستنیتی	۶ ×۱۰ $^{-۹}$
آلومینیم	۷ ×۱۰ $^{-۹}$
فولاد معمولی	۵ ×۱۰ $^{-۹}$
Brass	۴×۱۰ $^{-۹}$
سرامیک با دانسیته بالا	۳ ×۱۰ $^{-۹}$
پیرکس	۸×۱۰ $^{-۹}$
وایتون پخت نشده	۸ ×۱۰ $^{-۷}$
وایتون پخت شده	۴ ×۱۰ $^{-۸}$

تحلیل مکانیکی محفظه استوانه‌ای شیشه‌ای

این تحلیل با هدف به‌دست آوردن تغییرات تنش و کرنش ایجاد شده در محفظه شیشه‌ای خلأ بالا و فلانج بالایی آن به عنوان معیار اصلی طراحی محفظه انجام شده است. در این تحلیل فلانج بالا از جنس آلومینیوم، محفظه شیشه‌ای از جنس پیرکس در نظر گرفته شده‌اند که مشخصات فیزیکی آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات مکانیکی مواد استفاده شده محفظه خلأ [۵].

مواد مورد استفاده	ضریب الاستیسیته(MPa)	چگالی (Kg/m^3)	ضریب پواسان
آلومینیوم	70	2750	0/33
شیشه پیرکس	69	2200	0/23

تحلیل محفظه با استفاده از معیار فن میسز

به منظور در نظر گرفتن تنش‌های موجود در قطعات یک مجموعه مکانیکی برای تعیین پایداری آن در مقابل بارگذاری‌های انجام شده، ار معیارهای مختلفی نظیر ترسکا، تنش برشی ماکزیمم و فن میسز استفاده می‌گردد. با توجه به معیار نسبت ضخامت به شعاع در استوانه‌ها و مخازن تحت فشار، محفظه خلأ بالا در سیستم تبخیر حرارتی به عنوان یک مخزن جدار نازک محسوب می‌شود و معادلات مخازن جدار نازک بر رفتار آن حاکم خواهند بود. از آنجایی‌که در تحلیل‌های مکانیکی، استفاده از معیار ون میسز[2] برای مخازن تحت فشار جدار نازک توصیه می‌گردد[5] . بر اساس این معیار، جذر مجموع مربعات تنش‌های اصلی ایجاد شده در یک جسم باید از تنش تسلیم آن پایین‌تر یا برابر آن باشد؛ که در نامساوی زیر بیان شده است:

$$\sqrt{\sigma_1^{\,2}-\sigma_1\sigma_2+\sigma_2^{\,2}} \le \sigma_y \qquad (۱)$$

در این رابطه مقادیر σ_y، σ_1 و σ_2 به ترتیب تنش تسلیم، تنش شعاعی و تنش محوری وارد بر جسم مورد نظر می‌باشند. برای این گونه محفظه‌ها مقدار تنش از معادلات زیر محاسبه می-گردد:

$$\sigma_L = \frac{Pr}{2t} = \frac{101350\times.15}{2\times0.01} = 760125Pa = 0.76MPa$$

$$\sigma_\theta = \frac{Pr}{t}\frac{101350\times.15}{0.01} = 1520250Pa = 1.520250MPa$$

[1] viton

[2] - Von Misess

www.SID.ir

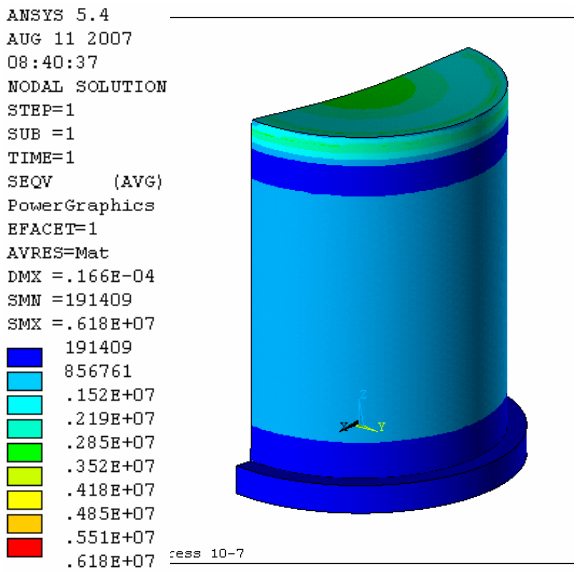
Archive of SID

مقدار تنش تئوریک محاسبه شده برای محفظه شیشه‌ای (براساس معیار ون میسز) به شرح زیر خواهد بود:

$$\sigma_{Misses} = \sqrt{\sigma_1^{\,2} - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^{\,2}}$$

$$= \sqrt{0.76^2 - 1.52 \times 0.76 + 1.52_2} = 1.31Mpa$$

با توجه به این‌که محفظه خلأ بالا اغلب برای محدوده 10^{-7} میلی‌بار مورد استفاده قرار می‌گیرد، این تحلیل برای خلأ مزبور صورت گرفته است. البته با تکرار تحلیل برای خلأهای بالاتر تغییری در میزان جابجایی محفظه حاصل از خلأ مشاهده نگردیده است. در شکل ۱ مدل تنش مجموعه نشان داده شده است.

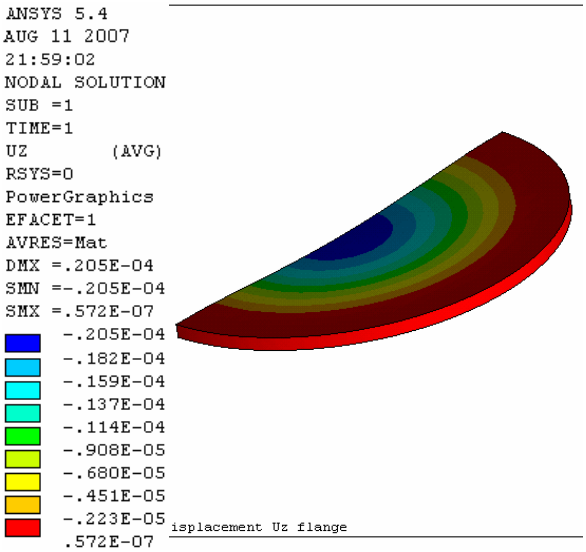


شکل ۱. مدل تغییرات تنش در مجموعه محفظه خلأ بالا

مقادیر به دست آمده از این تحلیل نشان می‌دهد که جابجایی حاصل از خلأ 10^{-7} میلی‌بار در روی محفظه بسیار ناچیز بوده و در محاسبات مهندسی از آن صرف‌نظر می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار[3]، روند تغییرات تنش در جداره محفظه با مقدار تنش محاسبه شده از محاسبات تئوریک مطابقت دارد.

تحلیل تنش فلانج بالایی محفظه

در این قسمت به منظور درک بهتر تغییرات تنش و تغییر شکل فلانج بالایی، آنرا به صورت مستقل تحلیل می‌کنیم. در این حالت محل اتصال آن با محفظه شیشه‌ای به عنوان تکیه‌گاه فرض می‌شود. با توجه به تقارن محوری فلانج نتایج این تحلیل در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. مدل تغییرات جابجایی در فلانج بالایی

در شکل فوق نقطه صفر مرکز فلانج و نقطه‌ای به طول ۱۶۰mm قسمت خارجی دیسک می‌باشد. بر اساس محاسبات فوق حداکثر جابجایی ایجاد شده در فلانج معادل $۰,۲۰۵\times10^{-4}$ m (مقابل مستطیل آبی رنگ، بیشترین میزان جابجایی) است که برای فلزات بسیار ناچیز بوده و قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد بنابراین فرایند طراحی محفظه با ابعاد و جنس فرض شده مورد تایید می‌باشد.

مراحل ساخت

با توجه به طراحی فوق، شیشه پیرکس با ضخامت مناسب انتخاب شد که بعد از برش و پالیش جداره‌های آن آماده گردید. بعد از عملیاتی نظیر برش استوانه، شیشه‌ای به ابعاد مورد نیاز، پالیش سطوح در تماس با صفحه اصلی و فلانج بالایی، طراحی و ساخت فلانج بالایی، طراحی و ساخت الرینگ[4] برای درزبندی

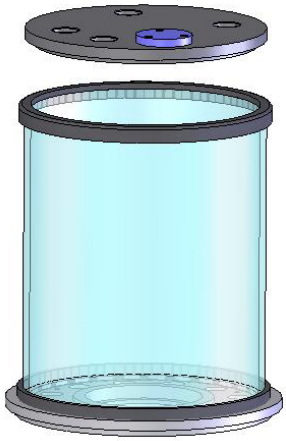
[3] - ANSYS

[4] - L ring

www.SID.ir

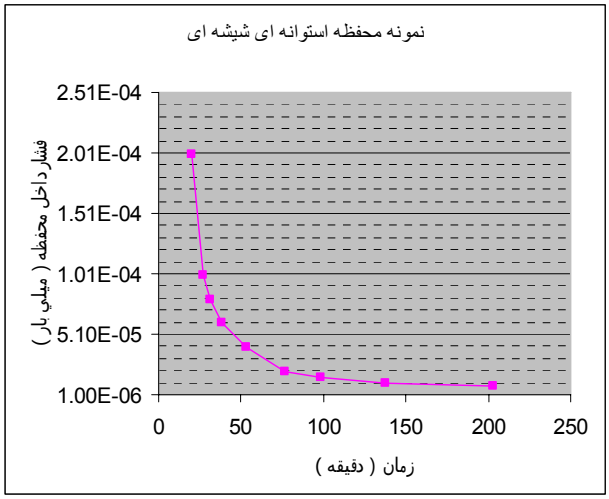
Archive of SID

بین سطوح انجام گرفت. یکی از ویژگی‌های مهم برای مقطع استوانه‌ای محفظه صافی سطح آن می‌باشد که با عملیات پالیش توسط سمباده قابل دست‌یابی است. شکل۳ ابعاد کلی محفظه استوانه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۳. ابعاد کلی محفظه استوانه‌ای و قطعات مربوطه

برای درزبندی محفظه با فلانج بالایی و صفحه اصلی، از درزبندهای الاستومری وایتون استفاده شده است. الاستومرهای وایتون از خاصیت کشسانی مناسبی برخوردارند و در محدوده خلأ مورد نیاز، گازپس‌دهی قابل قبولی دارند و با توجه به مقطع استوانه‌ای محفظه مناسبت‌ترین شکل برای درز بندی الرینگ می‌باشد. الرینگ‌ها با توجه به شکل هندسی‌شان، شرایط انطباق بهتری را بین مقطع استوانه‌ای محفظه و فلانج بالایی و صفحه اصلی فراهم می‌نمایند؛ این امر قدرت درزبندی محفظه را افزایش می‌دهد. برای ساخت الرینگ‌ها ابتدا قالب‌های مناسب طراحی و ساخته شدند. سپس کلیه مراحل آماده‌سازی و تزریق مواد اولیه به قالب‌ها طراحی گردید و تعدادی به عنوان نمونه ساخته شدند. نمونه‌های ساخته شده به مدت طولانی بر روی سیستم‌های خلأ بالا مورد آزمایش قرار گرفتند که نتایج مطلوبی در بر داشته‌اند. مراحل مدل‌سازی و تهیه نقشه‌های اجرایی فلانج نیز انجام شد که در نهایت فلانج بالایی و اتصالات مربوطه ساخته شدند؛ بعد از آماده شدن قطعات و تمیزکاری آن‌ها، بخش‌های محفظه بر روی هم قرار گرفته و بر روی سیستم خلأ بالا مورد آزمایش قرار گرفت که نتیجه آزمایش خلأ نهایی آن در شکل۴ ارائه شده است. در این آزمایش محفظه به مدت بیش از ۲۰۰ دقیقه تحت آزمایش قرار گرفت. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود، میزان خلأ نهایی همواره در حال افزایش می‌باشد.



شکل ۴. نتایج آزمایش محفظه استوانه‌ای شیشه‌ای

نتیجه‌گیری و بحث

محفظه خلأ بالا یکی از نیازمندی‌های اصلی سیستم‌های خلأ بالاست که در این تحقیق گزارش ساخت آن ارائه گردید. همانطوری‌که ملاحظه می‌گردد میزان خلأ محفظه در امتداد زمان افزایش می‌یابد این امر نشان می‌دهد در محفظه هیچ‌گونه نشتی وجود ندارد و درز بندی‌ها نیز به خوبی عمل می‌کنند. با توجه به اینکه خرید این محفظه‌ها از خارج کشور ارز قابل توجهی نیاز دارد و علاوه بر اینها فرصت‌های زیادی از محققان تلف می‌کند، اجرای طرح‌هایی این‌چنین می‌تواند مرحله به مرحله به بومی-سازی فناوری خلأ کمک نماید. بنابراین ضرورت دارد تا محققان در قالب طرح‌های کاربردی به طراحی و ساخت بخش‌های مختلف سیستم‌های خلأ بالا اقدام نمایند تا شاهد شکل‌گیری روند رو به رشدی در توسعه فناوری خلأ بالا باشیم.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] Handbook of vacuum science and technology, Dorothy M. Hoffman, Bawa Singh, John H. Thomas, III,Academic Press, 1997
[2] www.n-c.com
[3] Vacuum Sealing Techniques, A. Roth, Springer, 1993
[4] Phil Danielson," Choosing the Right Vacuum Materials", A Journal of Practical and Useful Vacuum Technology,2003
[5] Engineering Mechanics of Solids, Egor P. Popov, Prentice Hall 1990

www.SID.ir