٣١٠١٤

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تکثیر مدارک
۱۳۷۹/۸/۱

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی ـ بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه برای تکمیل دوره کارشناسی ارشد

تبدیل انرژی

تحت عنوان :

توموگرافی گسترش دما در مقطع شمشها به روش فراصوتی

نگارش: فاطمه مهاجرانی

استاد راهنما: دکتر علی سینایی

تیرماه ۱۳۷۷

۳۱۰۱۴ (ب)

بسمه تعالی

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد

به

بخش مکانیک

8471

دانشکده فنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: فاطمه مهاجرانی

استاد راهنما: دکتر علی سینایی

داور ۱: دکتر سیدحسین منصوری

داور ۲: دکتر محمد رهنما

داور ۳: دکتر ناصح زاده نماینده تحصیلات تکمیلی

حق چاپ محفوظ و متعلق به مؤلف است

نثار قدم آنان که گامی در
وادی انسانیت برداشته‌اند.

قـــدردانی و تشکر

اکنون که به لطف بی‌کران آن یگانه، در آستانه شروعی دیگر ایستاده‌ام، خاضعانه پیشانی شکر بر آستان کبریائیش می‌سایم و اولین و مواج‌ترین سپاس را بنده وار، نثار درگاه اهورائی‌اش می‌کنم پایان هر فصل شروعی دیگر است، باکوله باری از امید رو به سوی فصل جدید دارم در این مقطع به مصداق کلام شریف من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق سزاوار است از بزرگوارانی که در این مسیر یاری‌ام دادند صمیمانه سپاسگزاری کنم:

جناب آقای دکتر سینایی استاد گرانقدر که با دقت نظر و ظرافت استادانه‌ای در تمام مراحل پژوهش و تدوین پایان نامه رهنمایم بودند،

جناب آقای دکتر منصوری استاد راهنمای پایان نامه و آقای دکتر رهنما که در طول سالیان متمادی از برکات علمشان بهره‌ها بردم و آقای دکتر کریمی‌فر استاد مشاور دوره تحصیل که از محضرشان سود جستم. ریاست محترم دانشکده فنی جناب آقای دکتر شهریار و معاونین آموزشی و پژوهشی آقایان دکتر مرندی و دکتر جعفری و دکتر صبا که از رهنمودهایشان بهره جستم.

مسئولین دفتری بخش مکانیک خانمها صفاری‌پور و زاده‌کفاش و کلیه دوستانی که با همکاریهایشان مرا مورد لطف قرار دادند و سرکار خانم زمانی که با کمال حوصله و بردباری کار تایپ را این پایان نامه را انجام دادند. از تمامی این بزرگواران نهایت تشکر را دارم و امیدوارم که دعای خیر دوستان همواره بدرقه راهم باشد.

چکیـــــده

برای اندازه‌گیری دما در شمشها روشهای گوناگونی وجود دارد که یکی از مناسب‌ترین و جدیدترین روشها، توموگرافی کامپیوتری است که در این پایان نامه بدان پرداخته شده است. معادله انتقال حرارت کلی حاکم بر مقطع شمش یک معادله دیفرانسیل در دو بعد با مشتقات جزئی است برای حل معادلات انتقال حرارت از روش تفاضل محدود استفاده شـده است. برای حل این معادلات از روش صریح استفاده می‌شود که پاسخ آن از دقت بیشتری برخوردار است. جهت حل این معادلات برنامه رایانه‌ای نوشته شده است که در آن مقادیر h و Cp و k متغیر در نظر گرفته می‌شوند. در روش توموگرافی، بر روی مقطع شمش یک شبکه در نـظر گرفته می‌شود و توسط منابع فراصوتی پرتوهایی در جهت‌های مختلف در نقاط متفاوت مرز، در سطح مقطع تابانیده می‌شود. با بدست آوردن سرعت موج در هر سلول از شبکه و استفاده از منحنی کالیبراسیون دما برحسب سرعت سیر موج مقدار متوسط دما در هـر سـلول بـدست می‌آید. برای محاسبه دمای نقاط و طول مسیرهای طی شده پرتو در هر متوسط دما در هر سلول و سایر محاسبات، برنامه‌های کامپیوتری به زبان $C++$ نوشته شده است. همچنین منحنی‌های همدمای قطعه در زمانهای خاص بدست آمده است نتایج حاصله برای یک شمش آلومینیومی، که نتایج آزمایشهای تجربی در مورد آن مشخص می‌باشد، مقایسه شده است و توافق مورد قبولی را نشان می‌دهد برای انجام برخی عملیات محاسباتی از نرم افزارهایی مانند *mathcad* و *mathematica* در موارد لازم استفاده شده است.

فهـــرست مـــطالب

عنوان | صفحه

فصـــل اول: مقـدمه ۱

۱-۱ آشنایی ۲

۱-۲ تاریخچه کار در مورد مسائل صنعتی ۳

۱-۲-۱ عیب‌یابی با امواج اولتراسونیک ۴

۱-۲-۲ تعیین پوسیدگی در مقاطع چوبی ۵

۱-۲-۳ تعیین تنشهای پس ماند ۷

۱-۲-۴ تعیین دما در استوانه‌ها ۸

۱-۲-۵ تعیین اندازه و ابعاد ذرات ۱۱

۱-۲-۶ تعیین ضخامت پوشش فلزی ۱۲

۱-۲-۷ گسترش دما با روش توموگرافی ۱۴

۱-۲-۸ نمایش وضعیت حبابهای دو فازی با استفاده از توموگرافی کامپیوتری ... ۱۷

۱-۲-۹ تعیین ذرات جامد در محلول ۱۸

۱-۲-۱۰ اندازه‌گیری لزجت با امواج فراصوتی ۱۹

فصـــل دوم: اصول و روش‌های بازسازی تصویر ۲۱

۲-۱ اصول اساسی ۲۲

۲-۲ امواج فراصوتی ۲۴

۲-۲-۱ خصوصیات صوت ۲۴

۲-۲-۲ امواج طولی ۲۵

عنوان	صفحه

۲-۲-۳ سرعت صوت ۲۶

۲-۲-۴ قابلیت فشردگی ۲۸

۲-۲-۵ شدت ۳۰

۲-۲-۶ شدت نسبی صوت ۳۰

۲-۳ روشهای بازسازی تصویر ۳۱

۲-۳-۱ اصول روش بازسازی جبری در توموگرافی *(ART)* ۳۳

فصل سوم: انتقال حرارت ۳۷

۳-۱ معادلات حاکم ۳۸

فصل چهارم: توموگرافی دما در شمش ٤٦

۴-۱ بررسی و تحلیل الگوریتم برنامه کامپیوتری برای تحلیل انتقال حرارت ۴۷

۴-۱-۱ مزایای برنامه نوشته شده برای تحلیل انتقال حرارت ۵۲

۴-۲ الگوریتم برنامهٔ محاسبهٔ طولها *(main)* ۵۲

۴-۲-۱ روش پیشنهادی حل مسئله در حالت مسیر واقعی ۵۶

فصل پنجم: نتیجه گیری و ارزیابی عددی ٦١

۵-۱ لزوم استفاده از توموگرافی کامپیوتری در تعیین دما ۶۲

۵-۲ معادلات انتقال حرارت و حل عددی آنها ۶۲

۵-۳ ارزیابی عددی از حل آزمایشی مسئله برای فولاد و بررسی منحنی‌های همدما .. ۶۳

۵-۳-۱ ارزیابی نتایج مربوط به فولاد ۶۴

عنوان	صفحه

۵-۳-۲ نتیجه‌گیری کلی در مورد فولاد ۶۹

۵-۴ توموگرافی دما برای شمش آلومینیومی ۶۹

۵-۴-۱ روش کار و بررسی نتایج ۶۹

۵-۵ خصوصیات برنامه‌های کامپیوتری ۷۶

۵-۵-۱ شرح کلی برنامه‌ها ۷۶

۵-۵-۲ مزایای برنامه *data* (برنامهٔ محاسبهٔ دما) ۷۷

۵-۵-۳ نقاط ضعف برنامهٔ نوشته شده ۷۷

فصل ششم: نتیجه گیری ۷۸

۶-۱- نتیجه گیری ۷۹

۶-۲- مزایا و معایب برنامه‌ها ۸۰

۶-۲-۳ مزایای برنامه‌های نوشته شده در انتقال حرارت ۸۱

۶-۲-۴- مزایای برنامه محاسبه طولها ۸۱

۶-۳- پیشنهاداتی برای ادامه کار ۸۱

فهرست مراجع

ضمائم

ضمیمه الف: برنامه کامپیوتری برای محاسبه دما

ضمیمه ب: برنامه کامپیوتری برای محاسبه طولها

ضمیمه ج: فلوچارت برنامه‌ها

فصـــــل اول

مقـــدمـــه

۱-۱ آشنایی

تعیین دما در صنایع مختلف و عملیات حرارتی به دلیل بررسی رفتار فیزیکی قطعه با گذشت زمان و تغییر دما اهمیت خاصی دارد. لذا در مجموعهٔ حاضر سعی شده است که یکی از روشهای محاسبه دما در قطعات فولادی گرم شده و وضعیت تغییرات دما در نقاط مختلف آن در گذشت زمان مورد بررسی قرار گیرد. اندازه‌گیری دمای اجسام به دو روش تماسی و غیرتماسی امکان‌پذیر است: در روش تماسی باید اسباب اندازه‌گیری با سطح جسم تماس داشته باشد (مانند دما سنج‌های معمولی)، در روش غیرتماسی نیازی به تماس نیست، مثل آذرسنج که با استفاده از نور ساطع شده از اجسام گداخته دمای آنها را تعیین می‌کند، البته تعیین دما با آذرسنج دقت بالایی ندارد. یکی از روشهای اندازه‌گیری دما استفاده از توموگرافی کامپیوتری است که چگونگی کار به این صورت است: امواج فراصوتی از منبعی تابانیده می‌شوند، با اندازه‌گیری زمان و داشتن طولهای طی شده در جسم، سرعت در نقاط مختلف محاسبه می‌شود. با داشتن سرعت می‌توان با استفاده از منحنی‌های کالیبریشن[1] دما را تعیین نمود.

بعضاً فرآیند سردکردن قطعه در درون کوره و به دور از جریان هوا یا آب یا هر ماده سرد کننده صورت می‌گیرد و در برخی موارد دیگر قطعهٔ مورد نظر باید در خارج از کوره و در جریان یک ماده خنک کننده نظیر هوا یا روغن سرد شود. بعنوان مثال عملیات حرارتی *[۲۳]* شامل گرم کردن فولاد تا درجه حرارت معین، نگهداری در آن دما و سپس سردکردن با سرعتهای مختلف می‌باشد. این عملیات باعث تغییر ساختمان داخلی قطعه و تغییر در خواص آن می‌شود. شبکه بلوری آهن خالص در اثر حرارت ساختمان خود را تغییر می‌دهد. با تغییر ساختمان داخلی خواص فولاد نیز تغییر می‌کند. از جمله خواصی که با تغییر دما، تغییر می‌کنند عبارتند از: قابلیت سختی‌پذیری، سختی، مقاومت قابلیت شکل‌پذیری، درجه حرارت باز پخت، نرماله کردن و میزان مقاومت فولاد در درجه حرارت بالا. البته با توجه به

1- Calibration

نوع و درصد ماده در آلیاژ، خواص فوق با افزایش دما، افزایش یا کاهش می‌یابند. بطور مثال در صنعت چینی‌سازی وقتی مواد چینی در کوره تا دمای $1200^{\circ}C$ گرم و پخته می‌شوند باید با نرخ حرارتی بسیار دقیقی در مدت طولانی مثلاً ۳۶ ساعت بتدریج سرد شوند. میزان سردشدن قطعه آنقدر باید دقیق باشد که در صورت عدم رعایت دقت کافی قطعهٔ چینی دچار کدورت رنگ، شکستگی و عدم مرغوبیت می‌شود.

همچنین در فرآیند ساخت فنرهای لاله‌ای اتومبیل‌ها مسئله‌ای شبیه به همین وجود دارد که قطعه ابتدا حرارت یافته و سرخ می‌شود سپس روی ریلی وارد حوضچه روغن می‌شود و نرخ از دست دادن حرارت آن باید به دقت مورد نظر قرار داشته باشد زیرا در صورت عدم قراردادن در روغن چنانچه بطور عادی سرد شود کاملاً شکننده و ترد خواهد بود. مواردی نظیر مثالهای فوق و بسیاری کاربردهای عملیات حرارتی[1] دیگر موجب می‌شود که روشهایی برای بررسی و کنترل کردن میزان سردشدن قطعات، مورد بررسی قرار گیرد.

از آنجاکه روش توموگرافی در تعیین دما یک روش غیر تماسی است می‌توان در بسیاری از کاربردها، بویژه در تعیین خواص متغیر با دما در اجسام مختلف از آن استفاده کرد. لذا در مجموعهٔ حاضر بررسی این روش مورد ملاحظه و پیگیری قرار گرفته است.

۱-۲ تاریخچه کار در مورد مسائل صنعتی

اولین استفاده عملی از امواج فراصوتی در جستجوی ناموفق کشتی غرق شدهٔ تایتانیک در سال ۱۹۱۲ بود. از توموگرافی کامپیوتری در مسائل مختلف مانند: پزشکی، عیب‌یابی در صنعت، تعیین خواص اجسام مانند دما و چگالی، تعیین تخلخل در اجسام، پوسیدگی در مقاطع چوبی، تعیین دما در استوانه‌ها، کار روی تنشهای پس ماند، تعیین اندازه ذرات در فولادها و تعیین پوشش فلزی /۱۸/ در آلیاژها و... استفاده می‌شود.

از کاربردهای پزشکی به سه مورد سونوگرافی تشخیصی /۱/، و ماموگرافی[2] فراصوتی

1- Heat treatment

2- Mamography

/۲/ تعیین ساختار درختی[1] عروق کرونر /۱۶/، می توان اشاره کرد.

شکل ۱-۲-۱- شکل ایجاد شده پس از ۱۲۰۰ تصویر

۱-۲-۱ عیب‌یابی با امواج اولتراسونیک /۵/

در یک نمونه از این روش، صوتی از روی سطح زمین توسط ترانسدیوسر به سمت لوله فرستاده می‌شود و پس از برخورد به لولهٔ دفن شده در زیرزمین، منعکس گردیده و از روی این پاسخ برگشتی که به وسیله همان ترانسدیوسر یا ترانسدیوسر دیگری دریافت می‌شود، می‌توان در مورد لوله و نشت احتمالی آب قضاوت کرد.

شیوه عمل چنین است: موجی که از دستگاه منتشر می‌شود به سطح زمین رسیده و مقداری از آن منعکس و بقیه نیز به داخل خاک نفوذ می‌نماید، موج پس از طی فاصله بین سطح زمین تا لوله به آن برخورد کرده، مجدداً مقداری از آن نفوذ می‌کند و بهمین ترتیب در دیواره مقابل لوله چنانچه سرعت موج در هوا، خاک، لوله و آب مشخص باشد، زمان لازم برای پیمودن هر یک از این محیطها با داشتن فواصلشان محاسبه می‌گردد و از آنجا زمان کل بدست آمد. چنانچه لوله نشت داشته باشد، خاک اطراف مرطوب بوده و سرعت موج متفاوت خواهد بود.

x_i = طول

$$t = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{v_i} \qquad (۱-۲-۱)$$

که در آن t = زمان

x_i = مسافت طی شده

1- Coronary Arterial Tree

v'_i = سرعت

$$t' = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{v'_i} \qquad (۲-۲-۱)$$

n = تعداد پرتوها

x_i = طول طی شده پرتو در محیط جدید

v_i = سرعت در محیط مورد نظر

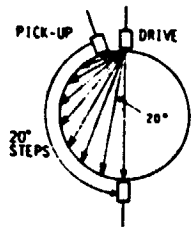
t' = زمان جدید

چنانچه t با t' متفاوت باشد، دلیل بر وجود نشت آب خواهد بود.

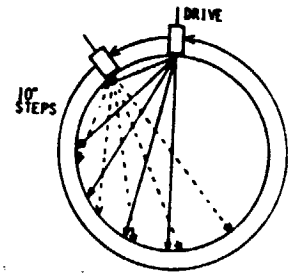
۱-۲-۲ تعیین پوسیدگی در مقاطع چوبی [۲۱]

یکی از راههای تعیین پوسیدگی در مقاطع چوبی استفاده از توموگرافی کامپیوتری با امواج اولتراسونیک است. این روش یکی از تست‌های غیرمخرب یا *NDT* می‌باشد. مسیر طی شده برای تعیین پوسیدگی، اندازه‌گیری سرعت و پس از آن بازسازی تصویر است. برای این که اندازه‌گیریها صحیح‌تر باشد یک ترانسدیوسر که موج را می‌تاباند در پیرامون مقطع حرکت می‌کند و مرتباً موج تابانده می‌شود و در طرف دیگر ترانسدیوسری است که موج را دریافت می‌کند و زمان متناسب، اندازه‌گیری می‌شود. فرکانسی که ترانسدیوسرها در آن کار می‌کنند بین *500KHz* تا *50MHz* است. اطلاعات بدست آمده از این اندازه‌گیریها تعداد زیادی عدد است، بنابراین با داشتن طول طی شده و اندازه گرفتن زمان می‌توان سرعت را بدست آورد. با مقایسه سرعتها می‌توان جاهایی را که پوسیدگی دارند پیدا کرد.

با نوشتن یک برنامه بیسیک می‌توان مقدار سرعت را اندازه‌گیری کرد و بازسازی تصویر در حدود ۱ ساعت طول خواهد کشید.



شکل ۱-۲-۲- روش بدست آوردن زمان مناسب



شکل ۱-۲-۳- تغییر موقعیت ترانسدیوسر فرستنده پس از اولین عمل