

تأسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک
گروه ساخت و تولید

پایان نامه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

اندازه گیری عمق لایه سخت شده قطعات فولادی به روش فراصوتی

نگارش

رامین مهدیزاد

استاد راهنما

دکتر فرهنگ هنرور

شهریور ماه

۱۳۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

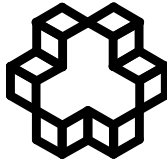
تقدیم به

پدر و مادرم

که با صبر و پشتیانی، همیشگی خود در تمامی

دوران‌های زندگی ام امید موفقیت را

در من زنده نگاه داشتند.



تأسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

گروه ساخت و تولید

تأییدیه هیأت داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان: "اندازه گیری عمق لایه سخت شده قطعات فولادی به روش فراصوتی" توسط آقای رامین مهدیزاد تکیه صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته: مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید با رتبه مورد تأیید قرار می دهند.

۱- استاد راهنما آقای دکتر فرهنگ هنرور امضاء.....

۲- ممتحن داخلی امضاء.....

۳- ممتحن داخلی امضاء.....

۴- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده امضاء.....

اظهارنامه‌ی دانشجو

موضوع پایان‌نامه :

اندازه‌گیری عمق لایه سخت‌شده قطعات فولادی به روش فراصوتی

استاد راهنما: آقای دکتر فرهنگ هنرور

نام دانشجو: آقای رامین مهدیزاد تکیه

شماره دانشجوئی: ۸۶۰۴۱۱۴

اینجانب رامین مهدیزاد تکیه 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 پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) 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.

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

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

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

تقدیر و تشکر

بگویم به یزدان نیکی شناس

(فردوسی)

ز کردار هر کس که دارم سپاس

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، و نیز آقایان مهندس ضیغمی و مهندس دمبند خامنه به دلیل همراهی در انجام آزمایشات، ابراز می‌دارم.

چکیده

سخت‌کاری از مراحل نهایی ساخت قطعات صنعتی است که کنترل کیفیت آن، همچون سایر مراحل، امری لازم و ضروری است. یکی از پارامترهای کلیدی در کنترل کیفیت فرآیند سخت‌کاری، میزان عمق سختی سطحی قطعه است. این پارامتر معمولاً بصورت مخرب اندازه‌گیری شده و اندازه‌گیری آن نسبتاً زمانبر و پرهزینه است. در این پایان‌نامه با استفاده از روش پراکندگی امواج فراصوتی روشی عملی و صنعتی برای اندازه‌گیری عمق لایه سخت‌شده قطعات فولادی ارائه می‌شود. بدین منظور نمونه‌هایی از فولاد با عمق‌های سختی متفاوت ساخته شده و پس از سخت‌کاری، عمق دقیق لایه سخت شده به دو روش مخرب میکروسختی سنجی و متالوگرافی اندازه‌گیری شده است. سپس عمق سختی این نمونه‌ها با استفاده از روش پراکندگی امواج فراصوتی به روش غوطه‌وری و با استفاده از پروب‌های فرکانس بالا نیز بدست آمده است. برای تحلیل داده‌های حاصل از این اندازه‌گیری‌ها، روشی جدید پیشنهاد شده است. همچنین نمودار کالیبراسیون سیستم اندازه‌گیری که در آن از این روش جدید تحلیل داده‌ها استفاده شده، براساس نتایج حاصل از تست نمونه‌های ساخته‌شده رسم شده است. نمودار کالیبراسیون مطابقت خوبی را بین نتایج آزمون مخرب و روش پراکندگی امواج فراصوتی نشان می‌دهد. علاوه بر این دقت و صحت روش فراصوتی به کمک تکنیک‌های آماری بررسی و عدم قطعیت اندازه‌گیری تعیین شده است. نتایج بدست آمده حاکی از توانایی روش پراکندگی امواج فراصوتی در اندازه‌گیری دقیق عمق سختی قطعات فولادی است.

فهرست

۱.....	فصل اول: مقدمه
۲.....	۱-۱- تعریف مسئله و اهمیت آن
۳.....	۲-۱- اهداف پایان نامه
۴.....	۳-۱- محتوای پایان نامه
۵.....	فصل دوم: پیشینه تحقیق و مرور مقالات
۶.....	۱-۲- مقدمه
۶.....	۲-۲- روش های مخرب
۶.....	۱-۲-۲- روش شیمیایی
۷.....	۲-۲-۲- روش مکانیکی
۸.....	۳-۲-۲- روش چشمی
۸.....	۳-۲- روش های غیرمخرب
۸.....	۱-۳-۲- روش مغناطیسی
۹.....	۲-۳-۲- روش جریان گردابی
۱۱.....	۴-۳-۲- روش اندازه گیری عمق سختی همزمان با سختی سنجی
۱۳.....	۵-۳-۲- روش افت پتانسیل جریان متناوب
۱۷.....	۶-۳-۲- روش رادیومتری فتوترمال
۲۱.....	۷-۳-۲- روش بارکهاوزن
۲۲.....	۸-۳-۲- روش آزمون فراصوتی
۲۳.....	۱-۸-۳-۲- استفاده از امواج ریلی
۲۴.....	۲-۸-۳-۲- روش پراکندگی برگشتی
۲۵.....	۴-۲- جمع بندی
۲۷.....	فصل سوم: آزمون فراصوتی
۲۸.....	۱-۳- مقدمه
۲۸.....	۲-۳- آزمون فراصوتی
۲۹.....	۳-۳- انتشار امواج فراصوتی
۳۰.....	۴-۳- ضریب عبور و بازتابش در حالت برخورد نرمال

- ۳-۵- برخورد زاویه‌ای امواج به مرز دو محیط ۳۲
- ۳-۵-۱- قانون اسنل ۳۲
- ۳-۵-۲- تغییر حالت ۳۳
- ۳-۶- زوایای بحرانی ۳۴
- ۳-۷- ضریب عبور و بازتابش در حالت برخورد زاویه‌دار ۳۴
- ۳-۸- پروب‌های فراصوتی ۳۶
- ۳-۸-۱- نواحی فراصوتی پروب ۳۷
- ۳-۸-۲- پروب‌های تماسی ۳۹
- ۳-۸-۳- پروب‌های غوطه‌وری ۳۹
- ۳-۸-۴- پروب‌های متمرکزکننده ۴۰
- ۳-۹- روش‌های انجام آزمون فراصوتی ۴۲
- ۳-۹-۱- روش بازتابی (پالس-اکو) ۴۲
- ۳-۹-۲- روش عبوری ۴۳
- ۳-۹-۳- روش ارسال-دریافت ۴۴
- ۳-۱۰- استهلاک موج ۴۴
- ۳-۱۱- پراکندگی ۴۷
- ۳-۱۱-۱- پراکندگی تکی و دسته‌ای ۴۹
- ۳-۱۱-۲- تئوری پراکندگی ۵۰
- ۳-۱۱-۳- پراکندگی برگشتی ۵۱
- ۳-۱۱-۴- پراکندگی دسته‌ای امواج فراصوتی ۵۱
- ۳-۱۲- اصول استفاده از پراکندگی برگشتی امواج فراصوتی برای تخمین عمق سختی ۵۲
- ۳-۱۳- عدم قطعیت و اندازه‌گیری با روش فراصوتی ۵۴
- ۳-۱۳-۱- عدم قطعیت ۵۴
- ۳-۱۳-۲- مفاهیم اساسی اندازه‌گیری ۵۵
- ۳-۱۳-۳- روش‌های محاسبه عدم قطعیت ۵۶
- ۳-۱۳-۴- محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری برای یک کمیت ۵۷
- ۳-۱۴- جمع‌بندی ۵۸
- فصل چهارم: آزمایشات اندازه‌گیری عمق سختی ۵۹**
- ۴-۱- مقدمه ۶۰

۶۰	۲-۴- ساخت نمونه‌ها
۶۱	۳-۴- تجهیزات لازم برای انجام آزمون فراصوتی
۶۴	۴-۴- انجام آزمون فراصوتی اندازه‌گیری عمق سختی
۶۴	۱-۴-۴- تنظیم موقعیت پروب نسبت به قطعه
۶۵	۱-۱-۴-۴- تنظیم زاویه پروب
۶۶	۲-۱-۴-۴- تنظیم فاصله پروب تا سطح قطعه
۶۹	۲-۴-۴- انجام آزمون بر روی نمونه‌های اولیه
۷۰	۵-۴- جمع‌بندی
۷۱	فصل پنجم: تحلیل نتایج اندازه‌گیری پراکندگی فراصوتی
۷۲	۱-۵- مقدمه
۷۲	۲-۵- نتایج اولیه آزمون اندازه‌گیری عمق سختی
۷۶	۳-۵- میانگین متحرک
۷۹	۴-۵- تبدیل هیلبرت
۸۱	۵-۵- تکنیک SG
۸۴	۶-۵- مقایسه دو روش تحلیل سیگنال پراکندگی برگشتی
۸۵	۷-۵- شناسایی اکوها
۸۶	۱-۷-۵- تکنیک همبستگی
۸۶	۲-۷-۵- شناسایی اکوها به کمک تکنیک همبستگی
۸۹	۸-۵- مقایسه نتایج آزمون فراصوتی و تست مخرب
۸۹	۱-۸-۵- نتایج آزمون فراصوتی و تست مخرب
۹۲	۲-۸-۵- رسم منحنی کالیبراسیون
۹۵	۳-۸-۵- محاسبه عدم قطعیت سیستم اندازه‌گیری عمق سختی با پروب ۲۵ MHz
۹۷	۹-۵- نرم‌افزار اندازه‌گیری عمق سختی
۹۸	۱۰-۵- جمع‌بندی
۹۹	فصل ششم: نتیجه‌گیری
۱۰۳	مراجع
۱۰۵	ضمائم

فهرست شکل‌ها

فصل دوم

- شکل ۲-۱: نمونه‌ای از پروفیل سختی یک قطعه سخت‌کاری شده. ۷
- شکل ۲-۲: (الف) فرورونده الماسی سختی ویکرز (ب) اثر فرورونده الماسی بر سطح قطعه. ۸
- شکل ۲-۳: شار مغناطیسی در دو قطعه با عمق سختی‌های مختلف. ۹
- شکل ۲-۴: تعیین خواص مکانیکی با جریان گردابی. ۱۰
- شکل ۲-۵: نمودار کالیبراسیون دستگاه 3MA برای اندازه‌گیری عمق سختی. ۱۱
- شکل ۲-۶: منحنی بار-مقاومت الکتریکی برای قطعه مرجع و قطعه تحت تست. ۱۲
- شکل ۲-۷: دستگاه HTD900S ساخته شده توسط شرکت ERNST. ۱۳
- شکل ۲-۸: شکل شماتیک روش ACPD. ۱۴
- شکل ۲-۹: مقایسه بین نتایج تئوری و تجربی امیدانس نمونه مسی: (الف) قسمت حقیقی امیدانس میله (ب) قسمت مجازی امیدانس میله. ۱۵
- شکل ۲-۱۰: نمودار تغییرات مقاومت-فرکانس برای قطعات با عمق سختی مختلف (الف) قسمت حقیقی مقاومت (ب) قسمت موهومی مقاومت. ۱۶
- شکل ۲-۱۱: نحوه ایجاد جریان متقارن. ۱۷
- شکل ۲-۱۲: سه نوع نمونه (پیچ) سخت‌کاری شده برای انجام آزمون PTR. ۱۹
- شکل ۲-۱۳: سیستم اندازه‌گیری PTR. ۱۹.
- شکل ۲-۱۴: نمودار فرکانس-فاز نور مادون قرمز ساطع شده از نمونه پیچ سراسر توانه‌ای سخت‌کاری نشده: (الف) با اشعه معمولی (ب) با اشعه متمرکز شده. ۲۰
- شکل ۲-۱۵: نمودار فرکانس-فاز نور مادون قرمز ساطع شده از نمونه پیچ سرکروی با عمق سختی ۰/۳۰ اینچ و انجام آزمون با اشعه معمولی. ۲۰

- شکل ۲-۱۶: مقایسه نتایج تست مخرب و PTR بصورت منحنی کالیبراسیون عمق سختی-فرکانس: (الف) پیچ سراسخوانه‌ای با اشعه متمرکز (ب) پیچ سرشش‌گوش با اشعه متمرکز (ج) پیچ سراسخوانه‌ای با اشعه معمولی (د) پیچ سرشش‌گوش با اشعه معمولی. ۲۱
- شکل ۲-۱۷: نویز بارکهاوزن در منحنی هیستریزیس. ۲۲
- شکل ۲-۱۸: اندازه‌گیری عمق سختی به روش امواج ریلی. ۲۴
- شکل ۲-۱۹: استفاده از امواج ریلی و جریان گردابی برای تعیین ضخامت لایه اکسید و عمق سختی. ۲۴

فصل سوم

- شکل ۳-۱: ارتعاش ذرات در یک موج طولی. ۲۹
- شکل ۳-۲: ارتعاش ذرات در یک موج عرضی. ۳۰
- شکل ۳-۳: برخورد عمود موج بر مرز مشترک دو محیط. ۳۱
- شکل ۳-۴: شکست موج در عبور از محیطی با سرعت c_1 به محیطی با سرعت c_2 . ۳۳
- شکل ۳-۵: تغییر حالت موج به هنگام عبور از محیط مایع به جامد. ۳۳
- شکل ۳-۶: موج‌های بازتابی و عبوری ایجاد شده ناشی از برخورد موج حجمی مایل به سطح مشترک سیال و جامد. ۳۵
- شکل ۳-۷: (الف) اثر مستقیم پیزوالکتریک، (ب) اثر معکوس پیزوالکتریک. ۳۶
- شکل ۳-۸: میدان موج فراصوتی یک پروب نرمال با بلوره دایروی. ۳۷
- شکل ۳-۹: تغییرات میدان فشار صوتی خارج شده از یک پروب قائم در طول خط مرکزی. ۳۸
- شکل ۳-۱۰: واگرایی موج فراصوتی پس از خروج از پروب. ۳۸
- شکل ۳-۱۱: نمونه‌ای از یک پروب تماسی. ۳۹
- شکل ۳-۱۲: نمونه‌ای از یک پروب غوطه‌وری. ۳۹
- شکل ۳-۱۳: آزمون فراصوتی به روش غوطه‌وری. ۴۰
- شکل ۳-۱۴: نحوه انجام تست غوطه‌وری به صورت Bubbler. ۴۰

- شکل ۳-۱۵: پروب فراصوتی متمرکزکننده. ۴۱
- شکل ۳-۱۶: موقعیت جدید نقطه کانونی پروب متمرکز کننده در داخل قطعه. ۴۱
- شکل ۳-۱۷: آزمون فراصوتی به روش پالس-اکو. ۴۳
- شکل ۳-۱۸: آزمون فراصوتی به روش عبوری. ۴۴
- شکل ۳-۱۹: آزمون فراصوتی به روش ارسال-دریافت. ۴۴
- شکل ۳-۲۰: انواع مکانیزم‌های پراکندگی. ۴۹

- شکل ۳-۲۱: پراکندگی حجمی دسته‌ای موج فراصوتی (الف) پراکندگی که باعث ایجاد زمینه نویزی می‌شود، (ب) پراکندگی که باعث ایجاد اکویی با دامنه زیاد می‌شود. ۵۲
- شکل ۳-۲۲: روش پراکندگی برگشتی در اندازه‌گیری عمق سختی. ۵۳
- شکل ۳-۲۳: توزیع شماتیک سختی سطحی. ۵۳
- شکل ۳-۲۴: توزیع نتیجه حاصل از اندازه‌گیری یک کمیت در تعداد دفعات تکرار مختلف. ۵۶

فصل چهارم

- شکل ۴-۱: نمونه‌های سخت‌کاری شده اولیه. ۶۰
- شکل ۴-۲: ناحیه گذرا از ساختار مارتنزیت به پرلیت. ۶۱
- شکل ۴-۳: سطح مقطع نمونه‌ها بعد از متالوگرافی (الف) نمونه شماره ۱ (ب) نمونه شماره ۲ (ج) نمونه شماره ۳ (د) نمونه شماره ۴ (ه) نمونه شماره ۵ (و) نمونه شماره ۶. ۶۲
- شکل ۴-۴: دستگاه فرستنده-گیرنده استفاده شده در آزمون. ۶۲
- شکل ۴-۵: نرم‌افزار GAGEScope که برای ذخیره داده‌های آزمون استفاده می‌شود. ۶۳
- شکل ۴-۶: پروب‌های استفاده شده در آزمون. ۶۳
- شکل ۴-۷: نگهدارنده ساخته شده برای انجام آزمون. ۶۴
- شکل ۴-۸: میزان درصد انرژی امواج عبوری طولی و عرضی و موج طولی منعکس شده نسبت به زاویه برخورد موج طولی تابیده شده از محیط آب به قطعه فولادی. این نمودار براساس روابط (۳-۱۲) تا (۳-۱۵) رسم شده است. ۶۶

- شکل ۴-۹: زاویه همگرایی پروب ۲۵ مگاهرتز. ۶۷
- شکل ۴-۱۰: ناحیه فراصوتی بازتابیده شده به داخل آب. ۶۸
- شکل ۴-۱۱: موقعیت نقطه کانونی پروب در داخل قطعه فولادی. ۶۸
- شکل ۴-۱۲: setup آزمون اندازه‌گیری عمق سختی به روش فراصوتی. ۷۰

فصل پنجم

- شکل ۵-۱: سیگنال بدست آمده از آزمون فراصوتی پراکندگی برگشتی. ۷۲
- شکل ۵-۲: مقایسه نتایج آزمون دو نمونه اولیه. (الف): سیگنال بدست آمده از قطعه با عمق سختی ۲/۷ mm ۷۳
- (ب): سیگنال بدست آمده از قطعه با عمق سختی ۳/۵ mm
- شکل ۵-۳: (الف) سیگنال بدست آمده از آزمون اندازه‌گیری عمق سختی به روش فراصوتی (ب) بزرگنمایی اکوی سطح و ناحیه گذرا. ۷۵
- شکل ۵-۴: منحنی پوش سیگنال شکل (۶-۱) که با تکنیک Full Rectified رسم شده است. ۷۶
- شکل ۵-۵: منحنی پوش سیگنال بعد از اعمال فیلتر میانگین متحرک با درجه (الف) ۳۰، (ب) ۵۰، (ج) ۷۰ و (د) ۱۰۰. ۷۸
- شکل ۵-۶: (الف) تابع سینوسی با نرخ میرایی σ ، (ب) تبدیل هیلبرت تابع سینوسی شکل (الف) و (ج) پوش تابع سینوسی شکل (الف). ۸۰
- شکل ۵-۷: منحنی پوش سیگنال شکل (۵-۱) که با روش هیلبرت بدست آمده است. ۸۱
- شکل ۵-۸: مقایسه عملکرد فیلتر SG با میانگین متحرک: (الف) سیگنال با نویز زیاد، (ب) سیگنال شکل الف پس از اعمال فیلتر میانگین متحرک با درجه ۳۱، (ج) سیگنال شکل الف پس از اعمال فیلتر SG ۳۱ نقطه‌ای درجه ۴. ۸۳
- شکل ۵-۹: منحنی پوش شکل (۶-۵) پس از اعمال فیلتر SG. ۸۳
- شکل ۵-۱۰: منحنی پوش شکل (۵-۵) پس از اعمال فیلتر SG و میانگین متحرک. ۸۴
- شکل ۵-۱۱: (الف) نتیجه اعمال روش اول تحلیل نتایج پراکندگی برگشتی (ب) نتیجه اعمال تحلیل دوم ارائه شده در این پروژه بر روی سیگنال پراکندگی برگشتی. ۸۵
- شکل ۵-۱۲: (الف) اکوی الگوی سطح (ب) اکوی الگوی ناحیه گذرا. ۸۷

- شکل ۵-۱۳: سیگنال بدست آمده از یک آزمون دیگر اندازه‌گیری عمق سختی. ۸۷
- شکل ۵-۱۴: سیگنال حاصل از cross correlation سیگنال شکل (۶-۱۰) با اکوی الگوی ناحیه گذرا. ۸۸
- شکل ۵-۱۵: سیگنال حاصل از cross correlation سیگنال شکل (۶-۱۰) با اکوی الگوی سطح. ۸۸
- شکل ۵-۱۶: خطوط قرمز رنگ نشانگر موقعیت شروع اکوها است. ۸۸
- شکل ۵-۱۷: منحنی پوش نهایی بدست آمده پس از تحلیل سیگنال‌های فراصوتی برای (الف) نمونه شماره ۱ (الف) نمونه شماره ۲ (ب) نمونه شماره ۳ (ج) نمونه شماره ۴ (د) نمونه شماره ۵. ۹۰
- شکل ۵-۱۸: نمودار میکروسختی نمونه‌ها (الف) نمونه شماره ۱ (ب) نمونه شماره ۲ (ج) نمونه شماره ۳ (د) نمونه شماره ۴ (ه) نمونه شماره ۵ (و) نمونه شماره ۶ (ز) نمونه شماره ۷. ۹۱
- شکل ۵-۱۹: منحنی کالیبراسیون رسم‌شده به روش حداقل مربعات برای سیستم اندازه‌گیری با پروب ۲۵ MHz. ۹۴
- شکل ۵-۲۰: منحنی کالیبراسیون رسم‌شده به روش حداقل مربعات برای پروب ۱۵ MHz. ۹۵
- شکل ۵-۲۱: نرم‌افزار CDH Measurement که برای تحلیل داده‌های آزمون و اندازه‌گیری عمق سختی در MATLAB نوشته شده است. ۹۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: روش‌های غیرمخرب اندازه‌گیری عمق سختی. ۲۶
- جدول ۱-۴: مشخصات پروب‌های استفاده شده در آزمون فراصوتی. ۶۳
- جدول ۲-۴: موقعیت نقطه کانونی پروب در داخل قطعه نسبت به فاصله پروب از سطح قطعه. ۶۹
- جدول ۱-۵: میزان عمق سختی نمونه‌ها. ۹۲
- جدول ۲-۵: داده‌های استفاده شده برای رسم منحنی کالیبراسیون سیستم اندازه‌گیری با پروب ۲۵ MHz. ۹۳
- جدول ۳-۵: داده‌های استفاده شده برای رسم منحنی کالیبراسیون سیستم اندازه‌گیری با پروب ۱۵ MHz. ۹۴
- جدول ۴-۵: نتایج تکرار آزمون اندازه‌گیری نمونه‌های استفاده شده در کالیبراسیون سیستم برای تعیین دقت و صحت اندازه‌گیری. ۹۶
- جدول ۵-۵: انحراف معیار، میانگین، خطای سیستماتیک و عدم قطعیت محاسبه شده برای هر نمونه. ۹۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱- تعریف مسئله و اهمیت آن

در بسیاری از کاربردهای صنعتی از جمله صنعت هواافضا، خودروسازی، نفت و گاز و ... نیاز به قطعاتی است که دارای سطحی سخت بوده و در عین حال از چقرمگی یا مقاومت به ضربه خوبی برخوردار باشند. مواردی که می‌توان به عنوان مثال به آنها اشاره کرد عبارتند از: میل‌لنگ، میل‌بادامک، چرخ‌دنده و قطعات مشابه. این قطعات باید دارای سطحی سخت و مقاوم به سایش بوده و در عین حال چقرمه و در برابر ضربه‌های وارد در حین کار مقاوم باشند.

بسیاری از قطعات فولادی را می‌توان به نحوی عملیات حرارتی کرد که در پایان دارای مجموعه خواص بالا باشند، یعنی در حالی که از مقاومت به سایش خوبی برخوردارند، دارای استحکام دینامیکی مطلوبی نیز باشند. این نوع عملیات حرارتی که به سخت‌کردن سطحی^۱ معروف است، آخرین عملیاتی است که باید بر روی قطعه انجام شود.

روش‌های مختلف عملیات حرارتی که به کمک آنها می‌توان سطح قطعات را سخت کرد، عمدتاً به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول عملیاتی هستند که منجر به تغییر ترکیب شیمیایی سطح فولاد می‌شوند و به عملیات حرارتی-شیمیایی^۲ یا ترموشیمی موسوم‌اند، نظیر کربن‌دهی^۳، نیتروژن‌دهی^۴ و کربونیتروژن‌دهی^۵. دسته دوم روش‌هایی هستند که بدون تغییر ترکیب شیمیایی سطح و فقط به کمک عملیات حرارتی متمرکز شده در لایه سطحی، سخت‌کاری را انجام می‌دهند و به عملیات حرارتی موضعی^۶ موسوم‌اند، مانند سخت‌کردن شعله‌ای و سخت‌کردن القائی. امروزه سخت‌کاری به روش القائی با توجه به مزایایی که در ادامه به آنها اشاره می‌شود، کاربرد گسترده‌ای در سخت‌کاری قطعات صنعتی حساس دارد. از جمله مزایای این روش می‌توان به سرعت بالای عملیات سخت‌کاری، کنترل دقیق‌تر فرایند با پایش پارامترهای الکترونیکی، تغییر شکل و اعوجاج ناچیز بدلیل عدم انتقال حرارت به مغز قطعه، عدم تشکیل لایه اکسیدی در سطح

^۱ Case Hardening (Surface Hardening)

^۲ Thermo-Chemical Treatment

^۳ Carburizing

^۴ Nitriding

^۵ Carbonitriding

^۶ Localized Heat Treatment

قطعه و استحکام خستگی و مقاومت به ضربه بالاتر اشاره کرد [۱].

در برخی موارد این قطعات سخت‌کاری‌شده بایستی در جاهایی که قابلیت اطمینان بالایی از آنها مورد انتظار است، بکار برده شوند. از این رو کنترل کیفیت این محصولات بسیار مهم است. پارامترهای مهم کنترلی در عملیات سخت‌کاری، میزان سختی سطحی و عمق لایه سخت‌شده است. برای اندازه‌گیری میزان سختی سطحی، روش‌های مخرب و غیرمخرب گوناگونی وجود دارد.

در روش‌های مخرب برای تعیین عمق سختی معمولاً تغییری در قطعه ایجاد می‌شود که بعداً قابل جبران نبوده و قطعه را از رده خارج می‌سازد، مثلاً ممکن است قطعه برش داده شده و دیگر قابل استفاده نباشد. در حالیکه در روش‌های غیرمخرب پس از انجام آزمون هیچ تغییر فیزیکی یا شیمیایی در قطعه ایجاد نشده و قطعه قابل استفاده خواهد بود. از این رو امکان بازرسی ۱۰۰٪ تولیدات وجود دارد. به همین دلیل نیاز به روش غیرمخرب مناسبی می‌باشد که قابلیت اندازه‌گیری عمق سختی قطعات فولادی با دقت لازم را داشته باشد.

۱-۲- اهداف پایان‌نامه

میزان عمق لایه سخت‌شده قطعات یکی از پارامترهای مهم در کنترل فرآیند سخت‌کاری است. استفاده از روشی غیرمخرب برای این منظور امکان بازرسی ۱۰۰٪ این قطعات را فراهم می‌سازد. در این پایان‌نامه با استفاده از روش پراکندگی برگشتی امواج فراصوتی عمق لایه سطحی قطعات سخت‌شده اندازه‌گیری خواهد شد. بدین منظور چندین نمونه فولادی سخت‌شده تهیه و عمق سختی آن‌ها به روش میکروسختی‌سنجی و متالوگرافی اندازه‌گیری و نتایج این اندازه‌گیری‌ها با نتایج حاصل از آزمون فراصوتی مقایسه خواهد شد. برای تحلیل سیگنال‌های فراصوتی از روش‌های پردازش سیگنال استفاده می‌شود. همچنین با استفاده از روش‌های تحلیل عدم قطعیت میزان دقت سیستم اندازه‌گیری نیز اندازه‌گیری و گزارش خواهد شد.