

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مکانیک

گروه ساخت و تولید

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

موضوع پایان نامه

مطالعه تغییرات سرعت امواج فراصوتی طولی و عرضی در فلزات با تغییرات دما

نگارش:

محسن اعیانی

استاد راهنما:

دکتر فرهنگ هنرور

شهریور ماه ۱۳۹۱

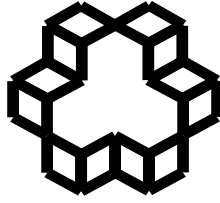
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقديم به

پدر و مادرم

که با صبر و حوصله خود در

تمامی دوران‌های زندگیم امید
موفقیت را در من زنده نگاه داشته‌اند.



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مکانیک

گروه ساخت و تولید

تاییدیه هیات داوران

هیات داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان: " مطالعه تغییرات سرعت امواج فراصوتی طولی و عرضی در فلزات با تغییرات دما" توسط آقای محسن اعیانی صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته: مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید با رتبه..... مورد تایید قرار می دهند.

امضا

آقای دکتر فرهنگ هنرور

۱- استاد راهنما

امضا

آقای دکتر مجید قریشی

۲- ممتحن داخلی

امضا

آقای دکتر سعید خدایگان

۳- ممتحن داخلی

اظهاری نامه دانشجو

موضوع پایان نامه: مطالعه تغییرات سرعت امواج فراصوتی طولی و عرضی در فلزات با تغییرات دما

استاد راهنما: دکتر فرهنگ هنرور

نام دانشجو: محسن اعیانی

شماره دانشجویی: ۸۹۰۲۵۶۴

اینجانب محسن اعیانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

تشکر و قدردانی:

سپاس مرخدای را که خواندن و نوشتنم آموخت. به بار نشستن این پروژه بی‌یاری خداوند متعال و ارشاد صحیح استاد راهنمای پروژه میسر نبود. با احترام فراوان از زحمات بی‌دریغ استاد فرزانه و گرانقدر، جناب آقای دکتر فرهنگ هنرور، سپاس‌گزاری می‌نمایم که با راهنمایی‌های ارزنده مسیر انجام پروژه را هموار ساختند. همچنین برخورد لازم می‌دانم که از زحمات دوستان عزیزم جناب آقای مهندس مهدی ضیغمی و مهندس مجید فاتحی‌فر قدردانی نمایم که در مراحل مختلف پروژه مرا یاری نمودند.

چکیده

در بسیاری از فرایندهای صنعتی اجزایی هستند که در دماهای بالا به کار گرفته می‌شوند. در بازرسی فراصوتی اطلاع دقیق از سرعت موج نقش کلیدی در صحت اندازه‌گیری‌ها دارد. برای مثال در ضخامت‌سنجی جداره لوله‌ها اگر سرعت موج در دمای اندازه‌گیری به درستی اندازه‌گیری نشود، ضخامت‌سنجی خطای زیادی خواهد داشت. سیستم‌های بازرسی فراصوتی کنونی با مسائلی همچون مقاومت دمایی پروب‌ها، جفت کردن پروب‌ها به قطعه در دمای بالا، و لزوم برداشتن عایق برای دسترسی به سازه مواجهند. استفاده از میله‌های استوانه‌ای به منظور قرار دادن پروب در یک محیطی دورتر از سطح داغ قبلاً مورد توجه قرار گرفته است. با این وجود، زمانی که امواج از میله، که "موج‌بر" نیز خوانده می‌شود، عبور می‌کنند، تحت تبدیل حالت‌های بیشماری قرار می‌گیرند که منجر به پیدایش پژواک‌های تاخیری جدید به نام "پژواک‌های متوالی" می‌شود. این پژواک‌ها مانع از انجام اندازه‌گیری دقیق شده و برای حذف آنها نیاز به اصلاح موج‌بر می‌باشد. از بین روش‌های متفاوتی که ارائه شده است، موج‌برهای مخروطی، به علت اینکه نتایج خوبی در سازه‌های جوشکاری شده بدست می‌دهند و مستقل از جنس قطعه هستند و به راحتی ماشینکاری می‌شوند، برای اندازه‌گیری سرعت امواج فراصوتی در دمای بالا مورد استفاده قرار گرفتند. اثر زاویه مخروط بوسیله آزمایش‌های متعدد بررسی شد و هر چند با افزایش زاویه مخروط برای موج‌برهای بلند همواره سیگنال‌های با وضوح بالاتر بدست می‌آید، اما این امر برای موج‌برهای کوتاه صادق نیست. علاوه بر این، تغییرات دما به هنگام اندازه‌گیری با موج‌بر اثر قابل توجهی در زمان رسیدن پژواک دیواره متوالی داشت. در نهایت عملیات اندازه‌گیری توسط موج‌بر با روش بازتابی انجام شد و عدم قطعیت آزمایش‌های انجام شده محاسبه شد. روش بازتابی به پژواک‌های متوالی بسیار حساس است و طراحی موج‌بر نقش مهمی در اندازه‌گیری بازی می‌کند. محیط اطراف نیز محدودیت‌هایی در انتخاب ابعاد موج‌بر ایجاد می‌کند که اجرای اندازه‌گیری به روش بازتابی را سخت‌تر می‌کند. نتایج آزمایش‌های انجام شده تا دمای حداکثر 160°C دقت بالای اندازه‌گیری‌ها را در دماهای متفاوت تایید نمود.

واژگان کلیدی: امواج طولی، امواج عرضی، موج‌بر، پژواک‌های متوالی، عدم قطعیت

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- اهداف پایان نامه	۲
۳-۱- محتوای پایان نامه	۳
فصل دوم : پیش‌زمینه و مرور مقالات	۴
۱-۲- مقدمه	۵
۲-۲- اندازه‌گیری سرعت امواج فراصوتی	۵
۳-۲- تولید پژواک‌های پشت متوالی در موج بر	۹
۴-۲- اندازه‌گیری سرعت صوت با استفاده از موج بر	۱۱
۵-۲- میرایی و پژواک‌های متوالی	۱۳
۶-۲- اثر منبع بر پژواک‌های متوالی	۱۵
فصل سوم: مفاهیم اولیه	۱۸
۱-۳- مقدمه	۱۹
۲-۳- امواج فراصوتی	۱۹
۱-۲-۳- امواج طولی	۱۹
۲-۲-۳- امواج عرضی	۲۰
۳-۲-۳- امواج سطحی	۲۱
۳-۳- امپدانس صوتی	۲۱
۴-۳- بازتابش و انتقال امواج (برخورد عمودی)	۲۲
۱-۴-۳- ضرایب عبور و بازتاب	۲۲
۲-۴-۳- برخورد زاویه‌ای امواج به مرز دو محیط و تبدیل حالت موج	۲۳
۵-۳- عدم قطعیت در اندازه‌گیری	۲۴
۱-۵-۳- تعریف فرایند اندازه‌گیری	۲۹

۳۰	۳-۵-۲- تشکیل مدل خطا
۳۱	۳-۵-۳- شناسایی منابع خطا و پراکندگی
۳۱	۳-۵-۴- تخمین عدم قطعیت
۳۴	۳-۵-۵- انتخاب توزیع مناسب
۳۵	۳-۵-۶- ترکیب و جمع کردن عدم قطعیت‌ها
۳۶	۳-۵-۷- گزارش نتایج تحلیل
۳۶	۳-۶- روش‌های تحلیل سیگنال
۳۷	۳-۶-۱- نویز های موجود در سیگنال
۳۷	۳-۶-۲- حجم پردازش
۳۸	۳-۷- روش‌های اندازه‌گیری امواج فراصوتی
۳۸	۳-۷-۱- روش‌های تماسی
۴۰	۳-۷-۲- روش‌های غیر تماسی
۴۰	فصل چهارم: طراحی میله‌واسط برای اندازه‌گیری امواج فراصوتی
۴۲	۴-۱- مقدمه
۴۲	۴-۲- ابعاد موج بر
۴۲	۴-۲-۱- محدودیت‌های خارجی
۴۳	۴-۲-۲- تاثیر قطر موج بر بر سیگنال‌ها
۴۳	۴-۲-۳- تاثیر طول موج بر بر سیگنال‌ها
۴۶	۴-۲-۴- نتیجه‌گیری و انتخاب ابعاد موج بر
۴۷	۴-۳- تاثیر اصلاحات مرزی روی پژواک‌های متوالی
۴۸	۴-۳-۱- مشاهدات تجربی
۵۱	۴-۳-۲- تجزیه و تحلیل کیفی نتایج
۵۴	۴-۳-۳- خلاصه
۵۴	۴-۴- اثر ماشینکاری بر روی سیگنال‌ها

فصل پنجم: پیاده‌سازی موجبر برای اندازه‌گیری سرعت امواج فراصوتی	۵۵
۱-۵- مقدمه	۵۶
۲-۵- تعریف فرایند اندازه‌گیری	۵۷
۱-۲-۵- ساخت کوره المنتی	۵۸
۲-۲-۵- انجام آزمایش	۵۹
۳-۵- تشکیل مدل خطا	۷۱
۴-۵- ایجاد مدل عدم قطعیت	۷۱
۵-۵- تخمین عدم قطعیت‌های فرایند اندازه‌گیری	۷۳
۶-۵- عدم قطعیت سیستماتیک اندازه‌گیری	۷۴
۷-۵- عدم قطعیت تکرارپذیری	۷۵
۸-۵- عدم قطعیت فاکتور محیطی	۷۹
۹-۵- محاسبه عدم قطعیت اجزاء	۸۱
۱۰-۵- ترکیب اجزاء عدم قطعیت	۸۳
۱۱-۵- تحلیل نتایج	۸۴
فصل ششم: نتیجه‌گیری	۸۹
۱-۶- نتیجه‌گیری	۸۸
۲-۶- پیشنهادها	۸۸
مراجع	۹۰

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲: تولید پژواک‌های متوالی در موج بر ۱۰
- شکل ۲-۲: تاثیر قطر موج بر روی پژواک‌های متوالی. الف) میله با قطر ۹/۵۴ mm (ب) موج بر با قطر mm ۱۲
- شکل ۳-۲: نحوه اندازه‌گیری فاصله زمانی ضخامت نمونه. ۱۳
- شکل ۴-۲: موج‌برهای اصلاح شده برای کاهش پژواک‌های متوالی. الف) موج بر پیوندی (ب) موج بر روکش شده (ج) موج بر مخروطی (د) موج بر شیاردار ۱۴
- شکل ۵-۲: مدل پخش موج توسط پروب ۱۵
- شکل ۱-۳: موج طولی ۲۰
- شکل ۲-۳: موج عرضی ۲۰
- شکل ۳-۳: موج ریلی ۲۱
- شکل ۴-۳: شکست موج در برخورد به سطح دو محیط با امپدانس صوتی متفاوت ۲۳
- شکل ۵-۳: امواج ایجاد شده در مرز دو محیط که قانون اسنل برای هر کدام از آنها صادق است ۲۴
- شکل ۶-۳: مکانیزم چکشی برای اتصال لحظه‌ای ۳۸
- شکل ۷-۳: استفاده از قطعه واسط برای اندازه‌گیری سرعت فراصوت در داخل کوره ۳۹
- شکل ۸-۳: اساس کار پروب EMAT. اندازه‌گیری ضخامت لوله فولادی با استفاده از EMAT ۴۰
- شکل ۹-۳: اصول کلی ایجاد امواج فراصوت با استفاده از لیزر- فراصوت ۴۰
- شکل ۱-۴: مقایسه شکل موج بازتابی برای موج‌برهای با طول یکسان ۱۰۱/۶ mm و قطرهای مختلف: الف) ۱۰ mm (ب) ۲۲ mm ۴۴
- شکل ۲-۴: مقایسه شکل موج بازتابی برای میله‌های با قطر یکسان ۲۲ mm و طول‌های مختلف: الف) ۱۰۱/۶ mm (ب) ۱۱۲/۴ mm (ج) ۲۰۳/۲ mm ۴۵
- شکل ۳-۴: مقایسه شکل موج بازتابی برای موج‌بر مخروطی الف) پروب در قاعده بزرگ (ب) پروب در قاعده کوچک ۴۸
- شکل ۴-۴: شکل موج برای موج‌بر با زاویه مخروط متفاوت با طول ۱۱۲/۴ mm و قطر بزرگ ۲۲ mm. الف) استوانه (ب) زاویه $1/5^\circ$ (ج) زاویه 2° ۴۹
- شکل ۵-۴: اختلاف بین زمان ورود امواج در موج‌بر مخروطی و استوانه‌ای ۵۲
- شکل ۶-۴: تنوع گسترش اثر با مرتبه پژواک. الف) پژواک مرتبه اول (ب) پژواک مرتبه دوم ۵۳
- شکل ۷-۴: نمونه‌ای از ماشینکاری ناقص ۵۴

- شکل ۴-۸: مقایسه سیگنال های بدست آمده از دو موج بر مخروطی. الف) ماشینکاری ناقص ب) ماشینکاری کامل
- شکل ۵-۱: نمای کلی از کوره المنی
- شکل ۵-۳: پژواک گرفته شده از نمونه در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد
- شکل ۵-۴: پژواکهای نمونه به دلیل جفت شدگی نامناسب قابل دریافت نیست
- شکل ۵-۵: نمای روبرو و سه بعدی از نمونه طراحی شده برای ایجاد امواج عرضی داخل نمونه
- شکل ۵-۶: مسیر رفت و برگشت امواج عرضی و طولی
- شکل ۵-۷: به علت تغییرات سرعت موج دریافت امواج برگشت امکان پذیر نیست
- شکل ۵-۸: با توجه با اینکه مرکز کمان روی سطح شیبدار است امواج برخورد کرده به کمان دوباره در مرکز آن متمرکز می شوند
- شکل ۵-۹: منحنی های مربوط به میزان انرژی بازتاب شده، شکسته شده توسط موج عرضی و شکسته شده توسط موج طولی
- شکل ۵-۱۰: سیگنال گرفته شده از نمونه اصلاح شده بدون موج بر
- شکل ۵-۱۱: پژواک در میان نویزهای مختلف ناپدید شده است
- شکل ۵-۱۲: طراحی موج بر یکپارچه با نمونه
- شکل ۵-۱۳: امواج عرضی گرفته شده در دمای محیط برای موج بر و نمونه یکپارچه
- شکل ۵-۱۴: منحنی مربوط به مقایسه کاهش سرعت امواج فراصوتی طولی با افزایش دما با رابطه تئوری
- شکل ۵-۱۵: مقایسه روند کاهش سرعت با افزایش دما برای امواج عرضی

فهرست جداول

- جدول ۲- ۱: مقایسه روش‌های موجود برای میرایی پژواک‌ها..... ۱۲
- جدول ۳- ۱: مقایسه اصول اولیه قبل از GUM (یعنی pre-GUM) و استاندارد GUM..... ۲۶
- جدول ۳- ۲: انواع توزیع احتمال..... ۳۲
- جدول ۴- ۱: اختلاف در تاخیر زمانی بین تئوری و تجربی..... ۴۳
- جدول ۵- ۱: مشخصات فولاد St37..... ۶۳
- جدول ۵- ۲: سرعت امواج فراصوتی در St37..... ۶۴
- جدول ۵- ۳: مقادیر اندازه‌گیری شده از نمونه برای اندازه‌گیری سرعت موج طولی..... ۷۳
- جدول ۵- ۴: عدم قطعیت سیستماتیک کنترلر دما..... ۷۵
- جدول ۵- ۵: مقادیر اندازه‌گیری شده از نمونه برای اندازه‌گیری سرعت موج عرضی..... ۷۷
- جدول ۵- ۶: تکرار اندازه‌گیری زمان برای امواج طولی..... ۷۸
- جدول ۵- ۷: داده‌های مربوط به موج عرضی..... ۷۹
- جدول ۵- ۸: جدول توزیع فاکتور پوشش..... ۸۴
- جدول ۵- ۹: نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های تجربی و تئوری برای امواج فراصوتی طولی..... ۸۵
- جدول ۵- ۱۰: نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های تجربی و تئوری برای امواج فراصوتی عرضی..... ۸۶



فصل اول : مقدمه



۱-۱- مقدمه

هدف از اندازه‌گیری توصیف عددی وضعیت و یا عملکرد یک فرایند فیزیکی است. فهم صحیح داده‌های بدست آمده از چنین اندازه‌گیری‌هایی جهت استفاده از دانش بدست آمده از آنها بسیار مهم است. همچنین هدف از اندازه‌گیری‌های تجربی و مهندسی ایجاد دانش کافی در مورد یک فرایند و در نهایت اتخاذ تصمیمات مناسب مرتبط با آن است.

پیش از این تغییرات سرعت امواج فراصوتی بوسیله روش‌های غیر تماسی و یا تماسی با استفاده از پروب‌های^۱ با کارکرد در دماهای بالا بررسی شده بود. اما نیاز بود تا این فرایندها از لحاظ اقتصادی و همچنین سادگی تا حدودی بهینه‌سازی شوند.

۱-۲- اهداف پایان‌نامه

هدف اصلی این پروژه استفاده از آزمون غیرمخرب فراصوتی برای ارزیابی تغییرات سرعت امواج فراصوتی با تغییرات دما است. این ارزیابی شامل امواج عرضی و طولی است. علاوه بر این تطبیق نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری‌های تجربی با روابط تئوری از دیگر اهداف این پایان‌نامه است که تا به حال برای تغییرات سرعت امواج فراصوتی صورت نگرفته است.

یکی دیگر از کارهای مهمی که در این پروژه انجام شد، اندازه‌گیری عدم قطعیت در تغییرات سرعت امواج فراصوتی می‌باشد. پیش از این معمولاً خطاهای سیستم اندازه‌گیری مورد توجه قرار می‌گرفت. حال آنکه با توجه به تحقیقاتی که در سال‌های اخیر صورت گرفته لازم است که به جای خطا، بازه‌ای تحت عنوان عدم قطعیت به همراه مقدار پارامتر بیان شود.

۱-۳- محتوای پایان نامه

این پایان نامه در شش فصل گردآوری شده است. فصل اول مقدمه است. در فصل دوم مروری بر مقاله‌هایی که در زمینه اندازه‌گیری سرعت نوشته شده است، می‌باشد. همچنین در این فصل به روش‌های میرا کردن پژواک‌های ناخواسته که در امر اندازه‌گیری ایجاد مشکل می‌کنند پرداخته شده است. در فصل سوم به مفاهیم اولیه‌ای که در انجام پروژه از آنها استفاده خواهد شد اشاره شده است که شامل امواج فراصوتی، روش‌های انجام اندازه‌گیری و مفاهیم عدم قطعیت می‌باشد. در فصل چهارم به طراحی و بهینه‌سازی موج‌بر^۱ به عنوان میله واسط پروب و قطعه مورد بازرسی برای انجام اندازه‌گیری پرداخته شده است. فصل پنجم شامل انجام آزمایش‌های تجربی جهت اندازه‌گیری سرعت امواج فراصوتی می‌باشد. همچنین در این فصل عدم قطعیت سرعت امواج نیز محاسبه شده است. در نهایت فصل ششم شامل خلاصه‌ای از کارهای انجام گرفته و نتیجه‌ها و پیشنهادها می‌باشد.

1- Waveguide

فصل دوم : پیش‌زمینه و مرور مقالات



۲-۱- مقدمه

در این فصل به مروری بر مقاله‌هایی که در زمینه اندازه‌گیری امواج فراصوتی منتشر شده‌اند، پرداخته شده است. بیشتر مباحث این فصل مربوط به استفاده از موج‌پر برای حفظ پروب از حرارت بالا می‌باشد. در انتهای فصل نیز مقایسه کلی انواع موج‌برها انجام شده است.

۲-۲- اندازه‌گیری سرعت امواج فراصوتی

سرعت امواج فراصوتی بوسیله مدول موج صفحه‌ای از رابطه زیر بدست می‌آید [۱].

$$c(T) = \sqrt{\frac{M(T)}{\rho(T)}} \quad (۱-۲)$$

که در معادله بالا $M(T)$ مدول موج صفحه‌ای و $\rho(T)$ چگالی ماده است. مدول موج صفحه‌ای توسط مدول یانگ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$M(T) = KE(T) \quad (۲-۲)$$

که پارامتر k بوسیله ضریب پواسون بدست می‌آید.

$$K = \frac{1-\nu}{1-\nu-2\nu^2} \quad (۳-۲)$$

تغییرات مدول یانگ با تغییرات دما به صورت خطی بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E(T) = E_0 + \beta(T - T_0) \quad (۴-۲)$$

ضریب پواسون و در نتیجه پارامتر K با تغییرات دما ثابت فرض شده است. E_0 مدول یانگ در دمای اولیه (T_0) است در حالیکه β پارامتر ویژه است. به علت انبساط حرارتی، چگالی نیز با تغییرات دما تغییر خواهد کرد. با توجه به این اصل که جرم کل در طول انبساط ثابت است بنابراین چگالی با تغییرات دما از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\rho(T) = \frac{\rho_0}{(1+\alpha(T-T_0))^3} \quad (۵-۲)$$

حال با توجه به معادله‌های بالا و جایگذاری آنها در معادله (۱-۲) داریم:



$$\begin{aligned}
 c(T) &= \sqrt{\frac{K(E_0 + \beta(T - T_0)) \cdot (1 + \alpha(T - T_0))^3}{\rho_0}} \\
 &= \sqrt{\frac{KE_0 \left(1 + \frac{\beta}{E_0}(T - T_0)\right) \cdot (1 + \alpha(T - T_0))^3}{\rho_0}} \\
 &= \sqrt{\frac{M_0 \left(1 + \frac{\beta}{E_0}(T - T_0)\right) \cdot (1 + \alpha(T - T_0))^3}{\rho_0}} \Rightarrow
 \end{aligned}$$

$$c(T) = v_0 \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{\beta}{E_0}(T - T_0)\right) \cdot (1 + \alpha(T - T_0))^3} \quad (۶-۲)$$

معادله (۶-۲) مرجعی برای مقایسه سرعت‌های اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی در فصل پنجم خواهد بود. تاکنون تحقیقات فراوانی برای اندازه‌گیری سرعت امواج فراصوتی انجام گرفته شده است که در زیر به برخی از آنها اشاره شده است.

مورتی^۱ و همکارانش [۲]، از دو روش سختی‌سنجی و اندازه‌گیری امواج فراصوتی خواستند تا خواص نایمونیک^۲ ۲۶۳ را محاسبه کنند. بررسی نتایج نشان داد که دقت روش اندازه‌گیری سرعت صوت بیشتر است. آنها برای انجام آزمایش‌ها از روش بازتابی استفاده کردند. پروبی که برای اندازه‌گیری سرعت امواج طولی استفاده شده پروبی با فرکانس ۱۵ MHz و برای موج عرضی ۵ MHz در نظر گرفته شد. آنها برای اندازه‌گیری دقیق‌تر سرعت امواج فراصوتی از روش همبستگی متقابل^۳ بر روی سیگنال‌ها استفاده کردند.

کارون^۴ و همکارانش [۳]، برای یافتن خواص سرامیک آلومینیوم-زیرکونیوم، نمونه‌هایی از این جنس با میکروساختارهای مختلف ساختند. به منظور فهمیدن علل تغییر سرعت فراصوتی، آزمایش‌هایی را بوسیله

1- Murthy

2- Nimonic

3- Cross- Correlation

4- Carreon



پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی و روش فراصوتی غوطه‌وری انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که میکروساختار تاثیر زیادی در سرعت فراصوتی دارد و در مقایسه با موج طولی، موج عرضی وابستگی بیشتری با میکروساختار دارد. برای اندازه‌گیری زمان پرواز پراش^۱ فرض شده که موج طولی به صورت عمودی و موج عرضی به صورت مایل به قطعه برخورد و از قانون اسنل^۲ محاسبه شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش عدد سختی نمونه‌های آزمایش، سرعت امواج طولی و عرضی افزایش یافته و چگالی میکروساختار کاهش می‌یابد.

زاوراه^۳ و همکارانش [۴] در سال ۲۰۰۷، برای به دست آوردن خواص مکانیکی (E,G,K,...) سرامیک کارباید سیلیکون در دماهای بالا، سرعت فراصوتی را اندازه گرفته و از روی نتایج آن خواص مکانیکی مذکور را محاسبه کردند. نتایج نشان داد که با افزایش دما، سرعت امواج طولی و عرضی کاهش و خواص مکانیکی ماده بهبود می‌یابد.

گور^۴ و همکارانش [۵]، برای شناسایی میکروساختارهای مختلف از روش اندازه‌گیری سرعت فراصوتی استفاده کردند. در این مطالعه برای به دست آوردن میکروساختار یکسان و حذف اثر اندازه دانه، ابتدا دو نوع فولاد AISI 5140 و AISI 4140 را در ناحیه آستنیت به مدت زمان معین نگه داشتند تا ساختارهای اولیه یکسانی به دست آید. سپس با استفاده از نمودارهای ITT با نرخ سرد کردن‌های مختلف، نمونه‌هایی با یک نوع میکروساختار ایجاد کرده و سرعت امواج فراصوتی را در آنها اندازه‌گیری کردند. برای اندازه‌گیری سرعت امواج فراصوتی، از روش بازتابی برای موج طولی از پروب ۲۰ MHz با جفت‌کننده روغن ماشین و برای موج عرضی از پروب ۵ MHz با جفت‌کننده عسل استفاده شد.

نتیجه‌های آنها نشان می‌دهد که سرعت فراصوتی در ساختار مارتنزیت بیشترین و در ساختار پرلیت-بینیت درشت کمترین مقدار است. به طور کلی تاثیر فاز بر روی انتشار امواج فراصوتی بسیار اندک است و هدف

1- Time Of Flight (TOF)

2- Snell

3- Zawrah

4- Gur