به نام خدا

۳۴۴۷۴

۱۳۸۰ /۴/ ۲۰

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی - بخش مکانیک

پایان نامه برای تکمیل دوره کارشناسی ارشد

تحت عنوان

استفاده از روش اجزاء محدود
در تحلیل سیستم انتقال حرارت دوفازی

نگارش:
عباس گلبهار

011570

استاد راهنما:
دکتر فرزاد آریانا

شهریور ۱۳۷۹

۳۴۴۱۴

به نام خدا

این پایان نامه

به

بخش مهندسی مکانیک

دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و به عنوان مدرکی برای فراغت از تحصیل در دوره مزبور، شناخته نمی شود.

امضاء

دانشجو: **عباس گلبهار**

استاد راهنما: **دکتر فرزاد آریانا**

داور۱: **دکتر علی سینائی**

داور۲: **دکتر عبدالحمید موسوی راد**

تقدیم به :

مادرم،

که اوست هر آنچه دارم.

و

پدرم،

که هر چه دارم از آن اوست.

قدردانی و سپاس

پایان‌نامه حاضر، مرهون همکاری بسیاری از اساتید و دوستان بزرگوار می‌باشد که اینجانب را در این مورد، مساعدت نمودند. لذا بدینوسیله مراتب تقدیر و تشکر خود را حضور این عزیزان، ابراز می‌دارم.

از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر فرزاد آریانا که در مشکلات، راه‌گشایی و از کاستیها، اغماض نمود، سپاسگزارم.

از داوران این پایان‌نامه، آقایان دکتر سینایی و موسوی‌راد، قدر دانی می‌نمایم.

از برادر عزیزم، دکتر بهنام گلبهار که در تهیه مراجع مورد نیاز مجدانه تلاش نمود، تشکر می‌کنم.

همچنین از دوستان عزیزم آقایان: شهرام اسداللهی، مهدی اسماعیلی، محسن پاکدین، مجید حدادی، محسن حسین‌زاده، مرتضی رشیدی، ناصر صفی‌یاری، محسن عباسی، بهمن عبدی، یداله قائم‌پناه، حجت قربانی، محمدرضا محمدی‌زاده، خسرو مروجی، رضا مروجی، امیر ملک‌محمدی، علیرضا میرآخوری، محمد نشاط، سیدرضا نقیبی و دیگر دوستان که همواره در طول مدت تحصیل، اینجانب را مورد لطف و محبت خود قرار دادند، صمیمانه سپاسگزارم.

چکیده

به منظور حل عددی مسائل انتقال حرارت و مطالعه توزیع دما، محققین، تاکنون از روشهای عـــددی مختلفی نظیر تکنیکهای تفاضل محدود، استفاده کرده اند. شاخه های متفاوت روش اجزاء محـــدود، از نظر قابلیت شبکه بندی محیطهایی با مرز نامنظم و همچنین توانـــایی تحلیـــل تنـــش، نســـبت بـــه روشهای تفاضل محدود، ترجیح داده میشوند.

در این تحقیق، از روشهای اجزاء محدود استاندارد و ماتریسی اوناکا، جهت مطالعه سیستم دوبعدی انتقال حرارت هدایتی با شرایط تغییر فاز و بدون آن، استفاده شده است. به این منظور، چندین نوع شرط مرزی وابسته به دما با فرمولبندی مختلف و همچنین روشهای اعمال گرمای نهان، بکار رفته و بعلاوه جهت استفاده از تکنیکهای ۳ مرحله ای گام زمانی برای حل معادلات، ترکیبات جدیدی بیـــن دماهای مراحل اول و دوم، مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج حاصل از این روشها، با نتـــایج حـــل تحلیلی و همچنین روش تفاضل محدود، مقایسه شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- تعریف انجماد ۲
۱-۲- مفهوم گرمای نهان ذوب و انجماد ۳
۱-۳- شرح مختصر موضوع تحقیق ۳

فصل دوم: بررسی مدلهای عددی انجماد

۲-۱- مقدمه ۶
۲-۲- تأثیر فشار بر انتقال حرارت در مرز مشترک میان قالب - فلز ۶
۲-۲-۱- معرفی موضوع ۶
۲-۲-۲- مدل آزمایشگاهی ۷
۲-۲-۳- نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی ۸
۲-۲-۴- محاسبه مقاومت حرارتی در مرز مشترک قالب - فلز ۱۱
۲-۳- کاربرد روش اجزاء محدود برای مطالعه ریخته گری شمش ۱۵
۲-۳-۱- معرفی موضوع ۱۵
۲-۳-۲- فرمولبندی اجزاء محدود ۱۶
۲-۳-۳- نتایج ۱۸
۲-۴- کاربرد روش اجزاء محدود ۳ بعدی در تحلیل ریخته گری مداوم ۲۱
۲-۴-۱- معرفی ۲۱
۲-۴-۲- فرمولبندی روش اجزاء محدود برای انتقال حرارت ۲۲
۲-۴-۳- معرفی مدل استفاده شده ۲۴

عنوان | صفحه

۲-۴-۴- نتایج ۲۵
۲-۵- نمونه های حل تحلیلی برای محاسبه دما در حین انجماد ۲۸
۲-۶- تکنیکهای اعمال گرمای نهان ۳۰

فصل سوم: استخراج معادلات حاکم بر انتقال حرارت ۱ و ۲ فازی و تشریح روشهای آزمایش شده

۳-۱- مقدمه ۳۶
۳-۲- حل تحلیلی هدایت تک فازی در صفحه مستطیلی ۳۷
۳-۳- حل تحلیلی هدایت دو فازی به روش نیومن ۴۱
۳-۴- تأثیر متغیر بودن حجم در فرایند انجماد ۴۴
۳-۵- معادلات مربوط به هدایت حرارتی در روش تفاضل محدود ۴۵
۳-۶- فرمولبندی روشهای اجزاء محدود ۴۷
۳-۷- فرمولبندی شرایط مرزی ۴۹
۳-۸- تکنیکهای اعمال گرمای نهان انجماد ۵۰
۳-۸-۱- انتالپی و رابطه آن با گرمای ویژه ۵۰
۳-۹- تکنیکهای گام زمانی ۵۲
۳-۱۰- روش چولسکی ۵۵
۳-۱۱- روشهای آزمایش شده برای بهبود نتایج ۶۰
۳-۱۱-۱- حالت استثناء در روش گرمای ویژه موثر ۶۰
۳-۱۱-۲- اعمال دمای $\{T_{\varphi(t)}\}$ ۶۲
۳-۱۱-۳- انتخاب محدوده دمایی تغییر فاز ۶۴
۳-۱۱-۴- انتخاب ملاک برای مقایسه نتایج ۶۶

عنوان صفحه

فصل چهارم: معرفی مدلهای بکار رفته و مقایسه نتایج

۴-۱- مقدمه ۷۱
۴-۲- تشریح مسائل مورد نظر و شرایط مرزی ۷۱
۴-۲-۱- گرمادهی مجدد ۷۱
۴-۲-۲- انجماد ۷۳
۴-۳- تشریح مدلهای استفاده شده ۷۶
۴-۴- مقایسه نتایج روشهای مختلف ۷۷
۴-۴-۱- مقایسه نتایج مسأله اول ۷۸
۴-۴-۲- مقایسه نتایج مسأله دوم ۸۲

فصل پنجم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۹۰
۵-۲- پیشنهادات ۹۲

پیوست (الف): توضیحات ریاضی برای حل تحلیلی مسائل ۱ و ۲ ..... ۹۴

پیوست (ب): برنامه های کامپیوتری ۹۹

مراجع ۱۲۸

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل(۲-۱)- مدل تهیه شده جهت ریختهگری و اندازه گیری دما.....۸
شکل(۲-۲)- منحنی دما در قالب و فلز (حالت بدون اعمال بار).....۹
شکل(۲-۳)- منحنی دما در قالب و فلز (همراه با اعمال ۳۰ تن بار).....۱۰
شکل(۲-۴)- تقسیم بندی برای استفاده در تفاضل محدود.....۱۱
شکل(۲-۵)- مقاومت حرارتی مرز قالب و فلز.....۱۲
شکل(۲-۶)- مقاومت حرارتی مرز قالب و فلز.....۱۳
شکل(۲-۷)- نمایش حجم داخل قالب.....۱۴
شکل(۲-۸)- کمترین مقدار مقاومت حرارتی به ازای بارهای مختلف.....۱۵
شکل(۲-۹)- تغییرات ضخامت لایه منجمد نسبت به زمان.....۱۹
شکل(۲-۱۰)- تغییرات ضریب انتقال حرارت نسبت به زمان.....۱۹
شکل(۲-۱۱)- تغییرات دما نسبت به زمان.....۲۰
شکل(۲-۱۲)- نمایی شماتیک از تاسیسات ریخته گری مداوم.....۲۲
شکل(۲-۱۳)- تغییرات گرمای ویژه با افزایش دما.....۲۶
شکل(۲-۱۴)- تغییرات ضریب هدایت حرارتی با افزایش دما.....۲۶
شکل(۲-۱۵)- خطوط همدما در مقطعی از شمش واقع در ۵۰ سانتیمتر زیر قالب.....۲۷
شکل(۲-۱۶)- خطوط همدما در صفحه X-Z یا Y-Z.....۲۷
شکل(۲-۱۷)- تغییرات انتالپی نسبت به دما برای فولاد با ۰/۱۶ درصد کربن.....۲۹
شکل(۲-۱۸)- تغییرات گرمای ویژه نسبت به دما برای فولاد با ۰/۱۶ درصد کربن.....۳۰
شکل(۳-۱)- منشور مستطیلی با طول نامحدود.....۴۰
شکل(۴-۱)- سطح مقطع شمش همراه با شرایط مرزی مساله اول.....۷۲
شکل(۴-۲)- سطح مقطع شمش همراه با شرایط مرزی مساله دوم.....۷۲
شکل(۴-۳)- شبکه بندی نوع خشن همراه با تقسیمات نوع ریز.....۷۷
شکل(۴-۴)- اثر تغییرات اندازه گام زمانی روی خطای نوع اول در شبکه بندی خشن.....۷۸
شکل(۴-۵)- اثر تغییرات اندازه گام زمانی روی خطای نوع اول در شبکه بندی خشن.....۷۹
شکل(۴-۶)- اثر تغییرات اندازه گام زمانی روی خطای نوع اول در شبکه بندی ریز.....۸۰

عنوان **صفحه**

شکل(۴-۷)- میزان خطای حاصل از گامهای زمانی ثابت و متغیر در مساله اول..... ۸۱
شکل(۴-۸)- اثر تغییرات محدوده دمایی تغییر فاز بر خطای میانگین در مساله دوم..... ۸۳
شکل(۴-۹)- موقعیت جبهه انجماد با گذشت زمان در مساله دوم..... ۸۴
شکل(الف-۱)- مقادیر مختلف ریشه μ_n..... ۹۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول(۲-۱)- زمان لازم برای انجماد کامل چند مقطع مختلف..... ۲۰
جدول(۴-۱)- مقادیر پارامترهای استفاده شده در مساله اول..... ۷۳
جدول(۴-۲)- مقادیر پارامترهای استفاده شده در مساله دوم..... ۷۴
جدول(۴-۳)- نتایج مساله اول..... ۸۶
جدول(۴-۴)- نتایج مساله دوم..... ۸۷
جدول(الف-۱)- چهار ریشه اول μ_n به ازای مقادیر مختلف عدد بیو..... ۹۶
جدول(الف-۲)- تابع خطا و مشتقات و انتگرالهای آن..... ۹۸

فصل اول :

مقدمه

۱-۱- تعریف انجماد

فرایند ذوب و انجماد[1] فلزات، به دلیل اهمیت آن در صنعت و بـه ویژه صنعـت ریختـه گـری همواره مورد توجه بوده است. هدف اصلی در ریخته گری، انجماد فلز یا آلیاژ، در داخل قـالب[2] و به شکل آن می باشد. بـا اینکـه عمـل انجمـاد نسـبت بـه دیگـر بخشـهای ریختـه گـری، زمـان کوتاهتری را صرف میکند ولی مهمترین پدیده ای است که می تواند سـاختار درونـی و خـواص فیزیکی و مکانیکی قطعه را با توجه به مجموعه عملیات کیفی مذاب تعیین نماید.

به طور کلی اتمهای مواد در حالت بخار و مایع به شکل مرتبی قرار ندارند، بلکه بطور پیوسته در حال حرکتی نامنظم هستند. چنانچه درجه حرارت مذاب تا نقطه شـروع انجمـاد، بـه تدریـج کاهش یابد، بلوری شدن مذاب آغاز گشته که میتواند از حـالت بخـار، مـایع و یـا جـامد صـورت گیرد.

با توجه به مجموعه عملیات انجماد برای تبلور مذاب، دو مرحلـه جوانـه زنـی و رشـد بلـور را میتوان درنظر گرفت. به هر ترتیب مهمترین نوع فعل و انفعال تبلور، انجماد فـلزات و آلیاژهـا از حالت مذاب میباشد که مورد بررسی قرار خواهد گرفت[۱].

---

[1] - Solidification

[2] - Mold

۱-۲- مفهوم گرمای نهان ذوب[1] و انجماد

در درجه حرارت صفر مطلق، اتمهای یک ماده بلوری در مکـان شـبکه خـود بـه صـورت بـی حرکت قرارگرفته و به اصطلاح یخ می زند. با حرارت دادن به این مـاده، اتمهـا در همـان محـل خود به ارتعاش در می آیند . هر چه درجه حرارت بالا می رود، دامنه ارتعاش اتمها نـیز افزایـش یافته تا جائیکه این دامنه به قدری زیاد می شود که انرژی حاصل از آن بـر انـرژی شـبکه فـائق آمده و باعث ذوب شدن شبکه بلوری میگـردد. بنـابراین عمـل ذوب بـه علـت ضعیـف شـدن یـا شکسته شدن اتصالهایی است که یونها، اتمها و یا مولکولها را در کنار هـم نگـه مـی دارد. مقـدار انرژی معینی که برای شکستن شبکه بلوری هر ماده ای لازم اسـت، گرمـای نهـان ذوب نـامیده میشود.

برعکس، درخلال عمل انجماد، مقدار معینی انرژی آزاد خواهد شد که گرمای نهـان انجمـاد نامیده میشود و از نظر مقدار، برابر گرمای نهان ذوب است[۲].

۱-۳- شرح مختصرموضوع تحقیق

تاکنون برای حل عددی توزیع دما در مسائل مربوط به انتقال حرارت هدایتی با شرایط تغییر فاز یا بدون آن، از روشهای عددی زیادی استفاده شده که عموماً تکنیک های مختلف تفـاضل محدود، با توجه به سـهولت ومیزان دقت جوابهای حاصل از آنها مورد استفاده قرار گرفته اند. امـا وقتی که بحث شکلهای مرکب یا مرزهای نا منظم و مسائل ترکیبی تنش- شار حرارتی به میان می آید، توجه ما معطوف به روشهای اجزاء محدود گشته هر چند که تعـداد روشـهای عـددی و

---

[1] - Latent heat of fusion