بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

تست غیرمخرب توسط امواج التراسنیک در اتصال بین لایه کامپوزیت و لایه آلومینیوم

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک طراحی کاربردی

پژمان دریابر

استاد راهنما

دکترمحمود فرزین

۱۳۸۹

تشکر وقدردانی

با سپاس فراوان از دکتر فرزین که راهنمایی این پایان‌نامه را برعهده داشتند.

کلیه حقوق مادی مرتبط بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نو آوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به او که لحظه‌ای ما را تنها نمی‌گذارد ...

و تقدیم به پدر، مادر و همسرم که صمیمانه‌ترین ایثارها را نثار من کردند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... **هشت**

چکیده **۱**

فصل اول : مقدمه

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲-بررسی تحقیقات انجام شده ۳

۱-۳-تعریف مسئله و روند تدوین پایان نامه ۴

فصل دوم: تست غیر مخرب توسط امواج التراسنیک

۲-۱- امواج التراسنیک ۵

۲-۲- ویژگی های امواج التراسنیک ۷

۲-۳- انواع امواج التراسنیک ۷

۲-۳-۱- امواج طولی ۷

۲-۳-۲- امواج عرضی یا امواج برشی ۸

۲-۳-۳- امواج سطحی یا امواج رایلی ۹

۲-۴- تولید امواج التراسنیک ۹

۲-۵- معرفی تست غیرمخرب با امواج التراسنیک ۱۰

۲-۶-انواع روشهای بازرسی ۱۲

۲-۶-۱-روش بازتاب با پراب عمودی ۱۲

۲-۶-۲-روش عبوری با پراب عمودی ۱۳

۲-۶-۳-روش عبوری با پراب زاویه ای ۱۴

۲-۶-۴-روش بازتاب با پراب زاویه ای ۱۴

۲-۶-۵-بازرسی با استفاده از پراب موج سطحی ۱۵

۲-۶-۶-آزمون غوطه وری ۱۵

۲-۷ حساسیت و تنظیم ۱۶

۲-۷-۱-اصول و کاربردهای اندازه گیری آسیب: ۱۶

۲-۸-پاره ای از کاربردهای آزمون التراسنیک ۱۷

فصل سوم : مقدمه ای بر تئوری انتشار موج

۳-۱-مقدمه ۲۱

۳-۲-ماهیت موج: ۲۳

۳-۳-بازتاب موج بدنه: ۲۴

۳-۴-انتشار موج هارمونیک: ۲۵

۳-۵-انتشار موج صفحه ای در ورق: ۲۵

۳-۶-مدهای متقارن و پادمتقارن: ۲۷

۳-۷-سرعت فاز و سرعت دسته موج: ۳۰

۳-۸- امواج هدایت شده ۳۳

۳-۹- امواج ترکیبی در صفحات چند لایه ۳۶

۳-۹-۱-صفحات چند لایه موجود بدون حضور مایع ۳۷

۳-۹-۲-ناپایداری عددی ۴۰

۳-۹-۳-روش ماتریس مرجع ۴۱

۳-۱۰- امواج هدایت شده در کامپوزیت تک لایه و چند لایه ۴۴

۳-۱۱- معادلات انتشار موج در نمونه ۴۹

فصل چهارم : مدل اجزا محدود

۴-۱- مقدمه ۵۶

۴-۲-تئوری اجزا محدود: ۵۶

۴-۳-برنامه اجزا محدود: ۵۷

۴-۳-۱عوامل دخیل در اجزا حدود: ۵۷

۴-۳-۲-مدل اجزا محدود: ۵۸

۴-۴-تحلیل خروجی: ۶۰

۴-۴-۱-تبدیل فوریه دوبعدی : ۶۱

نفصل پنجم: نتایج آزمایشگاهی

۵-۱-مقدمه ۶۴

۵-۲-شرح آزمایش ۶۵

فصل ششم: نتیجه گیری

مراجع ۷۵

چکیده

عیب یابی اتصالات با استفاده از امواج التراسنیک روز به روز در حال پیشرفت است و ثابت شده است که روشی قوی می باشد. در این پروژه سعی می‌شود روش شناخت این آسیب توسط امواج التراسنیک در اتصال بین لایه کامپوزیت و آلومنیم یافت شود. در واقع استفاده از پراب های موج عمودی و موج زاویه ای در ورق ها معمول می باشد. در اینجا روش استفاده از موج زاویه ای مورد بررسی قرار می گیرد. یکی از کاربردهای آزمون غیر مخرب التراسنیک در صنایع هوا فضا ، آسیب‌یابی در اتصالات کامپوزیت و آلومنیوم است. در صنایع هوا فضا اتصالات ورق‌های کامپوزیتی و آلومنیومی کاربرد زیادی دارند. به منظور بررسی آزمون با پراب موج زاویه ای، ابتدا معادلات انتشار امواج لمب برای صفحات چند لایه محاسبه می‌شود. نمونه ای که در این معادلات در نظر گرفته شد ورق سه لایه است که لایه اول ورق آلومنیوم به ضخامت ۲ mm است و لایه کامپوزیت به ضخامت ۱/۶به آن متصل شده است. خواص کامپوزیت از نمونه ای که برای استخراج خواص مکانیکی تهیه شد به دست آمد. با اعمال شرایط مرزی برای سطوح لایه ها نمودار تغییرات عدد موج با تغییر فرکانس رسم می‌شود. نمودار حاصل نمودار پخشی است که با استفاده از روش ماتریس مرجع برای بیان مد های ممکن بدست می آید. با در نظر گرفتن فرکانس ۲ MHz مدهایی که می توان رخ دهد مشخص می شود. از بین این مدها مد مناسب با استفاده از توزیع تنش در راستای ضخامت انتخاب می شود. با توجه به توزیع تنش در لایه چسب، به نظر می رسد که مد اول حساسیت بیشتری نسبت به لایه چسب داشته باشد. نمودار پخشی از طریق مدل المان محدود که توسط نرم‌افزار ABAQUS تهیه می‌شود، نیز به دست می آید. سیگنالهای خروجی بدست آمده از این مدل با تبدیل فوریه دوبعدی به حوزه فرکانس–عدد موج منتقل می شود. از این طریق منحنی پخشی بدست می آید. با استفاده از نتایج بدست آمده به نظر می رسد که مد اول قدرت انتشار بیشتری دارد. چنین نتیجه ای از محاسبات نیز بدست آمد. نمونه ای برای انجام آزمایش تهیه شد.به منظور ایجاد آسیب مساحتی در میان لایه اتصال دهنده عدم اتصال ایجاد شد. نمونه توسط دستگاه آزمایش تست غیر مخرب با پراب موج زاویه ای ۲ MHz عیب یابی شد. نتایج نشان داد که مد اول حساسیت بیشتری نسبت به آسیب ایجاد شده دارد.

کلمات کلیدی:

تست غیر مخرب، امواج التراسنیک، معادلات موج لمب، المان محدود، ورق آلومنیوم، ورق کامپوزیت، اتصال

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

آزمون غیر مخرب یکی از کاربردی‌ترین روش های موجود در صنعت فعلی می باشد. در این روش بدون آسیب زدن به سازه می‌توان به خواص سازه پی برد. آزمون غیر مخرب با امواج التراسنیک یکی از انواع آزمون‌های غیر مخرب است که امروزه در صنعت و پزشکی کاربرد فراوان یافته و روز به روز بر کاربرد آن افزوده می‌شود. آزمایش التراسنیک، یک روش تست غیر مخرب است که در آن امواج صوتی با فرکانس بالا (در حد MHz) به درون مواد تحت بازرسی، برای یافتن عیوب داخلی و بررسی خواص مواد، ارسال می شود. امواج صوتی، با مقداری اتلاف انرژی ناشی از میرایی، در درون مواد حرکت کرده در مرزهای مشترک بازتاب می شوند. در بیشتر کاربردها، پرتو باز تابیده شده آشکار سازی گردیده و برای تشخیص وجود، مکان و ارزیابی کمی عیوب، مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

میزان بازتاب امواج عمدتاً از وضعیت فیزیکی و خواص فیزیکی ماده آنسوی مرز مشترک تبعیت می کند. امواج صوتی تقریباً بطور کامل در مرز مشترک فلز- گاز (هوا) بازتاب می شوند، بازتاب نیمه کامل در سطح مشترک فلز- مایع یا فلز- جامد بوقوع می پیوندد. انرژی بازتاب شده اساساً تابع خواص مشخص از ماده است.

عیوبی مانند ترک ها، حفرات ناشی از انقباض، ذوب ناکافی، پوکی و پیوند ناکافی که مانند مرز مشترک فلز- گاز عمل می کنند، توسط این روش به آسانی قابل تشخیص می باشند. اختلاط سرباره و سایر ناهمگنی ها را می توان از طریق بازتاب نیمه کامل و پراکندگی امواج التراسنیک تشخیص داد. این روش تست غیر مخرب که در مقیاس

وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد و دارای کاربردهای فراوانی، از قبیل: تعیین مشخصات پیوند[1] اندازه گیری ضخامت قطعات، تخمین خوردگی، تعیین خواص فیزیکی، تشخیص ریز ساختار[2] ماده، تعیین اندازه دانه های فلز[3] و تعیین ضرایب ثابت ماده در حالت الاستیک است. همان طور که گفته شد ارزیابی پیوند ها از کاربردهای این روش آزمون است. مزیت این روش برای ارزیابی پیوند ها این است که کوچکترین تغییری در خواص پیوند باعث تغییر در انتشار موج شده و قابل شناسایی است. در حالی که در بسیاری از آزمون های غیر مخرب معمول تغییر در خواص چسب یا عدم اتصال چسب با لایه ها قابل تشخیص نیست. در ادامه تاریخچه عیب یابی اتصالات با این روش آورده می شود.

۱-۲-بررسی تحقیقات انجام شده

مطالعات اولیه در زمینه آزمون غیر مخرب با امواج التراسنیک در لایه های اتصال دهنده مربوط به مقاومت طولی در راستای ضخامت لایه ها [۱] و ضریب بازگشت موج در لایه ها [۲] بوده است که توسط روخلین و وانگ[4] ارائه شد. به مرور استفاده از موج هدایت شده[5] و منحنی پخشی به منظور عیب یابی اتصالات مطرح شد. در این راستا منحنی پخشی برای یک ورق همگن با شرایط کرنش صفحه ای توسط لمب[6] [۳] برای اولین بار ارائه شد. به این خاطر گسترش موج در طول ورق با دو سطح آزاد به طور معمول موج لمب نام دارد. به طور عمده دو روش برای استخراج معادلات انتشار موج لمب در ورق کامپوزیت وجود دارد. یکی پاسخ دقیق با تئوری الاستیسیته ۳ بعدی و دیگری حل تقریبی با تئوری ورق و پوسته. با استفاده از روش اول که توسط مال[7] [۴] ارائه شد، رابطه منحنی پخشی برای ورق کامپوزیتی استخراج شد. هاسکل و نوپوف[8] [۵و۶] روش ماتریس مرجع (GMM) و انتقال ماتریس را برای استخراج رابطه پخشی برای چند لایه ها ارائه کردند. شناسایی و ایجاد مد های مناسب با استفاده از منحنی پخشی برای چند لایه فلز-فلز توسط روخلین ارائه شد.[۷] روخلین همچنین پیشنهاد داد که چگونه توسط محاسبات مد بهتر شناسایی می شود.[۸] نحوه ایجاد مدهای مختلف نیز توسط رز[9] ارائه شده است.[۹] به جز موج لمب استفاده از موج های دیگر و روش های دیگر برای عیب یابی اتصالات توسط گیوت و کالی ارائه شده است[۱۰].

در این پروژه منحنی پخشی را که رابطه سرعت فاز موج لمب با فرکانس و عدد موج است، برای ورق سه لایه که از محیط همگن و غیر همگن تشکیل شده است، بیان می شود. در این پروژه معادلات مربوط به ترکیب دو لایه همگن و یک لایه غیرهمگن حل شده است و منحنی پخشی برای این سه لایه به روش GMM استخراج شده است. مقدمه عیب یابی با پراب موج زاویه ای استخراج منحنی پخشی برای نمونه است. این پروژه روش استخراج منحنی پخشی برای نمونه موجود که یک لایه آلومنیوم متصل به یک لایه کامپوزیتی توسط یک لایه چسب است را ارائه می دهد.

---

[1] Bond
[2] Microstructure
[3] Grain size
[4] Rokhlin , wang
[5] Guided wave
[6] Lamb
[7] A.K.Mal
[8] Haskell , Knopoff
[9] Rose

مطالعات گذشته کاربرد المان محدود را در استخراج نمودار پخشی ارائه کرده است. روش های ارزیابی سیگنال از جمله تبدیل فوریه دو بعدی نیز پیش از این ارائه شده است[۱۱و۱۲و۱۳]. در این پروژه سه لایه کرنش صفحه ای مطابق نمونه موجود در ABAQUS مدل شده است و منحنی پخشی برای مسئله موجود استخراج شده است. آنچه این مطالعه را برجسته می کند مدل شدن لایه چسب و لایه کامپوزیت است. نکته دیگر که این پروژه را نسبت به کارهای دیگر برجسته می کند مقایسه منحنی های ناشی از المان محدود و منحنی های ناشی از محاسبات است که در هیچ یک از مراجع ذکر شده تکرار نشده است.

۱-۳-تعریف مسئله و روند تدوین پایان نامه

همان طور که قبلا اشاره شد عیب یابی اتصالات به خصوص اتصالات لایه های کامپوزیتی با لایه های دیگر و به خصوص سریع و دقیق بودن این نوع آزمون در صنعت، به خصوص صنعت هوافضا بسیار اهمیت یافته است. به دلیل حساسیت سازه های هوافضا، یافتن عدم اتصال یا اتصال ضعیف و پارامتر های دخیل در آن اهمیت می یابد. در این پروژه شرایط بهینه به منظور یافتن عدم اتصال بین لایه آلومنیوم و لایه کامپوزیت که در ملخ هواپیما کاربرد دارد، یافت می شود. اهمیت این پروژه برای صنعتی چون صنایع هواپیما سازی، کاربردی کردن این نوع آزمون برای موارد کاربرد آن ها است. همچنین در این پروژه پارامترهایی که به منظور عیب یابی بهتر اتصالات می تواند مطرح شود معرفی می شود. در واقع این پروژه دریچه ای برای ورود و کاربردی کردن این نوع آزمون برای موارد کاربرد خاص آن ها است. آزمون غیر مخرب با امواج التراسنیک به خصوص در کشور ما پدیده ای تازه وارد است که زمینه های گسترده ای از کنار این پدیده تعریف می شود. مطرح شدن تئوری پشت این پدیده و کاربردی کردن و بهینه کردن این آزمون برای کاربرد های صنعتی واقعا ضروری به نظر می رسد.

در ادامه ابتدا راجع به ماهیت موج و موج التراسنیک بحث می شود و سپس انواع روش آزمون با امواج التراسنیک بیان می شود. سپس مدل المان محدود برای مدل کردن موج که توسط پراب موج عمودی ایجاد می شود، تهیه می شود. نتایج بدست آمده با نتایج آزمایش برای نمونه تهیه شده در آزمایشگاه صنایع هواپیما سازی مقایسه می شود و از این طریق صحت مدل المان محدود تهیه شده اثبات می شود. در بخش های بعد آزمون با پراب موج زاویه ای مطرح می شود. به این منظور ابتدا تئوری انتشار موج لمب در ورق همگن و غیر همگن و نمونه مورد بررسی بیان می شود. سپس منحنی پخشی که مد های مختلف موجود را بیان می کند، بدست می آید. در ادامه توزیع تنش برای مد های ممکن در فرکانس ۲ MHz (فرکانس پراب دستگاه آزمون) رسم می شود و از روی آن مد مناسب برای عیب یابی عدم اتصال سازه انتخاب می شود. نمودار پخشی از طریق مدل المان محدود تهیه شده نیز بدست می آید. از طریق مدل المان محدود مد های مختلف تفکیک و شناسایی می شود. در نهایت توسط نمونه آزمون تهیه شده در شرکت هواپیما سازی و دستگاه آزمون موجود در آزمایشگاه خواجه نصیر تهران آزمون با مد های مختلف که قبلا شناسایی شده بود انجام می شود و سیگنال خروجی مربوط به هر مد برای قسمت سالم و معیوب نمونه نشان داده می شود. در صورت صحت محاسبات باید همان مدی که در محاسبات به عنوان مد مناسب تر شناخته شد در آزمایشات نیز حساسیت بهتری نشان دهد.

فصل دوم

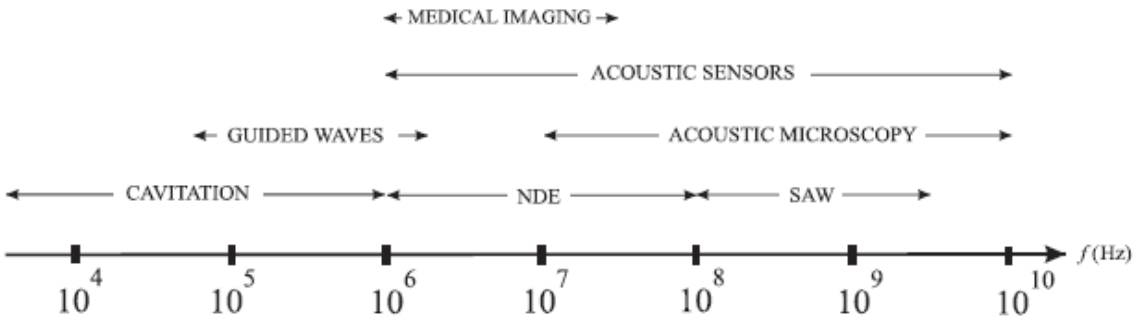
تست غیر مخرب توسط امواج التراسنیک

۲-۱- امواج التراسنیک

سرچشمه حیات آب است. منشا پدیدار شدن التراسنیک نیز آب است. روی خشکی حواس پنجگانه نقش مهمی ایفا می کنند ولی در زیر آبها دیگر این حواس کارایی لازم را ندارند. مثلا برای فواصل نسبتا دور بینایی ابزارهای لازم برای عملکرد درست را از دست می دهد. تنها امواج صوتی عملکرد خود را تقریبا حفظ می کنند و این اساس ارتباط بسیاری از موجودات زیر آب برای ارتباط با اطراف خود است. تکنولوژی التراسنیک بر همین اساس مورد استفاده قرار گرفت. مثلا برای شناسایی اهداف زیر آب و یا سیستم ارتباط و مکالمه مورد استفاده قرار گرفت. شروع استفاده از التراسنیک به طور جدی از جنگ جهانی اول بود. در این دوره دریافتند که در فرکانس های بالاتر ردیابی بهتر انجام می شوند و این عامل استفاده از امواج با فرکانس بالاتر از فرکانسهای قابل شنوایی شد و این پیشرفتها منجر به استفاده التراسنیک و مبدلهای با عملکرد بهتر شد. آغاز استفاده از این پدیده پس از غرق شدن کشتی تایتانیک و حمله های زیردریایی آلمان در سال ۱۹۱۵ بود. این وقایع تلاشهای لانگوین را منجر شد. او تلاشهای برای شناسایی آسیب ها با امواج با فرکانس ۱۵۰ kHz شروع کرد. در سالهای ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۵ این تکنولوژی با کشف پدیده هایی مانند سرامیکهای قطبی برای مبدلها، شاخکهای مبدل مانسون برای متمرکز سازی انرژی، ماشین کاری و سوراخ کاری و جوشکاری التراسنیک، پاشش رنگ و فرآیند های استخراج و ذوب آهن شکوفا شد[۱۴].

صداهای قابل درک برای انسان درمحدوده فرکانسی ۲۰ HZ تا ۲۰ kHZ می باشد که با افزایش سن حد بالا کاهش می یابد. پهنای باند قابل درک برای انسان در مقابل پهنای باند موجود در طبیعت بسیار کوچک است. التراسنیک

امواج با فرکانس بالاتر از ۲۰ kHZ راشامل می شود که تا حدود ۱ GHZ نیز قابل افزایش است. بالاتر از این فرکانس را هایپرسنیک گویند. شکل ۲-۱ تقسیم بندی از فرکانسهای مختلف بر اساس کاربردها را نشان می دهد. اکثر کاربردهای مربوط به اجسام جامد در رنج فرکانس بین ۱ MHZ تا ۱۰۰ MHZ رخ می دهد.



شکل ۲-۱: تقسیم بندی از فرکانسهای مختلف بر اساس کاربردها[۱٤]

مباحث سمعی و بصری از ابتدا به موازات هم رشد یافته اند. چرا که پدیده هایی که جنبه بصری دارند عینا در مباحث سمعی نیز دیده می شوند. ولی مباحث سمعی گسترده تر می باشند. تئوری حاکم بر پدیده های بصری تئوری انتشار امواج الکترومغناطیس برای اپتیک و تئوری حاکم بر پدیده های سمعی تئوری انتشار امواج تنش برای محیط مواد است. تمام پدیده های التراسنیک در مباحث سمعی جای دارند. بنابراین تئوری پخش و شکست برای تمام فرکانسها برقرار می باشد.[۱۴]

حال چرا التراسنیک اهمیت پیدا می کند؟ در واقع این پدیده آنقدر گسترده است که هر روز کاربردی نو برای آن پیدا می شود. امروزه التراسنیک کاربردهای فراوانی در فیزیک کاربردی، شیمی پوشش دهی، بیولوژی صنایع غذایی، پزشکی، اقیانوس شناسی، زلزله شناسی و ... دارد. برای مثال نوع فرکانس بالای امواج التراسنیک سطحی[1] در علم زلزله شناسی کشف شد و این امواج امروزه در سیستم های آنالوگ نقش مهم و عمده ای دارند. برای مثال فیلترهای با کیفیت بالا و قیمت کم امروزه کاربرد فراوانی در بازار تلویزیون و ارتباطات بدون سیم دارند. و یا مثلا در صنعت پزشکی تصاویر جنین و یا تصاویر غیر مضر دیگر از قلب یا تصاویر اورولوژیک از دیگر موارد کاربردها هستند. اساس استفاده از التراسنیک این است که این امواج در بعضی پدیده ها رفتار ویژه و یکسان دارند و این باعث می شود که از روی آن خواص و حالات مواد را دریافت. این رفتار را می توان اینگونه تقسیم بندی کرد.

۱- این امواج به آرامی حرکت می کند. (تقریبا ۱۰۰۰۰۰ بار آرامتر از امواج الکترو مغناطیس) و این امکان مطالعه امواج را در زمان کافی امکان پذیر می سازد.

[1] SAW

۲- امواج التراسنیک به آسانی در محیط های غیر شفاف نیز جریان می یابد در حالی که انواع دیگر مانند نور های قابل رویت این طور نیستند. با توجه به قابل انعطاف بودن منابع تولید امواج التراسنیک بسیاری از مواد غیر شفاف را با استفاده از این امواج می توان مورد بررسی قرار داد.

اصولاً امواج التراسنیک برای تشخیص آسیب بسیار مفیدتر از امواج با فرکانس پایین است چرا که این امواج طول موج پایین دارند. این دامنه وسیع‌تری از آسیب‌ها را در معرض شناخت قرار می‌دهد. در واقع این طول موج پایین سبب می‌شود که ترک‌های جزئی هم روی پاسخ امواج تأثیر گذارد و مشخص شود.

۲-۲- ویژگی های امواج التراسنیک

یک پرتو التراسنیک، از جهات مختلف، به یک پرتو نور شباهت دارد. هر دو موج بوده و از معادله عمومی موج پیروی می کنند. هر کدام از این پرتوها با یک سرعت مشخص در یک محیط همگن حرکت می کنند. سرعتی که به خصوصیات محیط بستگی دارد، نه به خواص امواج. همانند پرتوهای نوری، پرتوهای التراسنیک در برخورد با سطوح بازتاب می شوند، هنگام عبور از مرز مشترک دو ماده، که مشخصات صوتی متفاوت دارند، دچار شکست می شوند و در برخورد با لبه های تیز و موانع گرد شکسته می گردند. پراکنش[1] پرتوهای التراسنیک توسط سطوح زبر و ذرات موجب کاهش انرژی این پرتوها می شود، این امر شبیه به کاهش شدت نور عادی به سبب پراکنش می باشد.

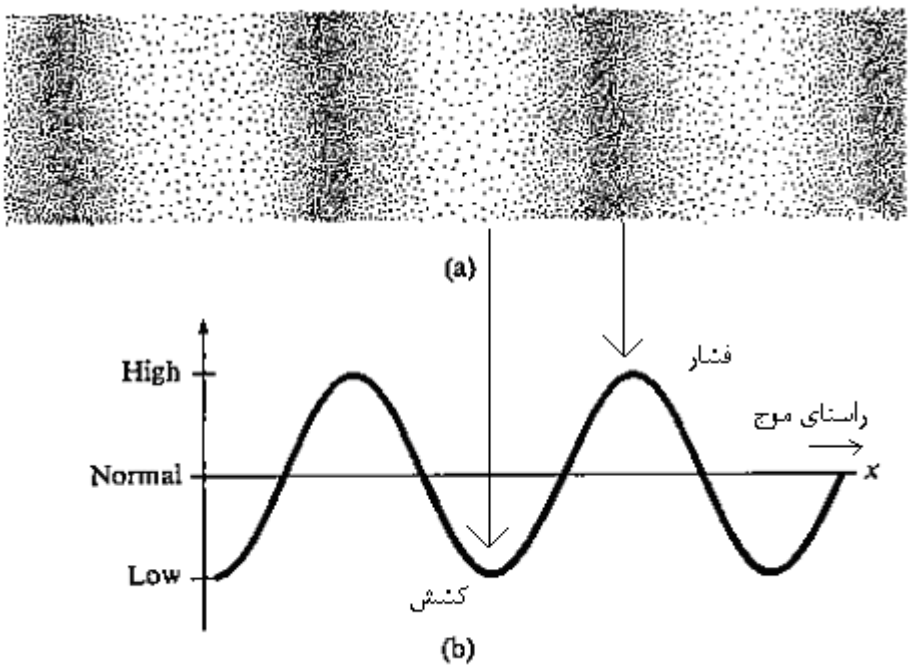
۲-۳- انواع امواج التراسنیک

امواج التراسنیک بر مبنای جهت ارتعاش ذرات محیط، نسبت به جهت انتشار موج، به شرح زیر طبقه بندی می شوند: امواج طولی، امواج عرضی و امواج سطحی.

۲-۳-۱- امواج طولی[2]

امواج طولی، امواج فشاری نیز نامیده میشوند. در این نوع از امواج التراسنیک، مناطق فشاری و کششی به صورت متناوب، بر اثر ارتعاش ذرات محیط در راستای انتشار موج، بوجود می آید. بخش (a) از شکل ۲-۲ یک موج التراسنیک طولی را به طور شماتیک نشان می دهد. در بخش (b) شکل ۲-۲ نمودار جابجایی ذرات محیط نسبت به راستای انتشار موج، نشان داده است. این نوع امواج التراسنیک به طرز وسیعی در آزمایش التراسنیک مورد استفاده قرار می گیرند، زیرا تولید و آشکار سازی آنها آسان می باشد. تقریبا تمام انرژی التراسنیک استفاده شده در آزمایش مواد، در قالب این نوع امواج، بازگشته و سپس به شکل دیگری از انرژی تبدیل می شود. این نوع از امواج می توانند در جامدات، مایعات و گازها منتشر شوند.

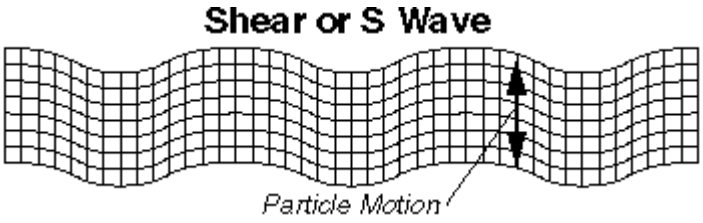
[1] Scattering
[2] Longitudinal Waves



شکل ۲-۲: نمایش شماتیک امواج طولی

۲-۳-۲-امواج عرضی یا امواج برشی[1]

یک موج در صورتی عرضی یا برشی نامیده می شود که جهت ارتعاش ذرات محیط، بر راستای انتشار موج عمود باشد. این نوع از موج به طور شماتیک در شکل ۲-۳ به نمایش درآمده است. برای حرکت چنین موجی در یک ماده لازم است هر ذره از ماده با ذرات مجاور خود پیوند محکمی داشته باشد، بطوریکه، هر وقت آن ذره حرکت کند، ذرات مجاور را با خود بکشد. بدین ترتیب موجب انتشار انرژی موج، در درون ماده، با سرعتی کمتر از سرعت موج طولی، می گردد.



شکل ۲-۳: نمایش شماتیک امواج عرضی

برای تمام مقاصد عملی، موج عرضی می تواند فقط در جامدات منتشر شود. این، بدان علت است که، فاصله بین ملکول ها و اتم ها، یا به عبارت دیگر "متوسط مسیر آزاد"، در مایعات و گازها بقدری زیاد است که جاذبه بین آنها، برای حرکت دادن یک ذره توسط دیگری، کافی نمی باشد. بنابراین موج به سرعت میرا می شود. انتقال این نوع از

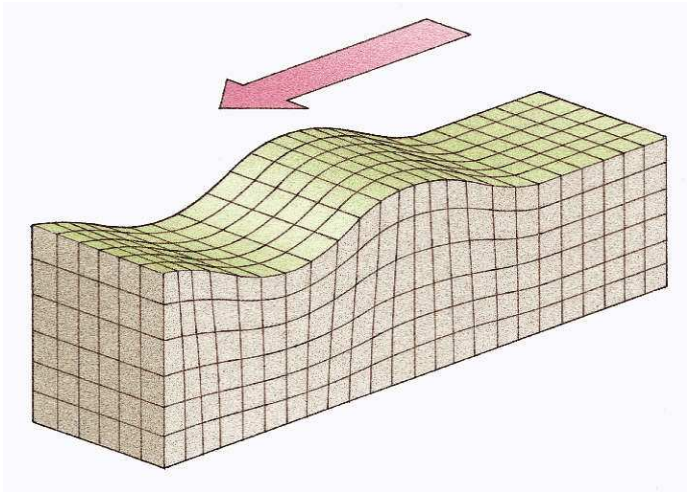
[1] Shear Waves

موج در ماده را می توان توسط حرکت موجی یک طناب نشان داد؛ در حالیکه حرکت موج در راستای اولیه طناب می باشد، هر ذره طناب در جهت بالا و پائین یعنی عمود بر راستای اولیه طناب نوسان می کند.

۲-۳-۳- امواج سطحی یا امواج رایلی[1]

امواج سطحی، که برای اولین بار توسط رایلی تشریح شد، امواج رایلی نامیده می شود. این امواج فقط می توانند در امتداد صفحه ای که از یک طرف به نیروهای الاستیک قوی یک جامد و از طرف دیگر به نیروهای الاستیک فوق العاده ضعیف مابین مولکولهای یک گاز، محصور است، حرکت کنند. بنابراین امواج سطحی، اصولاً در جایی که یک جامد در یک مایع فرو رفته حضور ندارند، مگر اینکه فقط لایه نازکی از مایع روی سطح جامد را پوشانده باشد. سرعت این امواج در یک ماده، تقریباً برابر با ۹۰٪ امواج برشی در همان ماده می باشد. این امواج می توانند فقط در منطقه ای زیر سطح جسم، که ضخامت آن از یک طول موج بیشتر نباشد، منتشر شوند(شکل ۲-۴).

امواج سطحی برای مقاصد آزمایشی مناسب می باشند، زیرا میرایی آنها، در یک ماده مشخص، در مقایسه با امواج طولی و عرضی کمتر است. از آنجا که این امواج می توانند به دور گوشه ها بچرخند، می توان آنها را برای آزمایش قطعاتی که از لحاظ شکل پیچیده اند، بکار برد. این امواج قادرند ترک ها و عیوب سطحی و نزدیک به زیر سطح را، بیابند.



شکل ۲-٤: نمایش امواج سطحی

۲-۴- تولید امواج التراسنیک

بطور معمول، امواج التراسنیک توسط مبدل های پیزوالکتریک که سیگنال های الکتریکی پر فرکانس را به ارتعاشات مکانیکی تبدیل می کنند، تولید می شود. این ارتعاشات مکانیکی تشکیل یک جبهه را می دهند که از طریق یک واسطه به درون جسم تحت بازرسی ارسال می شوند. بسته به جهت و مکان عیوب، چند نوع از امواج را می توان برای بازرسی بکار برد. امواج طولی، عرضی و سطحی، بطور جداگانه و در روش ها متفاوت، برای آشکار سازی عیوب

[1] Surface Waves

موازی یا مایل نسبت به سطحی که بازرسی از آن انجام می شود بکار برده می شوند. بیشتر بازرسی ها با استفاده از پرتو مستقیمی از امواج طولی و امواج برشی مایل با روش pulse-echo انجام می شوند.

متداولترین مواد پیزوالکتریک، مورد استفاده در ردیاب های التراسنیک، عبارتند از: کوارتز، سولفات لیتیم و سرامیک های قطبی شده. سرامیک های رایج عبارتند از: تیتانات باریم، متانیوبات سرب، زیر کونات سرب. مهمترین مشخصات ردیابهای التراسنیک عبارتند از: حساسیت، تفکیک پذیری،منطقه مرده و اثر منطقه نزدیک[1] .

۲-۵- معرفی تست غیرمخرب با امواج التراسنیک

در دهه ۹۰ التراسنیک ۲۸٪ از کل آسیب شناسی غیر مخرب را شامل می شد. جدول۲-۱ درصد استفاده صنایع مختلف از آزمون غیر مخرب با امواج التراسنیک را در این دهه نشان می دهد. ارزش این بازار در ۹۶۰ ملیون دلار تخمین زده شد.

جدول ۲-۱: کاربرد NDT در بازار جهانی [۱۴]

صنعت	میزان کاربرد NDT به درصد
هوافضا	26
خودرو	15
فلزات	15
تاسیسات	14
پتروشیمی	10
دیگر صنایع	20

با توجه به اینکه سرعت امواج التراسنیک به ثابتهای الاستیک بستگی دارد. التراسنیک برای شناسایی آسیب در مواد گوناگون کاربردی می شود. چون در گذشته اطلاعات کافی از محتوای ماده و ابعاد ترک موجود نبود ضریب اطمینان بالا جایگزین این کمبود می شد. به طوری که در بعضی استانداردها همین شیوه (طراحی مخازن و بویلر در ASME) را پیشنهاد داد. امروزه این شیوه طراحی ناکارامد و شیوه طراحی با آسیب شناسی و ضریب اطمینان معقول جایگزین شد. در مواد کریستالی سرعت امواج علاوه بر خواص الاستیک به بافت ماده، سختی و اندازه دانه ها نیز بستگی دارد. برای کاربردهای صنعت اتوماتیک سیستم التراسنیک قابل حمل و خودکار شد.

[1] Near Field Effect

بازرسی التراسنیک اساساً با فرکانسهایی بین ۱ تا MHZ ۲۵ انجام می شود. این سیستم بازرسی شامل قسمت های زیر است:

۱- یک آشکار ساز الکترونیکی دارای مدار روبش، تولید کننده پالس، مدار ساعت، و یک لوله پرتوکاندی.
۲- یک مبدل دارای کریستال پیزوالکترونیک که وقتی در معرض جریان متناوب قرار می گیرد از خود امواج فرا صوتی ساطع می سازد.
۳- یک کوپلاژ برای انتقال انرژی امواج التراسنیک به قطعه تحت آزمایش.

مزیت های اساسی بازرسی التراسنیک نسبت به سایر روش های تست غیر مخرب عبارتند از:

۱- توانایی نفوذ بسیار بالا که بازرسی قطعاتی با ضخامت ۵ متر را مقدور می سازد.
۲- حساسیت بالا که یافتن عیوب فوق العاده ریز را مقدور می سازد.
۳- دقت بالا در یافتن مکان عیوب داخلی، تخمین اندازه، جهت، شکل و نوع عیوب.
۴- لزوم دسترسی فقط به یک سطح قطعه یا جوش.
۵- مناسب بودن برای اتوماسیون، وارسی سریع، نظارت بر خط تولید، کنترل فرآیندها و امکان ثبت دائمی نتایج.
۶- توانایی وارسی حجمی اشیاء قطعات جوشکاری شده، سازه ها و غیره.
۷- قابلیت حمل.

بازرسی التراسنیک برای کنترل کیفیت و بازرسی مواد، در بسیاری از صنایع مورد استفاده قرار می گیرد. بازرسی التراسنیک، در حین کار، برای تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، به منظور یافتن شکستهای قریب الوقوع چرخ قطار، محورها، غلتکهای دستگاه نورد، دستگاه های حرکت روی زمین، دستگاههای معدن، خطوط لوله جوشکاری شده در صنایع شیمیایی و هسته ای، دیگ های بخار، مخازن تحت فشار و غیره مورد استفاده قرار می گیرد. نمایندگی های دولتی و سازمانهای تهیه کننده استانداردها اقدام به نشر استانداردها و مدارکی نموده اند. این مدارک عمدتاً به یافتن عیوب در کالاهای مشخص تولیدی می پردازند. اما می توان آنها را بعنوان یک مبنا برای تشخیص عیوب در بسیاری از زمینه های دیگر به کار برد.

اندازه گیری ضخامت توسط روش التراسنیک می تواند در تجهیزات حرارتی و شیمیایی، بدنه زیر دریایی ها، بخش های مختلف هواپیما و مخازن تحت فشار انجام گیرد. این روش، روشی بسیار مناسب برای تشخیص کاهش ضخامت ناشی از خوردگی داخلی، در سیستم های بسته نظیر تجهیزات فرآیندهای شیمیایی، می باشد. برای کاربرد موفقیت آمیز بازرسی التراسنیک، سیستم بازرسی باید برای نوع بازرسی مورد نظر، مناسب باشد و اپراتور باید به اندازه کافی کارآموزی کرده و دارای تجربه باشد. چنانچه هر کدام از این پیش نیازها برآورده نشود، احتمال بروز خطاهای عمده در نتایج بازرسی، وجود خواهد داشت.

هر یک از صنایع رقابتی به یک روش آسیب شناسی قابل انعطاف، کارآمد و دقیق نیاز دارد. هر روش آزمون غیر مخرب کارایی ویژه ای دارد که برای یک نیاز مفید است. آزمون غیر مخرب با التراسنیک کاربرد های فراوانی دارد

و قابل تطبیق ترین روش برای تولید اتوماتیک است. التراسنیک برای هر دو نوع آسیب سطحی و درونی کارامد است. همچنین گوناگونی امواج با منابع تولید گوناگون و فرکانس های مختلف کارامدی های فراوانی برای التراسنیک فراهم می سازد. محدودیت التراسنیک ناشی از خواص فیزیکی ماده ای که آزمون می شود، شرایط فیزیکی انتقال انرژی و خطاهای اپراتور می باشد.

۲-۶-انواع روشهای بازرسی

روش‌های زیادی برای تشخیص آسیب از ترکیب امواج التراسنیک وجود دارد. یکی از آن‌ها این است که امواج التراسنیک توسط یک جسم خارجی به عنوان یک ورودی به سازه اعمال می‌شود. سازه تحت امواج درونی و سطحی قرار می‌گیرد و سپس پاسخ سازه به این امواج مورد بررسی قرار می‌گیرد. از طریق این پاسخ می‌توان رفتار سازه را بررسی کرد. روش دیگر استفاده از امواج الکتریکی برای ایجاد امواج توسط سازه‌های هوشمند انجام می‌شود. با اتصال سازه هوشمند به سازه مورد نظر و بررسی امپدانس سازه هوشمند می‌توان به رفتار سازه پی برد. ترک در سازه را می‌توان از طریق تحلیل حرارتی نیز جستجو کرد. به این صورت که توسط دوربین‌های حساس به دما سازه که تحت ورودی امواج التراسنیک است، مورد بررسی قرار می گیرد. چون در ترک‌ها و آسیب سازه‌ها دما افزایش می-یابد، می‌توان تشخیص داد که آیا ترک وجود دارد یا نه. بسیاری روش‌های دیگر نیز برای تشخیص آسیب توسط این امواج وجود دارد. وجود نقص را در ماده با استفاده از امواج التراسنیک به وسیله روش عبوری یا بازتاب می توان آشکار ساخت. این اطلا عات از یک کاتالوگ صنعتی از شرکت هواپیما سازی آورده شده است.

۲-۶-۱-روش بازتاب با پراب عمودی

روش بازتاب با پراب عمودی معمولی ترین روش مورد استفاده در آزمون التراسنیک است و در شکل ۲-۵ دیده می شود. تمام یا بخشی از پالس به وسیله نقص درون ماده بازتابیده می شود و توسط پراب که متشکل از فرستنده و گیرنده است، دریافت می شود. فاصله زمانی بین فرستادن پالس و دریافت پالس برای تعیین فاصله نقص از پراب به کار می رود.

روش بازتاب برتریهای ویژه ای نسبت به روش عبوری دارد که عبارت اند از:

الف) نمونه می تواند هر شکلی داشته باشد.

ب) تنها دسترسی به یک طرف قطعه آزمون نیاز است.

ج) تنها یک نقطه جفت کننده وجود دارد، بنابراین خطا به حداقل می رسد.

د) فاصله نقصها را از پراب می توان اندازه گیری کرد.