



جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو
امور انرژی

راهنماهای فنی مدیریت انرژی



**عایق کاری
تأسیسات فرآیند
و بهره‌وری سوخت**

۱۷

دفتر بهینه‌سازی مصرف انرژی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پیشگفتار

در طی دهه آینده، هزینه انرژی الکتریکی چه برای گرمایش و سرمایش، چه برای روشنایی و چه بعنوان نیروی محرکه در فرآیند تولید صنعتی، ادارات، مدارس، منازل، ... رشد چشمگیری پیدا خواهد کرد که البته دلایل این رشد، خارج از بحث این نوشتار است.

در عرصه رقابت جهانی در راستای مصرف کمتر (مصرف بهینه) و تولید هرچه بیشتر، کشورها، جوامع و صنایعی موفقتر خواهند بود که در این رقابت که شاید از دیدگاهی بتوان آن را مبارزه برای تنازع بقاء و ادامه فعالیت نامید، با تحقیقات و مطالعات موفق به یافتن و پس از آن بکار بردن راههای جلوگیری از اتلاف انرژی شوند.

انرژی بطور عام و انرژی الکتریکی بطور خاص که امروز در اختیار و خدمت هم میهنان عزیز، قرار می گیرد، با هزینه‌ای به مراتب گزافتر تهیه می‌شود ولیکن دولت جمهوری اسلامی ایران با تأمین بخشی از هزینه‌های تولید آن از محل درآمدهای عمومی خود و یا به قیمت عدم انجام بسیاری از پروژه‌های زیربنایی ملی، آنرا بدینگونه در اختیار وا می‌گذارد.

اتلاف این انرژی الکتریکی و اصولاً هر نوع انرژی تولید شده از منابع فسیلی، علاوه بر خسارات مالی جبران‌ناپذیری که دارد، زیانهای غیرقابل انکاری نیز بر محیط زیست ملی ما و جهان وارد خواهد آورد. اکنون سالیان متمادی از زمانی می‌گذرد که کشورهای پیشرفته که حتی برخی از آنها از حداکثر امکانات طبیعی و صنعتی برای تولید انرژی برخوردارند، در کنار تلاش در جهت استفاده از انرژی‌های نو (خورشید، باد، امواج، ...)، استفاده صحیح از انرژی را در رأس اهم اهداف خود قرار داده و صاحبان صنایع، صنعتگران، مدیران سازمانها، و حتی سازندگان ساختمانهای مسکونی و بالاخره استفاده‌کنندگان این بناها را مخاطب قرار داده و با وضع دستورالعملها و در مواردی ضوابط و قوانین بازدارنده، آنها را تشویق، راهنمایی و حتی راهبری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی می‌نمایند.

انجام پاره‌ای از این اقدامات، اگر در زمان مناسب نسبت به اعمال آنها اقدام گردد، حتی هیچگونه هزینه اضافی را نیز تحمیل نخواهد نمود و جهت همه‌گیر شدن جنبش جلوگیری از اتلاف انرژی، دائماً جلسات توجیهی و سمینارهایی برای تصمیم‌گیرندگان برگزار می‌گردد تا از پی‌آمدها و بهتر بگوئیم عواقب مختلف آن آگاه گردند. در کنار اقدامات فوق، تلاش متخصصین و دانشمندان در جهت اختراع، ابداع و تولید وسایل و تجهیزات کارآمد نیز جبهه دیگری است که برای مبارزه با اتلاف انرژی گشوده شده است که از جمله آنها می‌توان به تولید صنعتی تجهیزات و لامپهای پر انرژی، کم مصرف و بادوام اشاره کرد.

با توجه به روند افزایش جمعیت و تبعات آن و هرچه بیشتر مستهلک شدن منابع تولید انرژی، چندان دور نخواهد بود که نه تنها افراد، بلکه جوامع نیز در موقعیتی قرار نداشته باشند که بتوانند به میزان مورد علاقه خود انرژی مصرف نمایند بلکه با هرچه فشرده‌تر شدن جوامع، حتماً اهرمهای ملی و جهانی و خود

محدودکننده‌ای وارد عمل خواهند گردید که ابتکار عمل در زمینه تولید و مصرف انرژی را بعهدہ خواهند گرفت.

علیرغم اینکه کاربرد بعضی از اقدامات صرفه‌جویانه (یا بهتر است گفته شود استفاده صحیح و جلوگیری کننده از اتلاف بیهوده)، نیاز به مقداری سرمایه‌گذاری اولیه دارند که البته میزان آن بستگی به دامنه و وسعت اقدامات بعمل آمده دارد، ولی نکته‌ای که مبرهن و غیرقابل انکار می‌باشد آن است که این سرمایه‌گذاری اولیه در مدت کوتاهی خودبخود مستهلک می‌گردد.

علاوه بر نشست‌ها و سمینارهایی که به آنها اشاره گردید تشکیلات گوناگونی که در کشورهای مختلف جهان جهت سامان دادن به مشکل انرژی و آگاه کردن قشرهای مختلف جامعه ایجاد شده‌اند، اقدام به نشر جزوات، بروشورها و اطلاعیه‌هایی نموده و آنها را در دسترس کلیه افرادی که به نوعی با مصرف و صرفه‌جویی انرژی ارتباط دارند قرار می‌دهند.

در همین راستا، معاونت انرژی وزارت نیرو نیز اقدام به ترجمه و چاپ جزوه‌ای که ملاحظه می‌فرمائید نموده است که در کشور انگلستان و بتوسط "مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Establishment) "واحد صرفه‌جویی انرژی مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Energy Conservation Support Unit) "واحد پشتیبانی تکنولوژی انرژی" (Energy Technology Support Unit) "اداره کارائی انرژی" (Energy Efficiency Office) تهیه گردیده‌اند که این معاونت به لحاظ ضرورت تسریع در نشر و ارائه راهنماها و دستورالعملهای فنی، هیچگونه تغییری در ارقام، آمار، نمودارها، جداول و اشکال آن نداده است ولیکن امیدوار است که انشاء... چاپ‌های بعدی این جزوه و همچنین جزوات دیگری که در دست ترجمه و چاپ قرار دارند، براساس آمار و اطلاعات کشور ایران تهیه شده و در اختیار شما قرار داده شوند.

۱ - مقدمه	۷
۲ - دلایل عایق کاری	۸
۱ - ۲ - صرفه جویی در هزینه	۸
۲-۲ - ملاحظات مربوط به فرآیند	۹
۳ - ۲ - ایمنی	۱۰
۴ - ۲ - سایر دلایل	۱۰
۳ - انواع عایق	۱۱
۴ - خواص عایق حرارتی	۱۳
۱ - ۴ - خواص مهمی که باید مورد توجه قرار گیرند	۱۳
۲ - ۴ - خواص و موارد استفاده از هوای عایق حرارتی متداول	۱۴
۵ - ضخامت توصیه شده عایق کاری	۱۶
۱ - ۵ - کاربرد در تأسیسات تبرید به منظور جلوگیری از میعان	۱۷
۲ - ۵ - کاربرد در تأسیسات آب سرد و خنک به منظور جلوگیری از میعان	۱۸
۳ - ۵ - محافظت در برابر یخزدگی در کاربردهای صنعتی	۱۸
۴ - ۵ - تأسیسات حرارت مرکزی، تهویه متبوع و تأمین آب داغ مستقیم در مصارف غیر خانگی	۱۸
۵ - ۵ - کاربردهای لوله کشی و تجهیزات فرآیند	۲۷
۶ - صرفه جویی حاصل در انرژی و هزینه در اثر عایق کاری - محدودیت های یک تجزیه و تحلیل ساده	۲۸
۷ - پوشش ها	۳۰
۱ - ۷ - پوشش ها در فضای بسته	۳۱
۲ - ۷ - پوشش ها در فضای باز	۳۲
۳ - ۷ - خلاصه	۳۳
۸ - تجارب مفید عملی	۳۳
۱ - ۸ - چه وقت نیاز به عایق کاری است؟	۳۴
۲ - ۸ - کاربرد عایق کاری	۳۴
۱ - ۲ - ۸ - جنبه های ایمنی	۳۴
۳ - ۸ - ملاحظات کلی	۳۵
۹ - عایق کاری تأسیسات و تجهیزات	۳۵
۱ - ۹ - تأسیسات دیگ بخار	۳۵
۲ - ۹ - لوله ها	۳۶

- ۳ - ۹ - مخازن و سطوح انحنادار بزرگ ۳۹
- ۴ - ۹ - کانال‌ها و دودکش‌های گاز داغ ۴۰
- ۵ - ۹ - کوره‌ها و تنورها ۴۱

این کتابچه مربوط به عایق‌کاری حرارتی در تأسیسات فرآیند می‌باشد. «تأسیسات فرآیند» شامل لوله‌گشی، کانانها، تجهیزات و مخازن ذخیره است. در زمینه عایق‌کاری تأسیسات فرآیند توصیه‌های عملی جهت استفاده کارکنان مجرب این تأسیسات و به صورت مواد آموزشی ارائه شده است.

عایق‌کاری حرارتی براساس ایجاد یک مایع حرارتی که نرخ انتقال حرارت را کاهش می‌دهد عمل می‌نماید. دلایل بسیاری برای عایق‌کاری تأسیسات فرآیند وجود دارد که مهم‌ترین آنها صرفه‌جویی در هزینه است. منشأ صرفه‌جویی در هزینه از آنجاست که عایق‌کاری حرارتی می‌تواند تلفات گرمایی را کمینه کرده و بنابراین انرژی ورودی لازم برای تثبیت دمای مثلاً یک سیال فرآیند در یک مخزن را کاهش دهد. از جمله دلایل دیگر برای عایق‌کاری، عبارتند از:

- کاهش بهره حرارتی.
- فراهم ساختن کنترل میعان.
- حفاظت در برابر یخ زدگی.
- تأمین محافظت از لوله (حفاظت کارکنان، حفاظت در برابر خوردگی و یا ایزوله کردن لوله‌های داغ).
- کنترل دماهای فرآیند.
- حفاظت در برابر حریق.
- تأمین عایق صوتی.

تعدادی از دلایل عایق‌کاری حرارتی که در بالا فهرست شده‌اند، مربوط به فرآیند هستند. ایمنی نیز به عنوان دلیلی برای عایق‌کاری حرارتی در محیط‌های پر مخاطره یا جایی که احتمال دارد کارکنان با سطوح داغ و یا بسیار سرد تماس حاصل کنند مطرح است.

در این کتابچه، دلایل اصولی برای عایق‌کاری تأسیسات فرآیند مورد بحث قرار می‌گیرد و اطلاعاتی درخصوص انواع مختلف عایق‌ها و خواص آنها ارائه می‌شود. اطلاعات جامع در مورد ضخامت پیشنهادی عایق برای عملکرد بهینه هزینه/ در قالب جدول ارائه شده است و صرفه‌جویی در انرژی و هزینه‌ها بصورت کیفی مورد بحث قرار گرفته است.

برخی از نکات عملی مهم عایق‌کاری حرارتی، همچون سطح کار^۱ (پوشش)، باید در نظر گرفته شوند که تحت عنوان تجارب مفید عملی بیان می‌گردد.

در زمان تعیین عایق حرارتی باید به بعضی از تأسیسات فرآیند و تجهیزات به دقت توجه شود. در یک بخش، پاره‌ای از خصوصیات مهمی که باید در نظر گرفته شوند به همراه مثالهایی شرح داده می‌شود.

¹ Finishes

این کتابچه به عنوان راهنمای خلاصه‌ای برای عایق‌کاری حرارتی در نظر گرفته شده است و بدین جهت در طول متن، به مستندات جامعی که از صنعت عایق‌کاری و مؤسسه استانداردهای انگلیس (BSI) در دسترس است مراجعه می‌شود.

توصیه می‌شود این کتابچه به همراه کتابچه (ضخامت اقتصادی عایق‌ها برای لوله‌های آب داغ، که جزئیات بیشتری در خصوص عایق‌کاری لوله بیان می‌کند مطالعه گردد.

۲ - دلایل عایق‌کاری

۱ - ۲ - صرفه‌جویی در هزینه

به طور کلی بسته به اینکه عایق را پس از ساخت تأسیسات انتخاب و نصب نمایند یا آنرا در طول مرحله طراحی تأسیسات در نظر گرفته و در زمان ساخت نصب کنند، منافع اقتصادی استفاده کنندگان از عایق‌کاری بطور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. با در نظر گرفتن عایق‌کاری در زمان طراحی، می‌توان بیشترین منفعت را کسب نمود. به عنوان مثال، تشخیص اولیه نیاز به عایق‌کاری حرارتی می‌تواند ظرفیت تولید بخار و سیستم تبرید و در نتیجه اطاقها و تجهیزات مربوطه را کاهش دهد. در مواردی که افزایش‌هایی در ظرفیت واحد ضروری می‌باشد، تجهیز به عایق‌بندی مناسب ممکن است نیاز به واحد اضافی را مرتفع‌سازد.

سیاستهای مالی، یا تجزیه و تحلیل هزینه/سود، که برای ارزیابی عوامل اقتصادی عایق‌کاری حرارتی استفاده می‌شود از یک شرکت به شرکت دیگر فرق می‌کند و خارج از حوزه تجزیه و تحلیل در این کتابچه است. در اکثر مواردی که عایق‌کاری لازم است، یک محاسبه ساده بازگشت سرمایه به منظور مقایسه گزینه‌ها که در آن صرفه‌جویی خالص در انرژی با هزینه عایق‌کاری مقایسه می‌شود، می‌تواند بکار رود. بطور نمونه بازگشت سرمایه در مدت دو سال، بدان معنی است که صرفه‌جویی خالص در هزینه انرژی در مدت دو سال، هزینه نصب را باز می‌گرداند، توسط بسیاری از شرکت‌ها معقول در نظر گرفته می‌شود. عموماً مدت بازگشت سرمایه با ضخامت عایق‌کاری افزایش می‌یابد و بنابراین استفاده از واژه ضخامت اقتصادی در جداول بسیاری که در خصوص ضخامت پیشنهادی عایق‌کاری است، یافت می‌شود (بعنوان مثال BS 5442:1990).

در هنگام تعیین وضعیت اقتصادی یک عایق بخصوص، بایستی همیشه هزینه نصب و هزینه مواد پوشاننده گنجانده شود. عایق با کارایی زیاد که ممکن است ضخامت مؤثر آن نسبت به تعدادی از مواد مرسوم کمتر باشد، پوشش بسیار کمتری را نسبت به نوع ضخیم‌تر نیاز خواهد داشت. این مسأله در زمان مقایسه هزینه‌های کل عایق‌کاری می‌تواند به صرفه‌جویی مهمی منجر شود (برای جزئیات مربوط به انواع مختلف پوشش به بخش ۷ مراجعه شود).

۲-۲- ملاحظات مربوط به فرآیند

عایق کاری فرآیند باید آنچنان باشد که بخار، آب داغ، گازهای داغ، یا مایعات سرد و گازها در شرایط قابل قبولی از منبع مرکزی به نقطه مصرف تحویل داده شوند. در این موارد، انتخاب عایق و درجه عایق کاری منحصرراً براساس فاکتورهای اقتصادی تعیین نمی شوند.

فرآیندهای گوناگون بسیاری موجودند که هر یک نیاز به دما و شرایط متفاوتی داشته و در هر مورد، تخصیص عایق مورد نیاز منحصر بفرد خواهد بود، لیکن باید تعدادی از اصول مشترک در نظر گرفته شود.

تلف حرارتی از بخشی از یک لوله، به دمای سیال در حال انتقال و دمای ماده احاطه کننده بستگی دارد. مقدار عایق کاری، تلف حرارتی را تحت تأثیر قرار خواهد داد، اما در زمانی که شرایط درونی و برونی ثابت شد، نرخ تلف حرارتی ثابت خواهد بود. هر گونه تغییری در این شرایط، مثلاً افزایش یا کاهش نرخ دبی داخل لوله، نرخ تلف حرارتی را تغییر خواهد داد و این موضوع باید در فرآیندهای دبی متغیر در نظر گرفته شود.

در جایی که دبی بطور قابل توجهی کاهش می یابد، یعنی در زمانهای خاصی که بار فرآیند کم است، دمای سیال ممکن است از مقدار طبیعی خیلی کمتر باشد. تلفات حرارتی کمتر ناشی از دمای پایین تر یک سیال حجیم، ممکن است این اثر را کاهش دهد، اما اگر شرایط فرآیند ایجاب نماید که دمای تحویل ثابت باشد کماکان یک دمای بالاتر سیال مورد نیاز خواهد بود.

ارزیابی تشخیص سطوح قابل قبول عایق کاری می تواند به دو مرحله تقسیم شود:

- تعیین تلف حرارتی از سطح خارجی

- تأثیر این تلف حرارتی بر شرایط سیال داخل لوله

مرحله اول توسط اطلاعاتی تسهیل می شود که به شکل جدول بندی شده یا نموداری با فرم ارائه شده در این کتابچه و کتابچه «ضخامت اقتصادی عایق ها برای لوله های آب داغ» بیان گردیده است. در این مجموعه ها، اطلاعاتی برای موقعیتهای متداول عنوان شده است.

مرحله دوم مستلزم مطالعه تأثیری است که امکان دارد تلف حرارتی بر ویژگیهای سیال داخل لوله داشته باشد. به عنوان مثال، اگر بخار در حال انتقال باشد، کاهش دما ممکن است به میعان منجر شده و نیاز به دریچه های بخار را موجب شود، در جایی که لازم است میعان به کمترین حد کاهش یابد، حتی الامکان باید نرخ دبی نزدیک به مقدار طراحی شده نگهداشته شود و سطح عایق کاری افزایش یابد.

مورد خاصی نیز وجود دارد که باید با احتراز از میعان از خوردگی و یا انتشار ناخواسته جلوگیری شود. برای دیگ های بخار، بین نیاز به کاهش دماهای خروج تا حداقل مقدار ممکن (به منظور کسب حداکثر مقدار انرژی) و ضرورت نگهداشتن دماها در بالای سطح ایمن (نقطه شبنم^۱ اسید گازهای خروجی) برای جلوگیری از خوردگی، مغایرت، وجود دارد. زمانی که دیگ بخار در بارهای سبک کار می کند این مسأله می تواند تشدید شود و این

¹Dewpoint

موضوع بویژه برای دیگهای بخار نفت سوز^۱ حائز اهمیت است. از اینرو لازم است که خروجی‌های دیگ بخار برای اجتناب از سقوط دمای گازهای خروجی به زیر نقطه شبنم اسید، عایق‌کاری شوند. تاکنون، قسمت عمده بحث بر لوله‌ها و کانالها متمرکز بود لیکن در یک سیستم توزیع بسیاری از اجزاء دیگر وجود دارند که به تلف حرارت کمک می‌نمایند و تمامی این موارد باید در نظر گرفته شوند. به عنوان مثال، شیرها و فلانچ‌های عایق‌کاری نشده می‌توانند تا ۲۰٪ گرمای اتلافی از یک سیستم توزیع را به خود اختصاص دهند. بخش ۹ این کتابچه، مخازن، فلانچ‌ها، شیرها و اجزای دیگری نظیر آنها را که هر یک مستلزم توجه خاصی است مورد بحث قرار می‌دهد.

۳-۲- ایمنی

از نظر ایمنی، در بسیاری موارد، عایق‌کاری حرارتی ضروری است و عمدتاً ارتباطی با صرفه‌جویی در هزینه انرژی ندارد. دو جنبه عمده ایمنی که مستلزم استفاده از عایق می‌باشد عبارتند از:

- عایق‌کاری می‌تواند کارکنان تأسیسات را در برابر تمامی آنها با سطوح بسیار داغ یا بسیار سرد محافظت کند.
- عایق‌کاری می‌تواند خطر آتش‌سوزی یا انفجار ناشی از مجاورت گازها یا بخارهای قابل احتراق با سطوح گاز را کاهش می‌دهد.

همچنین عایق‌کاری می‌تواند در فراهم نمودن شرایط مناسب، به‌خصوص در جایی که کارکنان در مجاورت تأسیسات با دمای بالا در حال کار هستند، تأثیر مهمی گذارد.

وقتی که عایق به دلایل ایمنی بکار برده می‌شود، معیار مورد استفاده برای تعیین ضخامت عایق حرارتی، بجای نرخ تلف حرارتی، دمای سطح خارجی می‌باشد. اگرچه این تصمیم‌گیری بر هزینه‌های انرژی متکی نیست، ولی هزینه عایق می‌تواند با انتخاب مناسبترین و اقتصادی‌ترین نوعی که دمای مورد نیاز سطح خارجی را تأمین نماید، حداقل شود.

۴-۲- سایر دلایل

دلایل دیگری برای استفاده از عایق حرارتی وجود دارد که برخی از آنها عبارتند از:

- در موقعی که احتمال دارد لوله‌ها در معرض دماهای پایین محیط قرار گیرند، عایق حرارتی می‌تواند عمل محافظت در برابر یخ‌زدگی را انجام دهد.
- عایق حرارتی می‌تواند در بعضی شرایط به عنوان عایق صوتی عمل کند.
- عایق حرارتی می‌تواند خطر آسیب‌های مکانیکی به لوله‌کشی و سایر اجزاء را کاهش دهد.

¹ oilfired Boilers

۳ - انواع عایق

مواد عایقی بسیارگوناگون بوده و مرتباً انواع جدید آن به بازار عرضه می‌شود. در این بخش، انواع اصلی و شکل‌های عمده عایق حرارتی مختصراً شرح داده می‌شود.

مواد عایقی بصورت آلی^۱ و غیرآلی^۲ دسته‌بندی می‌شوند. عایق‌های غیرآلی از مواد بلوری یا سیلیسی/آلومینیومی/کلسیمی بی‌شکل^۳ در صورت‌های فیبری^۴، دانه‌بندی شده^۵ یا پودر شده ساخته می‌شوند و فضاهای توخالی قابل توجهی دارند. عایق‌های آلی با استفاده از پلیمرهای هیدروکربن که می‌توانند برای تولید فضاهای توخالی منبسط شوند، ساخته می‌شوند. همانگونه که در زیر فهرست شده است، هر دو نوع عایق فوق در شکل‌های متنوعی وجود دارند. اطلاعات بیشتر درخصوص موارد استفاده و خواص آنها در بخش ۴ بیان می‌شود.

- شکل داده شده^۶

معمولاً این عایق به شکل تخته‌ای^۷، قطعات لوله‌ای و شکل‌های مربوطه متکی بر ساختار صلب مواد سلولی، دانه‌بندی شده و یا فیبری ساخته می‌شود.

پلاستیک‌های سلولی صلب و مواد طبیعی فشرده همچون چوب پنبه، نیز می‌توانند شکل داده شوند.

- انعطاف‌پذیر^۸

این عایق دارای این مزیت است که می‌توان آنرا به آسانی به شکل بخشی که قرار است عایق‌کاری شود درآورد. نوارهای بافتنی و پوشش‌های عایق، نمدها، حصیرها و اسفنج‌های قابل انعطاف یا مواد پلاستیکی انبساط یافته، معمولترین شکل‌های این عایق می‌باشند.

- عایق نرم^۹

این عایق شامل کلیه حالت‌هایی است که اجزاء آن، به نرمی به هم پیوند یافته‌اند و امکان ریختن آن به داخل حفره‌ها یا جداره‌ها وجود دارد. پرلایت^{۱۰} و ورمیکولایت^{۱۱} نمونه‌های معمول می‌باشند.

- ترکیب پلاستیک

این نوع عایق بصورت پودر خشک احتمالاً با تقویت فیبری است که با ترکیب شدن با آب، آماده استفاده می‌شود. عموماً گرما برای سرعت بخشیدن به فرآیند سفت شدن^{۱۲} اعمال می‌شود، لیکن بعضی اوقات لازم است که عایق با استفاده از فشار هیدرولیکی سخت شود.

¹ Organic

² Inorganic

³ Amorphous

⁴ Fibrous

⁵ Granular

⁶ Preformed

⁷ Slabs

⁸ Flexible

⁹ Loosefill

¹⁰ Perlite

¹¹ Vermiculite

¹² Setting

- اعمال با اسپری^۱

این نوع عایق با تفنگ اسپری استفاده می‌شود و معمولاً شامل ماده عایقی دانه‌بندی شده، کفی یا فایبری است که روی سطح مورد استفاده می‌چسبد. امکان دارد یک ماده چسبنده در مخلوط اصلی گنجائیده شود و یا بطور همزمان از یک پاشنده^۲ جداگانه استفاده گردد.

- اعمال به صورت کف در محل اصلی^۳

پلاستیک‌های آلی سلولی را می‌توان به منظور پرکردن یک حفره توسط وسایل فیزیکی یا شیمیایی در محل مورد نظر مورد استفاده قرار داد.

- عایق میکروپروس^۴

عایق میکروپروس که گاهی اوقات با عنوان **Silica aerogel** شناخته می‌شود، محتوی یک پودر نرم با سوراخهای میکروسکوپی است که به ماده، رسانایی حرارتی پایین‌تری نسبت به رسانایی هوای ساکن می‌دهد. این عایق به صورت شکل داده شده یا درون کیسولی وجود دارد.

- عایق بازتابنده^۵

این نوع عایق، گرمای تشعشع یافته را بگونه‌ای بازتاب می‌کند که نرخ اتلاف گرما را تقلیل دهد. فلزاتی همچون فویل^۶ آلومینیوم و ورق فولاد ضدزنگ صیقلی‌شده نازک، شکل‌های معمول عایق فوق می‌باشند.

- عایق‌های مقوائی

این مقواها، صلب یا نیمه صلب بوده و معمولاً همراه با تقویت فایبری و فشرده شده به شکل یک جرم متراکم وجود دارند.

- آجرهای عایق‌کننده و محصولات وابسته

این عایق‌ها از خاک رس متراکم، سبک وزن و فشرده غیرآلی که با پخته شدن در دمای بالا، به صورت عایق سخت شکل داده شده‌اند، ساخته می‌شوند.

- عایق‌های بتونی

عایق‌های بتونی، بطور نمونه شامل خرده‌سنگ‌های متخلخل سبک وزن به همراه سیمان هیدرولیکی^۷ به عنوان عامل چسبندگی و یا کف سخت شده هیدرولیکی می‌باشد.

- شکل‌های پیش ساخته^۸

¹ Spray-applied

² Spray Nozzle

³ Foamed in situ

⁴ Microporous Insulation

⁵ Reflective Insulation

⁶ Foil

⁷ Hydraulic Cement

⁸ Prefabricated Shapes

این نوع مواد عایقی از عایقهای متنوع جهت کاربردهای تخصصی تهیه می‌گردند و در آنها با استفاده از عایق شکل داده شده، بکارگیری و جابجایی عایق تسهیل می‌شود. نمونه‌ای از این مورد، پوشش‌های عایق مخصوص شیرها می‌باشد.

۴- خواص عایق حرارتی

هدف عمده عایق‌کاری حرارتی، کاهش انتقال حرارت از یک منبع داغ به محیط یا از محیط به یک فرآیند سرد می‌باشد. از این رو یک ویژگی مهم عایق حرارتی، پایین بودن رسانایی حرارتی آن است. ملاحظات دیگری نیز می‌بایستی برای تعیین خواص عایق لازم برای هر کاربرد خاص در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، شرایط خارجی که امکان دارد عایق دستخوش آنها شود حائز اهمیت است. برخی از خواص مهم‌تر که باید در نظر گرفته شوند، در بخش ۱ - ۴، فهرست شده‌اند. در بخش ۲ - ۴، بعضی از مواد عایق که معمولاً بیشترین کاربرد را دارا هستند، به همراه خواص اصلی و مصارف بالقوه‌شان فهرست شده‌اند.

۱ - ۴ - خواص مهمی که باید مورد توجه قرار گیرند

- مقاومت در برابر اثرات درازمدت
این مورد، مخصوصاً در جایی که عایق در معرض دماها و شرایط کاری بسیار سخت خواهد بود، مهم است تا عایق نه تنها از نظر ساختاری مستحکم بماند بلکه ویژگیهای عایقی آن نیز حفظ شود.
- استحکام فیزیکی
این خاصیت می‌بایست به اندازه کافی باشد تا عایق بتواند بدون تأثیر بر خواص اولیه عایقی، تحویل، ذخیره‌سازی و اعمال را تحمل نماید.
- استحکام در برابر فشردگی
این خاصیت می‌بایست به اندازه کافی باشد تا پس از نصب، عایق در مقابل هرگونه فشار احتمالی، همچون نردبان‌ها و غیره، استقامت داشته باشد.
- پایداری مکانیکی
عایق باید علاوه بر اینکه پس از نصب قادر به تحمل بار باشد، از مقاومت لازم در برابر ارتعاش نیز برخوردار بوده و نیز انبساط و انقباض را تحمل نماید. ضرایب انبساط اکثر عایق‌ها با ضرایب انبساط مورد عایق‌کاری تفاوت است.
- ایمنی
خطراتی که در مدت اعمال عایق، سلامتی را تهدید می‌کنند باید در نظر گرفته شوند. جزئیات بیشتر در مورد خطرات مربوط به پوشش در بخش ۷ ارائه می‌شود.

خطرات آتش‌سوزی و انفجار ناشی از مواد عایق باید در انتخاب آنها مد نظر قرار گیرد و همچنین چسب‌ها و مواد اتصال دهنده نیز در طول استفاده باید در نظر گرفته شوند چرا که این مواد می‌توانند خطرناک باشند. نکته مهم دیگر، تولید دود ناشی از آتش‌سوزی است که به هنگام عایق‌کاری ابنیه باید بدان توجه شود زیرا که ممکن است عملیات اطفاء حریق را با مشکل مواجه ساخته و برای ساکنین خطرناک باشد.

- مقاومت در برابر خوردگی

نفوذ آب یا میعان داخلی می‌تواند عایق را مرطوب ساخته و آن را تضعیف کند. مخصوصاً عایق‌های حاوی ترکیبات حل‌شدنی، هستند خوردگی می‌باشند. مقاومت در برابر مواد شیمیایی مجاور عایق که احتمالاً از منابع خارجی هستند نیز می‌تواند مهم باشد.

- وزن و ضخامت عایق

در برخی موارد، وزن عایق ممکن است بکارگیری تقویت‌های اضافی برای سیستم لوله‌کشی و غیره را ایجاب نماید. ضخامت انتخاب شده، ملاحظات مربوط به فضای مورد نیاز را تحت تأثیر قرار خواهد داد و این موضوع خصوصاً چنانچه سیستم موجود به عایق مجهز باشد، حائز اهمیت است.

- مقاومت در برابر نفوذ بخار آب و جذب آب

این موضوع از آن جهت که آب رسانایی حرارتی عایق را بالا می‌برد و در نتیجه اثر عایق را کاهش می‌دهد، اهمیت دارد. ساختار فیبری با منافذ باز، مستعد این اثر هستند.

- مقاومت در برابر جانوران موذی و گیاهان قارچی

در فروشگاه‌های مواد غذایی و کارخانه‌ها، عایق باید در برابر رشد جانوران موذی و گیاهان قارچی مقاوم باشد، پوشش با مواد غیرجاذب می‌بایست مورد

۲ - ۴ - خواص و موارد استفاده از هوای عایق حرارتی متداول

در این بخش، پانزده مورد از معمول‌ترین مواد عایق حرارتی بطور اختصار بر حسب مشخصه‌ها، موارد استفاده و ویژگی‌های آنها شرح داده می‌شود. در پایان بخش، این خواص در جدول ۱ بیان شده‌اند.

- سیلیکات کلسیم

در فرآیندهای صنعتی که به دمای بالا و استحکام زیاد در برابر فشردگی نیاز است، سیلیکات کلسیم به‌طور وسیعی استفاده می‌شود. همچنین این ماده برای عایق‌کاری لوله‌های اصلی سیستم گرمایش در محل‌هایی که این لوله‌ها در زیر خاک قرار گرفته‌اند، بکار می‌روند.

- شیشه سلولی

شیشه سلولی یک ماده کاملاً غیرقابل نفوذ می‌باشد و به منظور عایق‌کاری لوله‌گشی و تجهیزات صنایع پتروشیمی، گاز و فرآیندهای صنعتی استفاده می‌شود. شیشه سلولی می‌تواند در یک محدوده دمایی وسیع که شامل تجهیزات تبرید نیز می‌باشد، استفاده شود. این ماده به دلیل استحکام آن در برابر فشردگی، برای عایق‌کاری پایه‌های مخزن نیز ایده‌آل است.

- لاستیک نیتریل انبساط یافته^۱

لاستیک نیتریل انبساط یافته ماده قابل انعطافی است که یک مانع یکپارچه سلولی بسته را در مقابل بخار تشکیل می‌دهد. این ماده در اصل برای کنترل میعان بر روی لوله‌های تجهیزات تبرید و خطوط آب سرد استفاده می‌شده است و هم اکثرن بطور وسیعی در سیستم‌های گرمایش و تهویه^۲ (H&V) بکار می‌رود.

- پلی‌استیرن انبساط یافته و کف تزریقی پلی‌استیرن

پلی‌استیرن انبساط یافته و کف تزریقی پلی‌استیرن نیز مانع یکپارچه سلولی بسته در مقابل بخار می‌باشند که عمدتاً در سازه‌هایی همچون سازه‌های سردخانه‌ها بکار می‌روند.

- کف‌های انعطاف‌پذیر پلی‌اورتان^۳

این مواد، مواد سلولی باز با ویژگی جذب خوب نویز می‌باشند و از اینرو به عنوان آستر کانالهای صوتی استفاده می‌شوند.

- پشم شیشه معدنی^۴

پشم شیشه به شکلهای مختلفی، از لوله‌ای (توپ) گرفته تا تخته‌های صلب و مقاطع از پیش شکل داده شده لوله‌ای وجود دارد. پشم شیشه علاوه بر کاربردهای صنعتی، در سایر موارد نیز به منظور عایق‌کاری حرارتی و صوتی سرویسهای گرمایش و تهویه بکار می‌رود.

- اکسید منیزیم^۵

اکسید منیزیم یک محصول تمیز و خنثی است و در نتیجه بطور وسیعی در صنایع غذایی، دارویی و مواد آرایشی و سایر فرآیندهایی که تمیز بودن محیط آنها اهمیت خاصی دارند، بکار می‌رود.

- کف ملامین

کف ملامین یک ماده با چگالی بسیار کم، سلول باز، عاری از کلرور فلئوئورکربن (CFC) و قابل انعطاف با خصوصیات عایقی خوب حرارتی و صوتی است. بعنوان یک ماده آلی، کف ملامین نیز دارای حد دمایی فوقانی بالایی می‌باشد.

- عایق سیلیس میکروپروس^۶

¹ Expanded Nitrile Rubber

² Heating and Ventilation

³ Polyurethane

⁴ Glass Mineral Wool

⁵ Magnesia

⁶ Microporous

عایق میکروپروس بطور وسیعی در سیستم‌های ذخیره‌کننده حرارتی و برای عایق‌کاری صنعتی دما بالا که در آن ویژگیهای حرارتی بهتری نسبت به مشخصه حرارتی عایق فیبری مورد نیاز است، استفاده می‌گردد.

- کف فنلی

کف فنلی، با داشتن ضخامت نسبتاً کم از خاصیت عایق‌کاری حرارتی بالایی برخوردار بوده و نسبتاً خنثی است. از اینرو در کاربردهای گرمایشی و تهویه مطبوع که علیرغم محدود بودن فضا، استانداردهای عایقی بالایی مورد نیاز می‌باشد و در صنایعی که میزان آتش کلاس صفر و مشخصه‌های انتشار کم دود حاکم است، به کار می‌رود.

- کف پلی‌اتیلن

کف پلی‌اتیلن عمدتاً در کاربردهای خانگی استفاده می‌شود.

- کف پلی‌ایزوسیانورات^۱ (PIR)

PIR به شکل‌هایی با استحکام زیاد وجود دارد و بطور وسیعی برای عایق‌کاری لوله‌کشی در دمای تبرید و دمای متوسط و تجهیزات موجود در صنایع پتروشیمی، گاز و فرآیندهای صنعتی استفاده می‌شود. PIR در انواع وسایل حمل و نقل سردخانه‌دار^۲ و در کانال‌کشی و لوله‌کشی ساختمان و لوازم ساختمانی مورد استفاده دارد.

- کف صلب پلی‌اورتان

PUR می‌تواند توسط سیستم‌های اسپری محلی^۳ بکار برده شود و انواع با چگالی زیاد آن وجود دارند. برای حداقل کردن بهره گرمایی و کنترل میعان، از PUR در کاربردهای متوسط و سنگین تبرید استفاده می‌شود.

- پشم سنگ معدنی^۴

پشم سنگ معدنی به صورتهای مختلفی، از محصولات لوله‌ای (تویی) سبک وزن گرفته تا تخته‌های صلب سنگین، از جمله مقاطع شکل داده شده لوله‌ای وجود دارد. پشم سنگ معدنی علاوه بر تأمین عایق‌کاری حرارتی، خصوصیات عایق‌کاری صوتی و محافظت در برابر حریق را دارا می‌باشد.

۵- ضخامت توصیه شده عایق‌کاری

استاندارد انگلیس BS 5422:1990- « روش تعیین مواد عایق‌کننده حرارتی لوله‌ها، کانال‌کشی و تجهیزات (در محدوده دمای °C ۴۰- تا °C ۷۰۰+) » حاوی اطلاعات جدول بندی شده مفصلی است که برای منظوره‌های مختلف، ضخامت‌های توصیه شده عایق‌کاری را فهرست می‌نماید. اطلاعاتی از این کتابچه که برای مهندسين و

¹ Polyisocyanurate

² Refrigerated Transport

³ In Situ Spray Systems

⁴ Rock Mineral Wool

مدیران انرژی تأسیسات بسیار سودمند می باشد در اینجا به طور کامل و به همراه توضیح مناسب در خصوص نحوه استخراج جدول ، ذکر می گردد.

توجه نمایید که در اطلاعات جدول بندی شده، ارقام برای رسانایی گرمایی متوسط عایق بیان شده اند. این اعداد باید با مقادیر داده شده در جدول ۱ برای عایق مربوطه مقایسه شده و توسط تولید کنندگان و فروشندگان عایق تأیید شوند.

جدول ۱: خواص مواد عایقی حرارتی					
عایق	محدوده دما (°C)		رسانایی حرارتی (W/m.k) *	محدوده ضخامت (mm)	
	حداقل	حداکثر		حداقل	حداکثر
سیلیکات کلسیم	-۲۰	۸۰۰	۰/۰۰۶	۲۵	۱۰۰
شیشه سلولی	-۲۶۰	۴۳۰	۰/۰۵۰	۴۰	۱۳۰
لاستیک انبساط یافته	-۴۰	۱۱۶	۰/۰۳۶	۶	۳۲
پلی استیرن انبساط یافته	-۱۰۰	۸۰	۰/۰۳۳	۱۲	۶۱۰
کف تزویقی پلی استیرن	-۱۸۰	۷۵	۰/۰۲۷	۳۰	۱۰۰
کف های انعطاف پذیر پلی اورتان	۲۰	۱۰۵	۰/۰۴۸	۱۹	۱۰۰
پشم شیشه معدنی	-۱۶۰	۲۳۰	۰/۰۴۰	۱۹	۱۰۰
اکسید منیزیم	-۲۰	۳۱۵	۰/۰۶۰	۲۵	۸۸
کف ملامین	۲۰	۲۲۰	۰/۰۴۰	۶	۲۵۰
عایق سیلیسی میکروپروس	-۲۰	۱۰۵۰	۰/۰۲۵	۳	۷۵
کف فنی	-۱۸۵	۱۲۰	۰/۰۲۰	۱۵	—
کف پلی اتیلن	-۲۰	۱۰۰	۰/۰۳۷	۹	۳۸
کف پلی ایزوسیاناترات	-۱۸۵	۱۴۰	۰/۰۲۳	۱۵	—
کف صلب پلی اورتان	-۱۸۵	۱۱۰	۰/۰۲۳	۱۵	—
پشم سنگ معدنی	-۱۶۰	۸۵۰	۰/۰۴۰	۱۹	۱۰۰

* توجه مقادیر رسانایی گرمایی اکثر مواد عایق با دما تغییر می یابند. در جدول ۱ مقادیر متوسط مورد استفاده قرار گرفته اند. برای اطلاعات کامل باید به داده های سازنده رجوع کرد.

سکتابچه « ضخامت اقتصادی عایق ها برای لوله های آب داغ » حاوی یک بحث مفصل تر درباره نحوه استخراج اطلاعات از این جداول و روش های نمونه برای محاسبه ضخامت اقتصادی عایق از طریق جداول خاص هر مورد می باشد. و توصیه می شود که همراه با این کتابچه مطالعه شود.

۱ - ۵ - کاربرد در تأسیسات تبرید به منظور جلوگیری از میعان

جداول ۲ تا ۵ حداقل ضخامت عایق مورد نیاز برای جلوگیری از میعان روی سطح خارجی ماده عایق کننده و تحت شرایط دمای محیط، رطوبت نسبی و انتشار از سطح خارجی ارائه می کند.

۲- ۵- کاربرد در تأسیسات آب سرد و خنک به منظور جلوگیری از میعان

جداول ۶ و ۷ حداقل ضخامت عایق برای جلوگیری از میعان بر روی سطح خارجی ماده عایق‌کننده را در شرایط بیان شده ارائه می‌دهد.

۳- ۵- محافظت در برابر یخ‌زدگی در کاربردهای صنعتی

جدول ۸ حاوی اطلاعاتی در خصوص حداقل ضخامت از عایق می‌باشد که تحت شرایط صنعتی برای محافظت در برابر یخ‌زدگی به کار می‌رود. این اطلاعات برای لوله‌های فولادی که در هوای آزاد قرار دارند می‌باشد (دمای محیط 10°C - فرض شده است).

بدیهی است که برخی از ضخامت‌ها، غیر عملی بوده و در این مواقع باید عمل گرمادهی (گرمایی که از خارج به لوله داده می‌شود تا درجه حرارت آن را ثابت نگهدارد) به منظور کاهش ضخامت عایق صورت پذیرد.

۴- ۵- تأسیسات حرارت مرکزی، تهویه متبوع و تأمین آب داغ مستقیم در مصارف غیر خانگی

جداول ۹ تا ۱۱ اطلاعات مربوط به ضخامت‌های اقتصادی عایق در تأسیسات گرمایش غیر خانگی که به ترتیب مورد استفاده تأسیسات دیگ بخار با سوخت جامد، و گاز و نفت می‌باشد را ارائه می‌دهد.

هزینه گرمایش در این جدول و جداول بعدی در این بخش، بصورت زیر هستند (از BS 5422:1990):

سوخت جامد:	$\frac{\text{پنس}}{\text{MJ مفید}} = 0.38$
گاز:	$\frac{\text{پنس}}{\text{MJ مفید}} = 0.57$
نفت:	$\frac{\text{پنس}}{\text{MJ مفید}} = 0.76$

در تمام موارد بازده دیگ بخار ۷۰٪ فرض شده است.

جدول ۱۲ حاوی اطلاعاتی در مورد ضخامت اقتصادی عایق در تأسیسات آب داغ می‌باشد. هزینه‌های گرمایش به همان صورتی که در بالا اشاره شد می‌باشند. اطلاعات مربوط به سه سوخت اصلی نیز در یک جدول گنجانده شده است.

علاوه بر لوله‌کشی، کانال‌ها نیز باید در موارد مقتضی عایق‌کاری شوند. به ویژه کانال‌های انتقال دهنده هوای گرم و کانالهایی که در آنها امکان دارد میعان رخ دهد (جایی که هوای خنک شده در حال انتقال است) حائز اهمیت می‌باشند. اطلاعات عایق برای این موارد به ترتیب در جداول ۱۳ و ۱۴ بیان شده‌اند. توجه نمایید که در مورد جدول ۱۴، شرایط محیطی عبارت از دمای 25°C + و رطوبت نسبی ۸۰ درصد می‌باشند. پوشش‌ها می‌توانند شامل محدوده‌ای از یک فلز بسیار صیقلی (ضریب پایین) تا یک سطح رنگ آمیزی شده (ضریب بالا) باشد.

جدول ۲: حداقل ضخامت عایق برای کاربردهای تبرید به منظور جلوگیری از میعان بر روی

سطح بیرونی با قابلیت انتشار زیاد (۰/۹) در دمای محیط $+20^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی ۷۰٪ r.h.

دمای محتویات (برحسب $^{\circ}\text{C}$)																			قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm)			
۰					-۱۰					-۲۰					-۳۰					-۴۰		
رسانایی گرمایی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)																			۲۱/۳ ۳۳/۷ ۶۰/۰ ۱۱۴/۳ ۱۶۸/۳ ۲۷۳/۰ ۵۰۸/۰			
۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۰				
ضخامت عایق (بر حسب mm)																						
۲۷	۲۲	۱۸	۱۳	۲۲	۲۰	۱۵	۱۱	۱۹	۱۶	۱۲	۹	۱۴	۱۲	۹	۶	۹	۷	۶	۵			
۳۰	۲۵	۱۹	۱۳	۲۵	۲۱	۱۶	۱۲	۲۰	۱۷	۱۴	۹	۱۶	۱۳	۱۰	۷	۱۰	۸	۷	۵			
۳۳	۲۷	۲۰	۱۳	۲۸	۲۳	۱۷	۱۲	۲۲	۱۹	۱۴	۹	۱۷	۱۳	۱۱	۷	۱۱	۹	۷	۵			
۳۸	۳۱	۲۳	۱۵	۳۲	۲۶	۱۹	۱۲	۲۵	۲۱	۱۵	۱۰	۱۸	۱۴	۱۱	۷	۱۱	۹	۷	۵			
۴۲	۳۴	۲۵	۱۷	۳۵	۲۸	۲۱	۱۳	۲۷	۲۲	۱۶	۱۱	۲۰	۱۶	۱۱	۷	۱۱	۹	۷	۵			
۴۶	۳۷	۲۸	۱۸	۳۸	۳۰	۲۳	۱۵	۲۹	۲۴	۱۸	۱۱	۲۱	۱۷	۱۲	۸	۱۲	۹	۷	۵			
۴۹	۴۰	۲۹	۱۹	۴۰	۳۲	۲۵	۱۶	۳۲	۲۵	۱۹	۱۲	۲۲	۱۷	۱۴	۹	۱۳	۱۰	۷	۵			

جدول ۳: حداقل ضخامت عایق برای کاربردهای تبرید به منظور جلوگیری از میعان بر روی

سطح بیرونی با قابلیت انتشار کم (۰/۲) در دمای محیط $+20^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی ۷۰٪ r.h.

دمای محتویات (برحسب $^{\circ}\text{C}$)																			قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm)			
۰					-۱۰					-۲۰					-۳۰					-۴۰		
رسانایی گرمایی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)																			۲۱/۳ ۳۳/۷ ۶۰/۰ ۱۱۴/۳ ۱۶۸/۳ ۲۷۳/۰ ۵۰۸/۰			
۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۰				
ضخامت عایق (بر حسب mm)																						
۵۱	۴۲	۳۳	۲۴	۳۳	۳۶	۲۸	۲۰	۳۵	۲۹	۲۲	۱۶	۲۶	۲۱	۱۷	۱۲	۱۶	۱۳	۱۰	۸			
۶۰	۴۸	۳۷	۲۶	۳۹	۴۰	۳۱	۲۲	۳۹	۳۳	۲۵	۱۸	۲۹	۲۴	۱۹	۱۳	۱۸	۱۵	۱۲	۹			
۷۳	۵۸	۴۳	۲۹	۶۰	۴۸	۳۶	۲۴	۴۶	۳۸	۲۹	۲۰	۳۴	۲۷	۲۲	۱۵	۲۱	۱۷	۱۳	۱۰			
۸۸	۷۳	۵۶	۳۷	۷۵	۶۲	۴۶	۲۹	۶۰	۴۸	۳۶	۲۳	۴۲	۳۳	۲۶	۱۷	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰			
۹۶	۷۹	۶۱	۳۳	۸۰	۶۷	۵۲	۳۶	۶۵	۵۳	۴۱	۲۸	۴۸	۴۰	۳۰	۱۹	۲۸	۲۲	۱۷	۱۱			
۱۰۶	۸۷	۶۷	۴۶	۸۸	۷۲	۵۶	۳۹	۷۰	۵۸	۴۵	۳۰	۵۲	۴۲	۳۲	۲۲	۳۱	۲۵	۱۹	۱۳			
۱۱۶	۹۵	۷۳	۴۹	۹۶	۷۸	۶۱	۴۱	۷۷	۶۲	۴۷	۳۲	۵۵	۴۵	۳۴	۲۳	۳۳	۲۷	۲۰	۱۳			

جدول ۴: حداقل ضخامت عایق برای کاربردهای تبرید به منظور جلوگیری از میعان بر روی سطح بیرونی با قابلیت انتشار زیاد (۰/۹) در دمای محیط $+25^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی ۸۰٪.

دمای محتویات (بر حسب $^{\circ}\text{C}$)																			قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. بر حسب (mm)				
۰					-۱۰					-۲۰					-۳۰					-۴۰			
رسانایی گرمایی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)																							
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲		۰/۰۱			
ضخامت عایق (بر حسب mm)																			۲۱/۳ ۳۳/۷ ۶۰/۰ ۱۱۴/۳ ۱۶۸/۳ ۲۷۳/۰ ۵۰۸/۰				
۲۳	۳۶	۲۹	۲۱	۳۷	۳۲	۲۵	۱۸	۲۲	۲۷	۲۱	۱۵	۲۵	۲۱	۱۷	۱۲	۱۸	۱۵	۱۲		۹			
۲۹	۴۱	۳۲	۲۲	۳۲	۳۵	۲۷	۲۰	۳۵	۳۰	۲۴	۱۷	۲۹	۲۴	۱۹	۱۳	۲۱	۱۷	۱۴		۱۰			
۵۶	۴۵	۳۵	۲۴	۳۸	۳۹	۳۰	۲۱	۴۰	۳۳	۲۶	۱۸	۳۲	۲۶	۲۱	۱۵	۲۳	۱۹	۱۵		۱۱			
۶۶	۵۲	۴۱	۲۸	۵۷	۳۶	۳۵	۲۳	۴۶	۳۸	۲۹	۱۹	۳۶	۲۹	۲۳	۱۵	۲۶	۲۱	۱۶		۱۱			
۷۱	۵۹	۴۵	۳۱	۶۱	۵۱	۳۹	۲۶	۵۱	۴۱	۳۱	۲۱	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	۲۷	۲۲	۱۷		۱۱			
۷۹	۶۲	۴۹	۳۳	۶۷	۵۲	۴۱	۲۹	۵۵	۴۵	۳۴	۲۳	۴۳	۳۵	۲۶	۱۸	۲۹	۲۳	۱۸		۱۲			
۸۵	۶۹	۵۳	۳۵	۷۲	۵۸	۴۵	۳۰	۶۰	۴۸	۳۶	۲۴	۴۵	۳۶	۲۸	۱۹	۳۲	۲۵	۱۹	۱۲				

جدول ۵: حداقل ضخامت عایق برای کاربردهای تبرید به منظور جلوگیری از میعان بر روی سطح بیرونی با قابلیت انتشار کم (۰/۲) در دمای محیط $+25^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی ۸۰٪.

دمای محتویات (بر حسب $^{\circ}\text{C}$)																			قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. بر حسب (mm)				
۰					-۱۰					-۲۰					-۳۰					-۴۰			
رسانایی گرمایی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)																							
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲		۰/۰۱			
ضخامت عایق (بر حسب mm)																			۲۱/۳ ۳۳/۷ ۶۰/۰ ۱۱۴/۳ ۱۶۸/۳ ۲۷۳/۰ ۵۰۸/۰				
۱۰۰	۷۷	۵۹	۴۱	۸۱	۶۵	۵۰	۳۵	۶۵	۵۳	۴۱	۲۹	۵۰	۴۱	۳۲	۲۳	۳۶	۲۹	۲۳		۱۷			
۱۱۵	۹۳	۶۸	۴۶	۹۸	۷۶	۵۷	۴۰	۷۶	۶۲	۲۷	۳۳	۵۸	۴۷	۳۷	۲۶	۴۱	۳۳	۲۷		۱۹			
۱۳۰	۱۰۹	۸۵	۵۴	۱۱۳	۹۵	۷۰	۴۶	۹۶	۷۷	۵۷	۳۸	۷۲	۵۷	۴۴	۳۰	۴۹	۴۰	۳۱		۲۲			
۱۵۰	۱۲۵	۹۹	۷۲	۱۳۱	۱۰۹	۸۶	۶۱	۱۱۰	۹۲	۹۲	۴۹	۶۸	۷۳	۵۷	۳۷	۶۵	۵۱	۳۸		۲۵			
۱۶۴	۱۳۷	۱۰۸	۷۷	۱۴۲	۱۱۹	۹۲	۶۶	۱۱۹	۹۹	۹۹	۵۵	۹۵	۷۹	۶۲	۴۳	۶۹	۵۷	۴۵		۳۰			
۱۸۲	۱۵۲	۱۱۹	۸۴	۱۵۷	۱۳۱	۱۰۲	۷۳	۱۳۱	۱۱۰	۱۱۰	۶۰	۱۰۴	۸۶	۶۷	۴۷	۷۴	۶۱	۴۸		۳۳			
۲۰۵	۱۶۹	۱۳۲	۹۱	۱۷۶	۱۴۵	۱۱۳	۷۸	۱۳۷	۱۲۱	۱۲۱	۶۴	۱۱۵	۹۴	۷۳	۵۰	۸۱	۶۶	۵۱	۳۴				

جدول ۶: حداقل ضخامت عایق برای تأمین آب سرد و خنک، به منظور جلوگیری از میعان بر روی سطح بیرونی با قابلیت انتشار زیاد (۰/۹) در دمای محیط $+25^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی ۸۰٪ r.h.

دمای محدودیات (بر حسب $^{\circ}\text{C}$)												قطر خارجی لوله
+۱۰				+۵				+۰				
رسانایی گرمایی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)												بر حسب (mm)
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	
ضخامت عایق (بر حسب mm)												
۱۸	۱۵	۱۲	۹	۱۵	۱۲	۹	۸	۱۱	۹	۸	۶	۲۱/۳
۲۱	۱۷	۱۴	۱۰	۱۶	۱۴	۱۱	۸	۱۳	۱۱	۸	۶	۲۳/۷
۲۳	۱۹	۱۵	۱۱	۱۸	۱۵	۱۲	۹	۱۴	۱۲	۹	۶	۶۰/۰
۲۶	۲۱	۱۶	۱۱	۲۰	۱۶	۱۳	۹	۱۴	۱۲	۹	۶	۱۱۴/۳
۲۷	۲۲	۱۷	۱۱	۲۱	۱۷	۱۳	۹	۱۵	۱۲	۹	۶	۱۶۸/۳
۲۹	۲۳	۱۸	۱۲	۲۲	۱۹	۱۴	۹	۱۶	۱۳	۹	۶	۲۷۳/۰
۳۲	۲۵	۱۹	۱۲	۲۴	۱۹	۱۴	۱۰	۱۶	۱۳	۱۰	۷	۵۰۸/۰
۳۳	۲۶	۲۰	۱۳	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۱۷	۱۴	۱۰	۷	سطوح صاف

جدول ۷: حداقل ضخامت عایق برای تأمین آب سرد و خنک، به منظور جلوگیری از میعان بر روی سطح بیرونی با قابلیت انتشار کم (۰/۲) در دمای محیط $+25^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی ۸۰٪ r.h.

دمای محتویات (بر حسب $^{\circ}\text{C}$)												قطر خارجی لوله
+۱۰				+۵				+۰				
رسانایی گرمایی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)												بر حسب (mm)
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	
ضخامت عایق (بر حسب mm)												
۳۶	۲۹	۲۳	۱۷	۲۸	۲۳	۱۸	۱۴	۲۰	۱۷	۱۴	۱۰	۲۱/۳
۴۱	۳۳	۲۷	۱۹	۳۲	۲۷	۲۱	۱۵	۲۴	۲۰	۱۶	۱۱	۲۳/۷
۴۹	۴۰	۳۱	۲۲	۳۸	۳۱	۲۵	۱۷	۲۸	۲۳	۱۸	۱۳	۶۰/۰
۶۵	۵۱	۳۸	۲۵	۴۸	۳۸	۳۰	۲۰	۳۳	۲۷	۲۰	۱۴	۱۱۴/۳
۶۹	۵۷	۴۵	۳۰	۵۴	۴۵	۳۵	۲۲	۳۹	۳۱	۲۳	۱۵	۱۶۸/۳
۷۴	۶۱	۴۸	۳۳	۵۸	۴۸	۳۷	۲۵	۴۲	۳۳	۲۶	۱۷	۲۷۳/۰
۸۱	۶۶	۵۱	۳۴	۶۳	۵۱	۳۹	۲۷	۴۴	۳۶	۲۸	۱۹	۵۰۸/۰
۹۲	۷۵	۵۶	۳۷	۷۳	۵۸	۴۴	۲۹	۵۲	۴۱	۳۱	۲۱	سطوح صاف

جدول ۸: حداقل ضخامت محاسبه شده عایق، مورد نیاز برای محافظت در برابر یخ زدگی، تحت شرایط صنعتی

								دمای آب	
								+۵ °C	
								دمای محیط	
								-۱۰ °C	
								دوره ارزیابی	
								۱۲ ساعت	
								درصد مجاز تشکیل یخ	
								هیچ	
								روش محاسبه	
								H. 22	
رسانایی گرمایی (بر حسب W/m.k)								قطر داخلی (قطر داخلی لوله)	قطر خارجی
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲		
ضخامت عایق (بر حسب mm)								mm	mm
لوله های فولادی									
—	—	—	۱۰۳۴	—	—	—	—	۱۶/۰	۲۱/۳
—	۲۷۴۰	۷۱۵	۱۷۹	—	—	—	۵۰۲۸	۲۱/۶	۲۶/۹
۱۱۲۱	۴۷۳	۱۹۵	۷۴	—	—	۴۸۱۲	۷۱۶	۲۷/۲	۳۳/۷
۲۴۰	۱۳۷	۷۵	۳۷	—	۲۳۴۹	۷۰۸	۲۰۳	۳۵/۹	۴۲/۴
۱۳۵	۸۵	۵۱	۲۸	۲۱۹۵	۸۷۵	۳۴۰	۱۲۴	۴۱/۸	۴۸/۳
۶۹	۴۸	۳۲	۱۹	۵۱۳	۲۷۵	۱۴۱	۶۶	۵۳/۰	۶۰/۳
۴۰	۳۰	۲۱	۱۳	۱۹۳	۱۲۳	۷۵	۴۱	۶۸/۸	۷۶/۱
۳۱	۲۴	۱۷	۱۱	۱۲۲	۸۴	۵۴	۳۱	۸۰/۸	۸۸/۹
۲۱	۱۷	۱۲	۸	۷۰	۵۱	۳۵	۲۲	۱۰۵/۳	۱۱۴/۳
۱۳	۱۰	۸	۵	۳۷	۲۹	۲۱	۱۴	۱۵۸/۶	۱۶۸/۳
۱۰	۸	۶	۴	۲۷	۲۱	۱۶	۱۰	۲۰۷/۹	۲۱۹/۱

جدول ۹: ضخامت اقتصادی عایق برای تأسیسات گرمایشی غیرخانگی تأمین شده توسط دیگ بخار با سوخت جامد

دمای طرف داغ (برحسب °C) (با هوای ساکن محیط در ۲۰°C+)												قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm)
+۷۵				+۱۰۰				+۱۵۰				
رسانایی حرارتی در دمای متوسط (برحسب W/m.k)												
۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۱۷/۲ ۲۱/۳ ۲۶/۹ ۳۳/۷ ۴۲/۴ ۴۸/۳ ۶۰/۳ ۷۶/۱ ۸۸/۹ ۱۱۴/۳ ۱۳۹/۷ ۱۶۸/۳ ۲۱۹/۱ ۲۷۳/۰ بالتر از ۳۳۳/۹ و شامل سطوح صاف
ضخامت عایق (برحسب mm)												
۳۲	۲۸	۲۵	۲۲	۲۶	۲۴	۲۱	۱۷	۲۳	۲۰	۱۷	۱۴	۱۷/۲
۳۴	۳۰	۲۶	۲۳	۲۷	۲۵	۲۲	۱۷	۲۴	۲۲	۱۸	۱۵	۲۱/۳
۳۵	۳۲	۲۸	۲۴	۲۸	۲۶	۲۴	۲۰	۲۵	۲۳	۲۰	۱۷	۲۶/۹
۳۷	۳۴	۲۹	۲۵	۳۱	۲۷	۲۵	۲۰	۲۶	۲۴	۲۱	۱۷	۳۳/۷
۳۹	۳۵	۳۱	۲۵	۳۲	۲۸	۲۵	۲۱	۲۷	۲۵	۲۲	۱۸	۴۲/۴
۴۱	۳۶	۳۲	۲۶	۳۳	۲۹	۲۶	۲۲	۲۸	۲۵	۲۳	۱۸	۴۸/۳
۴۳	۳۸	۳۳	۲۷	۳۵	۳۱	۲۷	۲۳	۲۹	۲۶	۲۴	۱۹	۶۰/۳
۴۵	۴۰	۳۵	۲۸	۳۶	۳۳	۲۸	۲۳	۳۱	۲۷	۲۴	۲۰	۷۶/۱
۴۶	۴۲	۳۶	۲۹	۳۷	۳۳	۲۸	۲۴	۳۲	۲۸	۲۴	۲۰	۸۸/۹
۴۸	۴۴	۳۷	۳۱	۳۹	۳۵	۳۰	۲۵	۳۳	۲۹	۲۵	۲۱	۱۱۴/۳
۵۰	۴۵	۳۸	۳۱	۴۱	۳۶	۳۱	۲۵	۳۴	۳۰	۲۶	۲۲	۱۳۹/۷
۵۲	۴۶	۴۰	۳۲	۴۲	۳۷	۳۲	۲۵	۳۵	۳۱	۲۶	۲۲	۱۶۸/۳
۵۴	۴۸	۴۲	۳۳	۴۳	۳۸	۳۳	۲۶	۳۶	۳۲	۲۷	۲۲	۲۱۹/۱
۵۵	۴۹	۴۳	۳۴	۴۴	۳۹	۳۴	۲۶	۳۶	۳۳	۲۷	۲۳	۲۷۳/۰
۶۰	۵۳	۴۵	۳۵	۴۷	۴۲	۳۵	۲۷	۳۸	۳۴	۲۸	۲۳	بالتر از ۳۳۳/۹ و شامل سطوح صاف

۱ - قطرهای خارجی، بصورت موجود در BS 3600 می‌باشند. از همان ضخامت عایق برای لوله‌کشی مسی با قطرهای خارجی تقریباً مشابه استفاده می‌گردد.

جدول ۱۰: ضخامت اقتصادی عایق برای تأسیسات گرمایشی غیرخانگی تأمین شده توسط دیگ بخار گازسوز												
دمای طرف داغ (بر حسب °C) (با هوای ساکن محیط در +۲۰°C)												قطر خارجی لوله
+۱۵۰				+۱۰۰				+۷۵				
رسانایی حرارتی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)												طول روی آن قرار داده شده است.
۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۱۷	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۳	۰/۰۲۵	۰/۰۱۷	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۳	۰/۰۲۵	
ضخامت عایق (بر حسب mm)												
۳۷	۳۴	۳۹	۲۲	۳۱	۲۷	۲۴	۲۰	۲۶	۲۴	۲۲	۱۷	۱۷/۲
۳۹	۳۶	۳۲	۲۶	۳۳	۲۹	۲۵	۲۲	۲۷	۲۵	۲۳	۱۸	۲۱/۳
۴۲	۳۸	۳۳	۲۷	۳۳	۳۱	۲۷	۲۳	۲۹	۲۶	۲۴	۲۰	۲۶/۹
۴۴	۴۰	۳۵	۲۸	۳۶	۳۳	۲۸	۲۴	۳۱	۲۷	۲۵	۲۱	۳۳/۷
۴۷	۴۲	۳۷	۳۰	۳۸	۳۴	۳۰	۲۵	۳۲	۲۹	۲۵	۲۴	۴۲/۴
۴۸	۴۴	۳۸	۳۱	۳۹	۳۵	۳۱	۲۵	۳۳	۳۰	۲۶	۲۲	۴۸/۴
۵۰	۴۶	۳۹	۳۳	۴۱	۳۷	۳۲	۲۶	۳۵	۳۲	۲۷	۲۳	۶۰/۳
۵۲	۴۸	۴۲	۳۴	۴۳	۳۹	۳۴	۲۷	۳۶	۳۳	۲۸	۲۴	۷۶/۱
۵۳	۴۹	۴۳	۳۵	۴۵	۴۰	۳۵	۲۸	۳۷	۳۴	۲۹	۲۴	۸۸/۹
۵۶	۵۱	۴۵	۳۶	۴۷	۴۲	۳۶	۲۹	۳۹	۳۵	۳۱	۲۵	۱۱۴/۳
۵۹	۵۳	۴۷	۳۷	۴۸	۴۳	۳۷	۳۰	۴۱	۳۶	۳۲	۲۵	۱۳۹/۷
۶۱	۵۶	۴۸	۳۸	۵۰	۴۵	۳۸	۳۱	۴۲	۳۷	۳۳	۲۵	۱۶۸/۳
۶۵	۵۸	۵۱	۴۰	۵۲	۴۶	۴۰	۳۳	۴۴	۳۸	۳۳	۲۶	۲۲۹/۱
۶۸	۵۹	۵۲	۴۱	۵۳	۴۷	۴۱	۳۳	۴۵	۴۰	۳۴	۲۷	۲۷۳/۰
۷۲	۶۳	۵۴	۴۲	۵۸	۵۱	۴۳	۳۴	۴۷	۴۲	۳۶	۲۷	بالای ۲۳۳/۹ و شامل سطوح صاف

۱ - قطرهای خارجی، بصورت موجود در BS 3600 می‌باشند. از همان ضخامت عایق برای لوله‌کشی مسی با قطرهای خارجی تقریباً مشابه استفاده می‌گردد.

جدول ۱۱: ضخامت اقتصادی عایق برای تأسیسات گرمایشی غیرخانگی تأمین‌شده توسط دیگ بخار نفت‌سوز												
دمای طرف داغ (برحسب °C) (با هوای ساکن محیط در ۲۰°C +)												قطر خارجی لوله لولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm)
+۷۵				+۱۰۰				+۱۵۰				
رسانایی حرارتی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)												
۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	برحسب (mm)
ضخامت عایق (بر حسب mm)												
۴۰	۳۶	۳۲	۲۶	۳۳	۲۹	۲۶	۲۲	۲۸	۲۵	۲۳	۱۸	۱۷/۲
۴۳	۳۸	۳۴	۲۷	۳۵	۳۲	۲۷	۲۳	۲۹	۲۷	۲۴	۱۹	۲۱/۳
۴۵	۴۱	۳۵	۲۹	۳۶	۳۳	۲۹	۲۴	۳۲	۲۸	۲۵	۲۱	۲۶/۹
۴۷	۴۳	۳۷	۳۱	۳۸	۳۵	۳۱	۲۶	۳۳	۲۹	۲۶	۲۲	۳۳/۷
۵۰	۴۵	۳۹	۳۲	۴۱	۳۷	۳۲	۲۶	۳۵	۳۲	۲۷	۲۳	۴۲/۴
۵۱	۴۶	۴۱	۳۳	۴۲	۳۸	۳۳	۲۷	۳۶	۳۳	۲۸	۲۴	۴۸/۳
۵۲	۴۹	۴۳	۳۵	۴۴	۳۹	۳۵	۲۸	۳۷	۳۴	۲۹	۲۵	۶۰/۳
۵۵	۵۰	۴۵	۳۶	۴۶	۴۲	۳۶	۲۹	۳۹	۳۵	۳۱	۲۵	۷۶/۱
۵۷	۵۱	۴۶	۳۷	۴۸	۴۳	۳۷	۳۰	۴۱	۳۶	۳۲	۲۵	۸۸/۹
۶۰	۵۴	۴۸	۳۹	۴۹	۴۴	۳۸	۳۱	۴۳	۳۸	۳۳	۲۶	۱۱۴/۳
۶۳	۵۷	۵۰	۴۱	۵۱	۴۷	۴۱	۳۳	۴۴	۳۹	۳۴	۲۷	۱۳۹/۷
۶۶	۵۹	۵۲	۴۲	۵۴	۴۸	۴۲	۳۳	۴۵	۴۱	۳۵	۲۷	۱۶۸/۳
۶۹	۶۲	۵۴	۴۳	۵۶	۵۱	۴۳	۳۴	۴۷	۴۲	۳۶	۲۸	۲۱۹/۱
۷۱	۶۴	۵۵	۴۵	۵۷	۵۲	۴۴	۳۵	۴۸	۴۳	۳۷	۲۹	۲۷۳/۰
۷۷	۶۹	۶۰	۴۷	۶۲	۵۵	۴۷	۳۷	۵۲	۴۵	۳۸	۳۱	بالتر از ۳۳۳/۹ ر شامل سطوح صاف

۲ - قطرهای خارجی، بصورت موجود در BS 3600 می‌باشند. از همان ضخامت عایق برای لوله‌کشی مسی با قطرهای خارجی تقریباً مشابه استفاده می‌گردد.

جدول ۱۲: ضخامت اقتصادی عایق برای سرویسهای آب داغ غیرخانگی

دمای آب °C +۶۰												قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. بر حسب (mm)
بنویخت جامد				گاز				نفت				
رسانایی حرارتی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)												
۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۲۵	
ضخامت عایق (بر حسب mm)												
۳۲	۳۱	۲۷	۲۲	۳۲	۲۸	۲۴	۲۰	۲۷	۲۴	۲۱	۱۷	۱۷/۲
۳۶	۳۲	۲۸	۲۳	۳۲	۳۰	۲۶	۲۲	۲۸	۲۵	۲۲	۱۸	۲۱/۳
۳۸	۳۴	۲۹	۲۴	۳۵	۳۲	۲۸	۲۳	۲۹	۲۷	۲۳	۲۰	۲۶/۹
۴۰	۳۶	۳۱	۲۶	۳۷	۳۳	۲۹	۲۴	۳۱	۲۸	۲۴	۲۰	۳۳/۷
۴۲	۳۸	۳۳	۲۸	۳۹	۳۴	۳۱	۲۵	۳۳	۳۰	۲۶	۲۱	۳۲/۴
۴۳	۳۹	۳۴	۲۹	۴۰	۳۶	۳۲	۲۶	۳۴	۳۱	۲۷	۲۲	۳۸/۳
۴۵	۴۱	۳۶	۳۰	۴۲	۳۸	۳۳	۲۷	۳۶	۳۲	۲۸	۲۳	۶۰/۳
۴۷	۴۲	۳۷	۳۱	۴۴	۴۰	۳۵	۲۸	۳۷	۳۴	۲۹	۲۳	۷۶/۱
۴۸	۴۳	۳۸	۳۲	۴۵	۴۱	۳۶	۲۹	۳۸	۳۵	۳۰	۲۴	۸۸/۹
۵۱	۴۶	۴۰	۳۳	۴۷	۴۳	۳۷	۳۰	۴۰	۳۶	۳۱	۲۵	۱۱۴/۳
۵۴	۴۷	۴۱	۳۴	۵۰	۴۴	۳۸	۳۱	۴۱	۳۷	۳۲	۲۵	۱۳۹/۷
۵۶	۵۱	۴۲	۳۴	۵۲	۴۵	۳۹	۳۲	۴۲	۳۸	۳۳	۲۶	۱۶۸/۳
۵۹	۵۳	۴۳	۳۵	۵۵	۴۷	۴۱	۳۳	۴۴	۳۹	۳۴	۲۶	۲۱۹/۱
۶۱	۵۵	۴۵	۳۶	۵۷	۵۱	۴۲	۳۴	۴۵	۴۰	۳۵	۲۷	۲۷۳/۰
۶۵	۵۹	۵۱	۴۰	۶۱	۵۴	۴۴	۳۵	۵۰	۴۲	۳۶	۲۹	بالای ۳۳۳/۹ و شامل سطوح صاف

۱ - قطرهای خارجی، بصورت موجود در BS 3600 می باشند. از همان ضخامت عایق برای لوله کشی مسی با قطرهای خارجی تقریباً مشابه استفاده می گردد.

جدول ۱۳: ضخامت اقتصادی عایق بر روی کانال انتقال دهنده هوای گرم										
اختلاف دمای بین هوای درون کانال و هوای ساکن محیط (بر حسب K)										
+۱۰			+۲۵				+۵۰			
رسانایی حرارتی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)										
۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵۵
ضخامت اقتصادی عایق بر حسب (mm)										
۲۵	۳۸	۵۰	۵۰	۳۰	۵۰	۵۰	۷۵	۶۳	۷۵	۷۵

جدول ۱۴: حداقل ضخامت عایق برای کنترل میعان بر روی کانال انتقال دهنده هوای سرد												
رسانایی حرارتی در دمای متوسط ۱۰°C (بر حسب W/m.k)												حداقل دمای هوای داخل کانال (بر حسب °C)
۰/۰۲۵			۰/۰۳۵			۰/۰۴۵			۰/۰۵۵			
ضریب سطح												
پائین	متوسط	بالا	پائین	متوسط	بالا	پائین	متوسط	بالا	پائین	متوسط	بالا	
ضخامت عایق (بر حسب mm)												
۱۵	۱۵	۹	۶	۲۱	۱۲	۹	۲۸	۱۵	۱۱	۳۳	۱۹	۱۳
۱۰	۲۷	۱۳	۱۱	۳۸	۲۱	۱۵	۴۸	۲۷	۱۹	۵۸	۳۲	۲۳
۵	۳۸	۲۲	۱۵	۵۳	۳۰	۲۱	۶۸	۳۸	۲۷	۸۲	۴۶	۳۲
۰	۵۰	۳۰	۱۹	۶۸	۳۹	۲۷	۸۷	۵۰	۳۸	۱۰۵	۶۰	۴۲

نکته ۱: ضخامت‌های داده شده برای کانالهای عمودی می‌باشند، اما برای کانالهای افقی هم کافی هستند.

نکته ۲: ضرایب سطح برای بهره‌گرایی (بر حسب W/m^2) بصورت زیر در نظر گرفته می‌شوند:

پایین ۲/۷۵

متوسط ۵/۰۲

بالا ۷/۲۹

۵-۵ - کاربردهای لوله‌کشی و تجهیزات فرآیند

جداول ۱۵ اطلاعات مربوط به ضخامت‌های اقتصادی عایق برای لوله‌کشی و تجهیزات فرآیند را ارائه می‌کند.

هزینه انرژی مصرفی برای گاز با نرخ ۰/۵۷ پنس بر مگاژول می‌باشد. اطلاعات برای دماهای مختلف سطوح داغ از ۱۰۰°C تا ۷۰۰°C ارائه شده است.

۶ - صرفه‌جویی حاصل در انرژی و هزینه در اثر عایق‌کاری - محدودیت‌های یک تجزیه

و تحلیل ساده

با توجه به قیمت‌های کنونی سوخت و هزینه عایق‌کاری، هر ضخامت پیشنهادی محاسبه شده بر مبنای اقتصادی، به میزان کافی زمینه‌های حدود دمای سطح را در بر می‌گیرد.

به عنوان مثال، بازای دمای سطح داغ 100°C و 25 mm سیلیکات کلسیم بر روی لوله‌ای با قطر داخلی 150 mm ، دمای سطح عایق حدود 30°C خواهد بود. در انتهای دیگر درجه‌بندی دما، برای همان لوله بازای دمای سطح داغ 700°C و ضخامت 100 mm از سیلیکات کلسیم، دمای سطح عایق حدود 60°C خواهد بود. در هر دوی این دماها، دمای محیط 20°C و سطحی با قابلیت انتشار بالا فرض شده است.

شرایط سیال تحت حرارت می‌تواند در نقطه تحویل، بسیار تغییر نماید.

مسیرهای بسیار طویل در لوله‌کشی‌های محوطه باز باعث می‌شود که در نقطه تحویل دمای سیال پائین و بخار در شرایط بسیار مرطوب باشد. در این موارد، امکان دارد که ضخامت اقتصادی به حد کافی نباشد تا نیازهای فرآیند را برآورده کند و همانگونه که قبلاً پیشنهاد شد، بررسیهای مشخصی باید صورت گیرد.

با در نظر داشتن این قیود، تکلیف انتخاب ضخامت اقتصادی و نوع عایق، بسته به کاربرد خاص تغییر می‌کند. در مورد لوله‌هایی که در دمای ثابت قرار دارند، برای اتلاف گرمای مربوطه یک حالت دائمی وجود خواهد داشت و نوع محاسبه مشروح در کتابچه « ضخامت اقتصادی عایق‌ها برای لوله‌های آب داغ » می‌تواند به منظور تعیین استاندارد مناسب عایق کاری بکار رود.

با اینحال کاربردهای وجود دارند که در آنها هیچ حالت دائمی موجود نیست و از اینرو، به سایر ملاحظات باید اهمیت داده شود. نمونه‌هایی از این کاربرد، بخشهایی از تأسیسات فرآیند هستند که به صورت متناوب بهره‌برداری می‌شوند، همچون کوره‌های تولید انبوه^۱. در این گونه موارد، تعیین ضخامت بهینه عایق و در حقیقت نوع عایق، به تجزیه و تحلیل پیچیده‌تری دارد. برخی نکات که باید مد نظر قرار گیرند، در بخش ۹ شرح داده شده‌اند.

¹ Batch Production

جدول ۱۵: ضخامت اقتصادی عایق برای لوله کشی و تجهیزات فرآیند

دمای طرف داغ در دمای متوسط (بر حسب °C) (با هوای ساکن محیط در +۲۰°C)															قطر خارجی لوله فولادی (بر حسب mm)
+۳۰۰					+۲۰۰					+۱۰۰					
رسانایی گرمایی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)															
۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	
ضخامت عایق (بر حسب mm)															
۷۰	۶۶	۶۱	۵۷	۵۲	۵۹	۵۶	۵۲	۴۹	۴۵	۴۱	۳۸	۳۵	۳۱	۲۸	۱۷/۲
۷۴	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۶۲	۵۸	۵۴	۵۰	۴۶	۴۳	۴۰	۳۷	۳۷	۲۹	۲۱/۳
۷۸	۷۴	۶۹	۶۴	۵۹	۶۷	۶۳	۵۹	۵۴	۵۰	۴۶	۴۳	۳۹	۳۵	۳۱	۲۶/۹
۸۲	۷۷	۷۲	۶۶	۶۱	۶۹	۶۵	۶۱	۵۶	۵۲	۴۸	۴۴	۴۰	۳۶	۳۳	۳۳/۷
۹۰	۸۴	۷۹	۷۳	۶۷	۷۷	۷۲	۶۷	۶۱	۵۶	۵۳	۴۹	۴۵	۴۰	۳۶	۴۲/۴
۹۵	۸۸	۸۲	۷۷	۷۰	۸۰	۷۵	۷۰	۶۴	۵۹	۵۵	۵۱	۴۷	۴۲	۳۸	۴۸/۳
۱۰۲	۹۶	۸۹	۸۲	۷۶	۸۶	۸۱	۷۵	۶۹	۶۳	۵۹	۵۵	۵۰	۴۵	۴۱	۶۰/۳
۱۰۷	۱۰۱	۹۴	۸۶	۷۸	۹۰	۸۵	۷۹	۷۳	۶۷	۶۲	۵۷	۵۲	۴۷	۴۲	۷۶/۱
۱۱۲	۱۰۵	۹۸	۹۰	۸۳	۹۴	۸۹	۸۲	۷۶	۷۰	۶۴	۵۹	۵۴	۴۹	۴۴	۸۸/۹
۱۱۶	۱۰۹	۱۰۱	۹۳	۸۵	۹۷	۹۱	۸۵	۷۹	۷۳	۶۶	۶۲	۵۶	۵۰	۴۵	۱۰۱/۶
۱۱۸	۱۱۱	۱۰۳	۹۵	۸۷	۹۹	۹۳	۸۷	۸۰	۷۶	۶۸	۶۳	۵۷	۵۲	۴۶	۱۱۴/۳
۱۲۵	۱۱۸	۱۱۰	۱۰۲	۹۴	۱۰۵	۹۹	۹۲	۸۴	۷۸	۷۱	۶۶	۶۰	۵۴	۴۹	۱۳۹/۷
۱۳۴	۱۲۶	۱۱۷	۱۰۷	۱۰۱	۱۱۱	۱۰۵	۹۸	۹۰	۸۳	۷۶	۷۰	۶۴	۵۸	۵۲	۱۶۸/۳
۱۴۲	۱۳۳	۱۲۴	۱۱۴	۱۰۵	۱۱۹	۱۱۲	۱۰۴	۹۵	۸۷	۸۰	۷۴	۶۷	۶۰	۵۴	۲۱۹/۱
۱۴۶	۱۳۷	۱۲۷	۱۱۷	۱۰۸	۱۲۲	۱۱۵	۱۰۶	۹۸	۸۹	۸۲	۷۶	۶۹	۶۲	۵۵	۲۴۴/۵
۱۵۱	۱۴۲	۱۳۲	۱۲۰	۱۱۳	۱۲۶	۱۱۸	۱۱۰	۱۰۰	۹۴	۸۴	۷۸	۷۱	۶۴	۵۶	۲۷۳
۱۵۴	۱۴۵	۱۳۵	۱۲۳	۱۱۵	۱۳۲	۱۲۳	۱۱۴	۱۰۴	۹۴	۸۶	۸۰	۷۳	۶۶	۵۸	۳۲۳/۹
۱۵۶	۱۴۷	۱۳۷	۱۲۵	۱۱۶	۱۳۴	۱۲۵	۱۱۶	۱۰۷	۹۷	۸۸	۸۱	۷۴	۶۷	۵۹	۳۵۵/۶
۱۵۹	۱۵۰	۱۴۰	۱۲۸	۱۱۸	۱۳۶	۱۲۷	۱۱۸	۱۰۹	۱۰۰	۹۰	۸۳	۷۶	۶۹	۶۲	۴۰۶/۴
۱۶۳	۱۵۴	۱۴۴	۱۳۲	۱۲۱	۱۳۸	۱۲۹	۱۲۰	۱۱۱	۱۰۲	۹۱	۸۴	۷۷	۷۰	۶۳	۴۵۷
۱۶۵	۱۵۶	۱۴۶	۱۳۴	۱۲۴	۱۴۱	۱۳۲	۱۲۳	۱۱۴	۱۰۵	۹۳	۸۶	۷۹	۷۲	۶۵	۵۰۸
۱۷۰	۱۶۱	۱۵۱	۱۳۷	۱۲۷	۱۵۱	۱۴۲	۱۳۳	۱۲۴	۱۱۳	۱۰۵	۹۸	۸۷	۷۸	۷۲	بیش از ۵۰۸ شامل سطوح صاف

ادامه جدول ۱۵

دمای طرف داغ در دمای متوسط (بر حسب °C) (با هوای ساکن محیط در ۲۰°C +)																				قطر خارجی لوله فولادی (بر حسب mm)		
+۷۰۰					+۶۰۰					+۵۰۰					+۴۰۰							
رسانایی حرارتی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)																						
۰.۷۱	۰.۷۰	۰.۶۹	۰.۶۸	۰.۶۷	۰.۶۶	۰.۶۵	۰.۶۴	۰.۶۳	۰.۶۲	۰.۶۱	۰.۶۰	۰.۵۹	۰.۵۸	۰.۵۷	۰.۵۶	۰.۵۵	۰.۵۴	۰.۵۳	۰.۵۲	۰.۵۱		
ضخامت عایق (بر حسب mm)																						
۱۱۹	۱۱۷	۱۰۹	۱۰۲	۹۹	۱۰۷	۱۰۲	۹۹	۹۳	۸۹	۸۵	۹۱	۸۶	۸۱	۷۶	۸۲	۷۹	۷۳	۶۹	۶۴	۱۷/۲		
۱۲۵	۱۲۰	۱۱۵	۱۱۰	۱۰۵	۱۱۳	۱۰۸	۱۰۳	۹۹	۹۳	۹۱	۹۵	۹۱	۸۶	۸۱	۸۸	۸۳	۷۸	۷۳	۶۸	۲۱/۳		
۱۳۲	۱۲۸	۱۲۳	۱۱۸	۱۱۳	۱۲۰	۱۱۵	۱۱۰	۱۰۵	۱۰۰	۱۰۷	۱۰۲	۹۸	۹۲	۸۷	۹۲	۸۹	۸۳	۷۸	۷۳	۲۶/۹		
۱۳۷	۱۳۲	۱۲۷	۱۲۱	۱۱۵	۱۲۲	۱۱۹	۱۱۲	۱۰۸	۱۰۳	۱۱۱	۱۰۶	۱۰۰	۹۵	۸۹	۹۷	۹۲	۸۷	۸۱	۷۶	۳۲/۷		
۱۵۲	۱۴۶	۱۴۰	۱۳۲	۱۲۸	۱۳۷	۱۳۲	۱۲۶	۱۲۰	۱۱۳	۱۲۱	۱۱۷	۱۱۱	۱۰۵	۹۹	۱۰۷	۱۰۲	۹۶	۸۹	۸۳	۳۲/۲		
۱۵۸	۱۵۲	۱۴۶	۱۴۰	۱۳۲	۱۳۳	۱۲۸	۱۲۳	۱۱۵	۱۱۹	۱۲۸	۱۲۲	۱۱۶	۱۰۹	۱۰۳	۱۱۳	۱۰۶	۱۰۰	۹۲	۸۷	۳۸/۳		
۱۷۲	۱۶۵	۱۵۸	۱۵۱	۱۴۲	۱۵۱	۱۴۹	۱۴۲	۱۳۵	۱۲۸	۱۳۸	۱۳۲	۱۲۵	۱۱۸	۱۱۱	۱۲۱	۱۱۵	۱۰۸	۱۰۱	۹۳	۶۰/۳		
۱۸۰	۱۷۳	۱۶۶	۱۵۹	۱۵۲	۱۶۳	۱۵۶	۱۴۹	۱۴۲	۱۳۵	۱۴۶	۱۳۹	۱۳۲	۱۲۲	۱۱۷	۱۲۷	۱۲۱	۱۱۳	۱۰۶	۹۹	۷۶/۱		
۱۸۹	۱۸۱	۱۷۲	۱۶۶	۱۵۹	۱۷۰	۱۶۲	۱۵۶	۱۴۸	۱۴۱	۱۵۲	۱۴۵	۱۳۸	۱۳۰	۱۲۲	۱۳۲	۱۲۶	۱۱۸	۱۱۰	۱۰۲	۸۸/۹		
۱۹۵	۱۸۷	۱۸۰	۱۷۲	۱۶۲	۱۷۷	۱۶۹	۱۶۱	۱۵۳	۱۴۵	۱۵۷	۱۵۰	۱۴۲	۱۳۲	۱۲۶	۱۳۸	۱۳۰	۱۲۲	۱۱۳	۱۰۶	۱۰۱/۶		
۱۹۸	۱۹۱	۱۸۳	۱۷۵	۱۶۷	۱۸۱	۱۷۳	۱۶۵	۱۵۷	۱۴۹	۱۶۰	۱۵۲	۱۴۵	۱۳۷	۱۲۹	۱۴۰	۱۳۲	۱۲۵	۱۱۶	۱۰۹	۱۱۲/۳		
۲۱۱	۲۰۲	۱۹۵	۱۸۷	۱۷۹	۱۹۰	۱۸۲	۱۷۵	۱۶۷	۱۵۹	۱۷۱	۱۶۲	۱۵۵	۱۴۶	۱۳۸	۱۴۹	۱۴۱	۱۳۲	۱۲۲	۱۱۶	۱۳۹/۷		
۲۲۷	۲۱۸	۲۰۹	۲۰۰	۱۹۱	۲۰۵	۱۹۶	۱۸۸	۱۷۸	۱۷۰	۱۸۲	۱۷۲	۱۶۵	۱۵۶	۱۴۷	۱۵۹	۱۵۱	۱۴۲	۱۳۲	۱۲۲	۱۶۸/۳		
۲۳۲	۲۲۳	۲۱۳	۲۰۳	۱۹۳	۲۱۰	۲۰۱	۱۹۰	۱۸۰	۱۷۰	۱۸۵	۱۷۶	۱۶۶	۱۵۶	۱۴۷	۱۶۱	۱۵۱	۱۴۱	۱۳۰	۱۲۰	۲۱۹/۱		
۲۵۰	۲۴۰	۲۳۰	۲۲۰	۲۱۰	۲۲۶	۲۱۶	۲۰۶	۱۹۶	۱۸۶	۲۰۱	۱۹۲	۱۸۲	۱۷۱	۱۶۱	۱۷۵	۱۶۵	۱۵۶	۱۴۵	۱۳۵	۲۳۲/۵		
۲۵۸	۲۴۸	۲۳۸	۲۲۷	۲۱۷	۲۳۵	۲۲۳	۲۱۳	۲۰۲	۱۹۱	۲۰۷	۱۹۸	۱۸۸	۱۷۶	۱۶۶	۱۸۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۳۹	۱۳۹	۲۷۲		
۲۶۲	۲۵۲	۲۴۲	۲۳۲	۲۲۲	۲۴۰	۲۲۹	۲۱۸	۲۰۷	۱۹۶	۲۱۲	۲۰۲	۱۹۲	۱۸۱	۱۷۱	۱۸۳	۱۷۲	۱۶۲	۱۵۳	۱۴۲	۲۲۲/۹		
۲۷۱	۲۶۱	۲۵۱	۲۴۰	۲۳۰	۲۴۵	۲۳۵	۲۲۳	۲۱۲	۲۰۱	۲۱۶	۲۰۶	۱۹۷	۱۸۵	۱۷۷	۱۸۸	۱۷۸	۱۶۸	۱۵۷	۱۴۶	۲۵۵/۶		
۲۷۹	۲۶۹	۲۵۷	۲۴۵	۲۳۲	۲۵۲	۲۴۱	۲۳۰	۲۱۸	۲۰۷	۲۲۲	۲۱۲	۲۰۲	۱۸۹	۱۸۱	۱۹۲	۱۸۱	۱۷۱	۱۶۰	۱۴۹	۲۰۶/۲		
۲۸۹	۲۷۸	۲۶۶	۲۵۳	۲۴۲	۲۶۱	۲۵۰	۲۳۸	۲۲۵	۲۱۳	۲۳۱	۲۲۰	۲۰۹	۱۹۶	۱۸۷	۱۹۸	۱۸۷	۱۷۶	۱۶۵	۱۵۳	۲۵۷		
۲۹۵	۲۸۵	۲۷۳	۲۶۰	۲۴۸	۲۶۷	۲۵۶	۲۴۳	۲۳۱	۲۱۸	۲۳۷	۲۲۶	۲۱۳	۲۰۰	۱۹۱	۲۰۳	۱۹۱	۱۷۹	۱۶۸	۱۵۵	۵۰۸		
۳۰۲	۲۹۲	۲۷۹	۲۶۶	۲۵۷	۲۷۰	۲۶۱	۲۵۰	۲۳۸	۲۲۶	۲۴۶	۲۳۴	۲۲۰	۲۰۷	۱۹۷	۲۰۵	۱۹۵	۱۸۲	۱۷۱	۱۵۸	بیش از ۵۰۸ شامل سطوح سال		

نکته: در ضخامت‌های مربوط به نوع تیره، دمای سطح خروجی چنانچه یک سطح با قابلیت انتشار کم (مانند فلز شفاف) استفاده شود از ۵۰°C تجاوز پیدا می‌کند.

۷ - پوشش‌ها

در عایق کاری از پوشش به منظور تأمین حفاظت و تقویت و تا اندازه‌ای کمتر، جهت زیبایی استفاده می‌شود. نوع پوششی مورد استفاده عمدتاً به این وابسته است که آیا عایق قرار است درون ساختمان بکار برده شود، یا در هوای باز زیرا در این صورت عایق در معرض هوا و آثار طبیعی خواهد بود.

¹ Bold

۱ - ۷ - پوشش‌ها در فضای بسته

پوشش‌ها در فضای بسته ممکن است به دو طبقه زیر تقسیم‌بندی شوند:

- ترکیب سخت‌سفت‌شونده^۱، سیمان‌خردسفت‌شونده^۲ و گچ سولفات کلسیم
- ترکیب سخت - سفت‌شونده ساخته شده از خاک‌رس، بر روی عایق‌های از پیش شکل داده شده یا عایق‌های پلاستیکی که در خشک‌کن‌های گرمایشی استفاده می‌شود. سیمان خود سفت‌شونده، یک ترکیب هیدرولیکی است و بر روی عایق از پیش شکل داده شده، عایق پلاستیک یا عایق اسپری بکار می‌رود و می‌تواند مقداری از آب را از مخلوط جذب نماید. توصیه می‌شود که سولفات کلسیم برای استفاده بر روی مواد غیر جاذب مانند پلاستیک‌های انبساط‌یافته، چوب پنبه یا پشم معدنی که توسط صمغ (رزین) بهم چسبیده شده است، استفاده‌گردد. همچنین دمای گچ نباید از 50°C تجاوز کند.
- منسوجات^۳

- نوارها و پارچه‌های سبک‌وزن

این مواد، مخصوص مقاطع لوله‌ای می‌باشند که در پارچه‌کتانی پیچیده می‌شوند و بوسیله چسب متصل و توسط نوارهای فلزی پوشیده می‌شوند.

- پوشش پارچه‌ای سنگین

این مواد شامل لایه‌ای از پارچه‌کتانی سنگین می‌باشند و در جایی که پوشش غیرقابل احتراق یا ضد پوسیدگی نیاز است ممکن است لایه‌ای از پارچه شیشه‌ای نیز بکار رود. معمولاً از دوختن (کوک زدن) جهت محکم‌کاری استفاده می‌شود.

- صفحات پلاستیک و مواد الاستیک^۴

صفحات پلاستیک ممکن است صلب یا انعطاف‌پذیر باشند.

- پلاستیک‌های صلب

معمولاً این پلاستیک‌ها بر چارچوبی نصب می‌شوند. صفحات نازک تقویت‌شده ممکن است به اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشند به گونه‌ای که بتوان آنها را شبیه صفحات فلزی و با عایق انعطاف‌پذیر استفاده کرد.

- پلاستیک‌های قابل انعطاف و صفحات مواد الاستیک

این مواد به کمک چسب‌های مناسب بر روی عایق نصب می‌شوند. حائز اهمیت است که محصولات پیشنهادی تولیدکننده بکار روند تا چسبندگی رضایت‌بخش حاصل شود. می‌توان از نوار پلاستیکی بر روی لوله‌های کم قطر استفاده نمود. نوار مزبور معمولاً به شکل مارپیچ، دور لوله بسته می‌شود.

¹ Hard - Setting Composition

² Self - Setting cement

³ Textile Fabrics

⁴ Elastomer

- خمیرها^۱ و روکش‌ها^۲

این مواد می‌توانند امولسیون‌های آبی، حلال یا بدون حلال باشند و بسته به پیشنهاداتی که از طرف کارفرما در مورد ایمنی مطرح می‌شود (مثال: بخارهای حلال) می‌توانند به صورت اسپری و یا دستی مورد استفاده قرار گیرد. دمای سطح یا محیط در زمان کاربرد حائز اهمیت است. برای رسیدن به بهترین نتیجه، از دماهای کمتر از ۵°C باید احتراز شود.

- ورقه‌ها و فویل‌های آلومینیومی

امکان دارد که ورقه ساده آلومینیوم یا فویل‌های تقویت شده، قبلاً توسط تأمین‌کننده/ سازنده برای عایقکاری مواد بکار رفته باشد. عموماً پوشش اضافه ضروری نمی‌باشد.

- صفحات فلزی

صفحات فلزی، محافظ خوبی در برابر آسیب مکانیکی و نیز در برابر وارد شدن مایعاتی چون نفت و آب می‌باشند. این صفحات ممکن است برای محافظت محلی عایق، بخصوص در نواحی آسیب‌پذیر، بکار روند. فولاد نرم بشرطی می‌تواند استفاده شود که برای جلوگیری از خوردگی، گالوانیزه و یا به روش دیگری روکش‌دار شده باشد و امکان دارد استفاده از آلیاژهای فولاد، در موارد معینی توجیه‌پذیر باشند. آلومینیوم فقط در جایی پیشنهاد می‌شود که احتمال فرسودگی و ترک‌خوردگی سخت وجود نداشته باشد، چرا که فلزی نسبتاً نرم بوده و می‌تواند به آسانی آسیب ببیند. باید توجه شود که پوشش با مواد عایقی که در تماس با آن می‌باشد، سازگار باشد.

۲ - ۷ - پوشش‌ها در فضای باز

پوشش در فضای باز که گاهی پوشش‌های مقاوم در برابر هوا نامیده می‌شوند، باید بتوانند تحت هر شرایطی که در فضای باز احتمال مواجهه با آن می‌باشد، دوام آورند. می‌توان از پوشش‌های مخصوص فضای بسته استفاده کرد، اما در این صورت محافظت اضافی لازم می‌باشد.

- ترکیبات سخت - سفت شونده و سیمان خود سفت شونده

این پوشش‌ها می‌توانند بوسیله پوشش مقاوم در برابر هوا محافظت شوند.

سیمان خود سفت‌شونده در مقابل آب غیرقابل نفوذ نیست و یک روکش ضد آب مورد نیاز خواهد بود. در مورد بعضی ترکیبات سخت سفت شونده به دلیل طبیعت ویژه آنها، استفاده از یک روکش آستری پیشنهاد می‌شود.

- منسوجات

چون این پوشش‌ها در برابر آب غیرقابل نفوذ نیستند، موقعی که در فضای باز استفاده شوند به محافظت نیاز دارند (مثلاً رنگ زدن).

¹ Mastics

² Coatings

- صفحات پلاستیک و مواد الاستیک

این پوشش‌ها در برابر هوا، مقاوم‌اند، لیکن باید دقت شود که در محل اتصال‌ها روی هم قرار گرفته و بطور مناسب آب‌بندی شوند. همچنین دقت در نصب و محکم‌کاری لازم برای جلوگیری از آسیب ناشی از باد پیشنهاد می‌گردد.

- خمیرها و روکش‌ها

این پوشش‌ها، در برابر هوا مقاوم هستند اما باید توجه کرد که تحت شرایط صحیح، ذخیره و نصب شوند.

- صفحات فلز

این صفحات می‌توانند یا به خودی‌خود (مثلاً آلومینیوم) و یا وقتی بطرز مناسب بر روی آنها کار شود، (مثلاً صفحات گالوانیزه) در برابر آب مقاوم باشند. خوردگی الکترولیتی ممکن است اتفاق بیفتد و برای محافظت در برابر آن، تدابیر لازم باید اتخاذ شود. برای ممانعت از ورود آب، جاسازی و آب‌بندی مناسب اتصالات ضرورت دارد.

گالوانیزه کردن فولاد نرم یک محافظ مقاوم در برابر هوا ایجاد می‌کند، لیکن دائمی نیست و استمرار آن به روش گالوانیزه کردن بستگی دارد. ممکن است پس از مدت معینی رنگ‌آمیزی یا شکل دیگری از محافظت لازم شود. فولادها و آلیاژهای روکش شده با پلاستیک، در فضای باز از مقاومت لازم برخوردار می‌باشند.

۳-۷ - خلاصه

انتخاب پوشش به دو پارامتر اساسی وابسته است:

- نوع عایقی که باید پوشش داده شود.
 - باید پوشش، محافظت مکانیکی کافی را برای عایق فراهم آورده و با عایق سازگار باشد.
 - شرایطی که باید عایق در برابر آنها مقاومت داشته باشد.
- این مورد شامل جنبه‌های بسیاری مانند هوا و دماهای زیاد است.

۸ - تجارب مفید عملی

در طراحی و پیاده‌سازی عایق حرارتی ملاحظات عملی باید در نظر گرفته شوند. بهتر است که در مرحله طراحی، عایق کافی در تأسیسات بکارگرفته شود. غالباً تجهیز عایق بعد از ساخت تأسیسات، بخاطر محدودیت‌های فضا، کمبود نگهدارنده عایق و غیره، از کارایی کمتر برخوردار می‌باشد.

۱ - ۸ - چه وقت نیاز به عایق کاری است؟

بطور کلی، تمام سطوح داغ بالای 60°C و اکثر سطوح داغ بالای 50°C باید عایق کاری شوند. عایق کاری بسیاری از سطوح زیر 50°C نیز بویژه از نقطه نظر صرفه جویی در هزینه، توجیه پذیر است. این سطوح علاوه بر لوله کشی و سایر تأسیسات شامل شیرها و فلانچ ها نیز می شوند. لوله های منتقل کننده آب سرد و سایر تجهیزات تبرید، باید به منظور جلوگیری از میعان و بهره گرمایی عایق کاری شوند.

۲ - ۸ - کاربرد عایق کاری

نحوه بکارگیری عایق، به اندازه اهمیت خواص حرارتی اش می باشد. استفاده نادرست از عایق می تواند موجب کاهش تأثیر آن شود. در هنگام نصب عایق باید مراقبت شود که:

- عایق از ضربه، هوا یا فرسودگی آسیب نبیند. بایستی توانایی نوع عایق، با توجه به مقاومت آن در برابر شرایطی که در آن قرار می گیرد در نظر گرفته شود. امکان دارد پوشش وجود داشته باشد که در اینصورت به میزان حفاظت افزوده خواهد شد (بخش ۷ ملاحظه شود).
- بدلیل سهولت دسترسی به اجزا، سطوحی بدون عایق باقی گذاشته نشوند. برای این منظور می توان از عایق هایی که قابل برداشت باشند استفاده نمود.
- هیچ اتصال بازی نباید در عایق وجود داشته باشد. در صورت ضرورت باید همپوشانی دولایه عایق انجام گیرد.
- حتی الامکان اتلاف گرما از طریق هدایت به نگهدارنده ها از بین برود. استفاده از نگهدارنده های عایق کاری شده لوله، باید مورد توجه قرار گیرد.
- نظارت مناسب، مثلاً توسط پیمانکاران متخصص عایق کاری در زمان نصب فراهم آید. غالباً چون عایق در شرایط نامطلوب بکار می رود، نمی تواند آنطور که باید مؤثر باشد. اگر عایق، پیش از استفاده ذخیره شده باشد باید توجه شود تا از آسیب فیزیکی به آن یا صدمات ناشی از آب و هوا ممانعت بعمل آید.
- کار تا حد امکان در خارج از کارگاه و پیش از تحویل انجام گیرد، بگونه ای که بتوان زمان نصب کردن را حداقل و از خطرات احتمالی کاست.

۱ - ۲ - ۸ - جنبه های ایمنی

عوامل ایمنی بسیاری هستند که باید در هنگام بکار بردن عایق حرارتی مد نظر قرار گیرند. در کلیه مواردی که باید به ایمنی اپراتور/ حریق اهمیت داده شود، لازم است به قوانین تندرستی و ایمنی مناسب و به دستورالعمل های تولیدکنندگان عایق رجوع شود.

در مکانهایی که نمی‌توان جلوی تماس مستقیم با سطوح را گرفت، محافظ‌های کارآمدی همچون تورهای سیمی باید نصب شوند.

سیمان‌های مخصوص پوشش، موقعی که مرطوب شوند بشدت قلیایی شده و امکان دارد که سبب خارش پوست شوند، موقع دست زدن به این مواد باید از دستکش استفاده کرد. بعلاوه، زمان استفاده از کف‌های عایقی یا اسپری کردن عایق‌های آلی، ممکن است غبار شیمیایی پخش شود که در اینصورت برای کارکنان باید ماسک‌های مناسبی تهیه شود.

۳- ۸ - ملاحظات کلی

ضروری است که عایقکاری حرارتی برای تأسیسات و تجهیزات در مراحل اولیه طراحی مد نظر قرار گیرد، بگونه‌ای که یک پیمانکار عایق‌کاری بتواند سیستم مناسبی را ارائه دهد که با طرح مهندس طراح تأسیسات هماهنگی داشته باشد. در صورت تجهیز به عایقکاری در یک سیستم موجود، عایقکاری باید به طراحی تأسیسات موجود حتی‌الامکان نزدیک باشد و ممکن است که بهترین راه حل، عملی نباشد. مواردی که در طی طراحی باید در نظر گرفته شوند عبارتند از: در نظر گرفتن فاصله لازم در اطراف لوله‌ها و تجهیزات به منظور نصب عایق کافی و منظور کردن وزن اضافی سیستم عایقی تکمیل شده می‌باشد.

تکنیک مناسب یک سیستم عایقکاری در درجه اول اهمیت قرار دارد، اگرچه قابلیت دسترسی، سرویس و هزینه نیز می‌بایست مدنظر باشد.

۹ - عایق‌کاری تأسیسات و تجهیزات

۱ - ۹ - تأسیسات دیگ بخار

معمولاً عایقکاری تأسیسات دیگ بخار بطور کامل و کافی توسط سازنده دیگ بخار در کارخانه و یا در زمان نصب تأسیسات در محل انجام می‌گیرد. عموماً عایق دارای یکی از دو شکل زیر است:

- تخته‌های فیبری معدنی که بر سطح خارجی پوسته دیگ بخار سوار می‌شوند و همراه با یک پوشش مناسب بمنظور جلوگیری از اتلاف گرما در واسطه‌های بخار، آب یا سیال حرارتی بکار می‌روند. در مورد تأسیسات دیگ‌های بخار قدیمی‌تر، عایق معدنی ممکن است آسیب دیده باشد و در صورت لزوم باید به همراه یک پوشش جایگزین شود تا عایقکاری مؤثر و کاراً را حفظ نماید.
- عایق‌های دیگر که برای سطوح حاوی گاز داغ که در معرض هوای محیط قرار دارند، بعنوان مثال اتاق‌های احتراق و دودکش‌ها، بکار می‌روند.

شاید عایقکاری لوله معمولترین شکل عایقکاری مورد استفاده در صنعت باشد. قطعات عایقی پیش‌ساخته، نصب را تسهیل می‌بخشد. اطلاعات مربوط به ضخامت عایق، در این کتابچه برای نمونه قیمت‌های سوخت و هزینه‌های نصب بیان شده‌اند (قسمت ۵ ملاحظه شود)، اما این اطلاعات ممکن است بسته به موقعیت تغییر کنند و پیشنهاد می‌شود که موارد، بطور مجزا ارزیابی شوند.

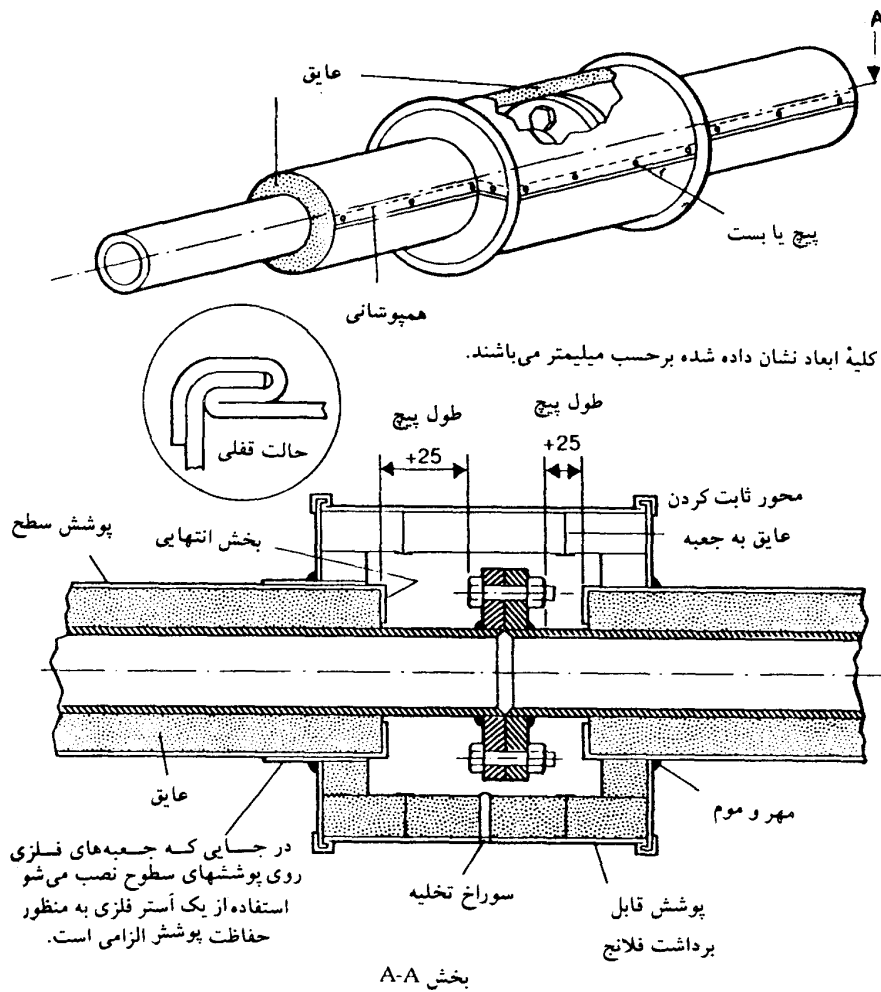
توجه به عایقکاری فلانج‌ها و شیرها حائز اهمیت می‌باشد. قطعات عایقی پیش‌ساخته که به آسانی قابل برداشت بوده و برای این عناصر ساخته شده‌اند نیز، وجود دارند. ایده‌آل آن است که ضخامت‌های عایق بر روی فلانج‌ها و شیرها به اندازه ضخامت عایق روی لولهٔ رابط باشد، با این حال این کار ممکن است به دلیل محدودیت فضا و سایر عوامل، عملی نباشد.

برای نشان دادن میزان اتلاف گرما از فلانج‌ها و شیرها همین بس که یک شیر عایق‌بندی نشده، اتلاف گرمایی معادل اتلاف گرمایی طول ۱ متر از لوله عایق‌نشده دارد و یک فلانج عایق‌بندی نشده، نصب این مقدار گرما را تلف می‌کند. یک روش نمونه برای عایق‌کاری یک فلانج در شکل ۱ نشان داده شده است.

همانگونه که در بخش پیش اشاره شد، لوله‌ها می‌توانند از طریق نگهدارنده‌هایشان نیز گرما تلف کنند و این نگهدارنده‌ها باید عایق‌کاری شوند. روشهای پیشنهادی در شکل‌های ۳،۲ و ۴ نشان داده شده‌اند.

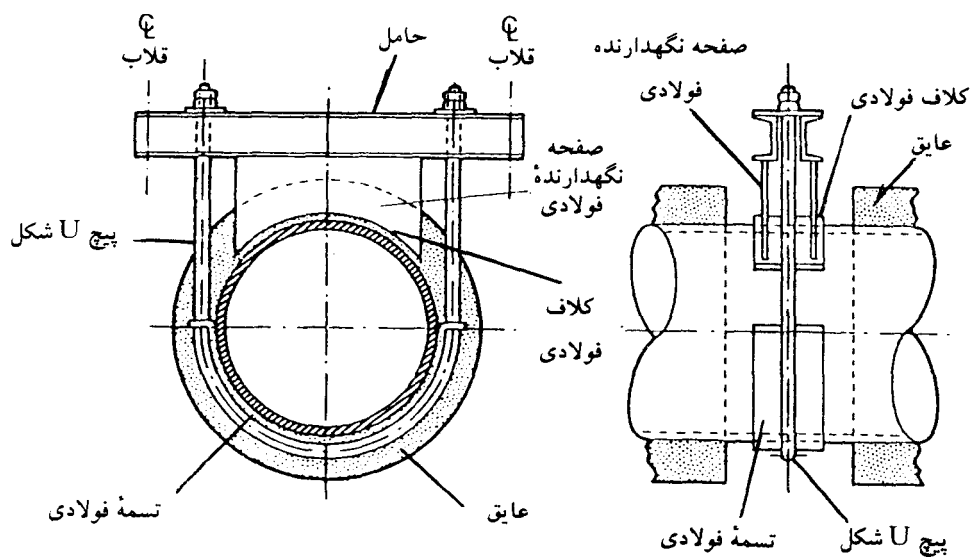
مسائل مرتبط با لوله‌های انتقال مایع در دماهای کم محیط و نرخ پائین دبی در بخش‌های ۲-۲ و ۳-۳-۵ مورد بحث قرار گرفتند. پیشنهاد می‌شود که در چنین شرایطی به سیستم مقدار کمی گرما داده شود. در مورد سوخت‌های سنگین مختص دیگ‌های بخار که در دماهای پایین دارای ویسکوزیته بسیار بالا می‌باشند آنچه‌انکه قابلیت پمپ شدن آنرا تحت تاثیر قرار می‌دهد نیز، نیاز مشابهی پدید می‌آید. هنگامی که دیگ بخار در حال احتراق است، گرم‌کننده خروجی یا خط بایستی به حدکافی بتواند سوخت را به دمای مناسب برای پمپ شدن برساند، با اینحال معمولاً گرمایش جانبی در مرحله اول ضرورت دارد. یک روش معمول برای عایق‌کاری لوله‌هایی که بوسیلهٔ بخار گرم می‌شوند در شکل ۵ نشان داده شده است.

باید بخاطر داشت که ممکن است عایق به نگهدارنده احتیاج داشته باشد لوله‌کشی عمودی به نگهدارنده‌های اضافی برای عایق‌کاری قسمت فوقانی زانوها، فلانج‌ها و شیرها نیاز خواهد داشت. در مورد فلانج‌ها و شیرها، باید نگهدارنده‌ها چنان نصب گردند تا امکان دستیابی آسان را برای تعمیر فراهم نمایند. این نگهدارنده‌ها باید به لوله جوش داده شوند و ممکن است میله، نبشی یا داربست‌هایی با طول کافی بطوری که تا ۱۵mm زیر سطح عایق برسد، باشند.

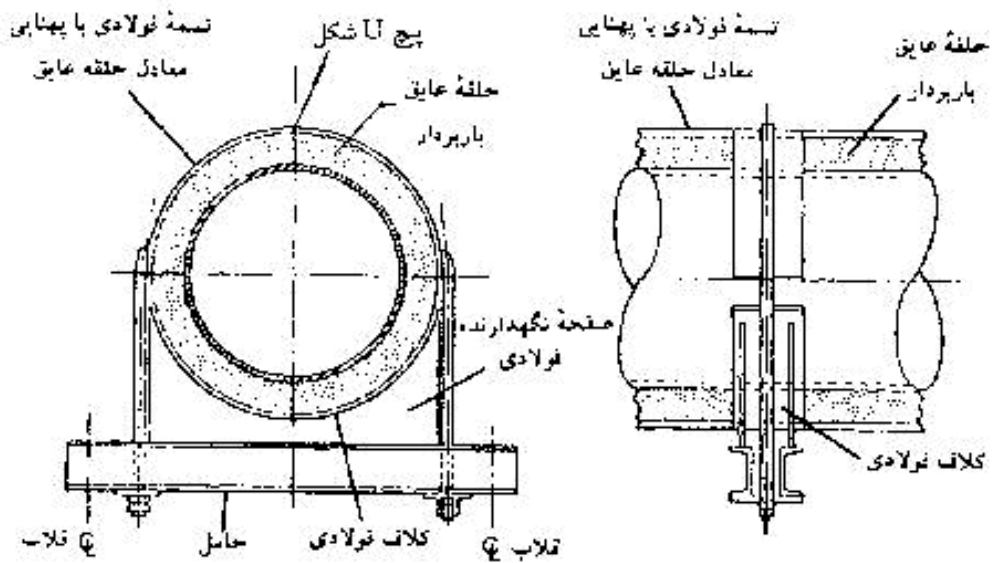


شکل ۱: روش عایق کاری فلانج های لوله (عایق کاری داغ)

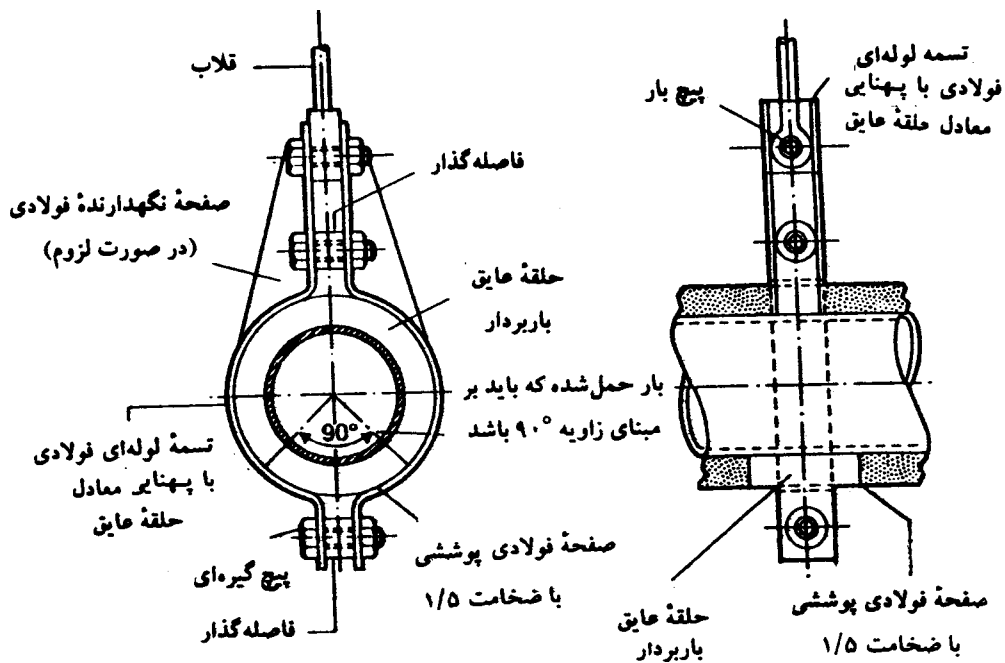
نکته ۱: عایقی که برای برداشتن و جابجایی آسان مجموعه قرار است به بخش های جعبه ای محکم شود.



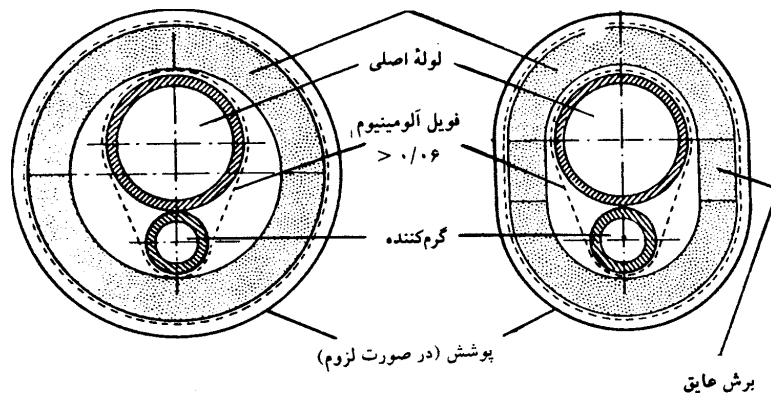
شکل ۲: نگهدارنده U شکل معکوس، اتصال مستقیم



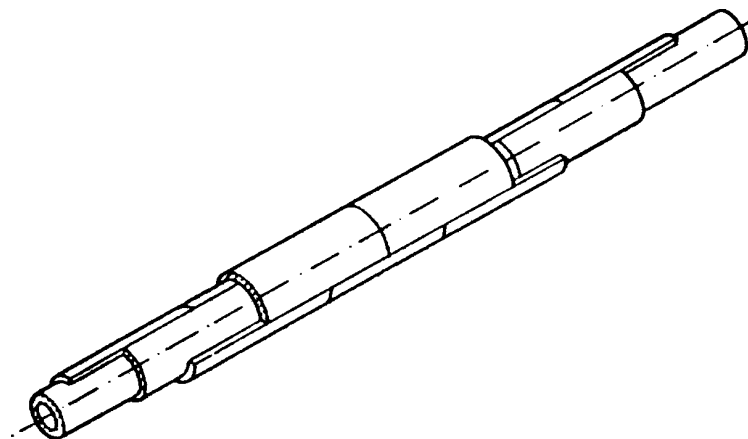
شکل ۳: نگهدارنده U شکل با استفاده از حلقه عايق کننده



شکل ۴: تسمه دو تکه، با استفاده از حلقه عايق کننده



شکل ۵: روش نمونه عايق کاری لوله هایی که به وسيله بخار گرمادهی می شوند



شکل ۶: روش نمونه برای عایق‌کاری چندلایه بر روی یک لوله مستقیم

نکته ۱: سیم‌ها یا نوارهای بسته شده بر روی هر لایه عایق که به فواصل ۴۵۰ mm (حداکثر) و نه کمتر از ۵۰ mm از انتهای هر بخش قرار داده شده‌اند.

موقعی که ضخامت عایق از ۶۵ mm تجاوز می‌کند، غالباً دو لایه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تمام موارد عایق‌کاری چند لایه، اتصالات باید بگونه‌ای بسته شوند که هیچ یک از نقاط اتصال بدون عایق‌کاری نباشد. نمونه‌ای از روش بستن در شکل ۶ نشان داده شده است. برای فواصلی که با دمای کار تغییر می‌کنند، ممکن است اتصالات انبساطی^۱ لازم باشند تا عایق‌کاری پیوسته‌ای را در تمام محدوده دما تأمین کنند.

هنگامی که دما یا سایر شرایط در نقطه تحویل سیال مهم هستند، در انتخاب ضخامت عایق باید شرایط هوایی زیانبار (مثلاً باد، باران و غیره)، دماهای پایین محیط و نرخ‌های پایین جریان سیال در نظر گرفته شود. مثالهایی درخصوص اثر سرعت باد بر روی عایق‌کاری لوله در کتابچه «ضخامت اقتصادی عایق‌ها برای لوله‌های آب داغ» ارائه شده‌اند.

پیشتر در بخش ۷ درخصوص پوشش‌ها بحث شد. نمی‌توان تأکید کافی نمود که پوشش‌های عایق بایستی برای محیطشان مناسب باشند. عایق‌های خوب ممکن است در اثر نفوذ آب یا مواد شیمیایی آسیب ببینند.

۳ - ۹ - مخازن و سطوح انحنادار بزرگ

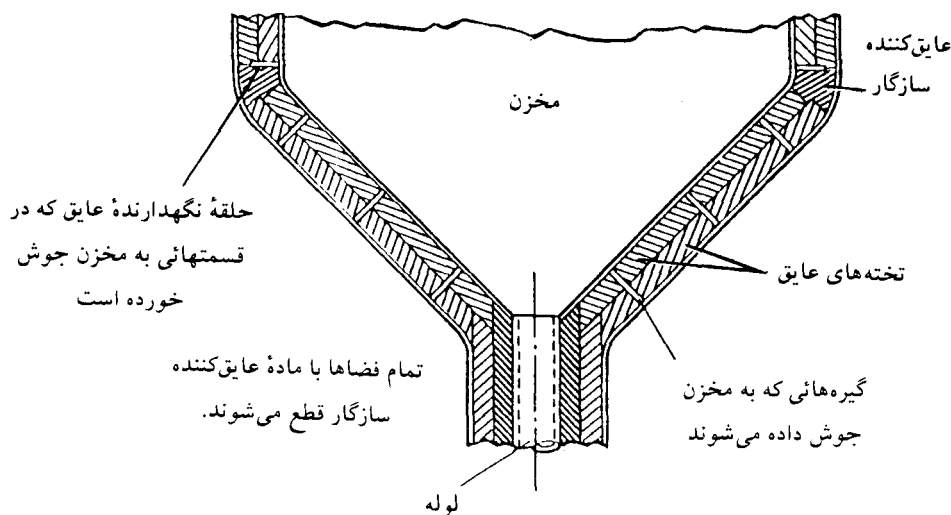
در هنگام عایق‌کاری مخازن، ممکن است نیاز به پیاده کردن لوله‌کشی مربوطه و برداشتن پوشش‌های بازرسی باشد. بخش عایق‌کاری دائمی باید به حد کافی دور از فلانج‌ها و اتصالات پایان پذیرد تا امکان باز کردن پیچها فراهم باشد. در این موارد از قطعات قابل برداشت برای کامل کردن لایه عایقی استفاده می‌شود. برای کاربردهای خارجی یا جایی که نفوذ سیال می‌تواند روی دهد، عایق دائمی باید دارای یک روکش مناسب باشد تا در مواقعی که قطعات قابل برداشت در جای خود نیستند، جلوی نفوذ سیال را به داخل عایق بگیرد. به

¹ Expansion joints

منظور نگهداری عایق کاری مخازن و ستون‌هایی که در معرض باد هستند باید ملاحظات ویژه‌ای در نظر گرفته شود.

ممکن است انتخاب سطح عایق کاری از دیدگاه دمای سطحی و براساس ملاحظات ایمنی (و نه از جنبه اقتصادی) باشد، زیرا محاسبات ضخامت در این حالت پیچیده‌تر از محاسبات مربوط به لوله‌هاست. تنوع و گوناگونی شکل مخازن دلالت بر این دارد که بیشترین عایق کاری باید بکار گرفته شود. نمونه‌ای از روش‌های بکارگیری عایق در مخازن در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده‌اند.

در جایی که یک مخزن محتوی مایع داغ، روباز باشد ممکن است در اثر تبخیر، اتلاف گرمای بیشتری روی دهد. اتلاف می‌تواند با افزودن پوششی از توپ‌های پلاستیکی شناور که نوع تجارتي آن وجود دارد بر روی سطح مایع، کمینه شود.



شکل ۷: روش نمونه برای عایق کاری مخازنی که دارای انتهای مخروطی هستند

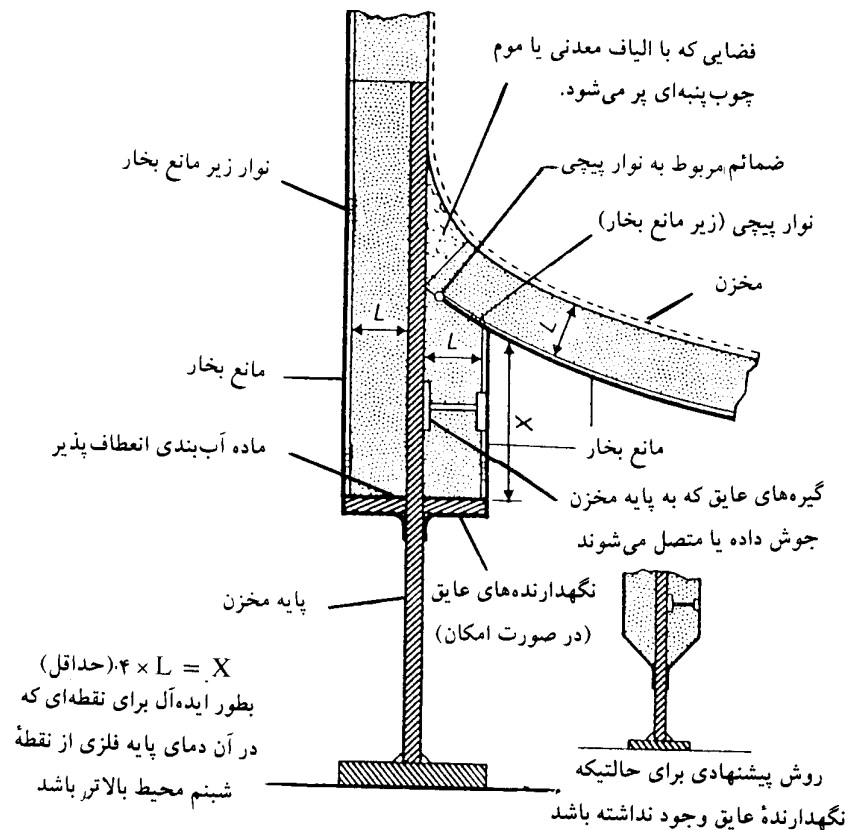
بعنوان مثال، یک لایه از توپ‌ها که ۹۱٪ سطح مایع را بپوشاند، انرژی لازم برای نگاهداشتن دمای مایع مخزن در میزان 90°C را تا ۷۰٪ تقلیل خواهد داد. استفاده از این توپ‌ها می‌تواند نیازهای تهویه را نیز کم کند که این امر به صرفه‌جویی بیشتر در انرژی می‌انجامد.

۴-۹- کانال‌ها و دودکش‌های گاز داغ

به دو دلیل عمده، ممکن است عایق کاری کانال‌ها و دودکش‌های گاز داغ انجام شود:

- برای ایمنی، به دلیل دماهای خارجی زیاد.
- برای ممانعت از میعان داخلی که معمولاً وقتی ایجاد می‌گردد که دمای سطوح داخلی به دمایی پایین‌تر از دمای نقطه شبنم‌گازهای در حال انتقال سقوط می‌کند. میعان ممکن است، به ویژه در کانال‌های خروجی دیگ بخار نفت‌سوز که گازهای دودکش اسیدی هستند، منجر به خوردگی گردد. حائز اهمیت است که

مراقبت شود که هیچ فاصله‌ای بدون عایق‌کاری نباشد که در این صورت می‌تواند به نقاط محلی سرد منتج شود. همچنین باید دو مورد عایق‌کاری نقاط نمونه‌برداری درجه حرارت و در اطراف میله‌های نمونه‌گیری توجه خاص صورت پذیرد و برای جلوگیری از خوردگی، بایستی هر نوع اتصال انبساطی بنحو کافی عایق‌کاری شود، معمولاً عایق مورد استفاده بر روی کانال‌ها و دودکش‌ها می‌تواند از نوع چگالی کم، همچون فیبرهای معدنی چگالی کم باشد. اما درجایی که انتظار فرسودگی یا بارگذاری شدید می‌رود، موادی مثل سیلیکات کلسیم یا فیبرهای معدنی چگالی بالا باید استفاده شوند.



شکل ۸: روش نمونه عایق‌کاری کناره مخزن (عایق‌بندی سرد)

۵-۹- کوره‌ها^۱ و تنورها^۲

عایق‌کاری تنورها و کوره‌ها پیچیده‌تر از عایق‌کاری اقسام معمول تأسیسات که دارای سطوح داغ هستند، می‌باشد. بسته به عمل تنور یا کوره، دو روش اساسی عایق‌کاری وجود دارند:

- برای کوره‌هایی که یکسره در حال کار هستند یا زمانی که دماها و فشارهای فضای داخلی بسیار زیاد هستند، سطح داخلی ممکن است یک جسم دیرگداز متراکم و عایق‌کاری در سطح خارجی آن باشد.

^۱ Furnace

^۲ Kilns

• در شرایط با سختی کمتر و در جایی که کوره به شکل متناوب کار می‌کند، می‌توان از عایق به عنوان آستر استفاده کرد.

در هر یک از روش‌های عایق‌کاری که استفاده شوند، تلفات گرمایی متأثر از عایق‌کاری عبارتند از:

• اتلاف از طریق دیواره‌های کوره ناشی از رسانایی، همرفتی^۱ و تابشی.

• اتلاف ناشی از جرم حرارتی کوره.

این تلفات می‌توانند توسط عایق‌کاری مناسب کمینه شوند.

بین دو نحوه عملکرد کوره‌ها اختلاف قابل ملاحظه‌ای موجود است. در کوره‌هایی که بطور مداوم مشغول کارند، اتلاف گرما از طریق دیواره‌ها در دمای کامل کار، بسیار بزرگتر از انرژی مورد نیاز برای گرم کردن جرم کوره می‌باشد. در کوره‌هایی که بطور متناوب کار می‌کنند، اتلاف گرمای ذخیره شده در جرم کوره می‌تواند بزرگتر باشد. از اینرو عایق‌کاری کوره‌هایی که بطور مداوم در حال کار می‌باشند باید قادر باشد که جلوی اتلاف گرما از طریق دیواره‌ها و سقف را بگیرد، در حالی که در کوره‌هایی که متناوباً بکار گرفته می‌شوند لازم است که بدون صرف نظر کردن از تلفات در سطح خارجی، اتلاف ذخیره‌سازی گرما تقلیل داده شود.

به عنوان مثال، یک کوره با دیواره آجری که بطور مداوم در حال کار بوده و دارای دیواره‌های با ضخامت نامی ۲۳۰ mm و دمای دیواره داخلی ۱۱۰۰°C می‌باشد به مقدار $5/3 Kw/m^2$ تلفات خواهد داشت. بازای ضخامت نامی ۱۰۰ mm از عایق، اتلاف گرما به $1/2 Kw/m^2$ تقلیل داده خواهد شد و بازای عایق ۲۰۰ mm، اتلاف با $660 w/m^2$ کاهش پیدا می‌کند. با افزایش ضخامت آستر آجر نسوز، تلفات گرما می‌تواند کاهش یابد، لیکن استفاده از عایق مقرون به صرفه‌تر خواهد بود.

در عایق‌کاری کوره، تغییرات احتمالی دما در طول کار باید دقیقاً ملحوظ گردد کوره‌هایی که متناوباً بکار گرفته می‌شوند و باید اساساً به عنوان بخشی از فرآیند، سرد شوند چنانچه از خارج عایق‌کاری شوند، گرمایشان را بسیار آهسته‌تر تلف خواهند کرد. چنانچه آجرچینی با کیفیت بالا و خرد نشونده، سطح داخلی کوره را شکل دهد بوسیله عبور مقداری هوای سرد یا گاز از داخل اطاق، سردسازی سریع تحت تأثیر واقع می‌شود.

تأثیر عایق‌کاری بر روی دمای جسم دیرگداز هم باید مد نظر قرار گیرد. گرادیان^۲ (تغییرات) درجه حرارت در جسم مزبور تحت تأثیر قرار می‌گیرد که می‌تواند به گرم شدن بیش از حد آن یا بیش از حد گرم شدن عایق و احتمالاً آسیب به تجهیزات منجر شود.

برای کوره عملکرد پیوسته فرق‌الذکر، تأثیر عایق‌کاری بصورت زیر می‌باشد: بدون هیچگونه عایق، دمای خارجی جسم دیرگداز، ۲۶۰°C می‌باشد. بازای عایقی به ضخامت نامی ۱۰۰ mm، این دما، ۹۰۰°C و بازای عایقی به ضخامت نامی ۲۰۰ mm، دما، ۹۸۵°C خواهد بود. اگرچه نصب جسم دیرگدازی در داخل دیواره یا سقف بطوری که دمای سطح آن بالاتر از حد بی‌خطر باشد، می‌تواند مطرح باشد. مادامیکه دمای عمده آجرها به

¹ Convection

² Gradient

اندازه‌ای کم است که می‌توانند در مقابل شرایط فوق دوام آورند، تقلیل‌گرادیان دما روی ضخامت آجر با بکاربردن عایق خارجی، می‌تواند پیامدهای جدی به همراه داشته باشد. بدین دلیل پیشنهاد می‌شود پیش از هر اقدامی با سازنده یا تأمین‌کننده کوره یا جسم دیرگداز مشورت نمود.

انرژی مصرفی جهت گرم کردن یک کوره مطابق با طبیعت کاری کوره تغییر می‌کند. گرچه این مقدار انرژی برای یک کوره که بطور پیوسته در دمای کاری در حال کار است، تقریباً غیرقابل توجه است، اما گرم کردن جرم و موجودی کوره در عملکرد متناوب، بویژه در صورتی که سیکل کاری کوتاه باشد، سهم زیادی از کل مصرف انرژی را بخود اختصاص می‌دهد. از این رو، عملکرد متناوب یک کوره اثر قابل ملاحظه‌ای بر مقدار نسبی اتلاف گرمای حالت دائم و بر مقدار انرژی لازم برای بالا بردن دمای کوره به سطح کار دارد. بعنوان مثال، بازای یک دیواره به ضخامت ۲۳۰ mm و ۱۰۰mm عایق، حرارت جذب شده توسط دیواره که صرف بالا بردن دمای آن تا نقطه کار می‌شود، معادل بیش از ۱۰۰ ساعت اتلاف گرما در حالت دائم خواهد بود.

عایق‌کاری خارجی بر روی یک کوره، ظرفیت ذخیره گرمایی دیواره‌ها را با افزایش دمای میانگین آنها بالا می‌برد. یک لایه ۱۰۰ mm عایق خارجی، حرارت ذخیره شده را تا حدود ۶۰٪ بالا می‌برد. این روش، برای صرفه‌جویی در انرژی در کوره عملکرد متناوب، ایده‌آل نمی‌باشد. بهتر است با استفاده از یک عایق با سطح داغ که می‌تواند به شکل رشته فیبری سرامیکی چگالی کم یا عایق میکروپروس باشد جرم ماده دیرگداز به حداقل کاهش داده شود. این مواد برای استفاده در کوره‌های عملکرد متناوب، ایده‌آل می‌باشند، چرا که دارای جرم حرارتی و رسانایی حرارتی کمی هستند و بشدت در مقابل شوک حرارتی مقاوم می‌باشند. در جایی که استحکام یا مقاومت بیشتری در برابر شرایط محیطی داخلی مورد نیاز باشد، ممکن است سطح عایق بوسیله یک روکش مناسب، تکمیل شود.