Archive of SID

عایق حرارتی خلاء با سازه صلب‌شونده توسط هوای فشرده؛ تحلیل سازه‌ای و انتقال حرارتی

یگانه، مهدی[۱]

[۱] *غیر وابسته*

چکیده

در این مطالعه عایق حرارتی خلأ جدید ثبت شده توسط مؤلف [۱]، معرفی گردیده و خصوصیات سازه‌ای و انتقال حرارتی آن مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در عایق مذکور، وظیفه غلبه بر نیروی ناشی از فشار هوای محیط و ایجاد فاصله بین دو جداره عایق به منظور ایجاد خلأ به عهده سازه‌ای انعطاف‌پذیر و جمع‌شونده می‌باشد. با اعمال فشار هوا به داخل این سازه و تغییرشکل آن، دوجدارهٔ عایق از یکدیگر دور می‌شوند و به این ترتیب در مناطقی از عایق که سازه نگهدارنده وجود ندارد، خلأ به وجود می‌آید. عایق پیشنهاد شده توسط نرم‌افزار اجزا محدود Ansys مدل‌سازی شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. تحلیلهای تنشی و انتقال حرارتی قابلیت بالقوه طرح پیشنهاد شده را به عنوان یک عایق مطلوب نشان می‌دهند.

A Vacuum thermal insulation with inflatable load-carrying structure; structural and thermal analyses

Yeganeh, Mehdi[1]

[1]*non-affiliated*

Abstract

The present work introduces a new vacuum insulation. In this insulation, pressurized air is used for inflating and stiffening the load-carrying structure in order to prevent scrunching the envelope. By inflation of this structure, the vacuum is produced in locations which are out of structure. In this paper the thermal and structural behavior of this insulation are investigated using Ansys 10.0. The obtained results justify the acceptability of characteristics of this insulation.

مقدمه

با افزایش هزینه انرژی و توجه بیشتر به مسائل زیست‌محیطی, صرفه‌جویی در مصرف انرژی در سالهای اخیر اهمیت بیشتری یافته است. بخش قابل ملاحظه‌ای از این صرفه‌جویی با عایق‌بندی به منظور جلوگیری از هدر رفتن حرارت یا به عکس جلوگیری از ورود حرارت قابل دستیابی می‌باشد. بلوکهای فایبرگلاس, پشم شیشه یا پشم سنگ, فومهای پلاستیکی و عایقهای سلولزی از عایقهای متداول می‌باشند. عایقهای خلأ دارای مقاومت حرارتی بالاتر تا هفت برابر بهترین عایقهای متداول می‌باشند. به علت خصوصیات عایقهای خلأ استفاده از آنها تا سالهای اخیر علیرغم مقاومت حرارتی بسیار بالایی که دارند در خیلی از موارد به دلیل قیمت آنها غیراقتصادی بوده است. در سالهای اخیر افزایش هزینه انرژی و تصویب قوانین کنترل‌کننده میزان مصرف انرژی در اروپا و امریکا باعث رشد بسیار چشمگیر تحقیقات در زمینه رقابتی کردن قیمت عایقهای خلأ در مقایسه با قیمتهای پایین‌تر عایقهای مرسوم شده است. فلاسکهای خلأ و جایگزینی آنها با تمام انواع فلاسکها در دهه اخیر نمونه‌ای از رقابتی شدن و گسترش کاربرد عایقهای خلأ می‌باشد.

با استفاده از عایقهای خلأ علاوه بر صرفه‌جویی فوق‌العاده در مصرف انرژی، ضخامت عایق به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد و

www.SID.ir

Archive of SID

لذا مقدار حجم درونی مورد استفاده بهینه می‌گردد. عایق خلأ یک عایق حرارتی با فن‌آوری پیشرفته است که بطور قابل ملاحظه‌ای عایق‌بندی مرسوم را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. عایق اختراع و ثبت شده توسط مؤلف [۱] دارای خصوصیات قابل ملاحظه‌ای در راستای طبقه‌بندی شدن به عنوان یک عایق خلأ مطلوب است. برخی مزایای عایق مذکور به شرح زیر می‌باشد:

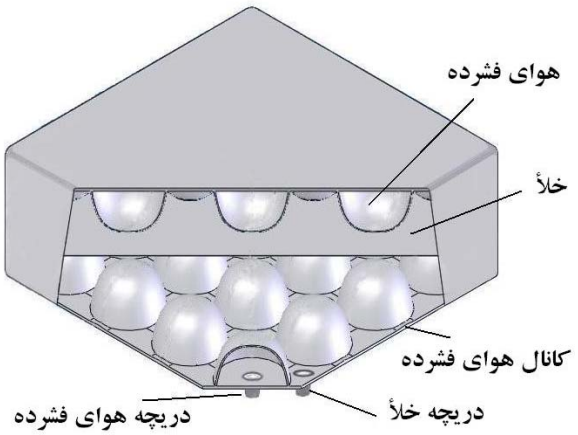
سبکی در مقایسه با عایقهای خلأ موجود، کمی حجم در حالت غیرعملیاتی، قابلیت ساخت در اشکال مختلف دوبعدی و سه‌بعدی، قابلیت تعمیر در صورت آسیب دیدگی، عدم نیاز به هسته داخلی به عنوان سازه نگهدارنده، پایین بودن هزینه مواد اولیه با توجه به عدم نیاز به هسته، قابلیت عملیاتی کردن عایق در محل مورد استفاده، قابلیت تنظیم مقدار مقاومت حرارتی با تغییر فشار هوای درون سازه، و امکان تخلیه هوای وارد شده به محفظه خلأ.

در مطالعه حاضر بر اساس تحلیلهای سازه‌ای و انتقال حرارتی قابلیت عایق پیشنهاد شده به عنوان یک عایق مطلوب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

بخشهای اصلی عایقهای حرارتی خلأ

به طور کلی خلأ یک مقاومت در برابر عبور حرارت است و بنابراین برای بهبود خصوصیات عایق‌ها سعی می‌شود که در آنها شرایط خلأ یا نسبتاً خلأ ایجاد شود. نیروی ناشی از اعمال فشار محیط تمایل به تغییرشکل محفظه و جمع کردن آن دارد. بنابراین جدارهٔ محفظه باید چنان مستحکم باشد که در اثر این فشار دچار تغییرشکل کمی شود یا اینکه با تعبیه کردن سازه‌ای درون محفظه از تغییرشکل آن جلوگیری گردد. مقدار مقاومت حرارتی علاوه بر مقدار و گستره خلأ به سازه عایق مخصوصاً سازه بین دو سطح انتقال حرارت بستگی دارد، چرا که این بخش سازه خود باعث به وجود آمدن راهی برای انتقال حرارت می‌گردد.

هدف مطالعه حاضر, استفاده از سازه‌ای جدید برای تحمل نیروی اعمال شده بر سطوح عایق در اثر فشار هوای اتمسفر می‌باشد. در این طرح به منظور ایجاد خلأ در فاصله بین دو جداره عایق و غلبه بر نیروی ناشی از فشار هوای اعمال شده به سطوح خارجی از یک سازه صلب‌شونده توسط هوای فشرده استفاده می‌شود. با اعمال هوای فشرده به داخل این سازه, سازه از حالت انعطاف‌پذیر به سازه‌ای صلب تبدیل شده و قابلیت مقاومت در برابر نیروی ناشی از فشار اتمسفر را پیدا می‌نماید. در اثر تغییرشکل کل مجموعه در بعضی قسمتهای عایق، خلأ به وجود می‌آید. طراحی خاص این سازه باعث می‌گردد که کل عایق که از مواد انعطاف‌پذیر (پوششهای غیرقابل نفوذ توسط هوا) ساخته شده است, در هنگام اعمال فشار هوا به داخل سازه به صورت انعطاف‌ناپذیر درآید. طرح پیشنهادی برای سازه اصلی عایق خلأ به صورت شکل۱ می‌باشد. این شکل عایق برش خورده را در حالت عملیاتی نشان می‌دهد. در این حالت روی سطوح خارجی فشار هوای اتمسفر عمل می‌کند. در فضای بین این سطوح، سازه نگهدارنده و محفظه خلأ قرار دارد.



شکل۱ : نمای برش خورده عایق پیشنهادی.

تحلیل سازه‌ای عایق

بخش اصلی سازه نگهدارنده برآمدگیهای تخم‌مرغی شکل می‌باشند. میزان فشار اعمالی به داخل سازه تعیین کننده نسبت مساحت منطقه خلأ به کل عایق و در نتیجه معیاری از مقاومت حرارتی قابل دستیابی می‌باشد. به طور مثال در مسأله مورد بررسی که نسبت مساحت منطقه خلأ به کل مساحت سه به چهار است، فشار مورد نیاز چهار برابر فشار هوای محیط است. با توجه به اینکه بخش اصلی سازه در تحلیل تنشی، برآمدگی‌ها می‌باشند، لذا

www.SID.ir

Archive of SID

مطلوب این است که تنش ماکزیمم کل عایق در این ناحیه ایجاد گردد تا بتوان به حداکثر نسبت فشار به تنش ماکزیمم در کل عایق رسید. افزایش این نسبت به مفهوم افزایش کارآیی خصوصیات سازه‌ای و در نتیجه خصوصیات انتقال حرارتی عایق است.

به منظور تحلیل تنشی طرح پیشنهاد شده تحت اثر فشار داخلی ۴ اتمسفر از نرم‌افزار ANSYS استفاده شده است. خصوصیات مکانیکی جنس مورد تحلیل مشابه با خصوصیات یک پوشش مورد استفاده در ساخت عایقهای خلأ با عنوان MYLAR "350SBL300" می‌باشد [۲]. جنس مورد نظر انعطاف پذیر بوده و دارای ضریب هدایت حرارتی پایین می‌باشد. همچنین به علت وجود لایه بازتاب دهنده این پوشش دارای مقاومت بالا در برابر انتقال حرارت تشعشی است. خصوصیات پوشش مذکور در ارتباط با تحلیل تنشی عبارتند از:

مدول یانگ: ۵۱۰ MPa

تنش تسلیم: ۲۵ MPa

یک برش جزیی از عایق پیشنهاد شده مطابق شکل۲ انتخاب و با استفاده از المانهای چهار وجهی المان‌بندی شده است. ابعاد هندسی اصلی مدل مذکور عبارتند از:

شعاع دایره پایه برآمدگی‌ها: ۸ mm

حداقل شعاع دایره برآمدگی‌ها برای نسبت فشار چهار: ۵ mm

ارتفاع برآمدگی‌ها: ۱۰ mm

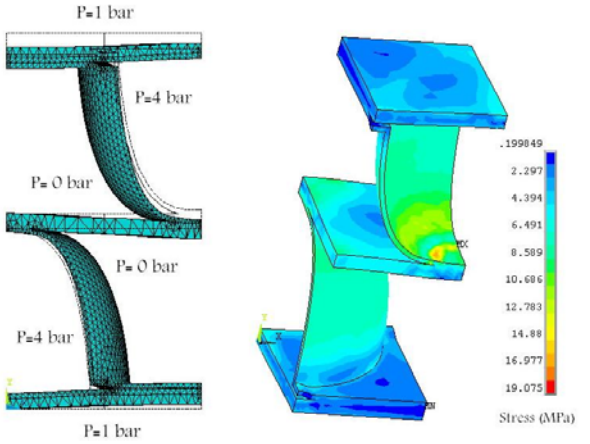
عرض کانالهای ارتباطی برآمدگی‌ها: ۳ mm

ضخامت لایه شامل برآمدگی‌ها: ۰,۳۵ mm

ضخامت لایه‌های مسطح عایق: ۱ mm

فاصله مرکز به مرکز برآمدگی‌ها: ۱۷,۷ mm

مدل المان بندی شده از نواحی داخلی برآمدگی‌ها و لوله های رابط تحت فشار ۴ اتمسفر و در سطوح خارجی ۱ اتمسفر قرار می‌گیرد. تغییرشکل و توزیع تنش فون میسز حاصل از تحلیل استاتیکی مدل ارائه شده در شکل۲ نشان داده شده است. تنش ماکزیمم در حدود ۱۹ Mpa است (در نقطه اتصال برآمدگی به لایه مسطح میانی). بنابراین با توجه به تنش تسلیم جنس مورد استفاده (۲۵ MPa)، ضریب اطمینان این طرح برای اعمال فشار ۴ اتمسفر برابر ۱,۳ می‌باشد.



شکل۲ : تغییرشکل و توزیع تنش فون میسز عایق در اثر اعمال بارگذاری فشار داخلی و فشار اتمسفر.

به طور کلی مقدار تنش ماکزیمم با شعاع برآمدگی‌ها و فشار اعمال شده رابطه مستقیم و با ضخامت پوشش رابطه معکوس دارد. بنابراین برای بهبود خصوصیات حرارتی در عین ثابت نگه داشتن تنش ماکزیمم، می‌توان ابعاد هندسی برآمدگی‌ها را کاهش داد.

تحلیل انتقال حرارتی عایق

به منظور تحلیل انتقال حرارتی عایق لازم است که راههای انتقال حرارت در عایق مورد بررسی قرار گرفته تا بتوان مسأله را به طریق مناسبی مدل‌سازی کرد. با درنظر گرفتن خلأ کامل در محفظه خلأ، راههای اصلی انتقال حرارت بین سطوح بالایی و پایینی این عایق و نحوه مقاومت در برابر آنها عبارتند از:

۱- انتقال حرارت جابجایی توسط هوای داخل برآمدگی‌ها و کانالهای رابط. از آنجا که ابعاد هندسی این برآمدگی‌ها کوچک می‌باشد می‌توان فرض کرد که میزان انتقال حرارت جابجایی توسط هوای محبوس در داخل برآمدگی‌ها ناچیز است.

۲- انتقال حرارت هدایتی بین سطوح بالایی و پایینی توسط هوای داخل برآمدگی‌ها و همچنین توسط جداره این برآمدگی‌ها انجام می‌گیرد. این انتقال حرارت هدایتی مهمترین بخش انتقال حرارت توسط عایق است. هندسه عایق ارائه شده، به واسطه پوشش و برآمدگی‌ها یک مسیر غیرمستقیم بین دو سطح خارجی عایق ایجاد می‌کند. پوشش "MYLAR "350SBL300 پیشنهاد شده برای

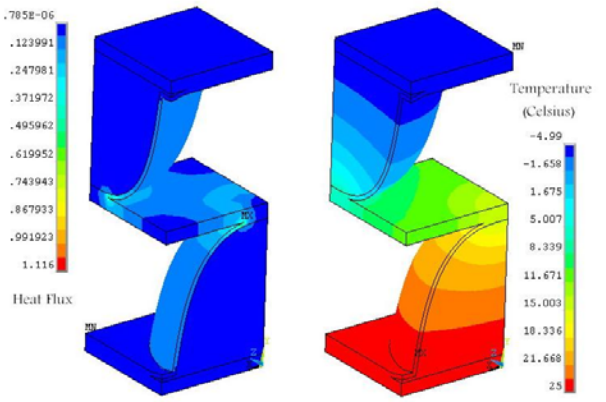
www.SID.ir

Archive of SID

استفاده در عایق به عنوان جداره دارای مقاومت حرارتی هدایتی بالا است. ضریب انتقال حرارت هدایتی این پوشش برابر با ۰/۱۵۵ W/m^oC می‌باشد [۲]. ضریب انتقال حرارت هدایتی هوا برابر است با ۰/۰۲۴ W/m^oC [۳]. شایان ذکر است که تغییر فشار هوا در محدوده فشار کاری عایق (۴ اتمسفر) بر مقدار ضریب انتقال حرارت هدایتی هوا تأثیر قابل ملاحظه‌ای نمی‌گذارد [۳].

۳- انتقال حرارت تشعشعی بین سطوح بالایی و پایینی. با توجه به اینکه پوشش پیشنهاد شده دارای سطوح براق و ضد تشعشع می‌باشد، عایق مذکور در برابر انتقال حرارت تشعشعی نیز دارای مقاومت مطلوبی است.

با توجه به اینکه راه اصلی انتقال حرارت در عایق پیشنهاد شده، هدایت از طریق جداره برآمدگی‌ها و هوای محبوس در آنها بوده و بقیه راههای انتقال حرارت سهم اندکی در برابر این بخش دارند لذا در تحلیل انتقال حرارتی این مجموعه تنها انتقال حرارت هدایتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در تحلیل حرارتی انجام شده، سطوح بالا و پایین، کانالهای رابط و برآمدگی‌ها و هوای درون آنها به عنوان بخشهای اصلی هدایت دهنده حرارت به شکل سه‌بعدی مدل‌سازی شده‌اند. با توجه به اینکه جداره‌ها دارای ضریب هدایت بالاتر و حجم کمتر و هوای درون سازه دارای ضریب هدایت پایین‌تر و حجم بیشتر است برای ساده‌سازی تحلیل، مجموع جداره‌ها و هوا به عنوان یک جسم با مقدار ضریب هدایتی معادل با ضرایب هدایتی جداره و هوا درنظر گرفته شده است. یک جز مساحت از عایق توسط المانهای چهار وجهی المان‌بندی شده است (شکل۳). دمای سطح پایین ثابت و معادل با ۲۵ درجه سانتیگراد درنظر گرفته می‌شود. بر سطوح خارجی فلاکس حرارتی W/mm^2 ۰,۰۱ و W/mm^2 ۰,۰۱- به عنوان شرایط مرزی اعمال شده و مسأله در حالت پایدار مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد دمای سطح بالایی برابر ۵- می‌باشد. با توجه به اینکه در مدل تحلیل شده مساحت برابر mm^2 ۷۸,۳، ضخامت برابر mm^2 ۲۴,۱۴ و اختلاف درجه حرارت سطوح ^oC ۳۰ می‌باشد مقدار ضریب هدایت حرارتی برابر با W/m^oC ۰,۰۰۱ محاسبه می‌گردد.



شکل۳ : فلاکس حرارتی و توزیع دما در اثر فلاکس W/mm^2 ۰,۰۱ بین دو سطح بیرونی.

جدول ۱ مقدار ضرایب حرارتی عایقهای متداول را به همراه ضریب هدایتی عایق ارائه شده نشان می‌دهد.

جدول۱ : ضریب هدایت حرارتی مواد مختلف و عایق ارائه شده

عایق	پشم شیشه	هوا	Mylar 350SBL300	عایق پیشنهاد شده
ضریب هدایت حرارتی W/m^oC	۰,۰۳۸	۰,۰۲۴	۰,۱۵۵	۰,۰۰۱

نتیجه گیری

در مطالعه حاضر یک عایق حرارتی خلأ جدید ابداع شده توسط مؤلف معرفی می‌گردد. با استفاده از نرم‌افزار Ansys و بر اساس روشهای اجزا محدود، خصوصیات سازه‌ای و انتقال حرارتی عایق مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج محاسبات، قابلیت عایق پیشنهاد شده به عنوان یک عایق مطلوب را نشان می‌دهند.

مرجع‌ها

[۱] M. Yeganeh; *"A Vacuum thermal insulation with inflatable load-carrying structure"*; Filed in USPTO #11861319, (2007).

[۲] www.dupontteijinfilms.com

[۳] J. P. Holman; *Heat transfer, New York, McGraw-Hill, (1989).*

www.SID.ir