فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering

اصول لوله های گرمایی، ساخت آنها و کاربردها برای انتقال گرما در دماهای بالا

حامد حسین زاده[۱]، بهزاد زنجانی نژاد[۲]

[۱]دکتری مهندسی انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات و تهران
H.hoseinzade@srbiau.ac.ir
[۲] دکتری مهندسی انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
zsahand@yahoo.com

چکیده

لوله گرمای یوسیله ای است برای انتقال حرارت که امروزه استفاده ازآن، کاملا تجاری شده است. این وسیله بیشتر به صورت وسیله بازیافت انرژی حرارتی اتلافی مطرح شده است به این دلیل که دارای بازده بالا و حجم کمی بوده و نیز ایجاد آلودگی هم نمی کند . در این مقاله مواردی همچون تاریخچه، ساختمان وکارکرد لوله ی گرمایی، ملاحظات ساخت و نگهداری یک لوله ی حرارتی، کاربردها و کاربردهای نمونه‌ای، کاربرد نمونه ای تهویه ی مطبوع، خنک کاری در فضاهای کوچک، انرژی خورشیدی، لوله های حرارتی مدار بسته، دیگر کاربردهای لوله‌های حرارتی در صنعت، اجزاء لوله های گرمایی، مزایای عمومی لوله های گرمایی، محدودیتهای کاربردلوله های گرمایی، انتخاب یک لوله گرمایی، موادی که برای ساخت لوله استفاده می شود و ساختار عمومی فتیله مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی ها نشان می دهد با افزایش قیمت انرژی در کشورهای صنعتی تلاشهای گسترده ای برای توسعه کاربردهای مختلف لوله های گرمائی انجام شده است .

کلمات کلیدی: لوله گرمایی، کاربردها، انتقال گرما، بازیافت انرژی

د.وره: ۲	دریافت مقاله:۱۴۰۲/۰۲/۲۰
شماره: ۱	اصلاحیه مقاله:-
آدرس سایت: nrbste.ir	پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵
ایمیل:kome.e.a.d@gmail.com	انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

۱- مقدمه

لوله گرمای یوسیله ای است برای انتقال حرارت که امروزه استفاده ازآن، کاملا تجاری شده است. این وسیله بیشتر به صورت وسیله بازیافت انرژی حرارتی اتلافی مطرح شده است به این دلیل که دارای بازده بالا و حجم کمی بوده و نیز ایجاد آلودگی هم نمی کند . لوله گرمایی از بعضی جهات شبیه به ترموسیفون می باشد و پرداختن به چگونگی کارکرد این دستگاه قبل از بحث در مورد لوله گرمایی مفید خواهد بود [1] . مقدارکمی آب داخل لوله قرار داده میشود سپس لوله از هوا تخلیه شده و دو سر آن آببندی میگردد. قسمت پائین لوله گرم میشود که این عمل باعث تبخیر آب موجود در لوله میگردد و سپس این بخار به قسمت سرد لوله انتقال می یابد و در آنجا به مایع تبدیل میشود. این مایع حاصل ازمیعان به قسمت گرم لوله باز میگرددکه این بازگشت توسط نیروی جاذبه صورت میگیرد .ازآنجاکه گرمای نهان تبخیرآب عدد بزرگی است مقدار زیادی انرژی گرمایی را میتوان بدین طریق جابجا نمود، درحالیکه اختلاف درجه حرارت کوچکی بیند و انتهای لوله وجود دارد بنابراین این ساختار دارای ضریب انتقال حرارت هدایتی بالا و موثری میباشد. ترموسیفونها برای مدت زمان طولانی است که مورد استفاده قرار گرفته اند و از سیالات مختلف نیز میتوان در این وسیله استفاده کرد .بدلیل کار آئی لوله های گرمائی در شرایط کم جاذبه در فضا ، بیشتر تحقیقات قبلی درباره لوله های گرمائی در زمینه کاربردهای فضائی بوده است . با افزایش قیمت انرژی در کشورهای صنعتی تلاشهای گسترده ای برای توسعه کاربردهای مختلف لوله های گرمائی انجام شده است .

۲- تاریخچه

طراحی و ساخت لوله های حرارتی اولین بار در قرن نوزدهم توسط Perkins در انگلستان معرفی شد و چندین سری از اختراعات آنها تا قرن بیستم ادامه یافت. لوله های گرمائی Perkin از نوع بدون فتیله (ترموسیفون) بودند و حرارت را باایجاد تغییر فاز در یک سیال انتقال می دادند و مشابه با ترموسیفونهای امروزی تحت اثر جاذبه زمین عمل می کردند. فکراولیه ی لوله های حرارتی در ابتدا به وسیله یR.S.Gaugler درسال 1942 پیشنهادشد. اما تا سال 1962 طول کشید تا G.M.Groverمهندسی که درلسآلاموسروی خنککاری سیستمهای تولید انرژی اتمی در فضا کار میکرد ،آنرااختراع کند .درسال ۱۹۶۲ Terefethen ایده لوله گرمائی را در ارتباط با برنامه فضائی مطرح نمود. سپس تحقیقات گسترده ای در سال ۱۹۶۳ همزمان بااختراع مجدد لوله گرمائی توسط Grover درآزمایشگاه ملی Los Alamos در New Mexico آغاز گردید. Grover در سال ۱۹۶۶ عبارت Heat pipe رابدلیل مشابهت باکار Gaugler برگزید. Gaugler در۱۹۶۶ تحلیلهای تئوریک مختصری ازکارهای خود ارائه نمود و بیشتر نتایج تجربی خود درباره لوله های حرارتی استیل با سیالات عامل سدیم ،نقره و لیتیم رامنتشر ساخت [2] .

۳- ساختمان وکارکردلوله ی گرمایی

یک لولهی حرارتی سنتی تشکیل می شود از یک استوانهی خالی دو سر مسدود که از سیال تبخیر پذیری پر شده است .گرما در بخش تبخیر(قسمت داغ لوله) جذب می شود، سیال به جوش می آید و وارد حالت بخار می شود .بخار به سمت دیگر استوانه حرکت می کند .حرارت از بخش بالایی استوانه وارد محیط اطراف می شود در نتیجه با روی دادن میعان، بخار به فاز مایع بر می گردد و به خاطر جاذبه و سنگینی و یا به کمک فتیله(با استفاده از اثر موئینگی)به بخش تبخیر بر میگردد و این به یک چرخه ی مکرر بدل می شود [3] .

۴- ملاحظات ساخت و نگهداری یک لوله ی حرارتی

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

بدنهی یک لوله ی حرارتی باید حتما از یک رسانای حرارتی بسیار خوب ساخته شود تا انتقال حرارت بین محیط اطراف و لوله ی حرارتی با مشکلی روبرو نشود .برای این استفاده دو فلز آلومینیوم و مس بسیار مناسب هستند.

پیش از ساختن یک لوله ی حرارتی به وسیله ی یک پمپ خلاء تمام هوای درون آن مکیده می شود و سیال کاری(مبرد) با توجه به نوع کاربرد و دماهای کاری در آن ریخته می شود .برخی از سیال های رایج برای این استفاده عبارت اند از :آب، اتانول، استون، سدیم و جیوه. درون لوله باید خلاء نسبی برقرار باشد، تا همواره قسمتی از سیال کاری در فاز مایع و قسمت دیگری از آن در فاز بخار قرار داشته باشد. در قسمت داخلی یک لوله ی حرارتی معمولاً یک ساختار فتیله مانند قرار دارد . این ساختار یا از پودر فلز که تا نزدیک نقطه ی ذوب حرارت داده شود ساخته می شود، یا در واقع مجموعه ای از شیارهای موازی با محور لوله است .ساختار متخلخلی از مس، آلومینیوم، فولاد و نیکل نیز می تواند مطلوب باشد .ممکن از مواد دیگری مانند سرامیک ها که سوراخ های ریزتری دارند نیز در ساخت قسمت فتیله ای استفاده شود .در مورد سرامیک ها باید دقت کرد که آن ها برای ثبات نیازمند شبکه های تثبیت کننده ی فلزی هستند .اخیراً توجه بسیاری به فیبر های کربنی به عنوان یک ماد هی فتیله ای خوب جلب شده است .رشته های فیبر کربنی شیارهای ریز طولی زیادی دارند و از فشار موئینگی بالایی برخوردار هستند .آن ها همچنین از نظر شیمیایی پایدار هستند .به نظر میرسد آن دسته از لوله های حرارتی که با موفقیت ساخته شده و فیبرهای کربنی را به عنوان ساختار فتیله ای مورد استفاده قرار داد ه اند، توانایی انتقال حرارت بیش تری دارند .در هر حال مهم این است که این ساختار اثر موئینگی خوبی از خود به نمایش گذارد تا سیال پس از میعان به راحتی به طرف داغ لوله که جاذبه یا هر نیروی شتاب دهنده ی دیگری در جهت بازگشت سیال پس از میعان به سمت داغ لوله عمل کند و برآیند آن بر نیروی کشش سطحی فائق آید، می توان از استفاده از ساختار فتیله ای چشم پوشید.

لوله های حرارتی هیچ جزء متحرکی ندارند .آنها همچنین محتاج تعمیر و نگه داری خاصی نیستند .مشکلی که بروز آن برای هر لوله ی حرارتی محتمل است، نفوذ تدریجی گاز های میعان ناپذیر از جدارهی لوله ی حرارتی به داخل آن است .نفوذ گازهای میعان ناپذیر وقتی اتفاق می افتد که فشار داخل لوله افت کند، نحوه ی دیگر ورود گازهای میعان ناپذیر وجود آنها در ناخالصیهای مواد مورد استفاده در جدار لوله است .این پدیده از بازدهی انتقال حرارت لوله ی حرارتی می کاهد این کاهش بازدهی خصوصاً وقتی بارز می شود که فشار بخار سیال کاری کم باشد. انتخاب مواد برای ساخت یک لوله ی حرارتی به شرایط دمای کاری بستگی دارد .بر این اساس در هر دمایی هر سیالی را نمی توان مورد استفاده قرار داد .در جدول 1 بعضی از سیال ها و دماهای کاری آن ها را می توان مشاهده کرد.

جدول(۱) مبردهای رایج وگسترههای دمایی کارکرد آنها

سیال	جیوه	سدیم	ایندیوم	آب	اتانول	متانول	آمونیاک
حداقل دما	۵۲۳	۸۷۳	۲۰۰۰	۳۰۳	۲۷۳	۲۸۳	۲۱۳
حداکثر دما	۹۲۳	۱۴۷۳	۳۰۰۰	۴۷۳	۴۰۳	۴۰۳	۳۷۳

سیال کاری باید کشش سطحی بالایی داشته باشد، در مقابل حرارت پایدار باشد .گرمای نهان تبخیر آن نیز بالا باشد و لزجت اندکی داشته باشد. از آنجایی که حرارت دادن یک سیال فرار در یک ظرف بسته می تواند خطر ناک باشد، استقامت جداره ی یک لوله ی حرارتی باید به حدی باشد که فشار سیال را در حالی که تمام آن در فاز گاز و در دمای بالا قرار دارد، تحمل کند . از همه مهمتر فشار حداکثر درون لوله ی حرارتی باید با محدود کردن حداکثر جرم سیال مورد استفاده محدود شود .یک روش ساده برای این کار بیان مقدار سیال بر حسب حجم آن در فشار و دمای معین است .بر این اساس اگر بخواهیم آب را که حجمش پس از تبخیر، در فشار یک اتمسفر 1600 برابر می شود در۱ باشد، باید پس از ایجاد خلا در لوله ی حرارتی به اندازه ی۱/۱۶۰۰ حجم آن را با آب پر کنیم .بعد از آن با تبخیر سریع آب تمام حجم لوله ی حرارتی را با فشار یک اتمسفر پر می کند. در صورتی که مثلا تحمل لوله ی حرارتی 5atm باشد، آنگاه می توان ۵/۱۶۰۰ آن را با آب پر نمود .به جای اقدامات

فوق می توان پس از مکیدن هوا از درون لوله بخار مورد نظر را با فشار دلخواه وارد لوله کرد .بسته به کاربرد می توان با تغییر فشار درون لوله به وسیله تغییر جرم سیال، نقطه ی جوش سیال درون لوله را تغییر داد.

کنترل فعال یک لوله ی حرارتی می تواند با اضافه کردن یک مخزن سیال با حجم متغیر به بخش تبخیر کننده و مخزنی از گازهای خنثی به بخش چگالنده عملی شود .در این روش با تغییر فشار مخزن گازهای خنثی، حجم گازی را که وارد بخش چگالنده می شود را تغییر می دهند و این موجب می شود که فضا برای میعان بخار محدود شود .در نتیجه برای یک طراحی واحد، بازه های بزرگتری از دما و انتقال حرارت قابل دسترسی خواهند بود. یک لولهی حرارتی قائم در صورتی که از ساختار فتیله ای استفاده نکند، می تواند به عنوان یک یک سو ساز حرارتی مورد استفاده واقع شود .چنین وسیله ای حرارت را از یک سو عبور می دهد و از سوی دیگر مقابل آن عایق است. باید دقت کرد که یکی از پارامتر های مهم در انتخاب سیال کاری بازهی دمایی مطلوب است .بدیهی است که حدپایین دمای کاری باید چند درجه از دمای انجماد سیال کاری بیشتر باشد.

۵- کاربردها

به طور کلی برای لوله های گرمایی شش کاربرد زیر را می توان در نظرگرفت:

- بازیافت انرژی اتلافی (تولید هوا/ آب گرم توسط خروجی دودکش)
- ارتقای انرژی اکتسابی (کلکتورهای خورشیدی)
- افزایش بازده دفع انرژی (خنک کاری) (قطعات الکترونیکی)
- به طور گسترده در فضاپیما به عنوان وسیله ای برای مدیریت شرایط دمای داخلی
- سیستم های خنک کننده برای راکتور هسته ای
- در سیستم گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع

۵-۱- کاربردهای نمونه‌ای

لوله‌های گرمایی در کاربردهای صنعتی که در زیر می‌آیند به کار برده می‌شوند:

a) فرآیند برای گرمایش محیط:

لوله‌ی گرمایی، انرژی حرارتی از خروجی فرآیند را برای گرمایش تأسیسات انتقال می‌دهد. اگر هم لازم باشد هوای گرم شده نیز با آن مخلوط می‌گردد. نیاز به تجهیزات گرمایشی اضافی به منظور گرمایش شدیداً کاهش می‌یابد با از بین می رود.

b) فرآیند به فرآیند:

مبدل‌های حرارتی لوله‌های گرمایی انرژی گرمایی اتلافی حاصل از اگزوز فرآیند را بازیافت می‌کند و این انرژی را به هوای ورودی فرآیند منتقل می‌کند. هوای ورودی نیز گرم شده و برای ممان فرآیند/ دیگر فرآیندهای قابل استفاده می‌شود و مصرف انرژی فرآیند را نیز کاهش می‌دهد.

c) کاربردهای HVAC :

سرمایش:

مبدل‌های گرمایی لوله حرارتی تأسیسات را در تابستان خنک می‌کند و در نتیجه نیاز به سرما سازی را کاهش می‌دهد، جداً از اینکه باعث صرفه جویی عملیات در سیستم خنک سازی می‌شود. انرژی گرمایی از خروجی خنک سیستم بازیافت شده و به منبع هوای گرم منتقل می‌گردد.

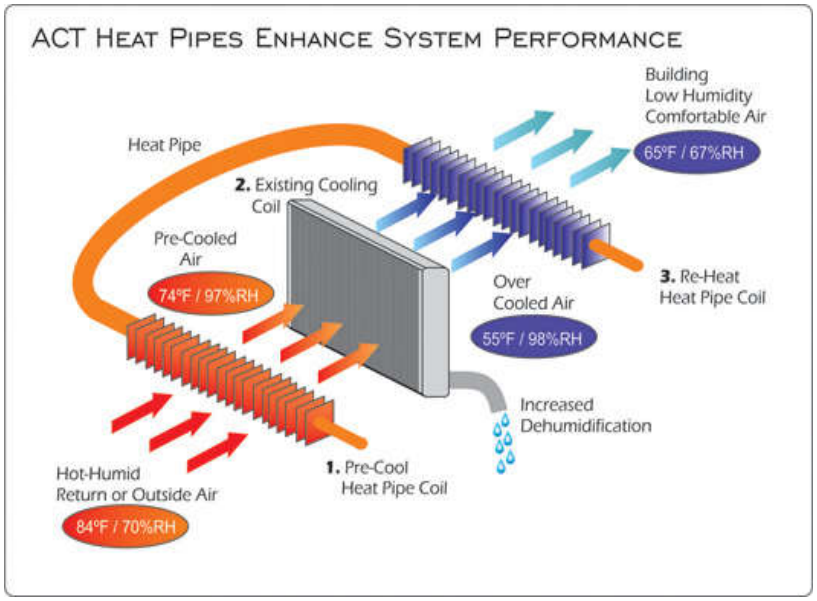
گرمایش:

فرآیند بالا در فصل زمستان بر عکس می‌شود تا هوای ورودی را گرم کند.

۵-۲-کاربرد نمونه ای تهویه ی مطبوع

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

رطوبت زدایی یکی از بخش هایی است که در آن به صورت موثری از لوله های حرارتی استفاده می شود .در شکل 2 نمونه ای از کاربرد لوله های حرارتی را برای رطوبت زدایی از هوای محیط می بینیم .در سیستم شکل 2 لوله های حرارتی برای پیش خنک کردن و پس گرم کردن مورد استفاده قرار می گیرند .حرارتی که در قسمت پیش خنککاری به دسته ی اول لوله های حرارتی داده می شود، موجب می گردد که سیال کاری تبخیر شود .بخار سیال کاری به دسته ی دوم لوله های حرارتی می رود و در آنجا با دادن حرارت به هوای بیش از حد خنک شده، آن را تا دمای مطلوب گرم می کند .این روش بین 50 تا 100 درصد رطوبت گرفته شده از هوا را افزایش می دهد بدون اینکه افزایشی در انرژی مصرفی سیستم روی دهد.

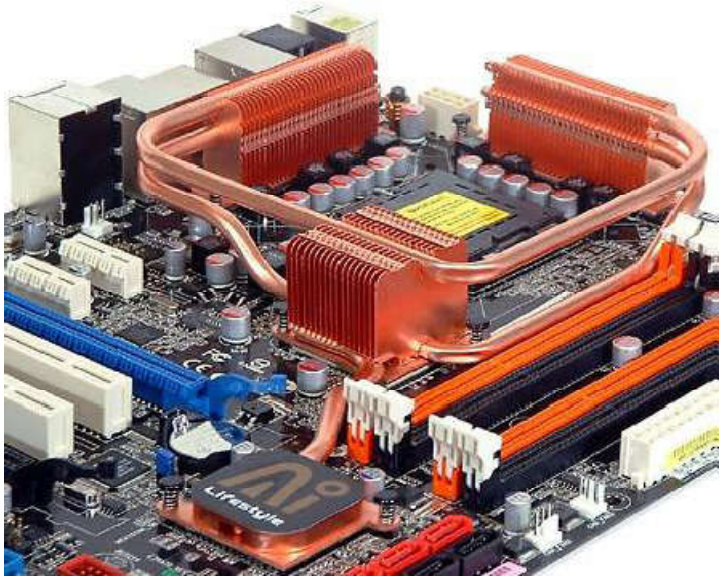


شکل(۱) استفاده ازلوله ی حرارتی درتهویه مطبوع

۵-۳- خنک کاری درفضاهای کوچک

سیستم های کامپیوتری جدید و کامپیوتر های قابل حملCPU از لوله های حرارتی کوچک برای دفع حرارت استفاده می کنند، زیرا امروزه پیشرفت رایانه ها به گونه ای است که در ضمن نمایش قابلیت های بالاتر حرارت بیشتری تولید می کنند.
در ماهواره ها و فضا پیماها نیز استفاده از لول ههای حرارتی کاربرد های گستره ای دارد .این ابزار در این کاربرد بیشتر برای تعادل دمایی ابزار های اندازه گیری و محیط داخلی فضاپیما یا ماهواره مورد استفاده قرار می گیرد.

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »



شکل(۲)نمونه ای از سیستمهای مدرن خنک کاری اجزای رایانه

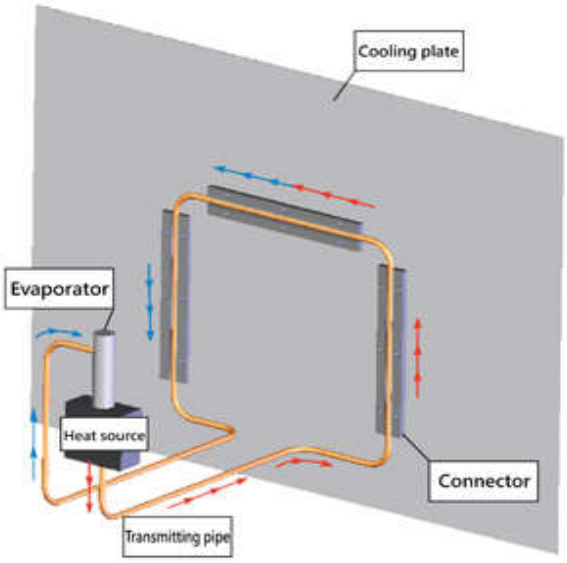
۵-۴- انرژی خورشیدی

لوله های حرارتی به صورت گسترده ای در گرم کردن آب به وسیله ی انرژی خورشیدی به کار برده می شوند .در این کاربری عمدتاً آب مقطر به عنوان سیال کاری مورد استفاده قرار می گیرد .سیال کاری درون یک لوله ی بسته ی مسی قرار می گیرد و این لوله خود درون یک لوله ی شیشه ای که در آن خلا حاکم است به سوی خورشید قرار داده می شود .از مزایای این سیستم افزایش 40 درصدی بازده نسبت به آب گرم کن های خورشیدی سنتی است .جمع کننده های خورشیدی که خلاء درون آن ها حاکم باشد نیازی به مواد ضد یخ ندارند زیرا به خاطر خلاء تا حد خوبی نسبت به محیط عایق هستند .برخی از این گر مکن های خورشیدی تا دماهای پایین در برابر یخ زدگی مقاوم هستند و حتی در قطب جنوب نیز برای گرم کردن آب مورد استفاده قرار می گیرند .لوله های حرارتی مدار بسته نیز بعضاً برای این کاربری به کار برده میشوند.

۵-۵- لوله های حرارتی مدار بسته

یک لوله ی حرارتی مدار بسته 12 مشابه یک لوله ی حرارتی معمولی است با این تفاوت که می تواند در مسافت های دور به خوبی عمل کند. و در مقابل اثر جاذبه موفق ظاهر شود .لوله های حرارتی مدار بسته امروز به صورت گسترده ای چه در زمین و چه در صنایع فضایی کاربرد دارند. یک لوله ی حرارتی مدار بسته ضربانی 13 از یک لوله با ابعاد موئین تشکیل می شود با تعداد بسیاری برگشت های U شکل .دو سر انتهایی این لوله به یکدیگر متصل شده اند .هیچ ساختار موئین دیگری مانند ساختار فتیله ای یک لوله ی حرارتی سنتی درون این لوله ها قرار ندارد .وقتی که هوای درون لوله تخلیه شود و سیال کاری را به درون آن وارد کنیم پس از تبخیر قسمتی از سیال کاری، سیال درون لوله به خاطر کشش سطحی به حباب ها و توده های مایع بدل می شود .حرارت در این مجموعه ی سیال حباب تپنده منتقل می شود. موفقیت در این سیستم به تداوم عدم تعادل بستگی دارد.

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

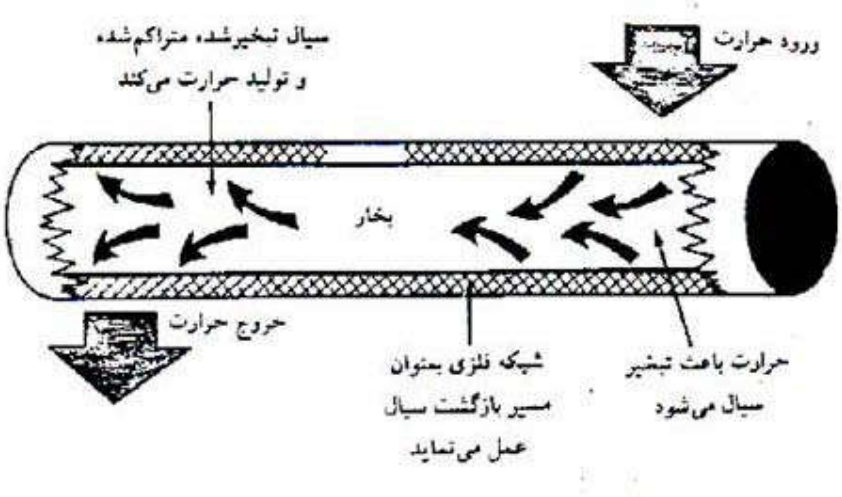


شکل(۳) تصویرشماتیک یک نوع لوله ی حرارتی بسته ضربانی

۵-۶- دیگر کاربردهای لوله‌های حرارتی در صنعت عبارتند از:

- ✯ پیش گرمایش هوای احتراقی جوشاننده
- ✯ بازیافت گرمای اتلافی از کوره‌ها
- ✯ باز گرمایش هوای تازه برای خنک کن‌های هوای داغ
- ✯ باز یافت گرمای اتلافی از تجهیزات بوزدایی کاتالیزوری
- ✯ استفاده‌ی مجدد از گرمای اتلافی کوره به عنوان منبع حرارتی برای دیگر کورها
- ✯ خنک سازی اتاقی‌های بسته با هوای بیرون
- ✯ پیش گرمایش خوراک آب بویلر با بازیافت حرارت اتلافی از گازهای خروجی در لوله‌های گرمایی.
- ✯ اجاق‌های خشک کننده، پخت و عمل آورنده.
- ✯ احیای جریان اتلافی
- ✯ کوره‌های آجر نسوز(بازیافت ثانویه)
- ✯ کوره‌های باز گرداننده(بازیافت ثانویه)
- ✯ سیستم‌های گرمایش، تهویه و خنک سازی هوا

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »



شکل (۴) شمای کلی ترموسیفون

۶- اجزاء لوله های گرمایی

همان گونه که ذکر شد لوله های گرمایی عمدتا از سه قسمت اصلی تشکیل شده اند [4] :

A) سیال عامل
B) ساختار مویین یا شیاری داخلی موسوم به **wick**
C) محفظهٔ آب بندی
سیال عامل که داخل لوله های گرمایی است گرما را از سوی گرم تر دریافت و به طرف سردتر لوله انتقال می دهد .سیال عامل باید دارای ویژگی های زیر باشد:

✯سازگاری با لولهٔ مویین و جنس دیواره

✯پایداری گرمایی مناسب

✯قابلیت مرطوب کردن دیواره و مسیر عبور جریان

✯دارای فشار بخار خیلی بالا یا پائین نباشد

✯گرمای نهان تبخیر بالا

✯هدایت گرمایی بالا

✯گرانروی پائین در حالت بخار و مایع

✯کشش سطحی بالا

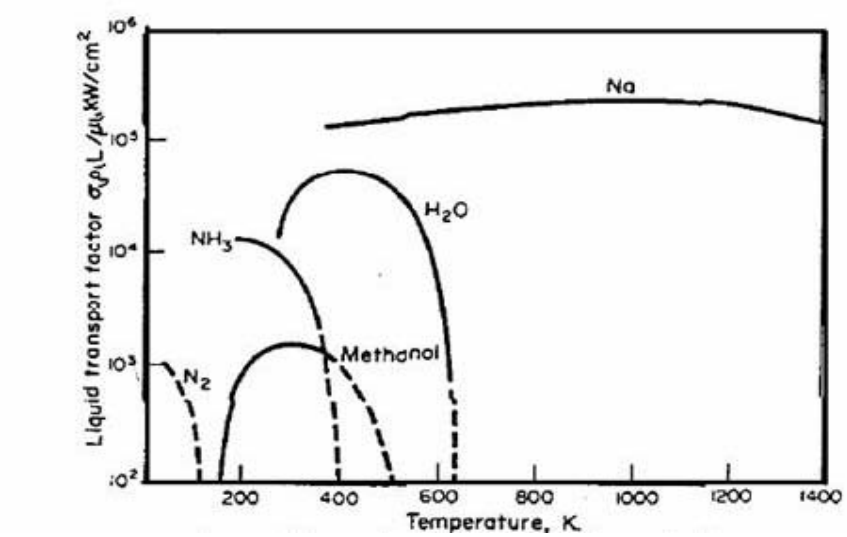
✯نقطه انجماد پائین

✯قیمت مناسب و در دسترس بودن

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

پارامتری که به کمک آن سیال عامل با توجه به ویژگی های بالا انتخاب می شود را عدد مریت گویند:

عدد مریت مربوط به سیالات مختلف در زیر نشان داده شده است.



شکل (۵) نمودار عدد مریت مربوط به سیالات مختلف

معمولا برای درجه دماهای پائین از فریون به عنوان سیال عامل و برای دماهای متوسط از آب و برای دماهای بالاتر از هیدروکربن های آروماتیک استفاده می شود.

دیگر ویژگی لوله های گرمایی که آنها را از ترموسیفون ها جدا می کند ساختارهای مویین (شیارهای) داخلی لوله ها یا به عبارتی فتیله های سیستم هستند که وجود آنها در لوله حرارتی باعث ایجاد فشار موئینگی برای انتقال سیال عامل از چگالنده به تبخیر کننده می گردد.

انتخاب فتیله برای یک لوله گرمایی به عوامل زیادی بستگی دارد که بسیاری از آنها به طور گسترده ای به سیال عامل وابسته است.

هدف اصلی ایجاد فتیله ایجاد فشار موئینگی برای انتقال سیال عامل از چگالنده به تبخیر کننده است .این شیارها همچنین در مکان هایی که انتظار می رود گرما توسط لوله گرمایی جذب گردد باعث پخش مایع در نقاط مختلف تبخیر آننده خواهند شد . پارامترهایی که در انتخاب فتیله ها مفید هستند عبارتند از [7] :

- ✯قطر سوراخ(روزنه)
- ✯ضخامت wick
- ✯سازگاری با دیواره و سیال عامل
- ✯قابلیت مرطوب شدن
- ✯قیمت و در دسترس بودن

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

✯ساختار یکنواخت

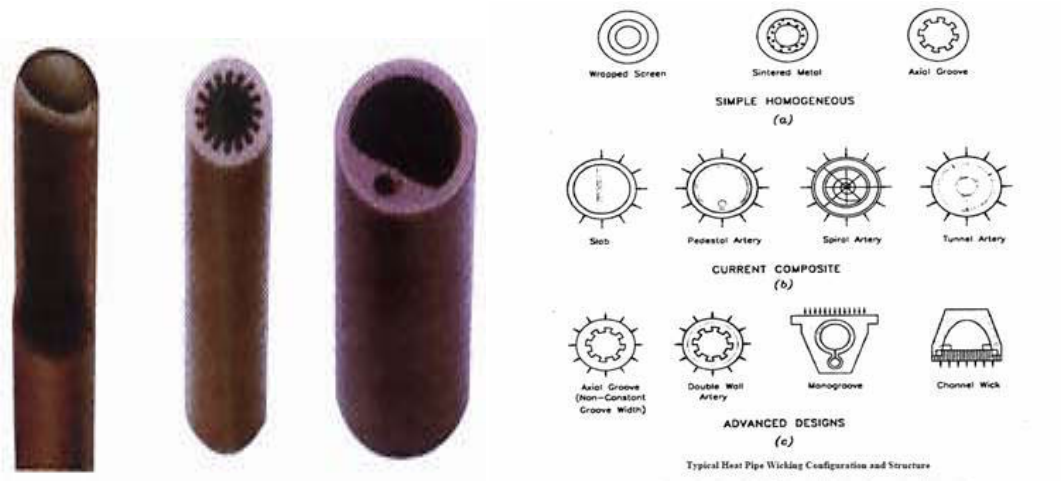
فتیله هایی که در عمل مورد استفاده قرار می گیرند را می توان به سه گروه تقسیم نمود که در شکل نشان داده شده است:

A) پوشش توری یا نمدی که دیواره داخلی محفظه را می پوشاند.

B) لایه متخلخلی که دیواره داخلی را پوشانده و بوسیله آبکاری ایجاد می شود.

C) شیار ایجاد شده در دیواره داخلی در جهت محوری

انواع مختلفی با توجه به نوع جنس ماده استفاده شده موجود می باشند . از آنجا که دستگاههای مختلف دارای ویژگی های گوناگونی هستند، لوله های گرمایی را با توجه به ساختار و محل کاربردشان انتخاب می شوند.



شکل (۶) انواع ساختار wick برای لوله های گرمایی

چنانچه پیش از این گفته شد یکی دیگر از اجزاء عمده سه گانهٔ لوله های گرمایی محفظه آن است که سیال عامل را از محیط خارج جدا می کند و از این رو برای انجام باید به خوبی آب بندی شده و توانایی تحمل اختلاف فشار در راستای دیواره اش را دارا باشد . انتخاب جنس مناسب برای محفظه به عوامل زیر بستگی دار د:

✯سازگاری (با محیط داخلی لوله و شرایط محیطی)

✯نسبت توان به وزن

✯هدایت گرمایی بالا (برای کاهش افت درجه حرارت)

✯ساده بودن ساخت و تولید

✯تخلخل

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

✯قابلیت مرطوب شدن

۷- مزایای عمومی لوله های گرمایی

***قابلیت هدایت بالا :** از آنجا که لوله های حرارتی با یک سیکل بسته دو فلزی کار می کند ظرفیت انتقال حرارت در آنها چندین برابر بیشتر از بهترین مواد جامد هدایت کننده است.

* **انتقال هم دما :** افزایش فشار حرارتی تبخیر کننده باعث افزایش نرخ تبخیر سیال عامل داخلی لوله می گردد، بدون اینکه افزایشی در درجه حرارت سیستم ایجاد شود .بنابراین لوله های حرارتی می تواند تقریبا به عنوان یک ابزار هم دما عمل کرده و تنظیم نرخ تبخیر می تواند دامنهٔ گسترده ای از توانهای ورودی را در بر می گیرد در حالیکه درجه حرارت منابع سرد و گرم سیستم ثابت می مانند.

* **قابلیت اطمینان بالا :** وقتی که جنس مواد بدنه و سیال عامل به درستی انتخاب شده باشند این وسیله برای نرخ بالای انتقال حرارت نیز مورد استفاده قرار می گیرد . این انتخاب باید با توجه به درجه حرارت کاری محیط انجام گیرد.

* **کارکرد خاص :** قدرت و توان خارجی مورد نیاز نیست، به غیر از انرژی لازم برای دمنده های سیال سرد و گرم در سیستم

***تعمیرات و نگهداری کم :** از آنجا که در این وسیله هیچ قسمت متحرکی وجود ندارد نیاز به نگهداری و تعمیرات زیادی هم نخواهد داشت.

***وجود شیارها (فتیله ها)** : در جداره داخلی لوله های گرمایی منجر می شود که تمام سطح داخلی در قسمت تبخیر کننده (اواپراتور) مرطوب گردد که این ویژگی به کمک خاصیت موئینگی انجام می گیرد.

۸- محدودیت های کاربرد لوله های گرمایی

لوله های حرارتی باید همواره برای شرایط خنک کاری خاصی تنظیم شوند .مواد به کار رفته در لوله ی حرارتی چه در مواد دیواره و چه در سیال کاری در تعیین دمای کارکرد بهینه ی لوله ی حرارتی موثرند .وقتی لوله ی حرارتی تا بیشتر از دمای خاصی حرارت داده شود تمام سیال درون آن بخار می شود و میعان سیال در قسمت سرد لوله دیگر اتفاق نمی افتد .در چنین حالتی رسانایی حرارتی لولهی حرارتی تا اندازه ی رسانایی جدار فلزی آن کاهش می یابد .برای مثال اگر جدار لولهی حرارتی مسی باشد در حالتی که بیش از حد گرم شود، رسانایی آن به حدود1/80 مقدار قبلی کاهش می یابد.
برای کارکرد مناسب یک لوله گرمایی باید بیشترین ارتفاع پمپاژ حاصل از خاصیت موئینگی $(\Delta Pc)_{max}$ بیشتر از مجموع افت فشار لوله باشد .این افت فشار از سه بخش تشکیل شده است [5] :

ΔPL : افت فشار مایع که لازم است تا مایع را از بخش چگالنده لوله به تبخیر کننده بازگرداند.

ΔPV : افت فشار در بخار ، که لازم است تا بخار را از تبخیر کننده به چگالنده ببرد.

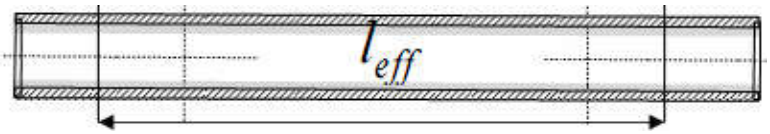
ΔPg : اختلاف ارتفاع (هد) در لوله که ممکن است برابر صفر ، منفی یا مثبت باشد.

$$\Delta P_L + \Delta P_V + \Delta P_g < (\Delta Pc)_{max}$$

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

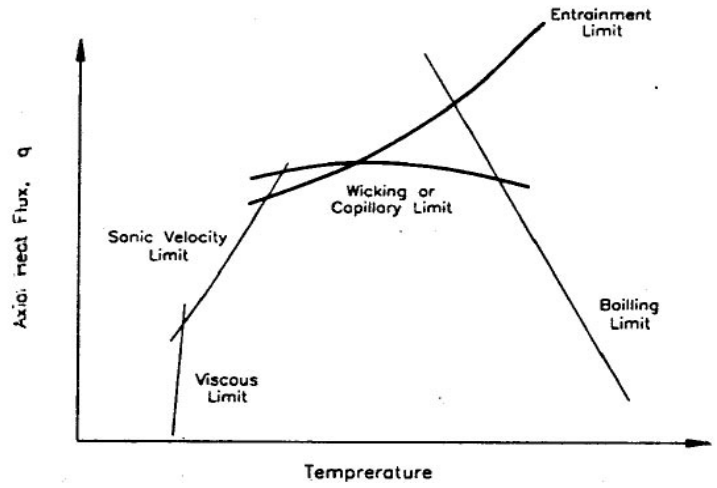
در صورت عدم دستیابی به شرایط بالا فتیله در داخل لوله و در قسمت تبخیر کننده خشک خواهد شد و لولـه گرمـایی کـار نخواهد کرد .

برای محاسبات افت فشار لازم است که طول موثر لوله محاسبه شود. اگر طول لوله را به سه قسمت کندانسور، اپراتور و آدیاباتیک تقسیم کنیم فرمول آن به صورت زیر خواهد بود:



نقطه کاری سیستم باید طوری انتخاب گردد که در زیر سطح نمودارها:

Temperature–Axial heat flux شکل زیر قرار گیرد .این مطلب به اثبات رسیده است کـه اگـر از افـت فشـار بخـار و تغییرات هد چشم پوشی کنیم خواص سیال عامل ، مشخص کنندۀ بیشترین مقدار انتقال حرارت خواهد بود .برای ایـن کـار می توان از عدد مریت **(M)** که تابعی از خواص سیال محاسبه می شود استفاده نمود:



شکل (۹) محدودههای کاری لوله های گرمایی

لوله های حرارتی باید به شرایط خنک کننده خاص تنظیم شده است. انتخاب مواد لوله، اندازه و اثر خنک کننده در درجه حرارت بهینه که در آن شرایط کار می کند دارای اهمیت می باشد.

✯نوع جنس دیواره

بدنه ی یک لوله ی حرارتی بایدحتما ازیک رسانای حرارتی بسیارخوب ساخته شود تا انتقال حرارت بین محیط اطراف و لوله ی حرارتی با مشکلی روبرو نشود .برای این استفاده دو فلزآلومینیوم و مس بسیار مناسب هستند.

✯نوع فتیله

اخیراً توجه بسیاری به فیبرهای کربنی به عنوان یک ماده ی فتیله ای خوب جلب شده است .رشته های فیبرکربنی شیارهای ریز طولی زیادی دارند و از فشار موئینگی بالایی برخوردار هستند.

✯حدمووینگی

این پدیده هنگامی که فشار موینگی ان قدر پایین باشد که مایع کافی از چگالنده به تبخیرکننده نرسد، رخ می دهد و منجر به خشکی تبخیرکننده می گردد.این موضوع چرخه ترمودینامیکی را باز داشته و مانع کارکرد درست لوله گرمایی می شود.

✯ حدجوش

هنگامی رخ می دهد که شدت گرمای شعاعی به سوی لوله گرمایی سبب شود که مایع درون فتیله به نقطه جوش رسیده و در نتیجه تبخیر منجر به خشکی آن گردد.

✯حدجابجایی

درسرعت های بالای بخار قطرات مایع در فتیله ازآن جدا شده و سوی بخار کشیده می شود.در نتیجه خشکی رخ می دهد.

✯حدصوتی

هنگامی که سرعت بخار در تبخیر کننده به سرعت صوت می رسدو هرگونه افزایش اختلاف فشار نرخ جریان را-مشابه پدیده انسداد در نازل ها - افزایش نخواهد داد.این مساله معمولا در ابتدای راه اندازی رخ می دهد.

✯حدگرانروی

دردماهای پایین اختلاف فشار بخار میان تبخیرکننده و چگالنده ممکن است جهت غلبه بر نیروهای گرانروی کافی نباشد .بخار از ناحیه تبخیرکننده به چگالنده حرکت نمی کندو چرخه ترمودینامیکی رخ نمی دهد.

هرکدام از محدودیت های ذکرشده در دامنه ویژه خود مهم می باشد.گرچه در عمل محدودیت های موینگی و جوش دارای اهمیت بیشتری می باشد. در طراحی کاربردی حدود مویینگی و جوش عامل های محدود کننده اصلی می باشند.

۹- انتخاب یک لوله گرمایی

A) بررسی و تعیین پارامترهای زیر:

بار حرارتی و هندسه منبع حرارتی

محل چاه گرمایی، فاصله و جهت گیری نسبت به گرما

مشخصات دمای منبع گرم، چاه گرمایی و محیط

شرایط محیطی مانند وجود گازهای خورنده

B) مواد لوله، ساختار فتیله و سیال عامل:

تعیین سیال مناسب برای استفاده در شرایط مورد نظر

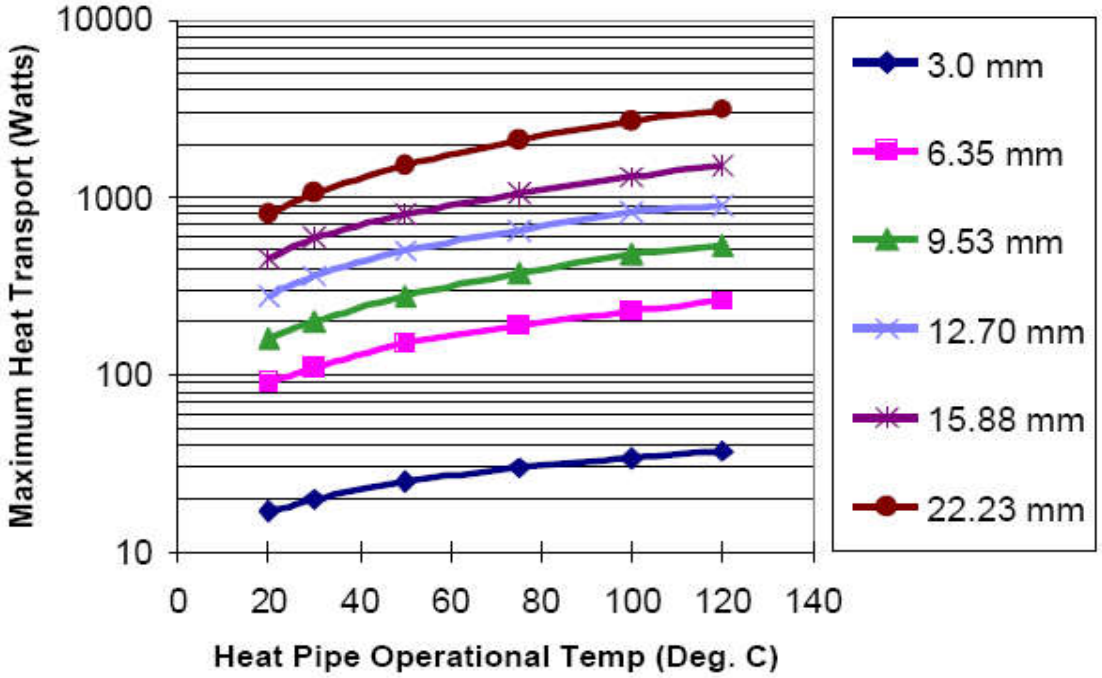
انتخاب مواد لوله سازگار با سیال

انتخاب ساختار فتیله متناسب با عملکرد سیال

C) تعیین طول اندازه و شکل لوله های حرارتی:

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

عملکرد لوله های حرارتی با قطر ۲۲/۲۳-۳ میلی متر



نمودار (۱) عملکرد لوله مسی در حالت عمودی[8]

۱۰- موادی که برای ساخت لوله استفاده می شود

یک سیال خاص تنها می تواند عملکردی در محدوده دمایی خاص داشته باشد. همچنین سیال عامل مخصوص باید با سایر مواد بکار رفته در لوله گرمایی مقایسه شود تا مشکلاتی از قبیل خوردگی مواد بوجود نیاید. زیرا خوردگی باعث ایجاد گازهای مخرب می شود که می تواند و می تواند به لوله آسیب وارد نماید.

جدول (۲) خصوصیات از انواع عملیات در لوله های گرمایی[8]

Table 1. Typical Operating Characteristics of Heat Pipes

Temperature Range (°C)	Working Fluid	Vessel Material	Measured axial[8] heat flux (kW/cm^2)	Measured surface[8] heat flux (W/cm^2)
-200 to -80	Liquid Nitrogen	Stainless Steel	0.067 @ -163°C	1.01 @ -163°C
-70 to +60	Liquid Ammonia	Nickel, Aluminum, Stainless Steel	0.295	2.95
-45 to +120	Methanol	Copper, Nickel, Stainless Steel	0.45 @ 100°C[X]	75.5 @ 100°C
+5 to +230	Water	Copper, Nickel	0.67 @ 200°C	146@ 170°C
+190 to +550	Mercury* +0.02% Magnesium +0.001%	Stainless Steel	25.1 @ 360°C*	181 @ 750°C
+400 to +800	Potassium *	Nickel, Stainless Steel	5.6 @ 750°C	181 @ 750°C
+500 to +900	Sodium *	Nickel, Stainless Steel	9.3 @ 850°C	224 @ 760°C
+900 to +1,500	Lithium *	Niobium +1% Zirconium	2.0 @ 1250°C	207 @ 1250°C
1,500 + 2,000	Silver*	Tantalum +5% Tungsten	4.1	413

8 با دمای متفاوت

X با استفاده از فتیله به صورت شیاری

* تست شده در آزمایشگاه علمی لوس آلاموس

★ مقدار اندازه گیری شده بر اساس رسیدن به حد بخشی از جیوه در لوله

۱۱- ساختار عمومی فتیله

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

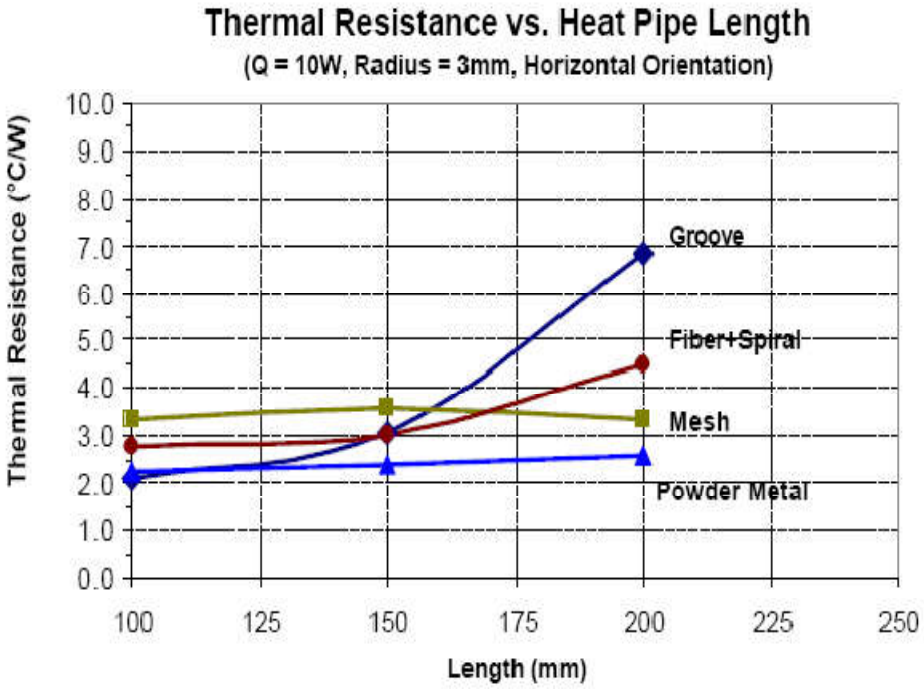
چهار ساختار رایج مورد استفاده که به صورت تجاری وجود دارد :

شیاری، مش سیمی، پودر فلز و فیبر

که هر یک از این ساختار مزایا و معایبی دارند. و فتیله کامل وجود ندارد. با مراجعه به شکل نگاه مختصری از آزمون های واقعی عملکرد چهار فتیله تجاری را نشان داده است. هر فتیله محدودیت خاص خود را دارد.

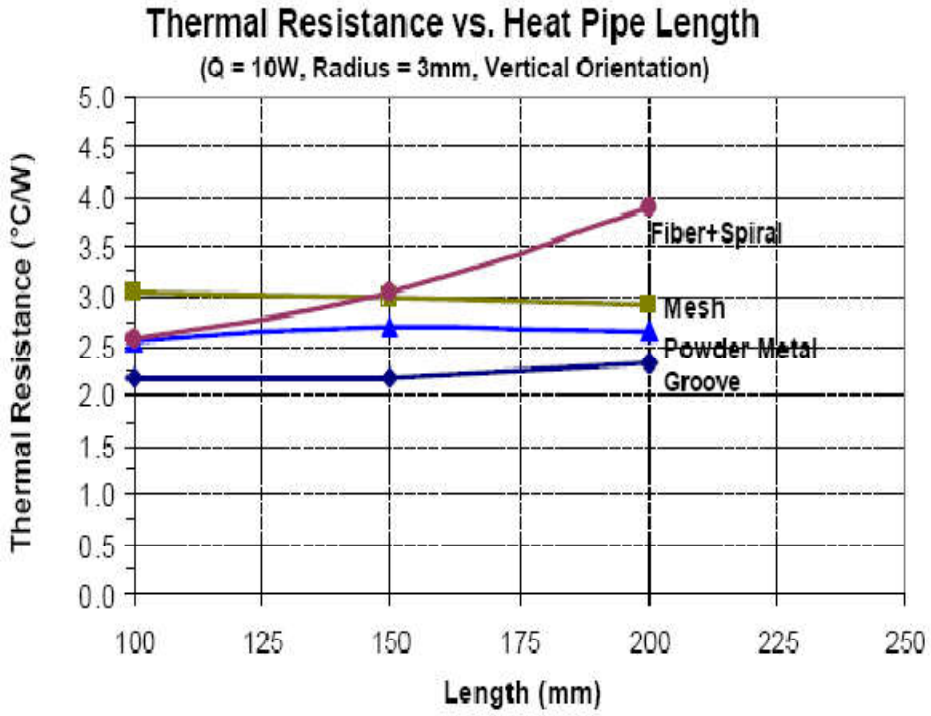
نرخ جابجایی بخار از اپراتور به کندانسور با اختلاف فشار بین آنها بوجود می آید. همچنین قطر و طول نیز بر نرخ این جابجایی اثر خواهد گذاشت.

قطر لوله گرمایی بزرگتر این امکان را می دهد که حجم زیادی از بخار نسبت به قطر کوچکتر از اپراتور به کندانسور منتقل شود.



نمودار (۲) نتایج آزمون لوله حرارتی با ساختار فتیله ای مختلف در جهت افقی[8]

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »



نمودار (۳) نتایج آزمون لوله حرارتی با ساختار فتیله ای مختلف در جهت عمودی[8]

۱۲- نتیجه گیری

لوله های حرارتی اساسا هیچ قسمت متحرکی ندارند و عموما نیاز به نگهداری نیز ندارند اگرچه گازی های غیر قابل چگالش که به درون دیواره لوله نفوذ می کنند ممکن است سرانجام باعث کاهش اثر لوله حرارتی می شود . مخصوصا وقتی که فشار بخار سیال پایین باشد. لوله های گرمایی معمولا در دمایی در محدودهC ° ۴۰ تا C ° ۳۵۰ کار می کنند . این محدوده را می توان باانتخاب دقیق بخشهای سیستم، توسعه داده و طول لوله های منفرد نیز می تواند از چند اینچ تا۱۰فوت تغییر کند .لوله گرمایی زمانیکه به جای سرمایش برای گرمایش بکار رود، سطح یکنواخت حرارتی مشابه یک سیستم گرمایش بخار را ایجاد میکند. این دستگاه ها برای بازیابی گرما ازخروجیهای کارخانجات ریخته گری، در بازیافت گرمای حاصل از خشک کردن منسوجات، بعنوان رادیاتور حرارتی مدارهای الکترونیکی و بعنوان رادیاتور حرارتی یاتاقانهای غیرقابل دستیابی،کاربرد پیدا کرده است.

مراجع

۱. دانشنامه آزاد، لوله گرمایی
http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pipe

۲. دانشنامه آزاد، لوله گرمایی
http://en.wikipedia.org/wiki/Loop_heat_pipe

۳. حسن پناه، مصطفی، (۱۳۸۷)، لوله های حرارتی،
http://www.basaamad.ir/article/12/heat%20pipes.pdf

۴. http://www.prozhe.com/ *دانلود-مقاله-لوله-های-گرمای-*

5. Fundamentals of heat pipe
http://www.engr.sjsu.edu/ndejong/.../FundamentalsofHeatPipesII.ppt
6. *Heat pipe principles,*
http://fti.neep.wisc.edu/neep602/SPRING00/lecture19.pdf
7. Fabian Korn,(2008), Heat pipes and its applications, Project Report 2008 MVK160 Heat and Mass Transport, Sweden,
http://www.lth.se/fileadmin/ht/Kurser/MVK160/Project.../Fabian_Korn.pdf
8. Enertron.inc,(2001),
http://www.enertron-inc.com/enertron-resources/.../How-to-select-a-heat-pipe.pdf