٩٤٠١١

دانشگاه شیراز

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک(گرایش تبدیل انرژی)

بررسی تجربی تشکیل برفک حول استوانه افقی در حالت جابجایی آزاد

به وسیله ی

حسین خوش نظر

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

استاد راهنما

دکتر محمود یعقوبی

۱۳۸۷/۲/۲۸

آبان ماه ۱۳۸۶

۹۴۰۱۱

به نام خدا

بررسی تجربی تشکیل برفک حول استوانه افقی در حالت جابجایی طبیعی

به وسیله ی

حسین خوش نظر

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیتهای

تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی

مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی و تصویب توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر محمود یعقوبی، استاد بخش مهندسی مکانیک (رئیس کمیته).....

دکتر علی اکبر گلنشان، استادیار بخش مهندسی مکانیک.....

دکتر خسرو جعفر پور،دانشیار بخش مهندسی مکانیک.....

آبان ۱۳۸۶

تقدیم به اسوه های صبر و ایثار، پدر و مادرم

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خدای را که فضل و رحمت بی‌منتهایش توفیق دیگری نصیبم کرد تا با استعانت از الطاف بی‌کرانش بتوانم این پایان‌نامه را به نتایج مورد نظر برسانم. بر خود لازم می‌دانم که از کلیه کسانی که به نحوی مرا در انجام این پایان نامه یاری رساندند تشکر و قدردانی نمایم.
ازاستاد گرامیم جناب آقای دکتر یعقوبی که در طی دوران تحصیل همیشه مرا مورد لطف خود قرار دادند کمال تشکر را دارم.
از جناب آقای دکتر گلنشان و جناب آقای دکتر جعفرپور اساتید بخش مهندسی مکانیک که مشاورت تز اینجانب را بر عهده گرفته‌اند، کمال تشکر را دارم.
از آقایان مهندس عضدی، یادگار، شهیدی، شمس و دهنوی به خاطر محبت بی دریغشان صمیمانه تشکر می کنم.
از دوستان گرامیم به خاطر محبت های فراوانشان تشکر و قدر دانی می کنم.
از خانواده عزیزم که در طی دوران تحصیلاتم همیشه از من حمایت کردند کمال تشکروقدردانی را دارم.

چکیده

بررسی تجربی تشکیل برفک حول استوانه افقی در حالت جابجایی طبیعی

به وسیله ی:

حسین خوش نظر

وقتی هوا به سطح سردی برخورد کندکه دمای آن پایین تر از دمای یخ زدن آب موجود در هوا باشد، برفک تشکیل می شود. تشکیل برفک اثرات منفی بر عملکرد مبدل حرارتی، افت فشار و خاموش شدن سیستم برای برفک زدایی دارد و برای کنترل آن نیاز به شناخت مشخصات برفک و سرعت تشکیل برفک برای شرایط مختلف محیطی می باشد. تشکیل برفک یک فرایند پیچیده شامل انتقال همزمان جرم و حرارت می باشد. حل تحلیلی برای این پدیده پیچیده و گذرا غیر ممکن می باشد و در واقع ابزار آزمایشگاهی پرهزینه برای شناخت فرایند تشکیل برفک لازم می باشد. در این مطالعه از روش های آزمایشگاهی و نیمه عددی برای بررسی تشکیل برفک روی استوانه افقی در حالت جابجایی طبیعی استفاده شد و اثرات دما و رطوبت محیط و همچنین اثرات دمای سطح سرد بر ضخامت برفک و شار حرارتی از سطح استوانه بررسی شد. دما و رطوبت محیط در یک اتاق کنترل شده تنظیم گردید و دمای سطح استوانه با عبور دادن مایع سرد از درون استوانه کنترل گردید. شار حرارتی، ضخامت برفک و دمای سطح استوانه در بازه زمانی مشخص اندازه گیری شد. با افزایش رطوبت و کاهش دمای سطح استوانه شار حرارتی و ضخامت برفک افزایش یافت. با افزایش دمای محیط ضخامت برفک کاهش ولی شار حرارتی افزایش یافت. ضخامت برفک در بالای سطح استوانه بیشتر از سطح پایین استوانه می باشد. در شروع آزمایش شار حرارتی افزایش یافت و سپس کاهش یافته و به مقدار ثابتی رسید. تحلیل نیمه عددی بر مبنای تشابه انتقال جرم و حرارت برای محاسبه رشد ضخامت برفک و شار حرارتی با فرض شرایط اشباع در سطوح برفک انجام شده است. رابطه ای بدون بعد برای ضخامت برفک بر حسب متغیر های بدون بعد زمان، رطوبت و دما ارائه شد. رابطه پیشنهاد شده ضخامت برفک را در مقایسه با مقادیر اندازه گیری شده و مطالعات محققان دیگر به خوبی پیش بینی می کند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ۱
۱- مقدمه ۱
۱-۱- تشکیل برفک ۲
۱-۲-طبقه بندی انواع تشکیل برفک ۳
فصل دوم ۷
۲-مروری بر مطالعات پیشین ۷
۲-۱- بررسی برفک در جابجایی اجباری ۷
۲-۲- بررسی برفک در جابجایی طبیعی ۲۰
۲-۳- مطالعات تئوریک ۲۹
۲-۴- اهداف پژوهش حاضر ۳۳
فصل سوم ۳۵
۳-شرح دستگاه و روش آزمایش ۳۵
۳-۱-مقدمه ۳۵
۳-۲-روش اندازه گیری ۳۹
۳-۲-۱- اندازه گیری ضخامت ۳۸
۳-۲-۲- اندازه گیری شار حرارتی ۴۰
۳-۳- وسایل مورد نیاز ۴۴۲
۳-۳-۱- اتاق تست کنترل شده ۴۳
۳-۳-۲- سیکل سرمایش برای کنترل دمای اتاق ۴۴
۳-۳-۳- سیکل سرمایش برای سرد کردن مبرد ثانویه ۴۴
۳-۳-۴-کمپرسور ۴۵
۳-۳-۵-تبخیر کننده ۴۶
۳-۳-۵-۱-تبخیر کننده از نظر ساختمان ۴۶

عنوان | صفحه

۳-۳-۵-۲- روش های تغذیه مبرد ۴۷
۳-۳-۵-۳-تقسیم بندی تبخیرکننده از نظر نوع سیال خنک شوند: ۴۸
۳-۳-۵-۴- انتقال حرارت در تبخیر کننده : ۵۰
۳-۳-۶-مخزن ۵۳
۳-۳-۷- پمپ ۵۴
۳-۳-۸- شاسی ۵۴
۳-۳-۹- تابلو برق ۵۴
۳-۳-۱۰- ترموکنترل ۵۵
۳-۳-۱۱- لوله های انتقال مبرد ثانویه ۵۵
۳-۳-۱۲- عایق ۵۵
۳-۳-۱۳- مبرد ۵۶
۳-۳-۱۳-۱- مبرد اصلی ۵۶
۳-۳-۱۳-۲- مبرد فرعی ۵۷
۳-۳-۱۴-رطوبت زن ۵۷
۳-۳-۱۵- دوربین عکاسی ۵۸
۳-۳-۱۶- سیم ترموکوپل ۵۸
۳-۳-۱۷- صفحه مدار (board) برای انتقال اطلاعات از ترموکوپل به کامپیوتر ۵۸
۳-۳-۱۷-۱- سخت افزار ۵۸
۳-۳-۱۷-۲- برنامه رایانه ای ۵۹
۳-۳-۱۸- کامپیوتر ۶۱
۳-۳-۱۹- رطوبت سنج: ۶۱
۳-۳-۲۰- تایمر ۶۱
۳-۴-کالیبره کردن ترمو کوپل ۶۲
۳-۵-روش آزمایش ۶۲
فصل ۴ ..... ۶۴
۴-مدل سازی ۶۴
۴-۱-حالت نیمه پایا ۶۴
۴-۲- انتقال حرارت ۶۴
۴-۲-۱- انتقال حرارت جابجایی ۶۵

عنوان

صفحه

۴-۲-۲- انتقال حرارت توسط تشعشع ۶۷
۴-۲-۳- انتقال حرارت هدایت در لایه برفک ۶۸
۴-۲-۴- انتقال حرارت توسط تغییر فاز ۶۸
۴-۳- ضریب هدایت موثر لایه برفک ۶۹
۴-۴- جرم حجمی برفک ۶۹
۴-۵- جرم انتقال یافته به سطح برفک ۷۰
۴-۶- ضخامت برفک ۷۲
۴-۷- الگوریتم حل مسئله ۷۲
فصل پنجم ۷۴
۵-نتایج و بحث ۷۴
۵-۱- خطاها ۷۸
۵-۱-۱- خطا در وسایل اندازه گیری ۷۹
۵-۱-۲- خطا اندازه گیری ۷۹
۵-۱-۳- خطای محاسبات ۸۰
۵-۲-تکرارپذیری آزمایشات ۸۱
۵-۳- ضخامت برفک ۸۲
۵-۳-۱- اثر دمای سطح استوانه بر ضخامت برفک ۸۵
۵-۳-۲- اثر دمای محیط بر ضخامت برفک ۸۷
۵-۳-۳- اثر رطوبت بر ضخامت برفک ۸۹
۵-۴- انتقال حرارت در برفک ۹۱
۵-۴-۱- اثر رطوبت محیط بر انتقال حرارت ۹۲
۵-۴-۲- اثردمای محیط بر انتقال حرارت ۹۳
۵-۴-۳- اثر دمای سطح بر انتقال حرارت ۹۵
۵-۵- مقایسه مدل سازی و نتایج تجربی ۹۷
۵-۵-۱- بررسی اثرات ضریب صدور بر مدل سازی ۹۷
۵-۵-۲- ضخامت برفک ۱۰۰
۵-۵-۳- انتقال حرارت ۱۰۳
۵-۵-۴-دمای سطح برفک ۱۰۷

عنوان | صفحه

۵-۶- رابطه تجربی برای ضخانت برفک ۱۰۵
۵-۶-۱- بی بعد سازی ۱۰۹
۵-۶-۲- روش حداقل مربعات ۱۱۰
۵-۶-۳-حل دستگاه ۱۱۱
۵-۶-۴-رابطه تجربی ۱۱۲
۵-۶-۵- ضریب تعیین ۱۱۲
۵-۶-۶- مقایسه نتایج رابطه تجربی ارائه شده و مقادیر آزمایشگاهی ۱۱۳
۵-۶-۷-ارزیابی رابطه پیشنهادی ۱۱۵
۵-۶-۸-تحلیل خطا ۱۱۸
۵-۷- جمع بندی کلی ۱۱۹
۵-۸- پیشنهادات ۱۱۹
۶- منابع ۱۲۱

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- شرایط آزمایش محققان مختلف در جابجایی اجباری..... ۱۵
جدول ۲-۲- شرایط آزمایش کندی و گودمن..... ۲۲
جدول ۲-۳- شرایط آزمایش تانادا و فسا ۲۳
جدول ۲-۴- شرایط آزمایش کرامر و مهرا ۲۵
جدول ۲-۵- شرایط آزمایش ریدی ۲۵
جدول ۲-۶- شرایط آزمایش چن و استایزن..... ۲۶
جدول ۲-۷- شرایط آزمایش وانگ و همکاران ۲۷
جدول ۳-۱- اثر ضخامت لوله آلومینیومی بر روی شار حرارتی..... ۴۲
جدول ۳-۲- خواص فیزیکی مبرد فرعی..... ۵۱
جدول ۵-۱- شرایط آزمایش ۷۵
جدول ۵-۲- آزمایشات انجام شده و شرایط آنها ۷۸
جدول ۵-۳- مقادیر پارامترهای معادله مربوط به شار حرارتی..... ۸۱
جدول ۵-۴- مقادیر پارامتر های معادله (۱۶-۵)..... ۱۱۸

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل.۱-۱. فرایند تشکیل برفک ۳
شکل۱-۲- طبقه بندی انواع تشکیل برفک ۴
شکل۱-۳- صفحه $C - \Delta t_s$ ۵
شکل ۲-۱- غشای مایع روی چهارچوب سیمی ۹
شکل ۲-۲- زاویه برخورد و مدل نامتناجس فلچر در فرایند تشکیل هسته اولیه برفک ۱۱
شکل ۲-۳- اثر زبری روی سطح برخورد توده کوچک بخار ۱۲
شکل۲-۴- شکل برفک روی صفحه سرد (a) برفک اولیه (b) رشد برفک و (c) پوشاندن سطح سرد ۱۳
شکل۲-۵ -رشد برفک در $T_a = 25^oC$ ، $V = 0\,m/s : T_s = -14.7^oC$ ۱۴
شکل ۲-۶- تغییرات زبری سطح بر حسب زمان ۱۷
شکل ۲-۷- a: نتایج لی و همکاران b: نتایج چنگ و شیپو ۱۹
شکل ۲-۸- ضریب رسانایی برفک بر حسب نسبت رطوبت هوا در آزمایشات کندی و گودمن ۲۲
شکل ۲-۹- شار گرمایی بز حسب زمان ۲۳
شکل ۲-۱۰ – تغییرات دما ی سطح برفک نسبت به زمان a :نتایج تانادا و فس ۲۴
شکل ۲-۱۱- تغییرات ضریب جابجایی جرم بر حسب زمان روی استوانه ۲۶
شکل ۲-۱۲- هندسه مورد آزمایش ۲۷
شکل ۲-۱۳- تشکیل برفک روی مبدل ۲۸
شکل ۲-۱۴- مدل تانادا ۳۰
شکل ۲-۱۵- a :مدل فیزیکی ، b: مدل ریاضی ۳۱
شکل ۲-۱۶- تغییرات نسبت جرم محاسبه شده به جرم بدست آمده ۳۱
شکل ۲-۱۷- مدل سازی ماگو و شریف ۳۲
شکل ۲-۱۸- مقایسه مطالعات یانگ و لی با سایر محققین ۳۳

عنوان | صفحه

شکل۳-۱- شمای کلی آزمایش ۳۶
شکل ۳-۲- نحوه استقرار قطعه تست ۳۷
شکل ۳-۳- روش اندازه گیری ضخامت ۳۹
شکل ۳-۴- لوله تست ۴۰
شکل ۳-۵- ابعاد قطعه تست ۴۱
شکل ۳-۶- اتاق تست و شمای تجهیزات ۴۳
شکل ۳-۷- اتاق تست ۴۴
شکل ۳-۸- سیکل سرمایش برای کنترل دمای اتاق ۴۵
شکل ۳-۹- سیکل سرمایش برای سرد کردن سیال ثانویه ۴۶
شکل۳-۱۰-طرحهای متداول کویل لوله ای ۴۷
شکل۳-۱۱- تبخیر کننده خشک ۴۷
شکل۳-۱۲- تبخیر کننده تر ۴۸
شکل۳-۱۳- سردکننده مخزنی ۴۹
شکل ۳-۱۴- سردکننده پوسته و کویلی و مدارات متصل به آن ۵۰
شکل ۳-۱۵- تبخیرکننده ۵۲
شکل ۳-۱۶- مخزن ۵۳
شکل ۳-۱۷- تابلوی برق ۵۵
شکل ۳-۱۸- رطوبت زن ۵۷
شکل ۳-۱۹- دستگاه انتقال اطلاعات از ترموکوپل به کامپیوتر ۵۹
شکل ۳-۲۰- منوی اصلی برنامه ۶۰
شکل ۳-۲۱- وارد کردن نوع ترموکوپل ۶۰
شکل ۳-۲۲ – رطوبت سنج ۶۱
شکل ۳-۲۳- تایمر ها ۶۲
شکل ۵-۱- نمونه محاسبه برای اندازه گیری ضخامت برفک ۷۶
شکل ۵-۲- ضخامت برفک در بالای استوانه بر حسب زمان ۷۷
شکل ۵-۵- ضخامت برفک بر حسب زمان در آزمایشهای بررسی تکرارپذیری ۸۲
شکل ۵-۴- رشد ضخامت برفک بر حسب زمان ۸۳
شکل ۵-۵- رشد ضخامت برفک بر حسب زمان ۸۳
شکل ۵-۶- رشد ضخامت برفک بر حسب زمان ۸۴
شکل۵-۷ ضخامت برفک بر حسب زمان ۸۵

عنوان

صفحه

شکل ۵-۸- اثر تغییر دمای سطح استوانه بر ضخامت برفک ۸۶
شکل۵-۹- اثر تغییر دمای سطح استوانه بر ضخامت برفک..... ۸۶
شکل ۵-۱۰- اثر تغییر دمای سطح استوانه بر ضخامت برفک ۸۷
شکل ۵-۱۱- اثر دمای محیط بر ضخامت برفک نسبت به زمان..... ۸۸
شکل ۵-۱۲- اثر دمای محیط بر ضخامت برفک نسبت به زمان..... ۸۸
شکل ۵-۱۳- اثر دمای محیط بر ضخامت برفک..... ۸۹
شکل ۵-۱۴- اثر رطوبت هوا بر ضخامت برفک نسبت به زمان ۹۰
شکل ۵-۱۵- اثر رطوبت هوا بر ضخامت برفک نسبت به زمان..... ۹۰
شکل ۵-۱۶- اثر رطوبت هوا بر ضخامت برفک نسبت به زمان..... ۹۱
شکل ۵-۱۷- اثرات تغییرات نسبت رطوبت هوا بر شار گرمای ۹۲
شکل ۵-۱۸- اثرات تغییرات نسبت رطوبت هوا بر شار گرمای ۹۳
شکل ۵-۱۹- اثرات تغییرات دمای محیط بر شار گرمای..... ۹۴
شکل ۵-۲۰- اثرات تغییرات دمای محیط بر شار گرمای..... ۹۴
شکل ۵-۲۱- اثرات تغییرات دمای محیط بر شار گرمای..... ۹۵
شکل ۵-۲۲- اثرات تغییرات دمای سطح استوانه بر شار گرمایی ۹۶
شکل ۵-۲۳- اثرات تغییرات دمای سطح استوانه بر شار گرمایی ۹۶
شکل ۵-۲۴- اثرات تغییرات دمای سطح استوانه بر شار گرمایی ۹۷
شکل ۵-۲۵-اثرات ضریب صدور سطح بر شار گرمایی..... ۹۸
شکل ۵-۲۶-اثرات ضریب صدور سطح بر شار گرمایی..... ۹۸
شکل ۵-۲۷-اثرات ضریب صدور سطح بر شار گرمایی ۹۹
شکل ۵-۲۸-اثرات ضریب صدور سطح بر شار گرمایی ۹۹
شکل ۵-۲۹-اثرات ضریب صدور سطح بر شار گرمایی ۱۰۰
شکل ۵-۳۰ – مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی ضخامت برفک..... ۱۰۱
شکل ۵-۳۱ – مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی بر رشد ضخامت برفک..... ۱۰۱
شکل ۵-۳۲ – مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی بر رشد ضخامت برفک..... ۱۰۲
شکل ۵-۳۳ – مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی بر رشد ضخامت برفک ۱۰۲
شکل ۵-۳۴- مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی شار گرمایی ۱۰۳
شکل۵-۳۵- مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی شار گرمایی به لوله سرد در شرایط مختلف۱۰۴
شکل۵-۳۶- مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی شار گرمایی به لوله سرد در شرایط مختلف۱۰۴
شکل۵-۳۷- نسبت انتقال حرارت بوسیله تغییر فاز به کل انتقال حرارت..... ۱۰۵

عنوان

صفحه

شکل۵-۳۸- نسبت انتقال حرارت بوسیله جابجایی به کل انتقال حرارت..... ۱۰۶
شکل۵-۳۹- نسبت انتقال حرارت بوسیله تشعشع به کل انتقال حرارت..... ۱۰۶
شکل۵-۴۰- مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی بر تغییرات دمای سطح ۱۰۷
شکل۵-۴۱- مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی بر تغییرات دمای سطح ۱۰۸
شکل۵-۴۲- مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی بر تغییرات دمای سطح ۱۰۸
شکل۵-۴۳- مقایسه نتایج تجربی و مدل سازی بر تغییرات دمای سطح ۱۰۹
شکل ۵-۴۴- مقایسه نتایج رابطه تجربی و آزمابشات..... ۱۱۳
شکل ۵-۴۵- مقایسه نتایج رابطه تجربی و آزمابشات..... ۱۱۴
شکل ۵-۴۶- مقایسه نتایج رابطه تجربی و آزمابشات..... ۱۱۴
شکل ۵-۴۷- مقایسه نتایج رابطه تجربی و آزمابشات..... ۱۱۵
شکل ۵-۴۸- مقایسه نتایج رابطه تجربی و آزمابشات چن و استایزن..... ۱۱۶
شکل ۵-۴۹- مقایسه نتایج رابطه تجربی و آزمابشات چن و استایزن..... ۱۱۶
شکل ۵-۵۰- مقایسه نتایج رابطه تجربی و آزمابشات چن و استایزن..... ۱۱۷
شکل ۵-۵۱- مقایسه نتایج رابطه تجربی و آزمابشات چن و استایزن..... ۱۱۷

فهرست علائم اختصاری

سطح	A
اختلاف غلظت بخار آب	ΔC
ظرفیت گرمایی	Cp
قطر لوله	D
ضریب نفوذ بخار آب در هوا	D_v
انرژی	E
نیرو	F
عدد فوریه	Fo
شتاب گرانش زمین	g
انرژی آزاد سیستم	G_o
عدد گراشف	Gr
ضریب انتقال حرارت جابجایی	h
ضریب انتقال جرم	h_m
ضریب هدایت گرمایی	k
عدد لوئیس	Le
شار جرمی	$\dot{m}$
عدد ناسلت	Nu
فشار	P
عدد پرانتل	Pr
شار گرمایی	q'
انرژی حرارتی	Q
شعاع	r
عدد رایلی	Ra
عدد رینولدز	Re

رطوبت نسبی	RH
آنتروپی	S
عدد اشمیت(ν/D_v)	Sc
عدد شروود($h_m D/cD_v$)	Sh
ضخامت برفک	S_f
ضخامت برفک بدون بعد(S_f/D)	S_f^*
زمان	t
دمای بدون بعد($(T_a - T_{tp})/(T_a - T_w)$)	T^*
سرعت	V
نسبت رطوبت	w

زیر نویس ها:

هوا	a
متوسط	av
جوشش	$boiling$
هدایت	$cond$
جابجایی	$conv$
نفوذ	$diff$
موثر	ef
سطح برفک	fs
جریان آرام	lam
گرمای نهان	lat
کلی	$total$
جریان توربولانس	$turb$
دیواره	w
محیط	∞

علائم یونانی:

ضریب پخش حرارتی	α

ضریب انبساط حجمی گرمایی هوا	β
انرژی آزاد سطحی	γ
زاویه برخورد دینامیکی	θ
ضریب چسبندگی سینماتیکی	υ
انرژی سطح مشترک	σ
جرم حجمی	ρ

فصل اول

۱- مقدمه

مطالعه جریانهای چند فازی یکی از پیچیده ترین مسائل در انتقال حرارت و جرم هستند. سیستم های چند فازی مثل جریان های مایع – گاز و مایع – جامد کاربرد های مهندسی وصنعتی بسیاری دارند. برای مثال، شناخت پدیده های انتقال حرارت همراه با تغییر فاز در جریان مایع – گاز برای پیش بینی و کنترل دقیق عملکرد کندانسورها و تبخیرکننده ها ضروری می باشد. انتقال حرارت همزمان با تغییر فاز در سیستمهای چند فازی نیاز به بررسی گسترده تری دارد. یکی از مهمترین مشخصه این مسائل حرکت مرز بین دو فاز با گرفتن ویا دادن گرمای نهان می باشد. این نوع از مسائل غیر خطی بوده و خواص فیزیکی در طرفین مرز فازها با یکدیگر تفاوت دارد. ازجمله مسائل متنوع چند فازی تشکیل برفک می باشد که کاربردهای صنعتی زیادی در یخچالها، تهویه مطبوع، سیستم های سرمازای با دمای بسیار پایین (cryogenics)و فرایند های صنعتی دارد.

در عمل اگر هوا به سطح سردی که دمای آن پایین تر از دمای شبنم بخار آب موجود در هوا باشد برخورد کند تقطیر صورت می گیرد و اگر دمای سطح پایین تر از دمای یخ زدن آب باشد برفک تشکیل می شود.

لایه برفک یک محیط متخلخل می باشد که از کریستالهای یخ وهوا تشکیل شده است. بدلیل وجود هوا در ساختار متخلخل برفک که دارای ضریب هدایت گرمایی کم می باشد، لایه برفک به عنوان مقاومت حرارتی بالا برای انتقال حرارت از محیط به سطح سرد کننده عمل می کند. مقاومت ایجاد شده در مقابل انتقال گرما باعث کاهش بازده در مبدلهای حرارتی می شود. با کاهش عملکرد حرارتی مبدل ها برفک زدایی ضروری شده و برای اکثر سیستم ها انجام این فرایند اجتناب ناپذیر است. برای برفک زدایی ویا برای بررسی چگونگی تشکیل برفک و جلوگیری از رشد آن باید ساختار رشد برفک در شرایط مختلف محیطی بررسی و مشخص گردد.

در اکثر فرایندهای سرمایش صنعتی ، تشکیل برفک هم بصورت جریان اجباری هوای مرطوب و هم جابجایی طبیعی هوای مرطوب انجام می شود، بنا براین تحقیق روی تشکیل برفک به دو دسته تقسیم می شود:

۱- تشکیل برفک با حالت جابجایی اجباری
۲- تشکیل برفک با حالت جابجایی طبیعی

علاوه بر شرایط محیطی، شکل جسمی که برفک روی آن تشکیل می شود در تشکیل برفک و انتقال حرارت اثر می گذارد. در میان هندسه های مختلف ، لوله ها کاربرد صنعتی وسیعی دارند. این لوله ها در یخچال ها ، سرد خانه ها، صنایع پتروشیمی و در سیستم های سرمایش بطور گسترده ای بکار می رود. لوله ها ممکن است بصورت افقی، عمودی و یا بصورت مجموعه ای از لوله ها بکار روند. تشکیل برفک روی لوله های افقی در جریان اجباری و جریان طبیعی هر دو بطور وسیع در صنعت سرمایش مشاهده می شود.

۱-۱- تشکیل برفک

تعدادی از محققان فرایند تشکیل برفک را به چند مرحله تقسیم کرده اند .

تشکیل برفک با بوجود آمدن آب فوق سرد روی صفحه سرد آغاز می شود. ابتدا قطرات مایع یخ زده و کریستالهای ریزی تشکیل می شود. این کریستالها به عنوان هسته اولیه تشکیل برفک می باشند. این کریستالها سپس رشد کرده و با گذشت زمان بصورت لایه برفک قابل مشاهده می باشد.

بعد از اینکه قطرات آب یخ زد، بخار آب غالبا روی هسته اولیه بطور مستقیم به برفک تبدیل شده و بطور عمود روی صفحه رشد می کند. اگر صفحه بسیار سرد باشد و ناگهان در مقابل هوای مرطوب قرار گیرد، مشاهده می شود که بجای تشکیل قطرات آب مایع، سوزنهای یخ مستقیما روی سطح سرد تشکیل می شود و کریستالهای برفک از آنجا شروع به رشد می کنند. این دوره از تشکیل برفک بوسیله هایاشی(Hayashi, 1977) دوره رشد کریستال(Crystal growth period) نامیده شده است (شکل ۱-۱).

در دوره بعدی رشد برفک، مشاهده شد که برفک نه تنها در جهت عمود بر سطح رشد می کند، بلکه در جهت موازی با سطح نیز رشد می کند. در ادامه ملاحظه می شود که که برفک بتدریج رشد کرده و سطح آن یکنواخت می شود، تا اینکه سطح بطور کامل صاف شود. هایاشی و همکاران(Hayashi *et al.*, 1977) این دوره را دوره رشد لایه برفک (Frost layer growth period)نامید (شکل ۱-۱).

مشاهده شده که اگر دمای سطح برفک بدلیل مقاومت حرارتی لایه برفک به صفر درجه سانتیگراد برسد، سطح برفک شروع به ذوب شدن می کند و آب بطور مستقیم روی سطح برفک تقطیرمی شود. آب در لایه برفک نفوذ کرده و هدایت گرمایی و دانسیته آنرا افزایش داده و دمای سطح را به زیر صفر کاهش می دهد و تشکیل برفک دوباره شروع می شود. با نوسانات