دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مکانیک

گروه ساخت و تولید

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

در رشتهٔ مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

انتشار امواج لمب در ورق‌های همسانگرد عرضی

نگارش:

حمیدرضا ابراهیم‌زاده

استاد راهنما:

دکتر فرهنگ هنرور

شهریور ماه

۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری

فداکار نصیبم ساخت تا در سایه درخت پر بار وجودشان

بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و در سایه

وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان

دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود پس از

پروردگار مایه هستی‌ام بوده اند. دستم را گرفتند و راه

رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا

کردند .حال این برگ سبزی است تحفه درویش

تقدیم به:

استاد زندگیم:

پدرم

استاد دلسوزم:

مادرم

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش‌اش که در

این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است،

به پاس قلب پرمهر، شکیبایی‌اش، محبت‌های بی‌دریغ

که هرگز فروکش نمی کند و همراه همیشگی‌ام،

تقدیم به:

همسرم

تأسیس۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

گروه ساخت و تولید

تائیدیه هیأت داوران

هیئت داوران پس از مطالعهٔ پایان‌نامه و شرکت در جلسهٔ دفاع از پایان‌نامهٔ تهیه شده تحت عنوان: **"انتشار امواج لمب در ورق‌های همسانگرد عرضی"** توسط آقای **حمیدرضا ابراهیم‌زادهٔ دیزجی**، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ: مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید با رتبهٔ.....مورد تایید قرار می‌دهند.

۱- استاد راهنما	آقای دکتر فرهنگ هنرور	امضاء.....
۲- ممتحن داخلی	آقای دکتر مجید قریشی	امضاء.....
۳- ممتحن داخلی	آقای دکتر مهدی ظهور	امضاء.....
۴- نمایندهٔ تحصیلات تکمیلی دانشکده	آقای دکتر مهدی ظهور	امضاء.....

اظهارنامه‌ی دانشجو

موضوع پایان نامه:

انتشار امواج لمب در ورق‌های همسانگرد عرضی

استاد راهنما :آقای دکتر فرهنگ هنرور

نام دانشجو :آقای حمیدرضا ابراهیم‌زاده دیزجی

شماره دانشجوئی :۸۷۰۲۳۱۴

اینجانب **حمیدرضا ابراهیم‌زاده** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید می باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می نمایم 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 مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

فرم حق چاپ، نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد .هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

۲- ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۳- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

۴- همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیر و تشکر

زکردار هر کس که دارم سپاس بگویم به یزدان نیکی شناس

فردوسی

با حک کردن این نوشته در ابتدای پایان‌نامه، سپاس خود را از جناب آقای دکتر فرهنگ هنرور، به دلیل راهنمایی‌ها و حمایت‌های بی‌دریغ ایشان که باعث به ثمر نشستن پایان‌نامه شد، ابراز می دارم و نتایج این پایان‌نامه را مدیون دانش استاد بزرگوارم هستم.

همچنین از همراهی و مشاورهٔ آقای دکتر سینا سوداگر کمال سپاس را دارم.

چکیده

در این پایان‌نامه، بسط و توسعهٔ مدل ریاضی انتشار امواج در ورق‌های همسانگرد عرضی بر اساس تئوری مکانیک محیط پیوسته و اصول الاستیسیتهٔ سه بعدی انجام شده است. با استفاده از دو مدل ریاضی، معادلات انتشار موج برشی عرضی و موج لمب در ورق‌های همسانگرد عرضی به دو روش متفاوت حل شده‌اند. مدل ریاضی استفاده شده برای حل معادلات انتشار موج برشی عرضی و موج لمب به ترتیب به روش بوچوالد (Buchwald) و مورس و فشباخ (Morse-Feshbach) انجام شد. در روش بوچوالد از ترکیب مشتق سه تابع اسکالر برای تفکیک جابجایی‌ها در سه جهت استفاده و معادلات به دو معادلهٔ انتشار موج لمب و موج برشی افقی تفکیک شد. معادلات موج برشی افقی حل و به منظور صحت سنجی، نتایج آن با دو مرجع دیگر مقایسه شده است. در حل انتشار موج به روش ارائه شده توسط مورس و فشباخ، از سه تابع اسکالر متعامد جابجایی استفاده شده‌است. با استفاده از این مفهوم معادلات به دو بخش معادلات موج لمب و موج برشی افقی تفکیک و با استفاده از مفاهیم الاستیسیته معادلات برای انتشار امواج لمب حل شد.

معادلهٔ فرکانسی (Frequency Equation) با استفاده از روش‌های عددی حل و نتایج برای دو ماده همسانگرد عرضی متفاوت ارائه شده است. اثر تغییر جهت انتشار موج از یک جهت اصلی در ورق به سمت جهت اصلی دیگر نیز در این قسمت مطالعه شده است. نتایج به دست آمده از حل عددی موج لمب برای یک ورق آلومینیوم نورد شده با مشخصات مکانیکی مشخص و یک عیب مجازی با نتایج حاصل از آزمایش فراصوتی مقایسه و مطابقت خوبی بین آنها دیده شد. برای افزایش دقت این بازرسی از پردازش سیگنال به روش تبدیل هیلبرت استفاده شده است.

فهرست مطالب

۱- فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهداف پایان‌نامه ۵

۱-۳- محتوای پایان‌نامه ۶

۲- فصل دوم: مروری بر پیشینهٔ تحقیق ۸

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- مفاهیم فیزیکی انتشار امواج فراصوتی ۹

۲-۲-۱- امواج حجمی ۹

۲-۲-۲- تغییر حالت موج ۱۱

۲-۲-۳- دیسپرژن ۱۲

۲-۲-۴- امواج سطحی و زیر سطحی و ورقی (هدایت شده) ۱۴

۲-۳- انتشار موج ۱۶

۲-۴- آزمون فراصوتی ۱۸

۲-۵- امواج لمب و دامنهٔ کاربرد آن ۱۹

۲-۶- انتشار امواج لمب در ورق‌های ناهمسانگرد ۲۲

۲-۶-۱- مقدمه ۲۲

۲-۶-۲- مروری بر سابقهٔ تحقیق ۲۲

۲-۷- جمع بندی فصل دوم ۳۱

۳- فصل سوم: مدلسازی انتشار امواج در ورق‌های همسانگرد عرضی ۳۲

۳-۱- اصول و نحوهٔ بررسی انتشارموج لمب ۳۳

۳-۱-۱- مقدمه ۳۳

۳-۲- ورق‌های همسانگرد عرضی ۳۴

۳-۳- روابط حرکت در ساختار همسانگرد عرضی ۳۵

۳-۴- تعریف مسئله ۳۶

۳-۴-۱- هندسهٔ مسئله ۳۶

۳-۴-۲- شرایط مرزی ۳۷
۳-۴-۳- جهت انتشار موج ۳۷
۳-۵- حل مسئله ۳۸
۳-۵-۱- حل انتشار امواج برشی افقی ۳۸
۳-۵-۲- بررسی شرایط مرزی با توابع اسکالر برای امواج برشی افقی ۴۲
۳-۵-۳- معادلهٔ فرکانسی امواج برشی افقی ۴۳
۳-۵-۴- حل معادلات انتشار امواج لمب ۴۵
۳-۵-۵- تعریف ثابت‌ها و مفاهیم فیزیکی برای جواب معادلات موج لمب ۴۹
۳-۵-۶- یافتن ثوابت معادلات موج لمب ۵۰
۳-۵-۷- معادلهٔ فرکانسی (دیسپرژن) موج لمب ۵۲
۳-۶- سرعت گروه ۵۴
۳-۷- بازرسی با موج لمب ۵۴
۳-۷-۱- تجهیزات مورد نیاز برای تولید امواج لمب ۵۴
۳-۷-۲- تولید موج لمب در ورق ۵۶
۳-۷-۳- اندازه‌گیری سرعت موج لمب در ورق ۵۷
۳-۷-۴- تعیین موقعیت عیب ۵۸
۳-۷-۵- بهینه‌سازی نتایج با پردازش سیگنال به روش رسم پوش سیگنال به روش هیلبرت ۵۹
۳-۸- جمع بندی فصل سوم ۶۰
۴- فصل چهارم: نتایج ۶۱
۴-۱- مقدمه ۶۲
۴-۲- انواع مادهٔ همسانگرد عرضی ۶۲
۴-۳- نتایج حل معادلات امواج برشی افقی به روش بوچوالد ۶۴
۴-۳-۱- نتایج رسم منحنی سرعت فاز و گروه موج برشی عرضی برای ماده نوع اول ۶۴
۴-۳-۲- نتایج رسم منحنی سرعت فاز و گروه موج برشی عرضی برای ماده نوع دوم ۷۳
۴-۳-۳- تایید صحت نتایج با مقایسه نمودارهای موج برشی افقی با مراجع ۸۰

۴-۴- نتایج انتشار موج لمب ۸۱
۴-۴-۱- حل عددی معادلهٔ فرکانسی موج لمب (معادلهٔ (۳-۶۲)) ۸۱
۴-۴-۲- نتایج حل عددی ۸۵
۴-۴-۳- بازرسی ورق آلومینیوم نورد شده ۸۹
۴-۴-۴- نتایج آزمایشگاهی ۹۰
۵- فصل پنجم: نتیجه‌گیری ۹۵
۵-۱- مقدمه ۹۵
۵-۲- نتیجه‌گیری ۹۶
۵-۳- پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ۹۷
مراجع ۹۹

فهرست جداول

جدول۴- ۱: ضرایب سختی مواد همسانگرد عرضی [۴۳]. ۶۳

جدول۴- ۲: تعیین شاخص مواد همسانگرد عرضی نوع ۱ و ۲ (ستون اول بر اساس این پروژه و ستون دوم مرجع شماره [۴۳].....۶۳

جدول۴- ۳: نتایج اندازه‌گیری سرعت دو مد و نتایج تئوری. ۹۱

جدول۴- ۴: نتایج استفاده از تبدیل هیلبرت برای اندازه گیری سرعت موج لمب. ۹۲

جدول۴- ۵ : نتایج عیب یابی ورق آلومینیوم نورد شده. ۹۳

فهرست اشکال

فصل دوم

شکل۲-۱: موج طولی.....۱۰
شکل۲-۲ : موج عرضی.....۱۰
شکل۲-۳: (الف) موج SV و (ب) موج SH ۱۰
شکل۲-۴: (الف) قانون اسنل، (ب) تغییر حالت موج عرضی در برخورد به سطح مشترک. ۱۱
شکل۲-۵: سرعت گروه موج (Cg) و سرعت فاز موج (C)، موجی که با خط پر نشان داده شده است با سرعت فاز و موجی که با خط چین نشان داده شده است با سرعت گروه انتشار می‌یابد. مشاهده می‌شود که دو موج با طول موج بالا و طول موج پایین باهم ترکیب شده‌اند..... ۱۳
شکل۲- ۶:منحنی دیسپرژن ورق آلومینیوم همسانگرد (خطوط پر سرعت فاز و خط چین سرعت گروه) [۷]. ۱۳
شکل۲-۷: موج ریلی.....۱۴
شکل۲-۸: موج استونلی.....۱۵
شکل۲-۹:موج لاو ۱۵
شکل۲-۱۰: تغییر حالت موج در برخوردهای متوالی به دیواره‌های ورق [۷]. ۱۶
شکل۲-۱۱: نحوه انتشار موج لمب و نوسان در مد صفر: (الف) متقارن، (ب) پادمتقارن.....۱۶
شکل۲-۱۲: مقایسهٔ عیب‌یابی بوسیلهٔ موج لمب با سایر روش‌ها (کمترین اندازهٔ عیب قابل تشخیص برحسب اندازهٔ تراگذار) [۱۸]. ۲۱
شکل۲-۱۳: مقایسه عیب‌یابی بوسیلهٔ موج لمب با سایر روش‌ها (کمترین اندازهٔ عیب قابل تشخیص برحسب میزان انرژی مورد نیاز تراگذار، بدون درنظر گرفتن انرژی مورد نیاز برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها) [۱۸].....۲۱

فصل سوم

شکل۳- ۱: هندسه مسئله..... ۳۷
شکل۳- ۲: پروب زاویه متغیر، برای تولید موج لمب. ۵۵
شکل۳- ۳: تجهیزات مورد استفاده. ۵۸
شکل۳- ۴: نحوهٔ انجام آزمایش بر روی ورق آلومینیوم نورد شده..... ۵۹

فصل چهارم

شکل۴- ۱ : منحنی فرکانسی SH برای کبالت در زاویهٔ ۰ درجه. ۶۵

شکل۴- ۲: منحنی فرکانسی SH برای کبالت در زاویهٔ ۳۰ درجه. ۶۶

شکل۴- ۳: منحنی فرکانسی SH برای کبالت در زاویهٔ ۴۵ درجه. ۶۶

شکل۴- ۴:منحنی فرکانسی SH برای کبالت در زاویهٔ ۶۰ درجه. ۶۷

شکل۴- ۵:منحنی فرکانسی SH برای کبالت در زاویهٔ ۹۰ درجه. ۶۷

شکل۴- ۶ : منحنی فرکانسی SH برای کبالت مجموعهٔ زوایا. ۶۸

شکل۴- ۷: منحنی فرکانسی SH برای منیزیوم مجموعهٔ زوایا. ۶۸

شکل۴- ۸: منحنی سرعت گروه SH برای کبالت در زاویهٔ ۰ درجه. ۶۹

شکل۴- ۹: منحنی سرعت گروه SH برای کبالت در زاویهٔ ۳۰ درجه. ۶۹

شکل۴- ۱۰: منحنی سرعت گروه SH برای کبالت در زاویهٔ ۴۵ درجه. ۷۰

شکل۴- ۱۱: منحنی سرعت گروه SH برای کبالت در زاویهٔ ۶۰ درجه. ۷۰

شکل۴- ۱۲: منحنی سرعت گروه SH برای کبالت در زاویهٔ ۹۰ درجه. ۷۱

شکل۴- ۱۳: منحنی سرعت گروه SH برای کبالت در مجموعهٔ زوایا. ۷۱

شکل۴- ۱۴:منحنی سرعت گروه SH برای منیزیوم در مجموعهٔ زوایا. ۷۲

شکل۴- ۱۵: منحنی فرکانسی SH برای تیتانیوم برید در زاویهٔ ۰ درجه. ۷۴

شکل۴- ۱۶: منحنی فرکانسی SH برای تیتانیوم برید در زاویهٔ ۳۰ درجه..... ۷۵

شکل۴- ۱۷: منحنی فرکانسی SH برای تیتانیوم برید در زاویهٔ ۴۵ درجه. ۷۵

شکل۴- ۱۸: منحنی فرکانسی SH برای تیتانیوم برید در زاویهٔ ۶۰ درجه.....۷۶

شکل۴- ۱۹: منحنی فرکانسی SH برای تیتانیوم برید در زاویهٔ ۹۰ درجه. ۷۶

شکل۴- ۲۰: منحنی فرکانسی SH برای تیتانیوم برید در مجموعهٔ زوایا. ۷۷

شکل۴- ۲۱: منحنی فرکانسی SH برای روی در مجموعهٔ زوایا. ۷۷

شکل۴- ۲۲: منحنی فرکانسی SH برای کادمیوم در مجموعهٔ زوایا. ۷۸
شکل۴- ۲۳: منحنی سرعت گروه SH برای تیتانیوم برید در مجموعهٔ زوایا..... ۷۸
شکل۴- ۲۴: منحنی سرعت گروه SH برای روی در مجموعهٔ زوایا..... ۷۹
شکل۴- ۲۵: منحنی سرعت گروه SH برای کادمیوم در مجموعهٔ زوایا. ۷۹
شکل۴- ۲۶: نتیجهٔ کارمرجع[۴۵] ۸۰
شکل۴- ۲۷: الگوریتم رسم منحنی دیسپرژن ۸۴
شکل۴- ۲۸: منحنی دیسپرژن برای جهت Z، برای منیزیوم. ۸۵
شکل۴- ۲۹: منحنی دیسپرژن برای منیزیوم در جهت انتشار ۳۰ درجه. ۸۶
شکل۴- ۳۰: منحنی دیسپرژن برای منیزیوم در جهت انتشار ۴۵ درجه. ۸۶
شکل۴- ۳۱: منحنی دیسپرژن برای منیزیوم در جهت انتشار ۶۰ درجه. ۸۷
شکل۴- ۳۲: منحنی دیسپرژن برای منیزیوم در جهت انتشار ۹۰ درجه. ۸۷
شکل۴- ۳۳: منحنی دیسپرژن برای زاویهٔ انتشار ۰ درجه. ۸۸
شکل۴- ۳۴: سرعت گروه برای جهت انتشار صفر درجه. ۸۸
شکل۴- ۳۵: زاویهٔ بحرانی برای تولید موج لمب. ۸۹
شکل۴- ۳۶: دو اکوهای دریافتی برای اندازه گیری سرعت مدهای S0 و A1. ..... ۹۱
شکل۴- ۳۷: تبدیل هیلبرت اکوهای سرعت مدها. ۹۲
شکل۴- ۳۸: سیگنال عیب دریافتی بدون تبدیل هیلبرت. ۹۳
شکل۴- ۳۹ : سیگنال عیب با رسم پوش منحنی به روش هیلبرت. ۹۳

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه

آزمون‌های غیرمخرب[۱] نقش مهمی در عیب‌یابی انواع قطعات ایفا می‌کنند. عیوب[۲] موجود در ساختارِ قطعاتِ ابزارهای صنعتی، مصرفی، تولیدی، وسایل نقلیه و خانگی، می‌تواند موجب خسارت‌های بازگشت‌ناپذیری شود. برای نمونه مابین سالهای ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۷ میلادی، سقوط هواپیماها در پروازهای داخلی ایالات متحده آمریکا به تعداد ۱۵۰۲ مورد رسید، که (٪۲۶) ۳۸۶ مورد آن وخیم گزارش شده بودند و مرگ ۱۱۰۴ نفر را بدنبال داشت [۱]. بسیاری از این خرابی‌ها ناشی از رشد و انباشتگی ترک[۳] و یا سایر عیوب تا حد بحرانی بود. حادثه‌ی قطار آلمانی به نام ایشید[۴] در سال ۱۹۹۸ میلادی، نمونه‌ی دیگری است که ناشی از ترک خستگی[۵] لبه‌ی چرخ[۶] بود،که زیر بار تکراری ۵۰۰۰۰۰ دور در روز[۷] قرار داشت در این حادثه قریب به ۱۰۰ نفر کشته و ۳۰۰ نفر زخمی شدند [۲]. وجود عیب در هر نوع قطعه می‌تواند ایمنی کاربر یا کاربران و عملکرد ماشین را در معرض خطر قرار دهد، از این‌رو تشخیص عیب در قطعات تولید شده جایگاه مهمی را در صنعت دارد.

آزمون فراصوتی[۸] (فراصوت به امواجی گفته می‌شود که خارج از محدوده شنوایی انسان هستند، یعنی فرکانسی بالاتر از ۲۰۰۰۰ هرتز دارند) یکی از روش‌های آزمون غیرمخرب است که بوسیله‌ی آن می‌توان عیوب را در قطعات تشخیص داد. در این روش امواج فراصوتی[۹] توسط یک تراگذار[۱۰] به شکل پالس وارد قطعه (محیط جامد[۱۱]) می‌شوند، بعد با دریافت موج عبوری[۱۲] یا بازتابی[۱۳] و مقایسه و پردازش آن، می‌توان اطلاعاتی (با توجه به نحوه انجام آزمون) در مورد عیوب داخلی قطعه بدست آورد [۳].

---

۱ Nondestructive testing (NDT) or nondestructive evaluation (NDE)
۲ Defects
۳ Crack
٤ German Eschede train
٥ Fatigue crack
٦ Wheel rim
۷ Cycle per day
۸ Ultrasonic testing (UT)
۹ Ultrasonic waves
۱۰ Transducer or search unit
۱۱ Solid Media
۱۲ Through-Transmission method
۱۳ Pulse-Echo method

برای پیاده‌سازی و انجام آزمون فراصوتی و تحلیل نتایج، آشنایی با اصول و جزئیات انتشار موج در محیط مورد نظر لازم و ضروری است. از اینرو، انتشار امواج فراصوتی در مواد جامد، به یک موضوع کاملاً مهم، در ارزیابی غیرمخرب قطعات تبدیل شده‌است. روش‌های جدید در آزمون فراصوتی برای شناسایی عیوب در مواد و ساختارها، معمولا سریع‌تر، حساس‌تر، دقیق‌تر و اقتصادی‌تر از روش‌های قبلی آزمون‌های فراصوتی هستند. برای مثال: برای بازرسی لوله‌های عایق‌کاری شده، ابتدا باید عایق آن برداشته شود و با استفاده از یک پروب و حرکت آن در طول لوله[۱]، بازرسی انجام شود. اما با پیشرفت روش‌های بازرسی فراصوتی، اکنون می‌توان از یک پروب[۲] تولیدکنندهٔ موج هدایت‌شده[۳] استفاده کرد که در این روش بدون برداشتن عایق لوله و بدون حرکت دادن پروب در امتداد آن بازرسی امکان‌پذیراست (بازرسی با گذاشتن پروب در یک نقطه لوله انجام می‌شود). برای استفاده از این روش، شناخت کافی از انتشار امواج فراصوتی در مواد جامد مورد نیازاست، برای مثال انتخاب فرکانس و مد[۴] مناسب امواج هدایت‌شده در بازرسی استوانه‌ها و ورق‌های چندلایه ضروری است.

امواج هدایت‌شده دارای قابلیت‌های مناسبی برای عیب‌یابی قطعات هستند. اگر بخواهیم بطور مختصر تفاوتی برای امواج هدایت‌شده و امواج حجمی[۵] بیان‌کنیم، می‌توان گفت: در امواج حجمی انرژی موج در حجم ماده پخش می‌شود، ولی در امواج هدایت‌شده، انرژی موج به صورت خاص در مرز مشخصی تمرکز می‌یابد و موج دارای شکل، مد و فرکانس مشخصی است که با این تمرکز انرژی می‌توان بخش خاصی از قطعات را عیب‌یابی‌کرد. برای مثال مخازن جدار نازک تحت فشار را می‌توان توسط این امواج بازرسی کرد [۴].

بطور کلی تحلیل‌های انتشار امواج، عموماً بر اساس نظریه‌های الاستودینامیک و حل معادلهٔ انتشار موج با در نظر گرفتن شرایط مرزی است. این تحلیل‌ها راهکارهای جدیدی در آزمون‌های غیرمخرب فراصوتی برای استفاده از امواج هدایت شده باز می‌کند که می‌تواند موجب تسریع و افزایش دقت

---

۱ Scanning
۲ Probe or transducer
۳ Guided wave
۴ Frequency and mode
۵ Bulk wave

آزمون شود.

برای بررسی و ارزیابی غیرمخرب یک ورق ناهمسانگرد توسط امواج هدایت شده، ابتدا باید معادلهٔ انتشار در این ورق را دانست. با به دست آوردن منحنی‌های مشخصه موج هدایت شده و تهیهٔ دستورالعمل مناسب، می‌توان آزمون غیر مخرب را برای ورق مذکور انجام داد.

امواج هدایت شده در محیط با شکل‌های هندسی ورق، استوانه و پوسته انتشار می‌یابند که در حالات مختلفی توسط محققین مختلف بررسی شده‌اند. موج لمب[۱] یکی از انواع امواج هدایت شده است که در ورق‌ها با ارسال موج با فرکانس و زاویهٔ مناسب ایجاد می‌شود. بعد از ارسال موج و بازتاب آن از دیواره ورق و دوباره انعکاس متوالی آن از دیواره دیگر ورق، با تغییر حالت موج و برهم نهی این امواج بازتابیده شده از دو دیوارهٔ ورق، این موج ایجاد می‌شود که موج ورقی[۲] نیز نامیده می‌شود. معادلات دقیق این پدیده برای ورق همسانگرد[۳]، اولین بار توسط هوراس لمب در ۱۹۱۷ ارائه شد و ماهیت فیزیکی آن تشریح گردید [۵].

با پیشرفت علم مواد در کشف مواد ناهمسانگرد[۴]و ساخت مواد مرکب[۵]و استفاده آنها در سازه‌های حساس و دقیقی مانند (هواپیماها، کشتی‌ها و بعضی سازه‌های اتمی و...)، باید روش‌هایی برای بازرسی آنها اتخاذ می‌شد. این مواد به علت خواص مکانیکی و هندسه خود باعث استهلاک سریع موج فراصوتی می‌شوند که محدودیت‌هایی را برای بازرسی آنها به وجود می‌آورد. همانطور که در ابتدا ذکر شد، برای بازرسی فراصوتی به تحلیل فیزیکی انتشار موج نیاز است. موج لمب به علت انتشار در یک محدوده و تمرکز انرژی موج درضخامت ورق دارای استهلاک کمتری نسبت به موج طولی و عرضی است. این خاصیت محققان را به بازرسی این مواد توسط امواج هدایت شده ترغیب کرد که منجر به تحلیل انتشار این امواج در محیط‌های مختلف با ناهمسانگردی‌ها و خواص مشخص شد.

تئوری‌های استفاده شده در تحلیل مدل انتشار موج در ورق‌ها برای حل دقیق معادلهٔ حرکت

---

۱ Lamb Wave
۲ Plate Wave
۳ Isotropic
۴ Anisotropic Material
۵ Composite Material