

بررسی اثر زاویه شیب بر عملکرد لوله گرمایی

محمد مهدی غلامی بنادکوی

کارشناس ارشد

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

ترموسیفون دو فازی یکی از متداول ترین وسایل انتقال حرارت است که در صنایع مختلف کاربردهای زیادی دارد. این وسیله ارزشمند که بر اساس تغییر فاز یک سیال مناسب کار می کند شامل سه قسمت تبخیر کننده، آدیاباتیک و چگالنده است و عوامل زیادی از جمله ابعاد هندسی، جنس بدنه، نوع سیال عامل، نسبت طول به قطر، درصد شارژ سیال، زاویه شیب و ... بر عملکرد ترموسیفون تاثیر می گذارد.

در این مقاله یک ترموسیفون دو فازی پس از طراحی و ساخت مورد مطالعه قرار گرفته و اثر زاویه شیب بر روی پارامترهای انتقال حرارت بررسی شده است. نتایج در قالب اثر زاویه شیب بر روی پارامترهای ضریب هدایت مؤثر، ماکزیمم نرخ انتقال حرارت، ضریب انتقال حرارت در تبخیر کننده و چگالنده و افت دما در طول ترموسیفون به صورت دیاگرام ارائه و نتایج آن تحلیل شده است.

کلمات کلیدی

ترموسیفون دو فازی - لوله گرمایی - زاویه شیب - انتقال حرارت ماکزیمم

Investigation of Effect of Inclination Angle on the Transport Behaviour of a Two-Phase Thermosyphon

M. M. Gholami

Professor

Department of Mechanical Engineering,
University of Tarbiat Modarres

Abstract

A two-phase closed thermosyphon is a gravity assisted wickless heat pipe. The condenser section is located above the evaporator, so that condensate is returned by gravity. In this project a two phase closed thermosyphon was designed and manufactured. An experimental investigation was performed in order to observe the effect of the inclination angle on the transport behaviour of a closed thermosyphon. A vertical or inclined carbon steel pipe was used; this was electrically heated at the lower part ("heating zone") and it was cooled by air along the upper part ("cooling zone"). Between these two areas there was the well insulated "Transport zone". As working fluid water was used the heating zone was always flooded. The electric heat input and the inclination angle Φ toward the vertical position were varied in steps. The maximum heat flow rate in the tube proved to be dependent upon the inclination. With a largest value of $Q_{max}=230w$ at 70-90 degree. An effective thermal conductivity k_{eff} of the thermosyphon can be determined depending strongly on inclination and heat flow rate so the steeper the tube value the larger the heat flow rate the higher is the effective conductivity. The condensation in the cooling zone exhibits the largest transport resistance. The heat transfer with boiling in the heating zone shows large local differences which depends on inclination.

Keywords

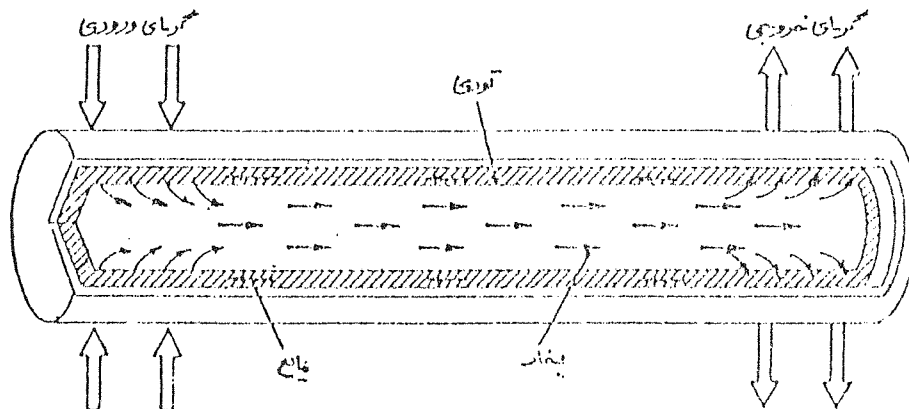
Closed two-phase thermosyphon; maximum heat flow rate; boiling heat transfer; condensation heat transfer inclination effects.

لوله‌های گرمایی وسایلی با قابلیت انتقال حرارت بسیار بالا هستند که به علت سادگی ساخت و نرخ بالای انتقال حرارت کاربردهای زیادی در سیستم‌های حرارتی دارند. اندیشه ساخت لوله گرمایی برای اولین بار در سال ۱۹۴۴ توسط Gaugler مطرح شد. لیکن عمدتاً تا اوایل دهه ۶۰ میلادی عملاً کاربرد زیادی نداشته و تحقیقات در مورد آن انجام نشده است. در سال ۱۹۶۴، Grover و همکاران در آزمایشگاه Los Alamos و همچنین سازمان RCA به عنوان اولین سازمان تجاری تحقیقات گسترده‌ای با حمایت ایالات متحده شروع کردند [۱]. این تحقیقات در سال‌های بعد گسترش چشم‌گیری یافت بطوری که می‌توان به تحقیقات آقای پروفیسور فوری و همکاران و آقای دکتر اکبرزاده [۱] اشاره کرد. مجموعه تحقیقات انجام شده در این سال‌ها به صورت مقاله‌های علمی در کنفرانس‌های مختلف ارائه و یا به عنوان اختراع ثبت شده است به طوری که تا سال ۱۹۹۹ می‌توان به ۹ کنفرانس برگزار شده اشاره کرد.

اگر چه ساده بودن ساخت لوله گرمایی و نیز در دسترس بودن مواد اولیه مورد نیاز پتانسیل خوبی برای پیشرفت این فن‌آوری را فراهم نموده است و در کشورهای صنعتی مثل ژاپن، آلمان و ایالات متحده کاربردهای این فن‌آوری به میزان قابل توجهی شناخته شده، اما متأسفانه در ایران هنوز آن طور که شایسته است رویکرد جدی به این مقوله وجود نداشته و تنها چند مقاله انگشت شمار در این رابطه به چاپ رسیده است. آنچه در این مقاله مورد بحث قرار می‌گیرد یکی از نخستین گام‌ها در تحقیقات علمی مربوط به این فن‌آوری در ایران است.

۱ - تئوری

اصول کارکرد ترموسیفون‌ها مشابه لوله‌های گرمایی است. یک لوله گرمایی از سه قسمت ظرف، فتیله و سیال تشکیل شده و شامل نواحی تبخیرکننده، چگالنده، و آدیاباتیک است.



شکل (۱) شماتیک عملکرد یک لوله گرمایی.

همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است با حرارت دادن قسمت تبخیرکننده سیال در لوله گرمایی به صورت بخار در آمده که پس از عبور از ناحیه آدیاباتیک (گذرا) در قسمت چگالنده به صورت مایع در می‌آید. در مرحله بعد مایع حاصل توسط فتیله و یا به کمک جاذبه به سمت تبخیرکننده حرکت می‌کند. هر گاه عمل برگشت مایع از قسمت چگالنده به تبخیرکننده توسط جاذبه صورت بگیرد لوله گرمایی را اصطلاحاً ترموسیفون دو فازی می‌نامند. هر چند که تفاوت کمی بین ساختمان لوله‌های گرمایی و ترموسیفون‌ها وجود دارد، لیکن روابط حاکم بر انتقال حرارت و نیز رژیم‌های جوش در هر یک کاملاً متفاوت بوده که در مقالات مختلف به طور مفصل مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین عوامل زیادی از جمله ابعاد هندسی، جنس ظرف، نوع سیال، درصد شارژ سیال، نسبت طول به قطر و بالاخره زاویه شیب ترموسیفون بر عملکرد ترموسیفون‌ها تأثیر دارد که بعضاً در مقالات به آن پرداخته شده است.

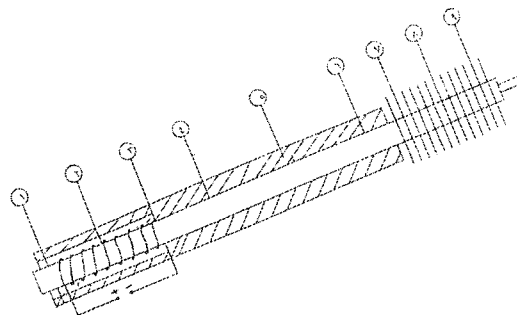
در این مقاله اثر زاویه شیب بر روی پارامترهایی چون افت دما در ترموسیفون، ضریب انتقال حرارت در چگالنده و تبخیرکننده، ضریب هدایت مؤثر و ماکزیمم نرخ انتقال حرارت مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- شرح دستگاه آزمایش

ترموسیفونی که برای این آزمایش‌ها ساخته شده است شامل یک لوله کربن استیل است که بدنه اصلی ترموسیفون را تشکیل می‌دهد. دو در پوش فولادی به صورت کاملاً آب‌بندی شده به دو انتهای این لوله جوش داده شده‌اند که در وسط یکی از آنها یک لوله مسی جهت شارژ ترموسیفون و از دیگری یک ترموکوپل جهت تعیین دمای مایع تعبیه شده است. قسمت تبخیرکننده توسط گرمکن‌های الکتریکی در معرض شار حرارتی و قسمت چگالنده که پره خورده است توسط هوای تولید شده توسط دمنده‌ها، خنک می‌شود. جدول ۱ مشخصات ترموسیفون مذکور را نشان می‌دهد.

جدول (۱) مشخصات طراحی ترموسیفون دو فازی.

جنس ظرف	کربن استیل
جنس پره	آلومینیوم
طول تبخیر کننده	۳۰۰ میلی متر
طول آدیاباتیک	۴۵۰ میلی متر
طول چگالنده	۲۰۰ میلی متر
قطر خارجی لوله	۲۵ میلی متر
قطر داخلی لوله	۲۲ میلی متر
قطر خارجی پره	۵۵ میلی متر
سیال عامل	آب مقطر
مقدار شارژ سیال	۶۰ سانتی متر مکعب



شکل (۲) شماتیک ترموسیفون تحت آزمایش.

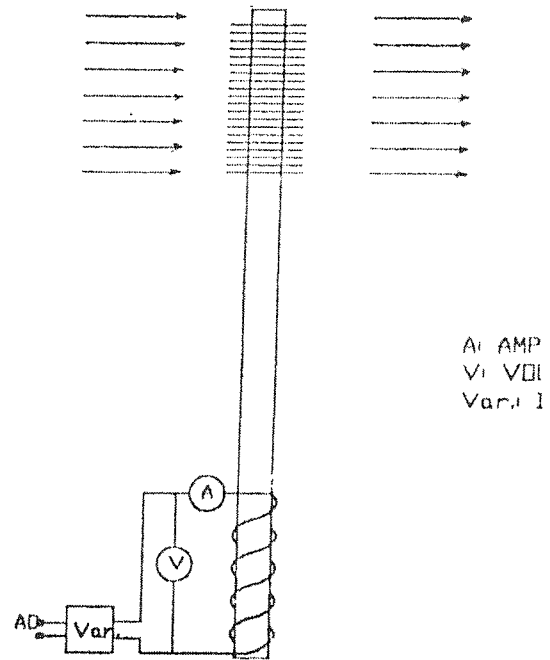
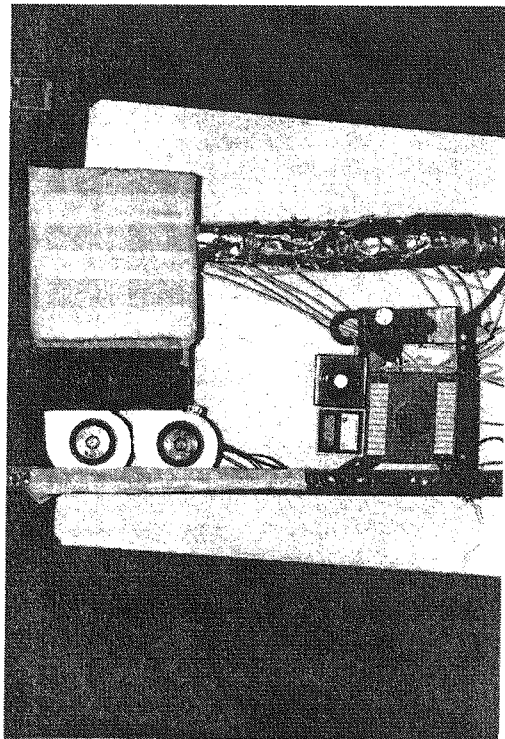
همان طور که در شکل (۲) نشان داده شده است بر روی ترموسیفون مذکور ۱۸ ترموکوپل از نوع آلومین - کرومیل در ۹ سطح (در هر سطح سه نقطه) مختلف نصب شده است. بنابر این به کمک یک ترمومتر دیجیتالی (با دقت کاری یک درجه) و یک سلکتور ۲۴ حالت می‌توان دماهای مذکور را اندازه گرفت. همچنین از یک آمپر متر و ولت متر برای محاسبه توان الکتریکی، یک کاهنده (دیمر) جهت تنظیم جریان ورودی و یک دستگاه Hotwire برای اندازه‌گیری سرعت هوا و بالنتیجه دبی هوا استفاده شده است. بدین صورت که ۸ نقطه از کانال (ورود هوا) درست قبل از پره‌ها، انتخاب و سرعت آنها اندازه‌گیری شده و با معدل‌گیری سرعت‌های مذکور سرعت متوسط تعیین شده است.

۳- شرح آزمایش‌ها

۳-۱- آزمایش اول

هدف از این آزمایش تعیین تغییرات نسبت گرمای خروجی (که توسط ترموسیفون انتقال داده می‌شود) به حرارت ورودی (که توسط گرمکن‌ها منتقل می‌شود) است. در این آزمایش ترموسیفون مورد نظر به حالت قائم قرار داده شده و هم‌زمان با

راه‌اندازی دمنده‌ها به کمک یک دیمر (کاهنده) توان ورودی ترموسیفون که توسط سه گرمکن کمربندی تامین میشود را از صفر به تدریج افزایش می‌دهیم. شکل ۳ شماتیک مدار آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل (۳) شماتیک مدار آزمایش.

حال در هر مرحله با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان ورودی به گرمکن‌ها و با استفاده از روابط تئوری ایده‌آل حرارت تولیدی از طریق گرمکنها به صورت ذیل تعیین میشود.

$$Q_{in} = V \cdot I \quad (1)$$

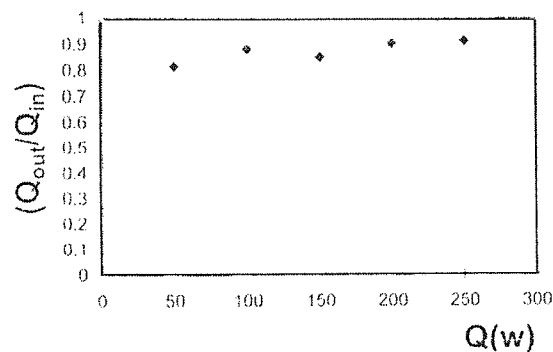
V : ولتاژ
 I : جریان
 Q_{in} : گرمای ورودی از طریق گرمکن‌ها
 و حرارت منتقل شده به محیط سرد توسط ترموسیفون از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$Q_{out} = mc_p (T_0 - T_i) = \rho U A_{free} C_p (T_0 - T_i) \quad (2)$$

T_i : دمای ورودی
 T_0 : دمای خروجی
 C_p : گرمای ویژه هوا در فشار ثابت
 m : دبی هوای ورودی
 ρ : جرم حجمی هوا
 U : سرعت هوای عبوری از روی پره‌ها
 A_{free} : سطح آزاد بین پره‌ها
 Q_{out} : شار انتقال داده شده توسط ترموسیفون

در این آزمایش در هر مرحله دمای خروجی و ورودی توسط ترمومتر اندازه‌گیری شده و برای محاسبه دبی جریان نخست سرعت هوا در کانال مستطیل شکل به ابعاد 55×20 میلی‌متر که پره‌های ترموسیفون را کاملاً در بر گرفته است تعیین شده و با محاسبه سطح آزاد بین پره‌ها و به کمک معادله پیوستگی دبی جریان (از حاصل ضرب مساحت بدست آمده در سرعت جریان روی پره‌ها) بدست می‌آید.

بنابراین می‌توان نسبت حرارت خروجی به ورودی را تعیین کرد. شکل ۴ نمودار نسبت حرارت خروجی به ورودی به ازای مقادیر توان ورودی مختلف را نشان می‌دهد.



شکل (۴) تغییرات نسبت حرارت خروجی به ورودی به ازای توان ورودی مختلف.

همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش حرارت ورودی نسبت مذکور افزایش می‌یابد که می‌توان به صورت زیر توجیه کرد. الف- در حرارت‌های ورودی کم چون میزان بخار در قسمت چگالنده کم و مقداری هوا و یا گازهای غیر قابل چگالش در لوله وجود دارد. لذا در پدیده چگالش اختلال بوجود می‌آید و در نتیجه مایع چگالیده کمی تولید می‌شود. در حالیکه در حرارت‌های زیاد به قدر کافی بخار تولید شده و چگالنده با بازدهی بالاتری نسبت به حالت مذکور کار می‌کند. ب- در حرارت‌های ورودی کم بخار قبل از رسیدن به انتهای چگالنده به مایع تبدیل می‌شود و عملاً قسمتی از ظرفیت چگالنده بدون استفاده باقی می‌ماند. با افزایش حرارت ورودی انتقال جرم و حرارت بهتر صورت گرفته و بدین گونه از ظرفیت چگالنده به طور کامل استفاده شده است بنابراین نسبت حرارت خروجی به ورودی افزایش می‌یابد. ج- افزایش شار حرارتی ورودی، پدیده جوش را تسریع و در نتیجه فرایند گردش سیال در داخل ترموسیفون سریع‌تر انجام شده و محتوای حرارت بیشتری را منتقل می‌کند.

۳-۲- آزمایش دوم

هدف از این آزمایش تعیین ضریب هدایت مؤثر و بررسی تأثیر زاویه شیب بر روی پارامتر مذکور است. در این آزمایش نخست ترموسیفون را به صورت قائم قرار داده سپس با دیمر توان ورودی به ترموسیفون را تا کسب شار ماکزیمم افزایش می‌دهیم. حال با اندازه‌گیری دمای نقاط مورد نظر روی ترموسیفون و قرار دادن ترموسیفون در شیب‌های مختلف (۸۰-۱۰ درجه نسبت به افق) آزمایش را تکرار می‌کنیم. با توجه به تعریف ضریب هدایت مؤثر که در مرجع [۲] آمده است پارامتر مذکور در طول ترموسیفون، در شیب‌های مختلف قابل محاسبه است.

ΔT : اختلاف دما بین دو نقطه میانی تبخیرکننده و چگالنده $(T_2 - T_8)$

A_{cross} : مساحت سطح مقطع فضای عبور بخار، طول لوله ترموسیفون

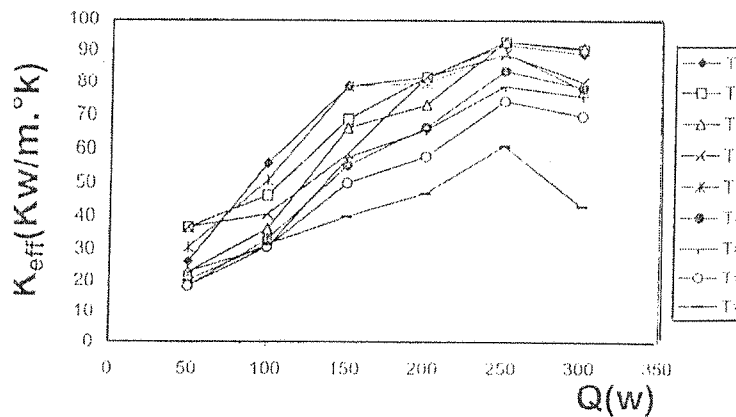
Q : شار گرمایی منتقل شده توسط ترموسیفون در هر زاویه

$$K_{eff} = \frac{LQ}{A_{cross} \Delta T} \quad (3)$$

شکل ۵ تغییر پارامتر ضریب هدایت مؤثر را نسبت به حرارت ورودی نشان می‌دهد. نمودار مذکور نشان می‌دهد مقدار ضریب هدایت مؤثر تا حرارت ورودی ۲۵۰ وات روند تقریباً صعودی و از آن به بعد نزولی می‌باشد. همچنین با افزایش زاویه شیب

(نسبت به افق) مقدار پارامتر مذکور افزایش می‌یابد

این افزایش طوری است که ماکزیمم مقدار آن در شیب ۷۰ درجه برابر $K_{eff} = 90 \text{ kw/m}^2 \text{ k}$ و مینیمم مقدار آن در شیب ۱۰ درجه برابر $K_{eff} = 60 \text{ kw/m}^2 \text{ k}$ است. این بدین معنی است که پدیده انتقال حرارت توسط ترموسیفون در مقایسه با میله مسی به همان قطر، با ضریب هدایت حرارتی $372 \text{ w/m}^0 \text{ k}$ (مطابق با مرجع [۲])، در بهترین حالت حدود ۲۴۰ برابر و در بدترین حالت بیش از ۱۵۰ برابر بهتر صورت می‌گیرد.



شکل (۵) تغییرات پارامتر ضریب هدایت مؤثر نسبت به حرارت ورودی در شیبهای مختلف .

۳-۳- آزمایش سوم

هدف از این آزمایش بررسی افت دما در نواحی چگالنده، آدیاباتیک و تبخیر کننده و نیز اثر نرخ جریان گرما بر روی پارامتر مذکور در زوایای شیب مختلف است.

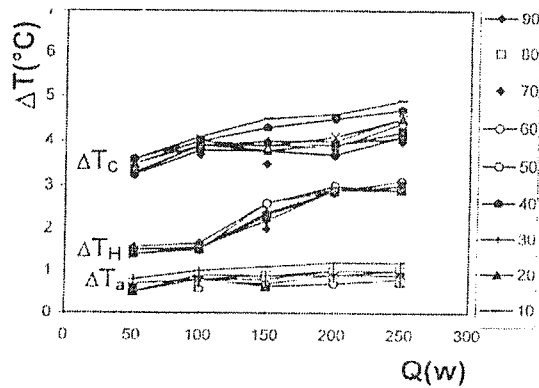
در این آزمایش ترموسیفون مورد نظر در معرض شار متغیر قرار گرفته و در هر حالت دماهای نقاط مورد نظر روی ترموسیفون توسط سلکتور و ترمومتر اندازه‌گیری می‌شود. با تکرار آزمایش در شیبهای مختلف و با تعاریف افت دما در نواحی مختلف به صورت ذیل که در مرجع [۲] آمده است، افت دما در ترموسیفون تعیین می‌شود.

$$\Delta T_H = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} - T_4 \quad (4)$$

$$\Delta T_{ad} = T_4 - T_6 \quad (5)$$

$$\Delta T_c = T_6 - \frac{T_8 + T_9}{2} \quad (6)$$

شکل ۶ اثر زاویه شیب بر روی افت دما در قسمت‌های آدیاباتیک، چگالنده و تبخیر کننده را نشان می‌دهد همان طور که مشاهده می‌شود بیشترین افت در ناحیه چگالنده و کمترین افت در ناحیه آدیاباتیک دیده می‌شود. اثر زاویه شیب بر روی افت دما تقریباً متقارن است و اثر قابل توجهی دیده نمی‌شود.



شکل (۶) تغییرات افت دما در طول ترموسیفون در شیبهای مختلف.

۳-۴- آزمایش چهارم

هدف از این آزمایش به دست آوردن ضریب انتقال حرارت تجربی در قسمتهای چگالنده و تبخیرکننده و چگونگی تغییرات پارامتر مذکور با نرخ جریان حرارت در شیبهای مختلف است. در این آزمایش ترموسیفون در حالت قائم قرار گرفته و هم زمان با روشن کردن فن‌ها توان ورودی به قسمت تبخیرکننده با فاصله توانی ۲۵ واتی اعمال شده است. در هر فاصله توانی پس از گذشت زمان لازم برای راه اندازی، با اندازه‌گیری دماهای نقاط ۱۰ و ۱۱، ضریب انتقال حرارت به صورت ذیل قابل محاسبه است.

$$h_c = \frac{Q}{A_c(T_v - T_c)} \quad (7)$$

$$T_c = \frac{T_8 + T_9}{2} \quad (8)$$

در روابط فوق T_v دمای بخار و A_c سطح داخلی ترموسیفون در ناحیه چگالنده و Q مقدار گرمای انتقال یافته توسط ترموسیفون است.

در صورت تکرار آزمایش فوق و اندازه‌گیری دماهای نقاط ۱ و ۲ و ۳ و به کمک معادلات ذیل ضریب انتقال حرارت در قسمت تبخیرکننده محاسبه می‌شود.

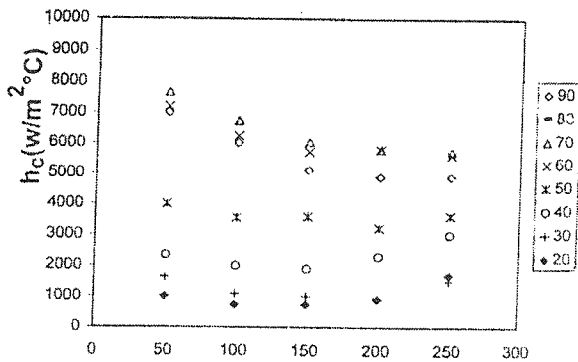
$$h_H = \frac{Q}{A_H(T_H - T_v)} \quad (9)$$

$$T_H = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} \quad (10)$$

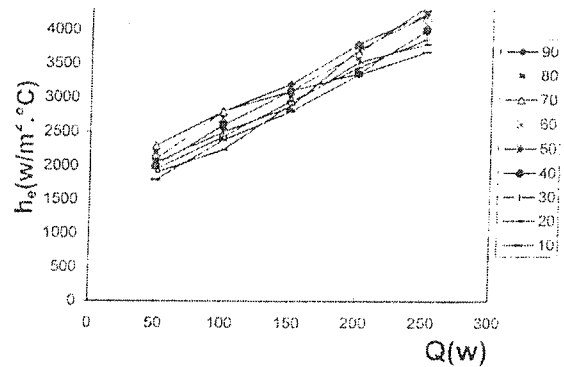
AH: سطح داخلی ترموسیفون در ناحیه تبخیرکننده

شکل‌های ۷ و ۸ تغییرات ضریب انتقال حرارت ناحیه تبخیرکننده و چگالنده را نسبت به حرارت ورودی نشان می‌دهند. همان‌طور که از شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش حرارت ورودی ضریب انتقال حرارت در قسمت تبخیرکننده افزایش می‌یابد که این افزایش احتمالاً میتواند به علت بیشتر شدن بخار در اثر افزایش حرارت ورودی در ناحیه مذکور باشد.

بالعکس در ناحیه تبخیرکننده با افزایش حرارت ورودی ضریب انتقال حرارت کاهش می‌یابد که این کاهش میتواند احتمالا در اثر افزایش ضخامت فیلم مایع در قسمت چگالنده باشد البته در زوایای شیب کمتر از ۴۰ درجه ضریب انتقال حرارت مجددا کمی افزایش می‌یابد. در این حالت بعضی قطرات مایع در قسمت چگالنده ممکن است از جداره لوله جدا شده و وارد فضای بخار شوند. بنابر این ضخامت فیلم مایع مجددا کاهش یافته و ضریب انتقال حرارت افزایش می‌یابد.



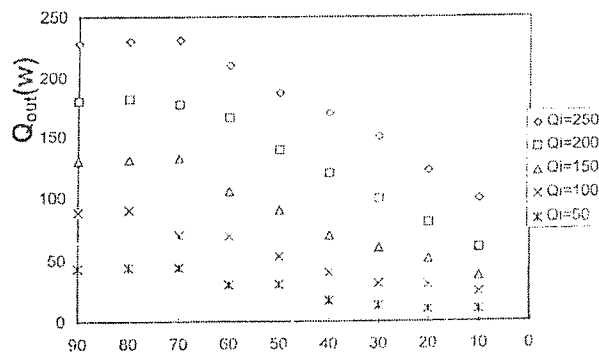
شکل (۸) تغییرات ضریب انتقال حرارت در ناحیه چگالنده نسبت به حرارت ورودی در شیبهای مختلف.



شکل (۷) تغییرات ضریب انتقال حرارت در ناحیه تبخیرکننده نسبت به حرارت ورودی در شیبهای مختلف.

۳-۵- آزمایش پنجم

در این آزمایش ترموسیفون تحت شیبهای مختلف قرار گرفته، هدف تعیین زاویه شیبی است که در آن زاویه نرخ انتقال حرارت ماکزیمم مقدار خود را داشته باشد. در این آزمایش پس از قرار دادن ترموسیفون در حالت قائم به کمک یک دیمر توان ورود به ترموسیفون را افزایش می‌دهیم. عمل افزودن توان را تا جایی ادامه می‌یابد که افزایش ناگهانی در دمای بالاترین ترموکوپلها در قسمت تبخیرکننده دیده شود. افزایش دمای ترموکوپل نشان دهنده قادر نبودن ترموسیفون در انتقال توان ورودی و به معنی پایان آزمایش بوده و توان مذکور حدا کثر توان ورودی است. حال ترموسیفون را به صورت شیب دار (۸۰-۱۰ درجه نسبت به افق) قرار داده و آزمایش را تکرار کنیم. با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان در هر مرحله و در هر زاویه شیب توان ورودی به دست می‌آید و با اندازه‌گیری دمای خروجی و سرعت فن توان خروجی محاسبه می‌شود. شکل ۹ تأثیر زاویه شیب بر روی نرخ انتقال حرارت ماکزیمم را نشان می‌دهد.



شکل (۹) تأثیر زاویه شیب بر روی نرخ انتقال حرارت ماکزیمم.

همان طور که شکل فوق نشان می‌دهد نرخ انتقال حرارت از حالت قائم با شیب بسیار ناچیزی تا زاویه ۷۰-۶۰ درجه نسبت به افق افزایش می‌یابد و بعد از آن شروع به کم شدن می‌کند به طوری که در زاویه شیب ۱۰ درجه مقدار گرمای انتقال یافته بسیار ناچیز است.

۴- مقایسه با نتایج سایر محققان

نتایج بدست آمده در رابطه با ترموسیفون مورد بررسی در این مقاله با نتایج بدست آمده در مرجع شماره [۲] در بعضی از جهات قابل مقایسه می‌باشد. مرجع [۲] ترموسیفونی را مورد آزمایش قرار داده که حاوی سیال عامل متان می‌باشد و نیز پارامترهایی چون: مقدار شارژ سیال، نسبت قطر به طول و درصد تخلیه در دو ترموسیفون مورد مقایسه متفاوت می‌باشد. به علاوه سیال جاذب در قسمت چگالنده در مورد ترموسیفون مرجع [۲] آب و در ترموسیفون مورد آزمایش هوا می‌باشد. نتایج این مقایسه به شرح ذیل می‌باشد:

- تغییرات افت دما در طول ترموسیفون مرجع [۲] کمتر از ترموسیفون مورد آزمایش می‌باشد که این اختلاف احتمالا به علت تفاوت نوع سیال (هوا و آب) مورد استفاده در قسمت چگالنده می‌باشد. به عبارت دیگر استفاده از آب به عنوان جاذب حرارت در قسمت چگالنده عمل انتقال حرارت را یکنواخت‌تر و بهتر نسبت به سیال هوا که به عنوان جاذب حرارت در ترموسیفون مورد آزمایش در نظر گرفته شده است، انجام می‌دهد.

- روند تغییرات پارامتر ضریب هدایت مؤثر در هر دو ترموسیفون تقریبا یکسان هستند. لیکن نقطه شار ماکزیمم در ترموسیفون مرجع [۲] در مقدار حرارت ورودی بالاتری رخ می‌دهد زیرا تنها محدود کننده انتقال شار ماکزیمم، گیرنده حرارت است. گیرنده حرارت در ترموسیفون مرجع [۲] آب بوده که دارای ظرفیت حرارتی بالا می‌باشد بنابراین می‌توان شار بالاتری را در قسمت تبخیرکننده اعمال کرد.

- روند تغییرات ضریب انتقال حرارت در ناحیه چگالنده و تبخیرکننده در دو ترموسیفون مذکور تقریبا یکسان هستند لیکن مقدار مربوط به ضرایب انتقال حرارت تبخیرکننده و چگالنده کاملا متفاوت می‌باشد. که به دلیل یکسان نبودن سیال عامل در هر دو ترموسیفون این تفاوت بدیهی است.

- نمودار ضریب انتقال حرارت در ناحیه چگالنده و تبخیرکننده در ترموسیفون مرجع [۲] در شیب‌های متفاوت به هم چسبیده و کاملا منطبق است. در حالی که در ترموسیفون تحت آزمایش در قسمت‌های مختلف در ناحیه تبخیرکننده تا اندازه‌ای به هم چسبیده و در چگالنده کاملا جدا می‌باشد که این اختلاف احتمالا به علت متفاوت بودن بعضی از مشخصات فیزیکی سیال (مثل کشش سطحی) در دو ترموسیفون مورد مقایسه بوجود می‌آید.

پارامتر نسبت حرارت، خروجی به ورودی به ازای توان ورودی مختلف در مرجع [۲] مورد بررسی قرار نگرفته است. ناحیه‌ای که انتقال حرارت ماکزیمم موجودی را در ترموسیفون مرجع [۲] بین ۵۰ تا ۷۰ متغیر است و در ترموسیفون مورد آزمایش بین ۶۰ تا ۷۰ درجه می‌باشد.

۵- بحث و نتیجه گیری

- ۱- اثر زاویه شیب بر روی دما چندان محسوس نیست.
- ۲- در زاویه ۹۰-۷۰ درجه نسبت به افق مقدار توان خروجی ماکزیمم می‌شود.
- ۳- با افزایش زاویه شیب (نسبت به افق) مقدار ضریب هدایت مؤثر افزایش می‌یابد.
- ۴- با افزایش توان ورودی ضریب انتقال حرارت در قسمت چگالنده کاهش و در قسمت تبخیرکننده افزایش می‌یابد.
- ۵- پدیده انتقال حرارت توسط ترموسیفون در مقایسه با میله مسی به همان قطر (با ضریب هدایت حرارت $372 \text{ W/m}^0\text{K}$) در بهترین حالت حدود ۲۴۰ برابر و در بدترین حالت بیش از ۱۵۰ برابر بهتر صورت می‌گیرد.

فهرست علائم

A : جریان الکتریکی	Amper
C_p : حرارت مخصوص هوا	$[J/kg \cdot K]$
D : قطر	m
h_c : ضریب انتقال حرارت در چگالنده	$[W/m^2 \cdot K]$
h_e : ضریب انتقال حرارت در تبخیرکننده	$[W/m^2 \cdot K]$
k_{eff} : ضریب هدایت مؤثر	$[W/m \cdot K]$

Q_{in} : حرارت ورودی به تبخیرکننده [w]

Q_{out} : حرارت گرفته شده از چگالنده [w]

L_c : طول قسمت چگالنده [m]

L_e : طول قسمت تبخیر کننده [m]

m : دبی هوا $\left[\frac{kg}{s} \right]$

مراجع

- [1] Amir faghry, 1995, Heat Pipe Science and Technology, Taylor & Francis.
- [2] E. Bahne and U. Gross. 1981, "The influence of the inclination angle on the performance of a closed two phase thermosyphon, 4th international heat pipe conference, 1981, London."
- [3] T. F. Lin, W. T. Lin, Y. L. Tsay and J. C. WU, 1995, "Experimental investigation of geyser boiling in an annular two phase closed thermosyphon " Int. J. HeatTransfer Vol. 38, No. 2, PP. 295-307.
- [4] X. Zhou and R. E. Collins, 1991, "Measurement of condensation heat transfer in a thermosyphon", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 35, No. 2, pp. 369-376.
- [5] M. Monde, 1996, "Analytical study of critical heat flux in two-phase thermosyphon; relationship between maximum falling liquid rate and critical heat flux", J. Heat transfer Vol. 118, No. 11.
- [6] Frank P. Incropera, David P. Wewitt, 1995, Fundamentals of Heat and Mass Transfer.
- [7] P. Dunn and D. Areay, 1982, 3rd ed. Heat pipes.
- [8] Fage C. Meqnistion and Jerald D. Parker, 1988, Heating Ventilating and Air Conditioning-Analysis and Design.