٣٠٢٠٦

۱۳۷۹ /۷/ ۱۰

دانشگاه تهران

دانشکده فنی-گروه مهندسی مکانیک

مرکز اطلاعات مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک-گرایش تبدیل انرژی

مطالعه انتقال حرارت تقطیر درون لوله‌های با مقطع بیضی شکل و پره‌دار داخلی مورد استفاده در کندانسورهای هوایی

نگارش:

هادی محمدی

۱۷۹۶۹

استاد راهنما:

دکتر حسین شکوهمند

۳۰۲۰۶

دانشـــگاه تهـــران
دانشکده فنـــی
گروه مکانیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

بررسی انتقال حرارت تقطیر درون لوله‌های با مقطع بیضی شکل و پره‌دار داخلی مورد استفاده در کندانسورهای هوایی

از این پایان‌نامه د ر تاریخ ۷۹/۶/۱۶ در مقابل هیأت داوران د فاع بعمل آمد و با نمره ۱۹ مورد تصویب قرار گرفت.

محل امضاء

۱-سرپرست کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده

۲-مدیر گروه آموزشی: دکتر سید احمد نوربخش

۳-نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر منصور نیکخواه بهرامی

٤-استاد راهنما: دکتر حسین شکوهمند

٥-استاد راهنما: دکتر احمد کهربانیان

٦-استاد ناظر: دکتر منصور نیکخواه بهرامی

مطالعه انتقال حرارت تقطیر در لوله‌های افقی با مقطع بیضی و پره دار داخلی مورد استفاده در کندانسورهای هوائی

توسط:

هادی محمدی

استاد راهنما:

دکتر حسین شکوهمند

چکیده :

در این پروژه انتقال حرارت تقطیر درون لوله‌های افقی با مقطع بیضی و پره‌های داخلی مورد بررسی قرارگرفته‌است. جریان بخار از نظر هیدرودینامیکی و حرارتی توسعه یافته میباشد. ضخامت پره‌ها ناچیز فرض شده است. مسئله برای لوله‌های با مقاطع بیضی و نسبتهای مختلف قطرها حل شده‌است. نتایج برای حالاتیکه درون لوله پره‌دار و یا بدون پره باشد بدست آمده و بصورت نمودارهائی ارائه شده‌اند. نتایج حاصل از حل درحالت دایره‌ای (با یکسان قراردادن مقدار عددی قطر افقی و عمودی بیضی) با نتایج ارائه‌شده توسط دیگر محققین برای حالت دایره‌ای مقایسه گردیده که تطابق بسیار خوبی را نشان میدهد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که هرگاه آرایش لوله‌ها بگونه‌ای باشد که قطر بزرگ افقی باشد، انتقال حرارت از حالت دایره‌ای کوچکتر و در حالتی که قطر بزرگ در متداد شتاب ثقل قرار گیرد. انتقال حرارت به مراتب بیش از حالت دایره‌ای می‌باشد.

Pipe
Condensing

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

با سپاس فراوان از پروردگار متعال، وظیفه خود می‌دانم از کلیه کسانی که در انجام این پروژه بنحوی مرا یاری فرموده‌اند صمیمانه سپاسگزاری نمایم. بخصوص سپاس ویژه خود را نسبت به استاد گرانقدر جناب آقای دکتر حسین شکوهمند که بعنوان استاد راهنمای پروژه، همواره از کمکهای بی‌شائبه و راهنمائیها و تذکرات گرانقدر ایشان بهره‌مند گشته‌ام ابراز نمایم. و نیز از اساتید گرامی جناب آقای دکتر احمد کهربائیان و جناب آقای دکتر منصور نیکخواه بهرامی که زحمت داوری این پروژه را بعهده داشته‌اند تشکر نمایم.

همچنین وظیفه خود می‌دانم از کلیه اساتید گروه مهندسی مکانیک دانشکده فنی که افتخار شاگردی در محضرشان را داشته‌ام و همواره خویش را مدیون زحمات ایشان می‌دانم خالصانه تشکر نمایم.

بر خود لازم می‌دانم از بسیاری از دوستان بسیار عزیز و گرامیم که در تمامی مراحل این پروژه مرا همراهی و مساعدت نموده‌اند، بخصوص آقایان د کتر مهرداد رجبی، مهندس محمود علی‌پور، مهندس علی عدالت، مهندس عادل پیر محمدی، مهندس آرمان محسنی، مهندس احمد امتحانی و مهندس جلال موسوی سپاسگزاری نمایم.

و بالاخره سپاس بی‌پایان خود را از پدر گرامی و مادر عزیزم که همواره در تمامی مراحل زندگی پشتیبان و قوت قلب من بوده و هستند ابراز نمایم.

از درگاه پروردگار سبحان برای تمامی این عزیزان سلامتی و عزت و منزلت روزافزون مسئلت می‌نمایم.

هادی محمدی

فهرست مندرجات

مقدمه

فصل اول-تقطیر لایه‌ای و تحقیقات در این زمینه

فصل دوم-کندانسورها

فصل سوم-معرفی مسئله و معادلات حاکم

فصل چهارم-حل مسئله

فصل پنجم-ارائه و بحث در نتایج

مراجع

مقدمه:

امروزه پیشرفت روزافزون صنایع نیروگاهی و مطرح شدن مسائل مختلفی همچون مشکلات زیست محیطی، جنبه‌های اقتصادی و مانند آن، بازنگری در طراحی کلی نیروگاهها و نیز اجزای آن را بیش از پیش ضروری میسازد. در این میان مبدلهای حرارتی که یکی از اجزای اصلی سیکل نیروگاهی می‌باشند بدلیل اینکه دامنه طراحی وسیع و متنوعی دارند در درجه اول اهمیت بازنگری طراحی قرار می‌گیرند. در طراحی مبدلهای حرارتی دو عامل از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، عامل اول هرچه فشرده‌تر و کوچکترشدن ابعاد مبدلها و دیگری بالابردن راندمان آنها میباشد. در این تحقیق کندانسرهای هوایی که یکی از انواع مبدلهای حرارتی بوده و در سیکلهای نیروگاهی از اجزای اصلی بشمار می‌آید، مورد بررسی قرار گرفته است. برای کارآئی هرچه بیشتر کندانسرهای هوایی ، لازم است که حرارت انتقال یافته از واحد سطح به بیشترین مقدار ممکن رسانیده شود. بدین جهت، در این مقاله با تغییر هندسه لوله، به انتقال حرارت تقطیر درون لوله‌ای با مقطع بیضوی دارای پره‌های داخلی پرداخته شده‌است.

تا آنجا که بررسی‌های صورت پذیرفته نشان می‌دهد انتقال حرارت درون لوله‌های بیضوی تاکنون مورد بررسی قرارنگرفته و تمامی تحقیقات انجام شده یا درمورد تقطیر درون لوله‌های دایره‌ای بوده که کاملترین آنها که در آن هردو اثر افت فشار و نیروی برشی میان فازی مورد توجه قرارگرفته توسط Chen [۸] انجام پذیرفته و درموردلوله‌های بیضوی تحقیقات یا درمورد تقطیر بیرون لوله انجام شده‌است که بعنوان کاملترین آنها می‌توان به Memory [۳] و همکارانش اشاره نمود و یا مانندFieg [٤]تقطیر درون لوله‌های بیضوی مایل (غیر افقی) می‌باشد. دراین تحقیق با برداشتن دو گام به جلو به بررسی تقطیر درون لوله‌های بیضوی افقی و در ضمن دارای پره‌های داخلی پرداخته شده‌است.

در فصل اول به بررسی تقطیر خصوصاً تقطیر لایه‌ای که بحث این تحقیق است پرداخته و حالات مختلف و کارهای محققین در این زمینه را بررسی نموده‌ایم.

در فصل دوم کندانسرها و از جمله کندانسرهای هوایی که مورد کاربرد این تحقیق می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل سوم مسئله خاص ما تعریف و فیزیک مسئله و سیستمهای مختصات مختلف را بررسی و معادلات حاکم بر مسئله در این سیستمها نوشته شده‌اند.

حل مسئله در فصل چهارم آورده شده که شامل یافتن معادلات سرعت و توزیع دما در هر یک از نواحی مختلف و یافتن معادلات ضخامت لایه مقطر و دیگر معادلات و سپس گسسته سازی معادلات و ارائه مراحل حل کامپیوتری مسئله می‌باشد.

در فصل پنجم نیز نتایج حاصل از حل عددی مسئله به روش اختلاف محدود، بصورت نمودارهایی ارائه شده و با مقایسه آنها به بحث و تحلیل و نتیجه‌گیری پرداخته شده‌است.

برنامه کامپیوتری که برای حل این مسئله به زبان فرترن نوشته شده بعنوان ضمیمه در پایان آورده شده‌است.

فهرست علائم

نیمقطر عمودی بیضی	a
نیمقطر افقی بیضی	b
نسبت b/a	c
قطر هیدرولیکی	d_h
ضریب اصطکاک	f_i
شتاب ثقل	g
مولفه ثقل در جهت x	g_x
ضریب انتقال حرارت	h
ضریب انتقال حرارت دیواره	h_c
ضریب انتقال حرارت پره	h_f
ضریب انتقال حرارت تقطیر	h_{fg}
شار حجمی فاز مایع	j_f
شار حجمی فاز بخار	j_g
ضریب هدایت حرارتی	k
طول لوله	L
ارتفاع پره	L_f
نرخ تقطیر میان فازی	$\dot{m}_{fg}$
فشار	p
نرخ انتقال حرارت بر واحد سطح	$\dot{q}''$
شعاع قطبی	r
دمای اشباع	T_s
دمای دیواره لوله	T_w
مؤلفه سرعت در جهت x	u
مؤلفه سرعت در جهت y	v
مؤلفه سرعت در جهت z	w
جهت مماسی دیواره یا پره	x
جهت عمود بر دیواره یا پره	y
جهت افقی	$X1$
جهت قائم	$Y1$
جهت طول لوله	z

حروف یونانی

نسبت A_g / A_{tot}	α
ضریب در رابطه (۳۳)	β'
ضخامت لایه کندانسه دیواره	δ
ضخامت لایه کندانسه پره	δ_f
زاویه مجازی	ϕ
نسبت مشتقات مرتبه دوم سرعت	η
ضریب در معادله(٤)	λ
لزجت دینامیکی	μ
زاویه حقیقی	θ
دانسیته مایع	ρ
دانسیته بخار	ρ_g
اختلاف دانسیته	$\Delta\rho$
تنش برشی میان فازی	τ
محیط تر شده توسط بخار	ξ

فصل اول

تقطیر لایه‌ای و تحقیقات در این زمینه

در این فصل ابتدا به تقطیر لایه‌ای پرداخته و حالات و شرایط مختلف و برخی تحقیقات انجام شده در این زمینه را مورد بررسی قرار می‌گیریم. در پایان نیز کارهای نزدیکتر به تحقیق حاضر مورد بررسی قرارگرفته‌اند.

بحث پیش بینی نرخ انتقال حرارت در تقطیرلایه ای, اساساً باآنالیزانجام شده توسط آقای نوسلت [اغ[1]] درسال ۱۹۱۶ شروع شده است. پس ازآن روزبه‌روز پیشرفتهای بیشتری در زمینه بهینه سازی این تئوری انجام پذیرفته که هریک به فرضیات محدودکننده نوسلت آزادی بیشتری داده‌اند. برای بیشترسیالات, آنالیز ساده تا حدودی حرارت منتقل شده درتقطیرلایه ای راپوشش میدهد, ولی درمورد فلزات مایع ضروری است که آنالیزشامل مقاومت یا افت دمایی در سطح تماس مایع- بخار نیز باشد. این مقاومت در فشارهای پائین, بیشتر خود را نشان‌می‌دهد.

---

[1] اغ: مراجعی که غیر مستقیم و با واسطه از آنها استفاده شده‌است.

در مورد لوله‌ها، تاکنون تقطیر بصورت جابجایی اجباری درون لوله ها، اساساً یک کارآزمایشی بوده است و تنها اخیراً موفقیتهائی درآنالیزاین فرایندها بدست آمده است.

هنگامیکه یک سطح سرد بادمای Tw پائینترازدمای اشباع Ts درمعرض تماس با بخار اشباع یا فراداغ[1] قرارگیرد، ممکن است مایع مقطر روی سطح تشکیل گردد. تاکنون طبیعت پدیده تقطیر بصورت دقیق تبیین نشده است. یک پیشنهاد این است که سطح، بصورت کانالهایی کوچک شامل مایع تجسم شود. این کانالهای کوچک مایع، ممکن است درشروع تقطیر، جایگذاری شوند. یک مقدار محدود پیش سرمایش، موردنیاز می باشد که مقدارآن به انحنای سطوح مایع کوچک موردنظربستگی دارد.

اگرمایع، سطح رابصورت ماکروسکوپی مرطوب نکند، مایع بصورت قطره ای[2] تشکیل می‌گردد و روی سطح جاری میشود و درنتیجه سطح بانقاط خشک ومرطوب پوشیده میشود. آزمایشات نیز نشان داده اند که قسمتهای خشک حقیقتا" بدون مایع هستند.

درحالت دیگر، اگرمایع سطح رابطور ماکروسکوپی مرطوب نماید نشانه این است که یک لایه پیوسته مایع سطح را پوشانیده است. این نوع ازتقطیر در اصطلاح تقطیر لایه‌ای[1] نامیده می‌شود. تقطیر لایه‌ای برنوع دیگرغالب است و همواره تقطیر قطره ای به سرعت به تقطیرلایه ای تبدیل می گردد. از آنجا که ضریب انتقال حرارت در تقطیرلایه ای کمتر است همواره کندانسرها را براساس این نوع تقطیر طراحی می‌نماید.

توصیف تقطیر لایه‌ای

شکل (۱-۱)، نمایش یک لایه مایع مقطر برروی یک سطح عمودی سرد جاری به سمت پائین میباشد. توزیع سرعت، بصورت تقریبی بشکل سهموی درنظرگرفته می شود که با توجه به

---

[1] Supperheat
[2] Dropwise Condensation

گرادیان فشار در سطح تماس مایع-بخار با درنظرگرفتن حرکت بخار و نیروی برشی آن برروی سطح مایع معین می گردد.

لایه مایع مقطر، در ابتدا باضخامت یکسان حرکت را آغاز می کند. در این حالت وقتی تقطیر اتفاق می افتد، مایع برروی لایه تقطیرشده قبلی که اکنون به پائین حرکت نموده، صورت می‌پذیرد و نتیجه آن افزایش ضخامت لایه مقطر یعنی δ میباشد.

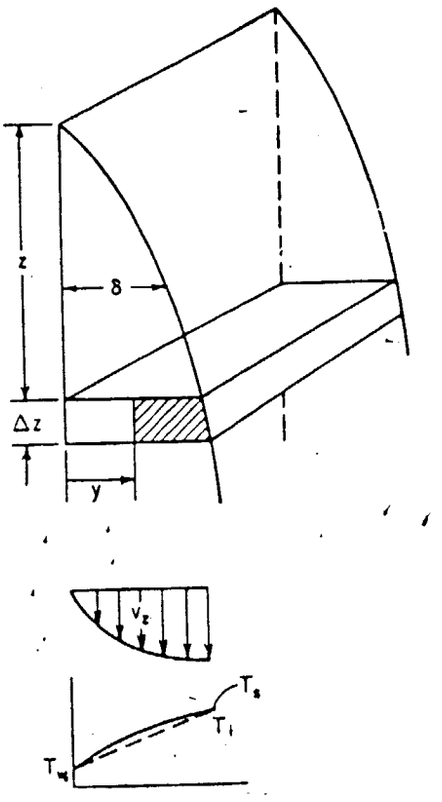
درشکل(۱-۱) همچنین توزیع دما در موقعیت Z از بالای صفحه، نشان داده شده‌است. در دیواره، حرارت دفع میشود وبنابراین :

$$q''_w = -k_l\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_w \qquad (۱-۱)$$

اگر جریان مایع آرام باشد، توزیع دما بسیار نزدیک به خطی خواهدبود وبنابراین به عنوان یک تقریب اولیه بر روی دیواره بصورت $(T_i - T_w)/\delta$ میباشد.

درسطح تماس مایع-بخار، یک تغییر داخلی مولکولی حاصل از تقطیر مولکولهای بخار و تبخیر مایع وجود دارد. همراه با مجموعه‌ای از مولکولها که به سوی سطح جریان دارند ،حتی برای بخار آب خالص نیز، یک افت دمای $(T_s - T_i)$ وجود دارد که نوعی مقاومت انتقال حرارتی در سطح تماس می‌باشد. مقدار این افت دمائی به سیال تقطیر شده فشار اشباع و نیز به نسبت تقطیر بستگی‌دارد.

[1]Film Condensation



شکل (۱-۱) لایه مایع چگالیده جاری برروی یک سطح عمودی سرد

از این مقاومت سطح تماس، برای سیالات عمومی که در نزدیکی فشار اتمسفر تقطیر می‌شوند مانند آب و فرئون، ممکن است صرفنظر شود، ولی در فشارهای پائین ،برای کلیه سیالات بخصوص فلزات مایع باید مهم فرض شود. اخیراً این مقاومت تماسی برای برخی فلزات مایع از طریق آزمایش بدست آمده است.

تقطیر در سطح میان وجهی فازهای مایع-بخار

پیش از این، در مورد پدیده تقطیر ،برای توجیه افت فشار میان فازی ،تئوری ساده انـرژی پیشنهاد می شد تا اینکه آقای Schrage [۲غ] این تئوری ساده را بهینه سازی نمود.

در یک ظرف ساکن از مولکولها، نرخ جریان جرم (مولکولها) در یکی از جهات راست یا چپ، از میان یک صفحه فرضی، از رابطه زیر بدست می آید:

$$m\frac{N}{A}=\rho\left(\frac{RT}{2\pi}\right)^{1/2}=\left(\frac{1}{2\pi R}\right)^{1/2}\frac{P}{T^{1/2}} \qquad (۱-۱)$$

که در آن m جرم مولکولی و N/A تعداد مولکولها بر واحـد سطـح می‌باشـد. اگر سـرعت بـه سمت صفحه V_y باشد $W/A=\rho V_y$، بنابراین داریم:

$$m\frac{N}{A}=\left(\frac{1}{2\pi R}\right)^{1/2}\frac{P}{T^{1/2}}\Gamma \qquad (۱-۲)$$

$$\Gamma=e^{-\eta^2}+\pi^{1/2}\eta\left(1+erf\ \eta\right)\approx 1+\sqrt{\pi}\eta \qquad (الف-۳-۱)$$

$$\eta=\frac{V_y}{\sqrt{2RT}}=\frac{W\ A}{\rho\sqrt{2RT}} \qquad (ب-۳-۱)$$

در سطح میان فازی مایع-بخار ،عملاً همه مولکولهای موثر بر سـطح ،تقطـیر نمی‌شـوند. پارامتر σ بعنوان جزئی از مولکولهای موثر بر سطح که عملاً تقطیر نشـده‌اند تعریـف مـی‌گردد. برای کمیت σ نامهای مختلفی مانند ضریب تقطیر[1] و ضریب تطابق[1] عنوان مـی‌گردد. بـه طریـق مشابه می توانیم ضریب تبخیر σ_e را تعریف کنیم که عبارت از نسبت نرخ تغییرات مولکولهایی که عملاً سطح را ترک می کنند به نرخ تغییرات حاصل از معادله(۱-۱) می‌باشد.

در یک سطح تقطیر مانند شکل(۱-۱) ، آقای Schrage [۲غ]مسئله را بصـورت جریـان بخار اشباع که با دمای T_v و با نرخ جریان W/A به سوی سطح در حرکت می باشد و نیز جریان برعکس مولکولها که با دمای T_i از سطح صورت می‌پذیرد و تعادل میان مولکولهای درون ظرف

[1] Condensation Coefficient