A-PDF Watermark DEMO: Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو
امور انرژی

راهنماهای فنی مدیریت انرژی

۱۷

عایق کاری تأسیسات فرآیند و بهره وری سوخت

دفتر بهینه سازی مصرف انرژی

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

mohandes-iran.com

http://www.mohandes-iran.com

پیشگفتار

در طی دهۀ آینده، هـزینـۀ انرژی الکتریکی چه برای گرمایش و سـرمایش، چـه برای روشنائی و چه بـعنوان نـیروی مـحرکه در فـرآیـند تـولید صنعتی، ادارات، مدارس، منازل، ... رشد چشمگیری پیدا خواهد کرد که البته دلایل این رشـد، خارج از بحث این نوشتار است.

در عرصۀ رقابت جهانی در راستای مصرف کمتر (مصرف بهینه) و تولیـد هرچه بیشتر، کشورها، جوامع و صنایعی موفق‌تر خواهند بود که در این رقابت که شـاید از دیـدگاهی بـتوان آن را مـبارزه بـرای تـنازع بـقاء و ادامـۀ فـعالیت نـامید، بـا تحقیقات و مطالعات موفق به یافتن و پس از آن بکار بـردن راهـهای جـلوگیری از اتلاف انرژی شوند .

انرژی بطور عام و انرژی الکتریکی بطور خاص که امروز در اختیار و خـدمت هـم میهنان عزیز، قرار می‌گیرد، با هزینه‌ای به مراتب گزاف‌تر تهیه می‌شود ولیکن دولت جمهوری اسلامی ایران با تأمـین بـخشی از هـزینه‌های تـولید آن از مـحل درآمـدهای عـمومی خود و یا به قیمـت عدم انجام بسیاری از پروژه‌های زیـربنائی ملی، آنرا بدینگونه در اختیار وا می‌گذارد.

اتلاف این انرژی الکتریکی و اصولاً هر نوع انرژی تولید شده از مـنابع فسـیلی، علاوه بر خسارات مالی جبران‌ناپذیری که دارد، زیانها ی غیرقابل انکـاری نـیز بـر 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 کـنار تلاش در جهت استفاده از انرژی‌هـای نو (خورشید، باد، امواج، ...)، استفاده صحیح از انرژی را در رأس اهـم اهـداف خـود قـرار داده و صـاحبان صـنایع، صـنعتگران، مـدیران 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، راهنمائی و حتی راهبری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی می‌نمایند.

انجام پاره‌ای از این اقدامات، اگر در زمان مناسب نسبت به اِعمال آنها اقـدام گردد، حتی هیچگونه هزینۀ اضافی را نیز تحمیل نخواهد نمود و جهت همه‌گیر شدن جنبش جلوگیری از اتلاف انرژی، دائماً جلسات توجیهی و سمینارهائی برای تصمیم گیرندگان برگزار می‌گردد تا از پی‌آمدها و بهتر بگوئیم عواقب مـختلف آن آگاه گردند.

در کنار اقدامات فوق، تلاش متخصصین و دانشمندان در جهت اختراع، ابداع و تولید وسایل و تجهیزات کارآمد نیز جبهۀ دیگری است که برای مبارزه بـا اتـلاف انرژی گشوده شده است که از جمله آنها می‌توان بـه تـولید صـنعتی تـجهیزات و لامپهای پر انرژی، کم مصرف و بادوام اشاره کرد.

با توجه به روند افزایش جمعیت و تبعات آن و هرجه بیشـتر مـسـتهلک شـدن منابع تولید انرژی، چندان دور نخواهـد بود که نه تنها افراد، بلکه جوامع نیز درموقعـیتی قرار نداشته باشند که بتوانند بـه میزان مورد علاقۀ خـود انرژی مـصرف نمایند بلکه با هرچه فشرده‌تر شـدن جـوامع، حـتماً اهـرمهای مـلی و جـهانی و خود

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

محدودکننده‌ای وارد عمل خواهند گردید که ابتکار عمل در زمینهٔ تولید و مصرف انرژی را بعهده 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 سمینارهائی 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 اطلاعیه‌هائی نموده و آنها را در دسترس کلیهٔ افرادی که به نوعی با مصرف و صرفه‌جوئی 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" ـ (Building Research Establishment)، "واحد صرفه‌جویی انرژی مرکز تحقیقات ساختمان" ـ (Building Research Energy Conservation Support Unit) "واحد پشتیبانی تکنولوژی انرژی" ـ (Energy Technology Support Unit) " اداره کارآئی 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 انشاءا... 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.

معاونت انرژی وزارت نیرو

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

۱ ـ مقدمه ۷
۲ ـ دلایل عایق‌کاری ۸
۱ ـ ۲ ـ صرفه‌جویی در هزینه ۸
۲ـ۲ـ ملاحظات مربوط به فرآیند ۹
۳ ـ ۲ ـ ایمنی ۱۰
٤ ـ ۲ ـ سایر دلایل ۱۰
۳ ـ انواع عایق ۱۱
٤ـ خواص عایق حرارتی ۱۳
۱ ـ ٤ ـ خواص مهمی که باید مورد توجه قرار گیرند ۱۳
۲ ـ ٤ ـ خواص و موارد استفاده از هوای عایق حرارتی متداول ۱٤
۵– ضخامت توصیه شدهٔ عایق‌کاری ۱٦
۱ ـ ۵ ـ کاربرد در تأسیسات تبرید به منظور جلوگیری از میعان ۱۷
۲ ـ ۵ ـ کاربرد در تأسیسات آب سرد و خنک به منظور جلوگیری از میعان ۱۸
۳ ـ ۵ ـ محافظت در برابر یخ‌زدگی در کاربردهای صنعتی ۱۸
٤ ـ ۵ ـ تأسیسات حرارت مرکزی، تهویه متبوع و تأمین آب داغ مستقیم در مصارف غیر خانگی ۱۸
۵ ـ۵ ـ کاربردهای لوله‌کشی و تجهیزات فرآیند ۲۷
٦ ـ صرفه‌جویی حاصل در انرژی و هزینه در اثر عایق‌کاری ـ محدودیت‌های یک تجزیه و تحلیل ساده ۲۸
۷ ـ پوشش‌ها ۳۰
۱ ـ ۷ ـ پوشش‌ها در فضای بسته ۳۱
۲ ـ ۷ ـ پوشش‌ها در فضای باز ۳۲
۳ ـ ۷ ـ خلاصه ۳۳
۸ ـ تجارب مفید عملی ۳۳
۱ ـ ۸ ـ چه وقت نیاز به عایق‌کاری است؟ ۳٤
۲ ـ ۸ ـ کاربرد عایق‌کاری ۳٤
۱ ـ ۲ ـ ۸ ـ جنبه‌های ایمنی ۳٤
۳ ـ ۸ ـ ملاحظات کلی ۳۵
۹ ـ عایق‌کاری تأسیسات و تجهیزات ۳۵
۱ ـ ۹ ـ تأسیسات دیگ بخار ۳۵
۲ ـ ۹ ـ لوله‌ها ۳٦

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

۳ ـ ۹ ـ مخازن و سطوح انحنادار بزرگ ۳۹
٤-۹-کانال‌ها و دودکش‌های گاز داغ ٤۰
٥-۹-کوره‌ها و تنورها ٤۱

mohandes-iran.com

http://www.mohandes-iran.com

۱ ـ مقدمه

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. ازجمله دلایل دیگر برای عایق‌کاری، عبارتند از:

- کاهش بهره حرارتی.
- فراهم ساختن کنترل میعان.
- حافظت 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 بهینهٔ هزینه/ در قالب جدول ارائه شده است و صرفه‌جویی در انرژی و هزینه‌ها بصورت کیفی مورد بحث قرارگرفته است.

برخی از نکات عملی مهم عایق‌کاری حرارتی، همچون سطح کار [1] (پوشش)، باید در نظرگرفته 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

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

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

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

۲ ـ دلایل عایق‌کاری

۱ ـ ۲ ـ 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 نظرگرفتن 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 حوزهٔ تجزیه و تحلیل در این کتابچه است. در اکثر مواردی که عایق‌کاری لازم است، یک محاسبهٔ ساده بازگشت سرمایه به منظور مقایسهٔ گزینه‌ها که در آن صرفه‌جویی خالص در انرژی با هزینهٔ عایق‌کاری مقایسه می‌شود، می‌تواند بکار رود. بطور نمونه بازگشت سرمایه در مدت دو سال، بدان معنی است که صرفه‌جویی خالص در هزینهٔ 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 واژهٔ 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 کارآیی 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 مقایسهٔ هزینه‌های کل عایق‌کاری می‌تواند به صرفه‌جویی مهمی منجر شود (برای جزئیات مربوط به انواع مختلف پوشش به بخش ۷ مراجعه شود).

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

۲ـ۲ـ ملاحظات مربوط به فرآیند

عایق‌کاری فرآیند باید آنچنان باشد که بخار، آب داغ، گازهای داغ، یا مایعات سرد و گازها در شرایط قابل قبولی از منبع مرکزی به نقطهٔ مصرف تحویل داده شوند. در این موارد، انتخاب عایق و درجهٔ عایق‌کاری منحصراً براساس فاکتورهای اقتصادی تعیین نمی‌شوند.

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 مادهٔ احاطه کننده بستگی دارد. مقدار عایق‌کاری، 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 می‌یابد، 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 پایین‌تر 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 عایق‌کاری می‌تواند 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 می‌شود که به شکل جدول‌بندی شده یا نموداری با فرم ارائه شده در این کتابچه وکتابچهٔ «ضخامت اقتصادی عایق‌ها برای لوله‌های آب داغ» بیان گردیده است. در این مجموعه‌ها، اطلاعاتی برای موقعیتهای متداول عنوان شده است.

مرحله دوم مستلزم مطالعهٔ 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 دریچه‌های بخار را موجب شود، در جایی که لازم است میعان به کمترین حد کاهش یابد، حتی‌الامکان باید نرخ دبی نزدیک به مقدار طراحی شده نگهداشته شود و سطح عایق‌کاری افزایش یابد.

مورد خاصی نیز وجود دارد که باید با احتراز از میعان از خوردگی و یا انتشار ناخواسته جلوگیری شود. برای دیگ‌های 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 (نقطهٔ شبنم [1] اسید گازهای خروجی) برای جلوگیری از خوردگی، مغایرت، وجود دارد. زمانی که دیگ بخار در بارهای سبک کارمی‌کند این مسأله می‌تواند تشدید شود و این

[1] Dewpoint

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

موضوع بویژه برای دیگهای بخار نفت سوز [1] حائز اهمیت است. از اینرو لازم است که خروجی‌های دیگ بخار برای اجتناب ازسقوط دمای گازهای خروجی به زیرنقطهٔ 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 فلانج‌های عایق‌کاری نشده می‌توانند تا ۲۰٪ گرمای اتلافی از یک سیستم توزیع را به خود اختصاص دهند. بخش ۹ این کتابچه، مخازن، فلانج‌ها، شیرها و اجزای دیگری نظیر آنها را که هر یک مستلزم توجه خاصی است مورد بحث قرار می‌دهد.

۳ ـ ۲ ـ ایمنی

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

- عایق‌کاری می‌تواند کارکنان تأسیسات را در برابر تمامی آنها با سطوح بسیار داغ یا بسیارسرد 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 به‌دلایل 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 هزینهٔ عایق می‌تواند با انتخاب مناسبترین و اقتصادی‌ترین نوعی که دمای مورد نیاز سطح خارجی را تأمین نماید، حداقل شود.

٤ ـ ۲ ـ سایر دلایل

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

- 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

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

۳ ـ انواع عایق

مواد عایقی بسیارگوناگون بوده و مرتباً انواع جدید آن به بازار عرضه می‌شود. در این بخش، انواع اصلی و شکل‌های عمدهٔ 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 [٤]، دانه‌بندی شده [٥] یا پودر شده ساخته می‌شوند و فضاهای توخالی قابل توجهی دارند. عایق‌های آلی با استفاده از پلیمرهای هیدروکربن که می‌توانند برای تولید فضاهای تو خالی 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 ٤ بیان می‌شود.

- شکل داده شده [٦]

معمولاً این عایق به شکل تخته‌ای [۷]، قطعات لوله‌ای و شکلهای مربوطه متکی برساختار 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 اقعطاف 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 ورمیکیولایت [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

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

- اعمال با اسپری [1]

این نوع عایق با تفنگ اسپری استفاده می‌شود و معمولاً شامل ماده عایقی دانه‌بندی شده، کفی یا فیبری است که روی سطح مورد استفاده می‌چسبد. امکان دارد یک ماده چسبنده در مخلوط اصلی گنجانیده شود و یا بطور همزمان از یک پاشنده [2] جداگانه استفاده گردد.

- اعمال به صورت کف در محل اصلی [3]

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 [4]

عایق میکروپروس که‌گاهی 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 کپسولی وجود دارد.

- عایق بازتابنده [5]

این نوع عایق، گرمای تشعشع یافته را بگونه‌ای بازتاب می‌کند که نرخ اتلاف گرما را تقلیل دهد. فلزاتی همچون فویل [6] آلومینیوم و ورق فولاد ضدزنگ صیقلی‌شدهٔ نازک، شکل‌های معمول عایق فوق می‌باشند.

- عایقهای مقوائی

این مقواها، صلب یا نیمه صلب بوده و معمولاً همراه با تقویت فیبری وفشرده 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 [7] به عنوان عامل چسبندگی و یا کف سخت شده هیدرولیکی می‌باشد.

- شکل‌های پیش ساخته [8]

---

[1] Spray-applied
[2] Spray Nozzle
[3] Foamed in situ
[4] Microporous Insulation
[5] Reflective Insulation
[6] Foil
[7] Hydraulic Cement
[8] Perfabricated Shapes

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

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.

٤ـ 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 هرکاربرد 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 نظرگرفته شوند، در بخش ١ ـ ٤، فهرست شده‌اند. در بخش ٢ ـ ٤، بعضی از مواد عایق که معمولاً بیشترین کاربرد را دارا هستند، به همراه خواص اصلی و مصارف بالقوه‌شان فهرست شده‌اند.

١ ـ ٤ ـ 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 نظرساختاری مستحکم بماند بلکه ویژگیهای عایقی آن نیز حفظ شود.

- استحکام فیزیکی

این خاصیت می‌بایست به اندازهٔ کافی باشد تا عایق بتواند بدون تأثیر برخواص 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 نظرگرفته شوند. جزئیات بیشتر در مورد خطرات مربوط به پوشش در بخش ٧ ارائه می‌شود.

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

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 خطرساز باشند. نکتهٔ 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 خطرساز باشد.

- مقاومت در برابر خوردگی

نفود آب یا میعان داخلی می‌تواند عایق را مرطوب ساخته و آن را تضعیف کند. مخصوصاً عایقهای حاوی ترکیبات حل شدنی، 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 نفود 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 وگیاهان قارچی

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

۲ ـ ٤ ـ 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 محل‌هایی‌که این لوله‌ها در زیر خاک قرار گرفته‌اند، بکار می‌روند.

- شیشه سلولی

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

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 [1]

لاستیک نیتریل انبساط یافته ماده قابل انعطافی است که یک مانع یکپارچهٔ 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 اکنرن بطور وسیعی در سیستم‌های گرمایش و تهویه [2] (H&V) بکار می‌رود.

- پلی‌استیرن انبساط یافته و کف تزریقی پلی‌استیرن

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

- کف‌های انعطاف‌پذیر پلی‌اورتان[3]

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

- پشم شیشه معدنی[4]

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

- اکسید منیزیم[5]

اکسید منیزیم یک محصول تمیز و خنثی است و در نتیجه بطور وسیعی در صنایع غذایی، دارویی و مواد آراایشی و سایر فرآیندهایی‌که تمیز بودن محیط آنها ا همیت خاصی دارند، بکار می‌رود.

- کف ملامین

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

- عایق سیلیس میکروپروس [6]

---

[1] Expanded Nitrile Rubber
[2] Heatting and Ventilation
[3] Polyurethane
[4] Glass Mineral Wool
[5] Magnesia
[6] Microporous

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

عایق میکروپروس بطور وسیعی در سیستم‌های ذخیره‌کنندهٔ 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 درکاربردهای‌گرمایشی و تهویه مطبوع که علیرغم محدود بودن فضا، استانداردهای عایقی بالایی مورد نیازمی‌باشد و در صنایعی که میزان آتش کلاس صفر و مشخصه‌های انتشار کم دود حاکم است، به کار می‌رود.

- کف پلی‌اتیلن

کف پلی‌اتیلن عمدتاً درکاربردهای خانگی استفاده می‌شود.

- کف پلی‌ایزوسیانورات[1] (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[2] و در کانال‌کشی و لوله‌کشی ساختمان و لوازم ساختمانی مورد استفاده دارد.

- کف صلب پلی‌اورتان

PUR می‌تواند توسط سیستمهای اسپری محلی[3] بکار برده شود و انواع با چگالی زیاد آن وجود دارند. برای حداقل کردن بهرهٔ گرمایی و کنترل میعان، از PUR درکاربردهای متوسط و سنگین تبرید استفاده می‌شود.

- پشم سنگ معدنی[4]

پشم سنگ معدنی به صورتهای مختلفی، از محصولات لوله‌ای (توپی) سبک وزن‌گرفته تا تخته‌های صلب سنگین، ازجمله 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 شدهٔ عایق‌کاری

استاندارد انگلیس BS 5422 :1990 - « روش تعیین مواد عایق کننده حرارتی لوله‌ها، کانال‌کشی و تجهیزات (در محدودهٔ دمای ۴۰ °C- تا ۷۰۰°C+) » حاوی اطلاعات جدول بندی شدهٔ مفصلی است که برای منظورهای مختلف ، ضخامت‌های توصیه شدهٔ عایق‌کاری را فهرست می‌نمایند. اطلاعاتی از این کتابچه که برای مهندسین و

[1] Polyisocyanurate
[2] Rfrigeraed Transport
[3] In Situ Spray Systems
[4] Rock Mineral Wool

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

مدیران انرژی تأسیسات بسیار سودمند می‌باشد در اینجا به طور کامل و بـه همـراه توضـیح مناسـب در خصـوص نحوه استخراج جدول ، ذکر می‌گردد.

توجه نمایید که در اطلاعات جدول بندی شده، ارقام برای رسانایی گرمایی متوسط عایق بیان شده‌اند. این اعداد باید با مقادیر داده شده در جدول ۱ برای عایق مربوطه مقایسه شده و توسط تولیـد کننـدگان و فروشـندگان عـایق تأیید شوند.

جدول ۱: خواص مواد عایقی حرارتی

عایق	محدودهٔ دما (°c)		رسانایی	محدودهٔ ضخامت (mm)	
	حداقل	حداکثر	حرارتی (W/m.k)*	حداقل	حداکثر
سیلیکات کلسیم	-۲۰	۸۰۰	۰/۰۰۶	۴۵	۱۰۰
شیشه سلولی	-۲۶۰	۴۳۰	۰/۰۵۰	۴۰	۱۳۰
لاستیک انبساط‌یافته	-۴۰	۱۱۶	۰/۰۳۶	۶	۳۲
پلی‌استیرن انبساط‌یافته	-۱۰۰	۸۰	۰/۰۳۳	۱۲	۶۱۰
کف تزریقی پلی‌استیرن	-۱۸۰	۷۵	۰/۰۲۷	۳۰	۱۰۰
کف‌های انعطاف‌پذیر پلی‌اورتان	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 فنلی	-۱۸۵	۱۲۰	۰/۰۲۰	۱۵	—
کف پلی‌اتیلن	-۲۰	۱۰۰	۰/۰۳۷	۹	۳۸
کف پلی‌ایزوسیانورات	-۱۸۵	۱۴۰	۰/۰۲۳	۱۵	—
کف صلب پلی‌اورتان	-۱۸۵	۱۱۰	۰/۰۲۳	۱۵	—
پشم سنگ معدنی	-۱۶۰	۸۵۰	۰/۰۴۰	۱۹	۱۰۰

*توجه مقادیر رسانایی گرمایی اکثر مواد عایق با دما تغییر می‌یابند. در جدول ۱ مقادیر متوسط مـورد اسـتفاده قـرارگرفتـه‌انـد. بـرای اطلاعات کامل باید به داده‌های سازنده رجوع کرد.

سکتابچه « ضخامت اقتصادی عایق‌ها برای لوله‌های آب داغ » حاوی یک بحث مفصل‌تر دربارهٔ نحـو اسـتخراج اطلاعات از این جداول و روشهای نمونه برای محاسبه ضخامت اقتصادی عایق از طریق جداول خاص هـر مـورد می‌باشد. و توصیه می‌شود که همراه با این کتابچه مطالعه شود.

۱ ـ ۵ ـ 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 عایق‌کننده و تحت شرایط دمای محیط، رطوبت نسبی و انتشار از سطح خارجی ارائه می‌کند.

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

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

جداول ٦ و۷ حداقل ضخامت عایق برای جلوگیری از میعان بر روی سطح خارجی ماده عایق‌کننده را در شرایط بیان شده ارائه می‌دهد.

۳ ـ ۵ ـ محافظت در برابر یخزدگی در کاربردهای صنعتی

جدول ۸ حاوی اطلاعاتی درخصوص حداقل ضخامتی 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 $-10^{\circ}C$ 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.

٤ ـ ۵ ـ 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: ۰/۳۸ پنس / مگا ژول

گاز: ۰/۵۷ پنس / مگا ژول

نفت: ۰/۷۶ پنس / مگا ژول

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 ١٤ بیان شده‌اند. توجه نمایید که در مورد جدول ١٤، شرایط محیطی عبارت از دمای $+25^{\circ}C$ 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.

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

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 ۲۰+ °C و رطوبت نسبی ۷۰٪ r.h.

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

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 ۲۰+ °C و رطوبت نسبی ۷۰٪ r.h.

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

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

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 ۲۵+ °C و رطوبت نسبی ۸۰٪ r.h.

قطر خارجی لولهٔ فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm)	دمای محتویات (برحسب °C)																			
	۰				-۱۰				-۲۰				-۳۰				-۴۰			
	رسانایی گرمایی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)																			
	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵
	ضخامت عایق (بر حسب mm)																			
۲۱/۳	۹	۱۲	۱۵	۱۸	۱۲	۱۷	۲۱	۲۵	۱۵	۲۱	۲۷	۳۲	۱۸	۲۵	۳۲	۳۷	۲۱	۲۹	۳۶	۴۳
۳۳/۷	۱۰	۱۴	۱۷	۲۱	۱۳	۱۹	۲۴	۲۹	۱۷	۲۴	۳۰	۳۵	۲۰	۲۷	۳۵	۴۲	۲۲	۳۲	۴۱	۴۹
۶۰/۰	۱۱	۱۵	۱۹	۲۳	۱۵	۲۱	۲۶	۳۲	۱۸	۲۶	۳۳	۴۰	۲۱	۳۰	۳۹	۴۸	۲۴	۳۵	۴۵	۵۶
۱۱۴/۳	۱۱	۱۶	۲۱	۲۶	۱۵	۲۳	۲۹	۳۶	۱۹	۲۹	۳۸	۴۶	۲۳	۳۵	۴۶	۵۷	۲۸	۴۱	۵۴	۶۶
۱۶۸/۳	۱۱	۱۷	۲۲	۲۷	۱۶	۲۴	۳۲	۴۰	۲۱	۳۱	۴۱	۵۱	۲۶	۳۹	۵۱	۶۱	۳۱	۴۵	۵۹	۷۱
۲۷۳/۰	۱۲	۱۸	۲۳	۲۹	۱۸	۲۶	۳۵	۴۳	۲۳	۳۴	۴۵	۵۵	۲۹	۴۱	۵۴	۶۷	۳۳	۴۹	۶۴	۷۹
۵۰۸/۰	۱۲	۱۹	۲۵	۳۲	۱۹	۲۸	۳۶	۴۵	۲۴	۳۶	۴۸	۶۰	۳۰	۴۵	۵۸	۷۲	۳۵	۵۳	۶۹	۸۵

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 ۲۵+ °C و رطوبت نسبی ۸۰٪ r.h.

قطر خارجی لولهٔ فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm)	دمای محتویات (برحسب °C)																			
	۰				-۱۰				-۲۰				-۳۰				-۴۰			
	رسانایی گرمایی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)																			
	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵
	ضخامت عایق (بر حسب mm)																			
۲۱/۳	۱۷	۲۳	۲۹	۳۶	۲۳	۳۲	۴۱	۵۰	۲۹	۴۱	۵۳	۶۵	۳۵	۵۰	۶۵	۸۱	۴۱	۵۹	۷۷	۱۰۰
۳۳/۷	۱۹	۲۷	۳۳	۴۱	۲۶	۳۷	۴۷	۵۸	۳۳	۴۷	۶۲	۷۶	۴۰	۵۷	۷۶	۹۸	۴۶	۶۸	۹۳	۱۱۵
۶۰/۰	۲۲	۳۱	۴۰	۴۹	۳۰	۴۳	۵۷	۷۲	۳۸	۵۷	۷۷	۹۶	۴۶	۷۰	۹۵	۱۱۳	۵۴	۸۵	۱۰۹	۱۳۰
۱۱۴/۳	۲۵	۳۸	۵۱	۶۵	۳۷	۵۷	۷۳	۶۸	۴۹	۹۲	۹۲	۱۱۰	۶۱	۸۶	۱۰۹	۱۳۱	۷۲	۹۹	۱۲۵	۱۵۰
۱۶۸/۳	۳۰	۴۵	۵۷	۶۹	۴۳	۶۲	۷۹	۹۵	۵۵	۹۹	۹۹	۱۱۹	۶۶	۹۴	۱۱۹	۱۴۲	۷۷	۱۰۸	۱۳۷	۱۶۳
۲۷۳/۰	۳۳	۴۸	۶۱	۷۴	۴۷	۶۷	۸۶	۱۰۴	۶۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۳۱	۷۳	۱۰۲	۱۳۱	۱۵۷	۸۴	۱۱۹	۱۵۲	۱۸۲
۵۰۸/۰	۳۴	۵۱	۶۶	۸۱	۵۰	۷۳	۹۴	۱۱۵	۶۴	۱۲۱	۱۲۱	۱۴۷	۷۸	۱۱۳	۱۴۵	۱۷۶	۹۱	۱۳۲	۱۶۹	۲۰۵

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

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 ۲۵°C+ و رطوبت نسبی ۸۰٪ r.h.

قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm)	دمای محدودیات (برحسب °C)											
	+۱۰				+۵				+۰			
	رسانایی گرمایی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)											
	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵
	ضخامت عایق (بر حسب mm)											
۲۱/۳	۶	۸	۹	۱۱	۸	۹	۱۲	۱۵	۹	۱۲	۱۵	۱۸
۳۳/۷	۶	۸	۱۱	۱۳	۸	۱۱	۱۴	۱۶	۱۰	۱۴	۱۷	۲۱
۶۰/۰	۶	۹	۱۲	۱۴	۹	۱۲	۱۵	۱۸	۱۱	۱۵	۱۹	۲۳
۱۱۴/۳	۶	۹	۱۲	۱۴	۹	۱۳	۱۶	۲۰	۱۱	۱۶	۲۱	۲۶
۱۶۸/۳	۶	۹	۱۲	۱۵	۹	۱۳	۱۷	۲۱	۱۱	۱۷	۲۲	۲۷
۲۷۳/۰	۶	۹	۱۳	۱۶	۹	۱۴	۱۹	۲۲	۱۲	۱۸	۲۳	۲۹
۵۰۸/۰	۷	۱۰	۱۳	۱۶	۱۰	۱۴	۱۹	۲۴	۱۲	۱۹	۲۵	۳۲
سطوح صاف	۷	۱۰	۱۴	۱۷	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۱۳	۲۰	۲۶	۳۳

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 ۲۵°C+ و رطوبت نسبی ۸۰٪ r.h.

قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm)	دمای محتویات (برحسب °C)											
	+۱۰				+۵				+۰			
	رسانایی گرمایی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)											
	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵
	ضخامت عایق (بر حسب mm)											
۲۱/۳	۱۰	۱۴	۱۷	۲۰	۱۴	۱۸	۲۳	۲۸	۱۷	۲۳	۲۹	۳۶
۳۳/۷	۱۱	۱۶	۲۰	۲۴	۱۵	۲۱	۲۷	۳۲	۱۹	۲۷	۳۳	۴۱
۶۰/۰	۱۳	۱۸	۲۳	۲۸	۱۷	۲۵	۳۱	۳۸	۲۲	۳۱	۴۰	۴۹
۱۱۴/۳	۱۴	۲۰	۲۷	۳۳	۲۰	۳۰	۳۸	۴۸	۲۵	۳۸	۵۱	۶۵
۱۶۸/۳	۱۵	۲۳	۳۱	۳۹	۲۲	۳۵	۴۵	۵۴	۳۰	۴۵	۵۷	۶۹
۲۷۳/۰	۱۷	۲۶	۳۴	۴۲	۲۵	۳۷	۴۸	۵۸	۳۳	۴۸	۶۱	۷۴
۵۰۸/۰	۱۹	۲۸	۳۶	۴۴	۲۷	۳۹	۵۱	۶۳	۳۴	۵۱	۶۶	۸۱
سطوح صاف	۲۱	۳۱	۴۱	۵۲	۲۹	۴۴	۵۸	۷۳	۳۷	۵۶	۷۵	۹۴

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

جدول۸:حداقل ضخامت محاسبه شده عایق، موردنیاز برای محافظت در برابر یخ‌زدگی، تحت‌شرایط صنعتی

دمای آب	+۵ °C		+۵°C
دمای محیط	-۱۰ °C		-۱۰ °C
دورهٔ ارزیابی	۱۲ ساعت		۱۲ ساعت
درصد مجاز تشکیل یخ	هیچ		٪۱۰
روش محاسبه	H. 2.2		H. 2.2

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

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

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

قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm) [۱]	دمای طرف داغ (برحسب °C) (با هوای ساکن محیط در ۲۰°C+)										
	+۷۵			+۱۰۰			+۱۵۰				
	رسانایی حرارتی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)										
	۰/۰۲۵	۰/۰۳	۰/۰۵۵	۰/۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷
	ضخامت عایق (بر حسب mm)										
۱۷/۲	۱۴	۱۷	۲۰	۲۳	۱۷	۲۱	۲۴	۲۶	۲۲	۲۵	۲۸	۳۲
۲۱/۳	۱۵	۱۸	۲۲	۲۴	۱۷	۲۲	۲۵	۲۷	۲۳	۲۶	۳۰	۳۴
۲۶/۹	۱۷	۲۰	۲۳	۲۵	۲۰	۲۴	۲۶	۲۸	۲۴	۲۸	۳۲	۳۵
۳۳/۷	۱۷	۲۱	۲۴	۲۶	۲۰	۲۵	۲۷	۳۱	۲۵	۲۹	۳۴	۳۷
۴۲/۴	۱۸	۲۲	۲۵	۲۷	۲۱	۲۵	۲۸	۳۲	۲۵	۳۱	۳۵	۳۹
۴۸/۳	۱۸	۲۳	۲۵	۲۸	۲۲	۲۶	۲۹	۳۳	۲۶	۳۲	۳۶	۴۱
۶۰/۳	۱۹	۲۴	۲۶	۲۹	۲۳	۲۷	۳۱	۳۵	۲۷	۳۳	۳۸	۴۳
۷۶/۱	۲۰	۲۴	۲۷	۳۱	۲۳	۲۸	۳۳	۳۶	۲۸	۳۵	۴۰	۴۵
۸۸/۹	۲۰	۲۴	۲۸	۳۲	۲۴	۲۸	۳۳	۳۷	۲۹	۳۶	۴۲	۴۶
۱۱۴/۳	۲۱	۲۵	۲۹	۳۳	۲۵	۳۰	۳۵	۳۹	۳۱	۳۷	۴۴	۴۸
۱۳۹/۷	۲۲	۲۶	۳۰	۳۴	۲۵	۳۱	۳۶	۴۱	۳۱	۳۸	۴۵	۵۰
۱۶۸/۳	۲۲	۲۶	۳۱	۳۵	۲۵	۳۲	۳۷	۴۲	۳۲	۴۰	۴۶	۵۲
۲۱۹/۱	۲۲	۲۷	۳۲	۳۶	۲۶	۳۳	۳۸	۴۳	۳۳	۴۲	۴۸	۵۴
۲۷۳/۰	۲۳	۲۷	۳۳	۳۶	۲۶	۳۴	۳۹	۴۴	۳۴	۴۳	۴۹	۵۵
بالاتر از ۳۲۳/۹ و شامل سطوح صاف	۲۳	۲۸	۳۴	۳۸	۲۷	۳۵	۴۲	۴۷	۳۵	۴۵	۵۳	۶۰

---

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

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

جدول ۱۰: ضخامت اقتصادی عایق برای تأسیسات گرمایشی غیرخانگی تأمین‌شده توسط دیگ بخار گازسوز

قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm) [1]	دمای طرف داغ (برحسب °C) (با هوای ساکن محیط در +۲۰°C)											
	+۷۵			+۱۰۰			+۱۵۰					
	رسانایی حرارتی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)											
	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۳	۰/۰۵۵	۰/۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷
	ضخامت عایق (بر حسب mm)											
۱۷/۲	۱۷	۲۲	۲۴	۲۶	۲۰	۲۴	۲۷	۳۱	۲۴	۲۹	۳۴	۳۷
۲۱/۳	۱۸	۲۳	۲۵	۲۷	۲۲	۲۵	۲۹	۳۳	۲۶	۳۲	۳۶	۳۹
۲۶/۹	۲۰	۲۴	۲۶	۲۹	۲۳	۲۷	۳۱	۳۴	۲۷	۳۳	۳۸	۴۲
۳۳/۷	۲۱	۲۵	۲۷	۳۱	۲۴	۲۸	۳۳	۳۶	۲۸	۳۵	۴۰	۴۴
۴۲/۴	۲۲	۲۵	۲۹	۳۲	۲۵	۳۰	۳۴	۳۸	۳۰	۳۷	۴۲	۴۷
۴۸/۳	۲۲	۲۶	۳۰	۳۳	۲۵	۳۱	۳۵	۳۹	۳۱	۳۸	۴۴	۴۸
۶۰/۳	۲۳	۲۷	۳۲	۳۵	۲۶	۳۲	۳۷	۴۱	۳۳	۳۹	۴۶	۵۰
۷۶/۱	۲۴	۲۸	۳۳	۳۶	۲۷	۳۴	۳۹	۴۳	۳۴	۴۲	۴۸	۵۲
۸۸/۹	۲۴	۲۹	۳۴	۳۷	۲۸	۳۵	۴۰	۴۵	۳۵	۴۳	۴۹	۵۳
۱۱۴/۳	۲۵	۳۱	۳۵	۳۹	۲۹	۳۶	۴۲	۴۷	۳۶	۴۵	۵۱	۵۶
۱۳۹/۷	۲۵	۳۲	۳۶	۴۱	۳۰	۳۷	۴۳	۴۸	۳۷	۴۷	۵۳	۵۹
۱۶۸/۳	۲۵	۳۲	۳۷	۴۲	۳۱	۳۸	۴۵	۵۰	۳۸	۴۸	۵۶	۶۱
۲۱۹/۱	۲۶	۳۳	۳۸	۴۴	۳۲	۴۰	۴۶	۵۲	۴۰	۵۱	۵۸	۶۵
۲۷۳/۰	۲۷	۳۴	۴۰	۴۵	۳۳	۴۱	۴۷	۵۳	۴۱	۵۲	۵۹	۶۸
بالاتر از ۳۲۳/۹ و شامل سطوح صاف	۲۷	۳۶	۴۲	۴۷	۳۴	۴۳	۵۱	۵۸	۴۲	۵۴	۶۳	۷۲

---

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

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

جدول ۱۱: ضخامت اقتصادی عایق برای تأسیسات گرمایشی غیرخانگی تأمین‌شده توسط دیگ بخار نفت‌سوز

قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm) [۱]	دمای طرف داغ (برحسب °C) (با هوای ساکن محیط در +۲۰°C)										
	+۷۵			+۱۰۰			+۱۵۰				
	رسانایی حرارتی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)										
	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷
	ضخامت عایق (بر حسب mm)											
۱۷/۲	۱۸	۲۳	۲۵	۲۸	۲۲	۲۶	۲۹	۳۳	۲۶	۳۲	۳۶	۴۰
۲۱/۳	۱۹	۲۴	۲۷	۲۹	۲۳	۲۷	۳۲	۳۵	۲۷	۳۴	۳۸	۴۳
۲۶/۹	۲۱	۲۵	۲۸	۳۲	۲۴	۲۹	۳۳	۳۶	۲۹	۳۵	۴۱	۴۵
۳۳/۷	۲۲	۲۶	۲۹	۳۳	۲۶	۳۱	۳۵	۳۸	۳۱	۳۷	۴۳	۴۷
۴۲/۴	۲۳	۲۷	۳۲	۳۵	۲۶	۳۲	۳۷	۴۱	۳۲	۳۹	۴۵	۵۰
۴۸/۳	۲۴	۲۸	۳۳	۳۶	۲۷	۳۳	۳۸	۴۲	۳۳	۴۱	۴۶	۵۱
۶۰/۳	۲۵	۲۹	۳۴	۳۷	۲۸	۳۵	۳۹	۴۴	۳۵	۴۳	۴۹	۵۲
۷۶/۱	۲۵	۳۱	۳۵	۳۹	۲۹	۳۶	۴۲	۴۶	۳۶	۴۵	۵۰	۵۵
۸۸/۹	۲۵	۳۲	۳۶	۴۱	۳۰	۳۷	۴۳	۴۸	۳۷	۴۶	۵۱	۵۷
۱۱۴/۳	۲۶	۳۳	۳۸	۴۳	۳۱	۳۸	۴۴	۴۹	۳۹	۴۸	۵۴	۶۰
۱۳۹/۷	۲۷	۳۴	۳۹	۴۴	۳۳	۴۱	۴۷	۵۱	۴۱	۵۰	۵۷	۶۳
۱۶۸/۳	۲۷	۳۵	۴۱	۴۵	۳۳	۴۲	۴۸	۵۴	۴۲	۵۲	۵۹	۶۶
۲۱۹/۱	۲۸	۳۶	۴۲	۴۷	۳۴	۴۳	۵۱	۵۶	۴۳	۵۴	۶۲	۶۹
۲۷۳/۰	۲۹	۳۷	۴۳	۴۸	۳۵	۴۴	۵۲	۵۷	۴۵	۵۵	۶۴	۷۱
بالاتر از ۳۲۳/۹ و شامل سطوح صاف	۳۱	۳۸	۴۵	۵۲	۳۷	۴۷	۵۵	۶۲	۴۷	۶۰	۶۹	۷۷

---

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

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

جدول ۱۲: ضخامت اقتصادی عایق برای سرویسهای آب داغ غیرخانگی

قطر خارجی لوله فولادی که ضخامت عایق روی آن قرار داده شده است. برحسب (mm) [1]	دمای آب ۶۰+ °C											
	بصورت جامد			گاز			نفت					
	رسانایی حرارتی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)											
	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷
	ضخامت عایق (بر حسب mm)											
۱۷/۲	۱۷	۲۱	۲۴	۲۷	۲۰	۲۴	۲۸	۳۲	۲۲	۲۷	۳۱	۳۴
۲۱/۳	۱۸	۲۲	۲۵	۲۸	۲۲	۲۶	۳۰	۳۴	۲۳	۲۸	۳۲	۳۶
۲۶/۹	۲۰	۲۳	۲۷	۲۹	۲۳	۲۸	۳۲	۳۵	۲۴	۲۹	۳۴	۳۸
۳۳/۷	۲۰	۲۴	۲۸	۳۱	۲۴	۲۹	۳۳	۳۷	۲۶	۳۱	۳۶	۴۰
۴۲/۴	۲۱	۲۶	۳۰	۳۳	۲۵	۳۱	۳۴	۳۹	۲۸	۳۳	۳۸	۴۲
۴۸/۳	۲۲	۲۷	۳۱	۳۴	۲۶	۳۲	۳۶	۴۰	۲۹	۳۴	۳۹	۴۳
۶۰/۳	۲۳	۲۸	۳۲	۳۶	۲۷	۳۳	۳۸	۴۲	۳۰	۳۶	۴۱	۴۵
۷۶/۱	۲۳	۲۹	۳۳	۳۷	۲۸	۳۵	۴۰	۴۴	۳۱	۳۷	۴۲	۴۷
۸۸/۹	۲۴	۳۰	۳۵	۳۸	۲۹	۳۶	۴۱	۴۵	۳۲	۳۸	۴۴	۴۸
۱۱۴/۳	۲۵	۳۱	۳۶	۴۰	۳۰	۳۷	۴۳	۴۷	۳۳	۴۰	۴۶	۵۱
۱۳۹/۷	۲۵	۳۲	۳۷	۴۱	۳۱	۳۸	۴۴	۵۰	۳۴	۴۱	۴۷	۵۴
۱۶۸/۳	۲۶	۳۳	۳۸	۴۲	۳۲	۳۹	۴۵	۵۲	۳۴	۴۲	۵۱	۵۶
۲۱۹/۱	۲۶	۳۴	۳۹	۴۴	۳۳	۴۱	۴۷	۵۵	۳۵	۴۳	۵۳	۵۹
۲۷۳/۰	۲۷	۳۵	۴۰	۴۵	۳۴	۴۲	۵۱	۵۷	۳۶	۴۵	۵۵	۶۱
بالاتر از ۳۲۳/۹ و شامل سطوح صاف	۲۹	۳۶	۴۲	۵۰	۳۵	۴۴	۵۴	۶۱	۴۰	۵۱	۵۹	۶۵

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

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

جدول ۱۳: ضخامت اقتصادی عایق بر روی کانال انتقال‌دهنده 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	۰/۰۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷
ضخامت اقتصادی عایق برحسب (mm)										
۲۵	۳۸	۵۰	۵۰	۳۰	۵۰	۵۰	۷۵	۶۳	۷۵	۷۵

جدول ۱۴: حداقل ضخامت عایق برای کنترل میعان بر روی کانال انتقال‌دهنده هوای سرد												
حداقل دمای هوای داخل کانال (برحسب °C)	رسانایی حرارتی در دمای متوسط ۱۰°C (برحسب W/m.k)											
	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

نکته۱ : ضخامت‌های داده شده برای کانالهای عمودی می‌باشند، اما برای کانالهای افقی هم کافی هستند.

نکته۲ : ضرایب سطح برای بهره‌گرمایی (برحسب $w\backslash m^2$) بصورت زیر در نظر گرفته می‌شوند:

پایین	۲/۷۵
متوسط	۵/۰۲
بالا	۷/۲۹

۵ ـ۵ ـ 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.

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

٦ ـ صرفه‌جویی حاصل در انرژی و هزینه در اثر عایق‌کاری ـ محدودیت‌های یک تجزیه و تحلیل ساده

با توجه به قیمتهای کنونی سوخت و هزینهٔ عایق کاری، هر ضخامت پیشنهای محاسبه شده بر مبنای اقتصادی ، به میزان کافی زمینه‌های حدود دمای سطح را در بر می‌گیرد.

به عنوان مثال، بازای دمای سطح داغ ۱۰۰°C و ۲۵ mm سیلیکات کلسیم بر روی لوله‌ای با قطر داخلی ۱۵۰mm، دمای سطح عایق حدود ۳۰°C خواهد بود. در انتهای دیگر درجه‌بندی دما، برای همان لوله بازای دمای سطح داغ ۷۰۰°C و ضخامت ۱۰۰mm از سیلیکات کلسیم ، دمای سطح عایق حدود ۶۰°C خواهد بود. در هر دوی این دماها، دمای محیط ۲۰°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 محاسبهٔ 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[1] . در این گونه موارد، تعیین ضخامت بهینهٔ 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

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

جدول ۱۵: ضخامت اقتصادی عایق برای لوله‌کشی و تجهیزات فرآیند

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

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com

ادامه جدول ۱۵

قطر خارجی لوله فولادی (برحسب mm)	دمای طرف داغ در دمای متوسط (بر حسب °C) (با هوای ساکن محیط در +۲۰°C)																			
	+۴۰۰			+۵۰۰			+۶۰۰			+۷۰۰										
	رسانایی حرارتی در دمای متوسط (بر حسب W/m.k)																			
	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۱
	ضخامت عایق (بر حسب mm)																			
۱۷/۲	۶۲	۶۹	۷۴	۷۹	۸۳	۷۶	۸۱	۸۶	۹۱	۹۵	۸۹	۹۳	۹۸	۱۰۳	۱۰۷	۹۶	۱۰۲	۱۰۹	۱۱۳	۱۱۹
۲۱/۳	۶۸	۷۳	۷۸	۸۳	۸۸	۸۱	۸۶	۹۱	۹۶	۱۰۱	۹۳	۹۸	۱۰۴	۱۰۸	۱۱۳	۱۰۵	۱۱۰	۱۱۵	۱۲۰	۱۲۵
۲۶/۹	۷۳	۷۸	۸۳	۸۹	۹۳	۸۷	۹۲	۹۸	۱۰۳	۱۰۷	۱۰۰	۱۰۵	۱۱۰	۱۱۵	۱۲۰	۱۱۳	۱۱۸	۱۲۳	۱۲۸	۱۳۳
۳۳/۷	۷۶	۸۱	۸۷	۹۲	۹۷	۹۰	۹۵	۱۰۰	۱۰۶	۱۱۱	۱۰۳	۱۰۸	۱۱۲	۱۱۹	۱۲۳	۱۱۶	۱۲۱	۱۲۷	۱۳۲	۱۳۷
۴۲/۴	۸۳	۸۹	۹۶	۱۰۲	۱۰۷	۹۹	۱۰۵	۱۱۱	۱۱۷	۱۲۳	۱۱۴	۱۲۰	۱۲۶	۱۳۲	۱۳۷	۱۲۸	۱۳۳	۱۴۰	۱۴۵	۱۵۲
۴۸/۳	۸۷	۹۳	۱۰۰	۱۰۶	۱۱۳	۱۰۳	۱۰۹	۱۱۶	۱۲۲	۱۲۸	۱۱۹	۱۲۵	۱۳۲	۱۳۸	۱۴۴	۱۳۳	۱۴۰	۱۴۶	۱۵۲	۱۵۸
۶۰/۳	۹۲	۱۰۱	۱۰۸	۱۱۵	۱۲۱	۱۱۱	۱۱۸	۱۲۵	۱۳۲	۱۳۸	۱۲۸	۱۳۵	۱۴۲	۱۴۹	۱۵۵	۱۴۴	۱۵۱	۱۵۸	۱۶۵	۱۷۲
۷۶/۱	۹۹	۱۰۶	۱۱۳	۱۲۱	۱۲۷	۱۱۷	۱۲۴	۱۳۲	۱۳۹	۱۴۵	۱۳۵	۱۴۲	۱۴۹	۱۵۶	۱۶۳	۱۵۲	۱۵۹	۱۶۶	۱۷۳	۱۸۰
۸۸/۹	۱۰۳	۱۱۰	۱۱۸	۱۲۶	۱۳۳	۱۲۳	۱۳۰	۱۳۸	۱۴۵	۱۵۲	۱۴۱	۱۴۸	۱۵۶	۱۶۳	۱۷۰	۱۵۹	۱۶۶	۱۷۳	۱۸۱	۱۸۹
۱۰۱/۶	۱۰۶	۱۱۴	۱۲۲	۱۳۰	۱۳۸	۱۲۶	۱۳۳	۱۴۱	۱۴۸	۱۵۷	۱۴۵	۱۵۳	۱۶۱	۱۶۸	۱۷۷	۱۶۴	۱۷۲	۱۸۰	۱۸۷	۱۹۵
۱۱۴/۳	۱۰۹	۱۱۶	۱۲۵	۱۳۳	۱۴۰	۱۲۹	۱۳۷	۱۴۵	۱۵۳	۱۶۰	۱۴۹	۱۵۷	۱۶۵	۱۷۳	۱۸۱	۱۶۷	۱۷۵	۱۸۳	۱۹۱	۱۹۸
۱۳۹/۷	۱۱۶	۱۲۳	۱۳۲	۱۴۱	۱۴۹	۱۳۸	۱۴۶	۱۵۵	۱۶۳	۱۷۱	۱۵۸	۱۶۷	۱۷۵	۱۸۳	۱۹۰	۱۷۹	۱۸۷	۱۹۵	۲۰۳	۲۱۱
۱۶۸/۳	۱۲۳	۱۳۲	۱۴۱	۱۵۱	۱۵۹	۱۴۹	۱۵۸	۱۶۷	۱۷۵	۱۸۳	۱۹۰	۱۹۸	۲۰۶	۲۱۴	۲۲۱	۲۰۵	۲۱۳	۲۲۱	۲۲۸	۲۳۷
۲۱۹/۱	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۱	۱۶۱	۱۷۱	۱۶۰	۱۶۹	۱۷۸	۱۸۶	۱۹۵	۲۰۲	۲۱۰	۲۱۸	۲۲۶	۲۳۳	۲۱۳	۲۲۱	۲۳۰	۲۳۸	۲۴۵
۲۳۳/۵	۱۳۵	۱۴۵	۱۵۶	۱۶۵	۱۷۵	۱۶۴	۱۷۳	۱۸۲	۱۹۱	۲۰۰	۲۰۷	۲۱۵	۲۲۳	۲۳۱	۲۳۸	۲۱۸	۲۲۶	۲۳۵	۲۴۳	۲۵۰
۲۷۳	۱۳۹	۱۴۹	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۶۹	۱۷۸	۱۸۸	۱۹۸	۲۰۷	۲۱۴	۲۲۳	۲۳۱	۲۳۹	۲۴۶	۲۲۵	۲۳۳	۲۴۱	۲۴۸	۲۵۸
۳۲۳/۹	۱۴۲	۱۵۳	۱۶۳	۱۷۳	۱۸۳	۱۷۱	۱۸۱	۱۹۲	۲۰۲	۲۱۲	۲۱۹	۲۲۹	۲۳۸	۲۴۶	۲۵۳	۲۳۲	۲۴۰	۲۴۸	۲۵۷	۲۶۴
۳۵۵/۶	۱۴۶	۱۵۷	۱۶۸	۱۷۸	۱۸۸	۱۷۷	۱۸۷	۱۹۷	۲۰۷	۲۱۶	۲۲۴	۲۳۳	۲۴۱	۲۴۹	۲۵۷	۲۳۶	۲۴۴	۲۵۲	۲۶۱	۲۶۸
۴۰۶/۴	۱۴۹	۱۶۰	۱۷۱	۱۸۱	۱۹۲	۱۸۱	۱۹۲	۲۰۲	۲۱۲	۲۲۱	۲۲۹	۲۳۸	۲۴۶	۲۵۴	۲۶۲	۲۴۱	۲۴۹	۲۵۷	۲۶۵	۲۷۳
۴۵۷	۱۵۳	۱۶۵	۱۷۶	۱۸۷	۱۹۸	۱۸۷	۱۹۸	۲۰۹	۲۱۹	۲۲۸	۲۳۶	۲۴۵	۲۵۳	۲۶۲	۲۷۰	۲۴۸	۲۵۷	۲۶۵	۲۷۳	۲۸۱
۵۰۸	۱۵۸	۱۶۸	۱۷۹	۱۹۱	۲۰۳	۱۹۱	۲۰۳	۲۱۴	۲۲۴	۲۳۳	۲۴۱	۲۵۰	۲۵۸	۲۶۷	۲۷۵	۲۵۳	۲۶۲	۲۷۰	۲۷۸	۲۸۷
بیش از ۵۰۸	۱۵۸	۱۷۱	۱۸۲	۱۹۵	۲۰۵	۱۹۵	۲۰۷	۲۱۸	۲۲۹	۲۳۸	۲۴۶	۲۵۵	۲۶۳	۲۷۲	۲۸۰	۲۵۸	۲۶۷	۲۷۵	۲۸۳	۲۹۲
شامل سطوح صاف																				

نکته: در ضخامت‌های مربوط به نوع تیره[1]، دمای سطح خروجی چنانچه یک سطح با قابلیت انتشار کم (مانند فلز شفاف) استفاده شود از $50^{\circ}c$ تجاوز پیدا می‌کند.

۷ ـ پوشش‌ها

در عایق‌کاری از پوشش به منظور تأمین حفاظت و تقویت و تا اندازه‌ای کمتر، جهت زیبائی 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

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

۱ ـ ۷ ـ پوشش‌ها در فضای بسته

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

- ترکیب سخت‌سفت‌شونده[1]،سیمان‌خردسفت‌شونده[2] و گچ سولفات کلسیم
- ترکیب سخت – سفت‌شونده ساخته شده از خاک‌رس، برروی عایق‌های از پیش شکل داده شده یا عایقهای پلاستیکی که در خشک‌کن‌های گرمایشی استفاده می‌شود. سیمان خود سفت شونده، یک ترکیب هیدرولیکی است و برروی عایق از پیش شکل‌داده 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 $50^{\circ}c$ تجاوز کند.
- منسوجات[3]

ـ نوارها و پارچه‌های سبک‌وزن

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

ـ پوشش پارچه‌ای سنگین

این مواد شامل لایه‌ای از پارچهٔ کتانی 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[4]

صفحات پلاستیک ممکن است صلب یا انعطاف‌پذیر باشند.

ـ پلاستیک‌های صلب

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

ـ پلاستیک‌های قابل‌انعطاف 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

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

- خمیرها[1] و روکش‌ها[2]

این مواد می‌توانند امولسیون‌های آبی، حلال یا بدون حلال باشند و بسته به پیشنهاداتی‌که از طرف کارفرما در مورد ایمنی مطرح می‌شود (مثال: بخارهای حلاّل) 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 $5^{\circ}c$ 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 ازخوردگی، 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 یوده و می‌تواند به آسانی آسیب ببیند. باید توجه شود که پوشش با مواد عایقی که در تماس با آن می‌باشد، سازگار باشد.

۲ ـ ۷ ـ 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

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

- 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 برروی 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 ـ ۷ ـ 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 ـ تجارب مفید عملی

در طراحی و پیاده سازی عایق حرارتی ملاحظات عملی باید در نظرگرفته 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 کارآیی کمتر برخوردار می‌باشد.

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

۱ ـ ۸ ـ چه وقت نیاز به عایق‌کاری است؟

بطور کلی، تمام سطوح داغ بالای $۶۰^{\circ}c$ و اکثر سطوح داغ بالای $۵۰^{\circ}c$ باید عایق‌کاری شوند. عایق‌کاری بسیاری از سطوح زیر $۵۰^{\circ}c$ نیز بویژه از نقطه نظر صرفه‌جویی در هزینه، توجیه‌پذیر است. این سطوح علاوه بر لوله‌کشی و سایر تأسیسات شامل شیرها و فلانج‌ها نیز می‌شوند.

لوله‌های منتقل‌کنندهٔ آب سرد و سایر تجهیزات تبرید، باید به منظورجلوگیری از میعان و بهره گرمایی عایق‌کاری شوند.

۲ ـ ۸ ـ کاربرد عایق‌کاری

نحوه بکارگیری عایق، به اندازهٔ اهمیت خواص حرارتی‌اش می‌باشد. استفاده نادرست از عایق می‌تواند 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 می‌گیرد در نظرگرفته 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 باقی‌گذاشته نشوند. برای این منظور می‌توان از عایق‌هائی‌که قابل برداشت باشند استفاده نمود.
- هیچ اتصال بازی نباید در عایق وجود داشته باشد. در صورت ضرورت باید همپوشانی دولایه عایق انجام گیرد.
- حتی‌الامکان اتلاف گرما از طریق هدایت به نگهدارنده‌ها از بین برود. استفاده از نگهدارنده‌های عایقکاری شدهٔ لوله، باید مورد توجه قرار گیرد.
- نظارت مناسب، مثلاً توسط پیمانکاران متخصص عایقکاری در زمان نصب فراهم آید. غالباً چون عایق در شرایط نامطلوب بکار می‌رود، نمی‌تواند 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، بگونه‌ای که بتوان زمان نصب کردن را حداقل و از خطرات احتمالی‌کاست.

۱ ـ ۲ ـ ۸ ـ جنبه‌های ایمنی

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

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

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 ـ ۸ ـ ملاحظات کلی

ضروری است که عایقکاری حرارتی برای تأسیسات و تجهیزات در مراحل اولیه طراحی مد نظر قرارگیرد، 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 نظرگرفته 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 ـ عایق‌کاری تأسیسات و تجهیزات

۱ ـ ۹ ـ تأسیسات دیگ بخار

معمولاً عایقکاری تأسیسات دیگ بخار بطورکامل و کافی توسط سازندهٔ 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 برسطح خارجی پوستهٔ دیگ بخار سوار می‌شوند و همراه با یک پوشش مناسب بمنظورجلوگیری 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 وکارآ 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.

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

۲ ـ ۹ ـ لوله‌ها

شـاید عایقکاری لوله معمولترین شکـل عـایقکاری مـورد اسـتفاده در صنعت باشد. قطعات عایقی پیش‌سـاخته، نصب را تسهیل مـی‌بخشد. اطـلاعات مربوط به ضـخامت عـایق، در ایـن کتابچه برای نـمونه قیمت‌های سـوخت و هزینه‌های نصب بیان شده‌انـد (قسمت ۵ مـلاحظه شود)، امـا ایـن اطـلاعات ممکن اسـت بسـته بـه مـوقعیت تغییرکنند و پـیشنهاد مـی‌شود کـه مـوارد، بـطور مجزا ارزیابی شوند.

توجه به عایقکاری فلانج‌ها و شیرها حائز اهمیت می‌باشد. قـطعات عـایقی پـیش‌سـاخته کـه بـه آسـانی قابـل برداشت بوده و برای این عناصر ساخته شده‌اند نیز، وجود دارند.ایده‌آل آن است که ضـخامت‌هـای عـایق بـر روی فلانج‌ها و شیرها به اندازه ضخامت عایق روی لولهٔ رابط باشد، با این حال این کار ممکن است به دلیل محـدودیت فضا و سایر عوامل، عملی نباشد.

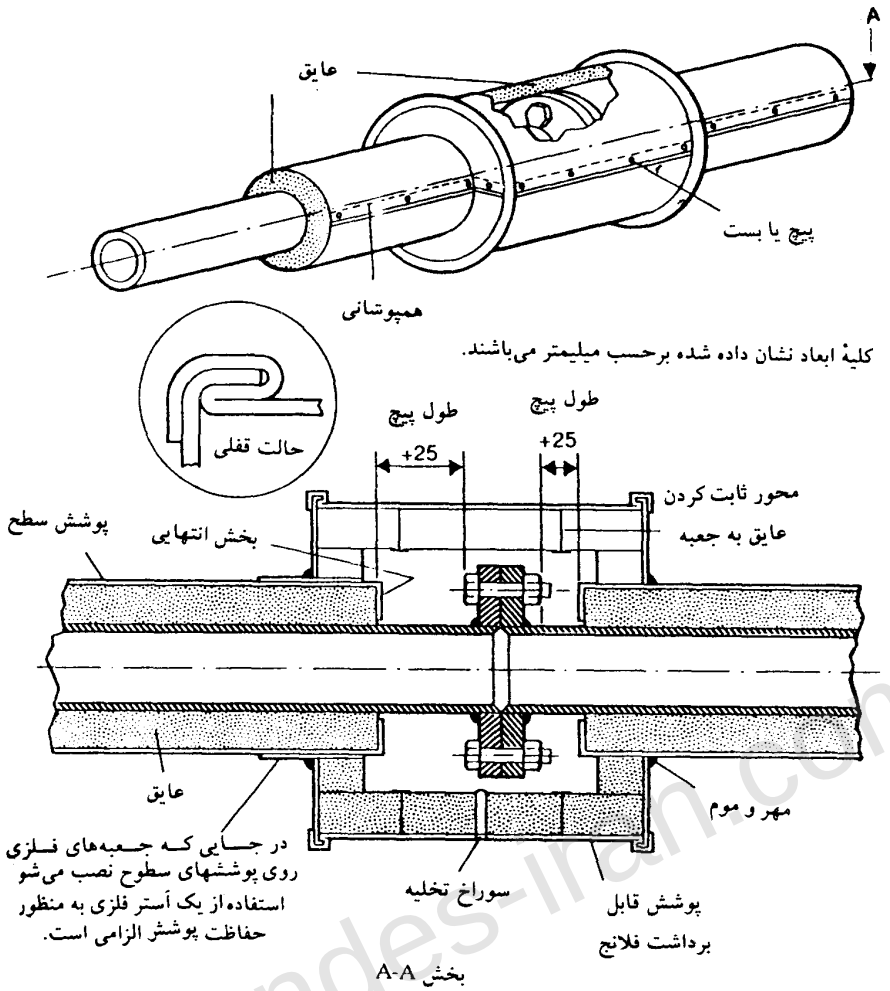
برای نشان دادن میزان اتلاف گرما از فلانج‌ها و شیرها همین بس که یک شـیر عایق‌بندی نشده، اتـلاف‌گرمـایی معادل اتلاف‌گرمایی طول ۱ متر از لوله عایق‌نشده دارد و یک فلانج عایق‌بندی نشده، نصب این مقدار گرما را تلف می‌کند. یک روش نمونه برای عایق‌کاری یک فلانج در شکل ۱ نشان داده شده است.

همانگونه کـه در بـخش پـیش اشـاره شـد، لوله‌هـا مـی‌توانند از طریق نگهدارنده‌هایشان نیز گرما تلف کننـد و این نگهدارنـده‌ها بـاید عـایقکاری شـوند. روشهای پیشنهادی در شکل‌های ۳،۲ و ٤ نشـان داده شده‌اند.

مسائل مرتبط با لوله‌های انتقال مایع در دماهای کم محیط و نرخ پائین دبـی در بخـش‌هـای ۲-۲ و ۳- ۵ مـورد بحث قرارگـرفتند. پیشنهاد مـی‌شود کـه در چـنین شرایطی به سیستم مقدار کـمی گـرما داده شـود. در مـورد سـوخت‌های سـنگین مختص دیگ‌های بخار که در دماهای پایین دارای ویسکوزیته بسیار بالا می‌باشـند آنچنانکـه قابلیت پمپ شدن آنرا تحت تاثیر قرار می‌دهد نیز، نیاز مشابهی پدید می‌آید. هنگامی که دیگ بخار در حال احتراق است، گرم‌کننده خـروجی یـا خط بایستی به حدکافی بتواند سوخت را به دمای مناسب برای پمپ شدن برساند، با اینحال معمولاً گرمایش جانبی درمرحله اول ضرورت دارد. یک روش معمول برای عایقکاری لوله‌هائی‌کـه بوسـیلهٔ بخارگرم می‌شوند در شکل ۵ نشان داده شده است.

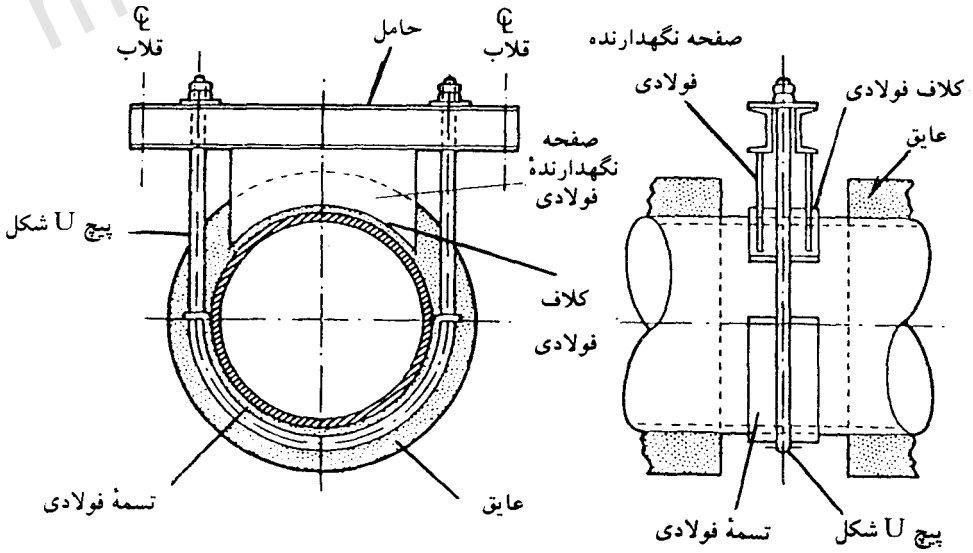
باید بخـاطر داشـت کـه ممکـن اسـت عـایق بـه نگاهدارنـده احتیـاج داشـته بـاشد لولـه‌کشـی عمـودی بـه نگاهدارنـده‌های اضـافی بـرای عـایقکاری قسمت فـوقانی زانوها، فلانج‌ها و شیرها نیاز خـواهـد داشت. در مورد فلانج‌ها و شیرها، بـاید نگهدارنده‌ها چنان نصب‌گردند تا امکان دستیابی آسان را بـرای تعمیـر فـراهم نماینـد. ایـن نگهدارنده‌ها باید به لوله جوش داده شوند و ممکن است مـیله، نبشی یـا داربست‌هایی با طول کـافی بطـوری کـه تا ۱۵mm زیر سطح عایق برسد، باشند.

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com



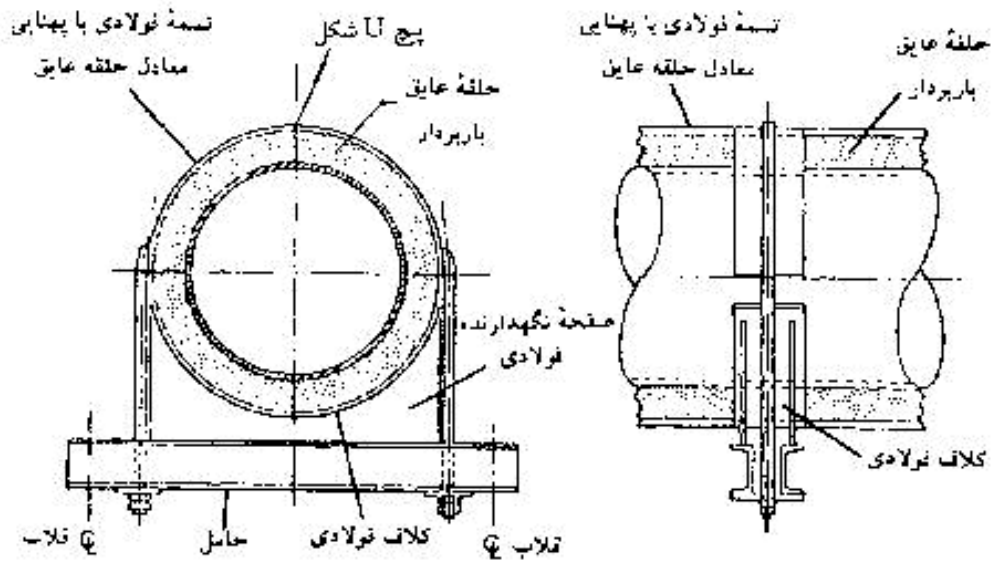
شکل ۱: روش عایق‌کاری فلانج‌های لوله (عایق‌کاری داغ)

نکتهٔ ۱ : عایقی که برای برداشتن و جابجایی آسان مجموعه قرار است به بخش‌های جعبه‌ای محکم شود.

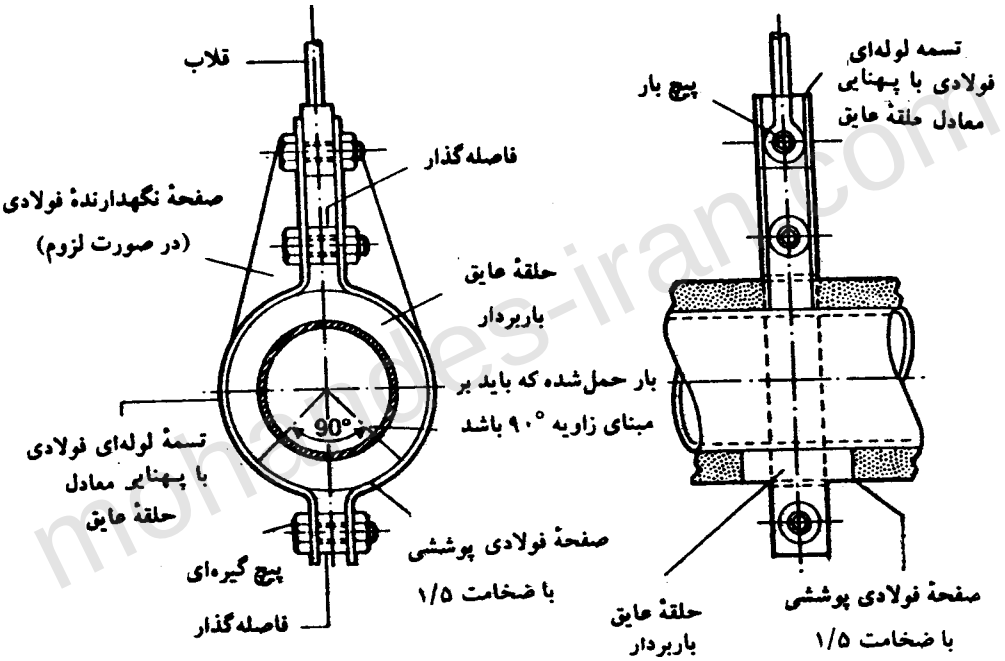


شکل ۲ : نگهدارنده U شکل معکوس، اتصال مستقیم

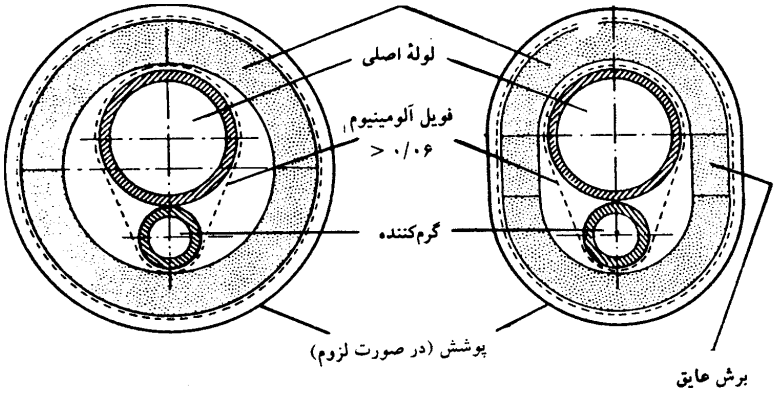
http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com



شکل ۳ : نگهدارندهٔ U شکل با استفاده از حلقهٔ عایق‌کننده

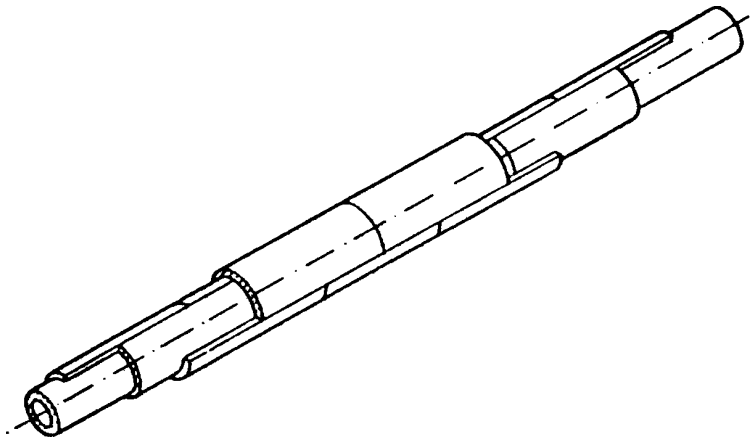


شکل ٤ : تسمه دو تکه، با استفاده از حلقهٔ عایق‌کننده



شکل ۵: روش نمونه عایق‌کاری لوله‌هایی که به وسیله بخار گرمادهی می‌شوند

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com



شکل ٦: 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 ٤٥٠ mm (حداکثر) و نه کمتر از ۵۰ mm از انتهای هر بخش قرار داده شده‌اند.

موقعی که ضخامت عایق از ٦٥ 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 ٦ نشان داده شده است. برای فواصلی که با دمای کار تغییر می‌کنند، ممکن است اتصالات انبساطی[1] لازم باشند تا عایق‌کاری پیوسته‌ای را در تمام محدودهٔ 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 ـ ۹ ـ 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

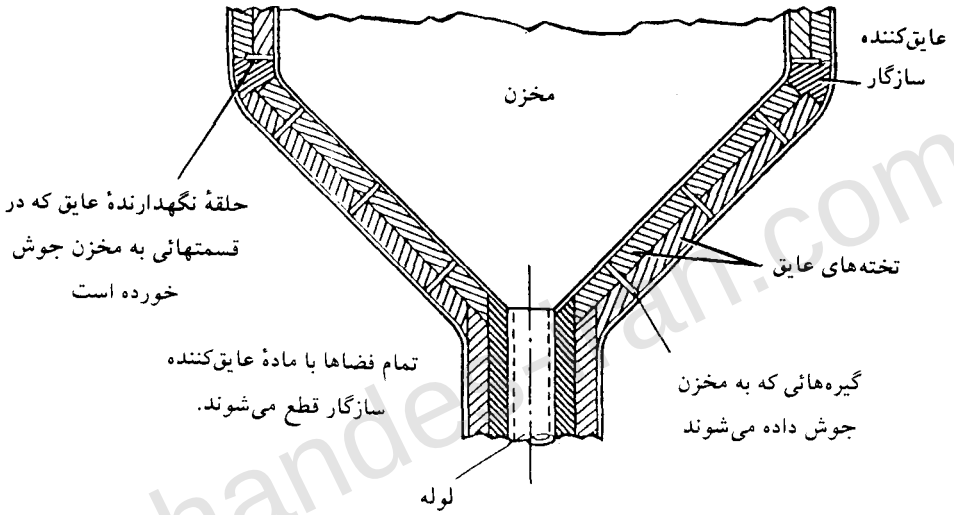
[1] Expansion joints

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

منظور نگهداری عایق‌کاری مخازن و ستون‌هایی که در معرض باد هستند باید ملاحظات ویژه‌ای در نظرگرفته شود.

ممکن است انتخاب سطح عایق‌کاری 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 وگوناگونی شکل مخازن دلالت بر این دارد که بیشترین عایق‌کاری باید بکارگرفته 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 تجارتی آن وجود دارد بر روی سطح مایع، کمینه شود.



شکل۷: روش نمونه برای عایق‌کاری مخازنی که دارای انتهای مخروطی هستند

بعنوان مثال، یک لایه از توپ‌هاکه۹۱٪ سطح مایع را بپوشاند، انرژی لازم برای نگاهداشتن دمای مایع مخزن درمیزان ۹۰°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.

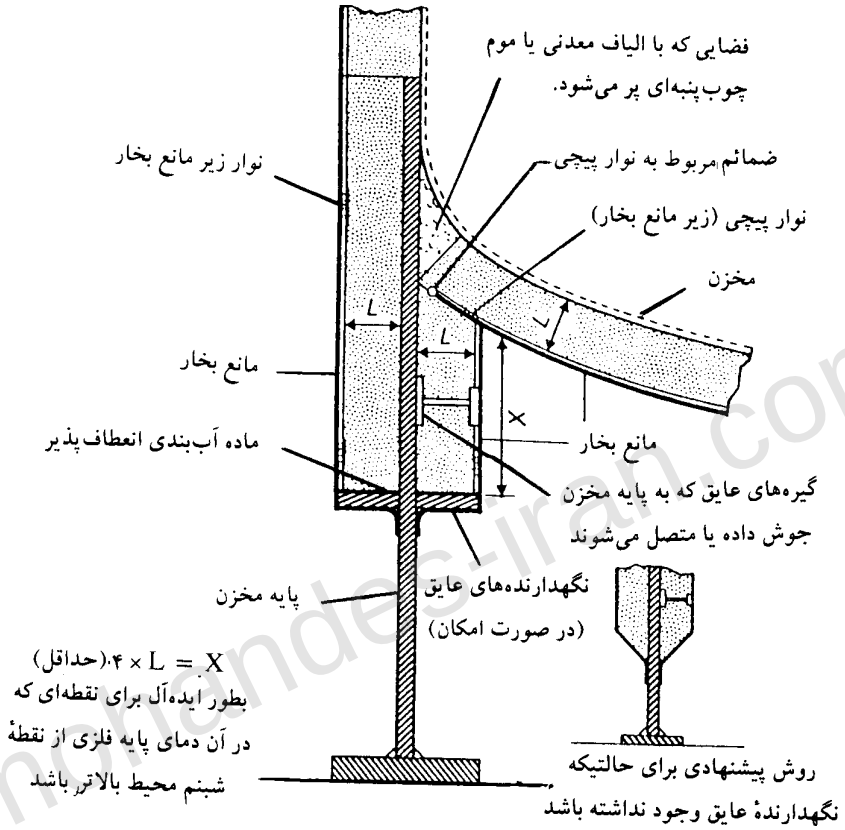
٤-۹-کانال‌ها و دودکش‌های گاز داغ

به دو دلیل عمده، ممکن است عایق‌کاری 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 دمائی 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

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

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 ازنوع چگالی کم، همچون فیبرهای معدنی چگالی‌کم باشد. اما درجایی‌که انتظار فرسودگی یا بارگذاری شدید می‌رود، موادی مثل سیلیکات کلسیم یا فیبرهای معدنی چگالی بالا باید استفاده شوند.



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

۵-۹-کوره‌ها[1] و تنورها[2]

عایق‌کاری تنورها و کوره‌ها پیچیده‌تر از عایق‌کاری اقلام 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.

[1] Furnace
[2] Kilns

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

- 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[1] 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. درکوره‌هایی‌که بطور مداوم مشغول کارند، اتلاف‌گرما از طریق دیواره‌ها در دمای کامل کار، بسیار بزرگتر از انرژی مورد نیاز برای گرم‌کردن جرم کوره می‌باشد. درکوره‌هائی که بطور متناوب کار می‌کنند، اتلاف‌گرمای ذخیره شده درجرم 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 کوره‌هایی‌که متناوباً بکار گرفته می‌شوند لازم است که بدون صرفنظر کردن از تلفات در سطح خارجی، اتلاف ذخیره‌سازی گرما تقلیل داده شود.

به عنوان مثال، یک‌کوره با دیواره آجری که بطور مداوم در حال‌کار بوده و دارای دیواره‌های با ضخامت نامی ۲۳۰mm و دمای دیوارهٔ داخلی ۱۱۰۰°C می‌باشد به مقدار ۵/۳ Kw/m^2 تلفات خواهد داشت. بازای ضخامت نامی ۱۰۰mm از عایق، اتلاف‌گرما به ۱/۲ Kw/m^2 تقلیل داده خواهد شد و بازای عایق ۲۰۰ mm، اتلاف با ۶۶۰ 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 بکارگرفته 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 بوسیلهٔ 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 قرارگیرد. گرادیان[2] (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 ۲۰۰mm، 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 عمدهٔ آجرها به

[1] Convection
[2] Gradient

http://www.mohandes-iran.com
mohandes-iran.com

اندازه‌ای کم است که می‌توانند در مقابل شرایط فوق دوام آورند، تقلیل گرادیان 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 تأمین‌کنندهٔ کوره یا جسم دیرگداز مشورت نمود.

انرژی مصرفی جهت گرم کردن یک کوره مطابق با طبیعت کاری کوره تغییر می‌کند. گر چه 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 لایهٔ ۱۰۰ mm عایق خارجی، حرارت ذخیره شده را تا حدود ٦٠٪ بالا می‌برد. این روش، برای صرفه‌جویی در انرژی در کورهٔ 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 جایی‌که استحکام یا مقاومت بیشتری در برابر شرایط محیطی داخلی مورد نیاز باشد، ممکن است سطح عایق بوسیله یک روکش مناسب، تکمیل شود.

mohandes-iran.com
http://www.mohandes-iran.com
مهندس ایران
mohandes-iran.com