

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شهید رجایی

آزمون آلتراسونیک

و

کاربرد آن در صنایع

تألیف:

حسن جعفری

عضو هیأت علمی دانشگاه شهید رجایی



آزمون آلتراسونیک و کاربرد آن در صنایع

تألیف: حسن جعفری

ناشر: دانشگاه شهید رجائی

چاپ اول بهار ۱۳۸۶

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

لیتوگرافی: راوی

چاپ: راوی

قیمت: ۲۷۰۰۰ ریال

شابک: ۹۶۴-۲۶۵۱-۰۱-۷

سرشناسه: جعفری، حسن، ۱۳۴۸-

عنوان و پدیدآور: آزمون آلتراسونیک و کاربرد آن در صنایع تألیف حسن جعفری

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه شهید رجائی، ۱۳۸۵.

مشخصات ظاهری: ۲۱۲ ص.: مصور.

شابک: 964-2651-01-7

وضعیت فهرست نویسی: فیا

یادداشت: کتابنامه: ص. ۲۰۱-۲۰۳

یادداشت: نمایه.

موضوع: ماوراء صوت—کاربردهای صنعتی.

موضوع: ماوراء صوت—ابزار و وسایل.

شناسه افزوده: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

رده‌بندی کنگره: ۷۴۴/ج۷۴۴ Q

رده‌بندی دیویی: ۵۳۴/۵۵

شماره کتابخانه ملی: ۵۰۴۷۷-۵۸۵

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
پیشگفتار.....	۱
فصل اول: تاریخچه آزمون آلتراسونیک	
۱-۱- تاریخچه آزمون آلتراسونیک.....	۵
فصل دوم: مشخصات عمومی امواج و رفتار آنها	
۱-۲- نوسانات ساده و حرکت پریودیک.....	۹
۲-۲- طیف آکوستیک.....	۱۰
۳-۲- انتشار امواج.....	۱۱
۱-۳-۲- امواج طولی یا فشاری (Longitudinal Wave).....	۱۱
۲-۳-۲- امواج برشی یا عرضی (Transverse Wave).....	۱۱
۳-۳-۲- امواج سطحی (Surface Wave).....	۱۳
۴-۳-۲- امواج لمب (Lamb Waves).....	۱۳
۴-۲- سرعت انتشار امواج صوتی.....	۱۵
۵-۲- مشخصات عمومی امواج.....	۱۷
۶-۲- برخورد عمود صوت به مرز بین دو محیط و امپدانس آکوستیک.....	۱۸
۱-۶-۲- برخورد عمود صوت به مرز بین دو محیط.....	۱۸
۲-۶-۲- امپدانس آکوستیک Z.....	۱۸
۷-۲- برخورد مایل صوت به مرز دو محیط و زوایای بحرانی.....	۲۱
۱-۷-۲- برخورد مایل صوت به مرز دو محیط.....	۲۱
۱-۷-۲- زوایای بحرانی (Critical Angles).....	۲۳
۸-۲- ماده واسطه آزمون (Couplant).....	۲۵

فصل سوم: امواج آلتراسونیک

- ۳-۱- تولید امواج آلتراسونیک ۲۷
- ۳-۱-۱- اثر پیزوالکتریک (Piezoelectric) ۲۷
- ۳-۲- ترانسدایوسرها و انواع آن ۳۰
- ۳-۲-۱- ترانسدایوسرهای پیزوالکتریک مصنوعی ۳۰
- ۳-۲-۲- سرامیک‌های پولاریزه شده (Polarized Ceramics) ۳۱
- ۳-۲-۳- کوآرتز (Quartz) ۳۱
- ۳-۲-۴- سولفات لیتیم ۳۱
- ۳-۲-۵- تیتانات زیرکونات سرب ۳۱
- ۳-۳- لوله اشعه کاتد (CRT) ۳۲
- ۳-۳-۱- ساختمان و طرز کار لوله اشعه کاتد (Cathode Ray Tube) ۳۲
- ۳-۳-۲- کنترل‌های لوله اشعه کاتد ۳۳
- ۳-۴- سیستم پالس اکو (The Pulse Echo System) ۳۴
- ۳-۵- استهلاک صوت و سیستم دسی بل (dB) ۳۶
- ۳-۵-۱- مقایسه دامنه پژواک‌ها ۳۶
- ۳-۵-۲- سیستم دسی بل (dB) ۳۸
- ۳-۶- پرتو امواج آلتراسونیک (The Ultrasonic Beam) ۴۱
- ۳-۶-۱- تغییرات شدت صوت ۴۲
- ۳-۶-۲- جذب و تفرق ۴۲
- ۳-۶-۳- اثرات تداخلی ۴۳
- ۳-۶-۴- گسترش پرتو صوتی ۴۳
- ۳-۷- میدان نزدیک (Near Field) و میدان دور (Far Field) ۴۴
- ۳-۸- منطقه مرده (Dead Zone) ۴۵

فصل چهارم: پروب‌های آلتراسونیک

- ۴۹..... ۱-۴-۱ پروب‌های آلتراسونیک
- ۵۱..... ۱-۴-۱-۱ پروب نرمال (Normal Probe)
- ۵۱..... ۱-۴-۲ پروب با کریستال دوبل یا پروب T/R
- ۵۴..... ۱-۴-۳ پروب مایل (Angle Probe)
- ۵۵..... ۱-۴-۴ پروب آزمون لوله
- ۵۶..... ۱-۴-۵ پروب امواج سطحی
- ۵۷..... ۱-۴-۶ پروب‌های صوتی - الکترومغناطیسی
- ۵۸..... ۱-۴-۷ پروب آزمون غوطه‌وری (Immersion Probe)
- ۵۹..... ۲-۴-۱ انواع دستگاه‌های آزمون آلتراسونیک از نظر نوع نمایش تصویری
- ۵۹..... ۲-۴-۱-۱ روش جاروب A (A-Scan)
- ۵۹..... ۲-۴-۲ روش جاروب B (B-Scan)
- ۶۱..... ۲-۴-۳ روش جاروب C (C-Scan)

فصل پنجم: اصول اساسی کار با دستگاه آلتراسونیک

- ۶۳..... ۵-۱-۱ کنترل‌های اصلی یک دستگاه آزمون آلتراسونیک
- ۶۳..... ۵-۱-۱-۱ توان پالس ورودی (Transmitter Power)
- ۶۴..... ۵-۱-۲ حساسیت (Sensitivity)
- ۶۵..... ۵-۱-۳ آستانه ظهور و حذف علائم (Threshold Regulator)
- ۶۵..... ۵-۱-۴ شکل پژواک‌ها (Shape of Echoes)
- ۶۶..... ۵-۱-۵ عمق اندازه‌گیری
- ۶۶..... ۵-۱-۶ تغییر مکان افقی علائم یا تنظیم صفر
- ۶۸..... ۵-۱-۷ تنظیم سرعت صوت (Sound Velocity Regulator)

- ۶۸.....۵-۱-۸- مانیتور (Monitor).....
- ۶۸۵-۲- اصول اساسی کار با دستگاه آلتراسونیک.....
- ۶۹.....۵-۳- پیوند پروب با قطعه کار (Coupling).....
- ۶۹.....۵-۴- مشخصات سطح قطعه کار.....
- ۶۹.....۵-۴-۱- زبری (Roughness).....
- ۷۰.....۵-۴-۲- انحای سطح (Curvature).....
- ۷۱.....۵-۴-۳- پوشش سطح (Coating).....
- ۷۲.....۵-۵- انتخاب پروب های آلتراسونیک.....
- ۷۲۵-۵-۱- انتخاب روش آزمون.....
- ۷۳۵-۵-۲- انتخاب جهت تابش صوت.....
- ۷۳۵-۵-۳- انتخاب فرکانس آزمون.....
- ۷۵۵-۵-۴- انتخاب اندازه ترانسدایوسر.....
- ۷۶.....۵-۶- تکنیک های پیوند پروب با قطعه کار (Coupling Technique).....
- ۷۶.....۵-۶-۱- روش تماس مستقیم (Contact Technique).....
- ۷۷ (Flow Water Coupling).....۵-۶-۲- روش پیوند به کمک جریان آب.....
- ۷۷.....۵-۶-۳- روش غوطه وری در مایع (Immersion Technique).....
- ۷۷.....۵-۶-۴- روش حوضچه ای (Bubbler or Pool Technique).....
- ۷۸.....۵-۶-۵- روش پروب چرخ دار (Wheel Transducer Technique).....
- ۷۹.....۵-۷- تنظیم دستگاه آلتراسونیک.....
- ۸۱.....۵-۸- تفسیر علائم دریافتی روی صفحه CRT.....
- ۸۱.....۵-۹- طرق مختلف نمایش عیوب.....
- ۸۱.....۵-۹-۱- نمایش مستقیم عیوب.....
- ۸۳.....۵-۹-۲- نمایش غیرمستقیم عیوب.....
- ۸۵۵-۱۰- ارتفاع پژواک (Echo Height).....

- ۱۱-۵- بازرسی عیب از جهات مختلف..... ۸۶
- ۱۲-۵- علائم شبه عیب (Apparent Flaw Indications)..... ۸۶
- ۱۳-۵- تغییر نوع موج..... ۸۸
- ۱-۱۳-۵- برخورد مماسی امواج..... ۸۸
- ۲-۱۳-۵- تغییر نوع موج $29^{\circ}/61^{\circ}$ ۸۹
- ۳-۱۳-۵- امواج سطحی..... ۹۰
- ۴-۱۳-۵- امواج لمب..... ۹۰
- ۱۴-۵- شکل قطعات..... ۹۰
- ۱-۱۴-۵- منعکس کننده‌های واقع در مسیر صوت..... ۹۰
- ۲-۱۴-۵- پژواک‌های انحرافی..... ۹۱
- ۳-۱۴-۵- پژواک‌های بدلی ناشی از PRF زیاد..... ۹۱
- ۱۵-۵- تکنیک‌های عام آزمون آلتراسونیک..... ۹۲
- ۱۶-۵- تکنیک‌های آزمون با امواج سطحی..... ۹۵
- ۱-۱۶-۵- مزایای امواج سطحی..... ۹۵
- ۲-۱۶-۵- محدودیت‌های امواج سطحی..... ۹۶
- ۳-۱۶-۵- کالبره کردن موقعیت عیب..... ۹۷
- ۱۷-۵- تکنیک‌های آزمون غوطه‌وری..... ۹۷
- ۱-۱۷-۵- استفاده از مانیتور در آزمون غوطه‌وری..... ۹۸
- ۲-۱۷-۵- عدسی‌های آلتراسونیک در آزمون غوطه‌وری..... ۹۹
- ۳-۱۷-۵- تکنیک امواج برشی در آزمون غوطه‌وری..... ۱۰۰

فصل ششم: استانداردهای کالیبراسیون دستگاه آلتراسونیک

- ۱-۶- استانداردهای کالیبراسیون..... ۱۰۳
- ۲-۶- بلوک‌های کالیبراسیون..... ۱۰۴

- ۱-۲-۶- بلوک کالیبراسیون جوشکاری IIW ۱۰۵
- ۲-۲-۶- بلوک کالیبراسیون V₂ (استاندارد ۵۴۱۲۲ Din) ۱۰۶
- ۳-۲-۶- گوه‌های کالیبراسیون پله‌ای و مخروطی ۱۰۶
- ۳-۶- بلوک‌های مرجع ۱۰۷
- ۱-۳-۶- صفحه مرجع ASTM ۱۰۷
- ۲-۳-۶- بلوک مرجع ASME ۱۰۸
- ۳-۳-۶- بلوک‌های مرجع دامنه-مساحت ۱۰۹
- ۴-۳-۶- بلوک‌های مرجع دامنه-فاصله ۱۱۰
- ۴-۶- آزمایشات اولیه با استفاده از بلوک‌های استاندارد ۱۱۰
- ۱-۴-۶- آزمایشات با استفاده از پروب امواج طولی و بلوک V₁ ۱۱۲
- ۲-۴-۶- آزمایشات با استفاده از پروب‌های امواج عرضی ۱۱۸
- ۵-۶- موارد استفاده بلوک کالیبراسیون V₂ ۱۲۱

فصل هفتم: کاربردهای آزمون آلتراسونیک و عیوب قابل بازرسی توسط آن

- ۱-۷- آزمون عیب تورق (Lamination Testing) ۱۲۳
- ۱-۱-۷- روش استاندارد ۱۲۳
- ۲-۱-۷- روش پژواک متوالی ۱۲۴
- ۲-۷- آزمون اتصالات با لحیم یا چسب ۱۲۶
- ۱-۲-۷- اتصالات با لحیم ۱۲۶
- ۲-۲-۷- اتصالات با چسب ۱۲۷
- ۳-۷- آزمون عیوب منتهی به پشت قطعه ۱۲۷
- ۱-۳-۷- کاربردها ۱۲۷
- ۲-۳-۷- کالیبره کردن پایه زمانی ۱۲۹
- ۴-۷- آزمون عیوب منتهی به سطح قطعه ۱۳۲

- ۱۳۲.....۷-۴-۱- کالیبره کردن پایه زمانی
- ۱۳۴.....۷-۵- آزمون قطعات ریخته‌گی
- ۱۳۵.....۷-۵-۱- سطح ریخته‌گری شده
- ۱۳۵.....۷-۵-۲- سطح خشن‌تراشی شده
- ۱۳۵.....۷-۵-۳- دستگاه آزمون
- ۱۳۶.....۷-۵-۴- پروب‌های آزمون
- ۱۳۶.....۷-۵-۵- مراحل آزمون
- ۱۳۹.....۷-۶-۱- عیوب ریخته‌گری
- ۱۳۹.....۷-۶-۱- عیوب ناشی از تغذیه ناقص (عیوب انقباضی)
- ۱۴۳.....۷-۶-۲- عیوب ناشی از انقباض قطعه در حین سرد شدن
- ۱۴۴.....۷-۶-۳- عیوب ناشی از گازهای محبوس در قطعه
- ۱۴۵.....۷-۶-۴- محدودیت‌های آزمون
- ۱۴۷.....۷-۶-۷- آزمون غلطک‌های ریخته‌گی فولادی
- ۱۴۷.....۷-۶-۱- روش آزمون
- ۱۴۹.....۷-۶-۲- اندازه‌گیری استهلاک امواج آلتراسونیک
- ۱۵۴.....۷-۸- آزمون قطعات فورج شده
- ۱۵۴.....۷-۸-۱- عیوب فورج
- ۱۵۶.....۷-۸-۲- مراحل آزمون قطعات فورج شده
- ۱۵۷.....۷-۸-۳- بازرسی قطعات دارای سطح مقطع یکنواخت
- ۱۶۰.....۷-۹- عیوب ناشی از عملیات حرارتی
- ۱۶۰.....۷-۱۰- عیوب ناشی از سرویس‌دهی
- ۱۶۱.....۷-۱۱- آزمون محورهای قطار راه‌آهن
- ۱۶۵.....۷-۱۲- آزمون مفصل‌های اتصال
- ۱۶۶.....۷-۱۳- آزمون جوش

- ۱۶۶.....۱-۱۳-۷- عیوب جوش
- ۱۷۲.....۲-۱۳-۷- مراحل آزمون جوش
- ۱۷۵.....۳-۱۳-۷- تکنیک‌های آزمون در مورد انواع جوش‌ها
- ۱۷۵.....۱-۳-۱۳-۷- جوش لب به لب در ورق و لوله
- ۱۷۷.....۲-۳-۱۳-۷- آزمون با امواج فشاری
- ۱۷۸.....۳-۳-۱۳-۷- بازرسی ریشه جوش با امواج برشی
- ۱۷۹.....۴-۱۳-۷- روش آزمون ریشه جوش
- ۱۸۴.....۵-۱۳-۷- حساسیت آزمون
- ۱۸۵.....۶-۱۳-۷- انتخاب زاویه پروب
- ۱۸۶.....۱۴-۷- حدس‌های اولیه از روی سیگنال‌های ثابت
- ۱۸۷.....۱۵-۷- کنترل کیفیت به کمک آزمون آلتراسونیک
- ۱۸۷.....۱-۱۵-۷- تعیین خواص چدن با گرافیت کروی
- ۱۹۰.....۱۶-۷- تکنیک‌های اندازه‌گیری و برآورد عیوب
- ۱۹۰.....۱-۱۶-۷- روش منحنی مرجع (Reference Line)
- ۱۹۱.....۲-۱۶-۷- روش DGS (Distance Gain Size System)
- ۱۹۵.....۱-۲-۱۶-۷- طرز استفاده از منحنی‌های DGS

۱۹۷.....منابع و مراجع

۲۰۱.....نمایه

پیشگفتار

بررسی و آزمایش قطعات صنعتی به وسیله آزمون‌های غیر مخرب (Nondestructive Testing) یا به اختصار (NDT) یکی از مراحل مهم صنایع امروز دنیا است زیرا پیچیدگی ساخت و مخارج سنگین تولید قطعات صنعتی ایجاب می‌نماید که به نحوی در مورد اطمینان و کیفیت قطعه ساخته شده آزمون‌هایی به عمل آید. آزمون‌های غیر مخرب به آزمایشاتی اطلاق می‌گردد که به منظور یافتن عیوب و ناهمگونی‌های مختلف و یا برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی و متالورژیکی مواد بدون صدمه زدن به آن صورت می‌گیرد. به همین دلیل این نوع آزمون‌ها دو مزیت عمده دارند:

- ۱- آزمون‌ها را می‌توان در مورد کلیه قطعات و محصولات تولیدی بدون این که صدمه‌ای به آنها وارد شود بکار برد و آنها را با سرعت بازرسی نمود.
 - ۲- در مورد قطعاتی که در حال سرویس دهی هستند و همچنین در نگهداری ماشین آلات و دستگاه‌های مختلف نیز قابل استفاده می‌باشند.
- مهمترین روش‌های آزمون‌های غیر مخرب عبارتند از:

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| ۱- رادیوگرافی | Radiography |
| ۲- آزمون آلتراسونیک (فراصوتی) | Ultrasonic Testing |
| ۳- آزمون ذرات مغناطیس | Magnetic Particle Testing |
| ۴- آزمون الکترومغناطیس | Electromagnetic Testing |
| ۵- روش مایعات نافذ | Liquid Penetration Method |
| ۶- آزمون نشت و فشار | Leak and Pressure Testing |
| ۷- روش نشر آکوستیک | Acoustic Emission Method |

آزمون آلتراسونیک یکی از مهم‌ترین روش‌های آزمون غیرمخرب است که روز به روز دامنه کاربرد آن در صنایع مختلف وسیع‌تر می‌گردد. این روش در مقایسه با سایر روش‌های آزمون غیر مخرب دارای مزایای زیر است:

- ۱- روشی مطمئن و بدون خطرات جانبی و مشکلات ایمنی در مقایسه با رادیوگرافی می‌باشد.
- ۲- عمق نفوذ آن در مقایسه با سایر روش‌ها بسیار زیاد است.
- ۳- در مورد کلیه فلزات و غیر فلزات مانند چینی‌ها و سرامیک‌ها، مواد مصنوعی مانند پلاستیک‌ها و رزین‌ها و غیره و همچنین کلیه اجسام رسانای صوت، قابل استفاده است.
- ۴- دارای حساسیت خوب در تشخیص نواقص و معایب کوچک است.
- ۵- دارای قدرت تعیین اندازه و عمق عیب می‌باشد.
- ۶- نیاز قابل توجهی به مواد مصرفی مثل فیلم و غیره ندارد.
- ۷- نتایج آزمون بلافاصله قابل دسترسی است.

امروزه بدلیل مزایای بالای که این روش دارد، از آن در سطح وسیعی برای آزمون جوش، برای کشف عیوب داخلی در قطعات ریختگی و فورج شده، برای آزمون اتوماتیک محصولات پیوسته مثل شمش‌ها و لوله‌ها، برای آزمایشات خوردگی و ضخامت سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در کشور ما نیز همگام با توسعه صنایع مختلف، استفاده از روش آزمون آلتراسونیک متداول گشته است. شاید این آزمون برای اولین بار در کشور عزیزمان در صنعت نفت به کار گرفته شد ولی پس از آن در صنایع هوایی‌ها، صنایع دفاعی و انرژی اتمی نیز جای خود را باز کرد. درسالهای اخیر با توجهی که به کیفیت محصولات تولیدی در صنایع سنگین، به علت نیاز به خودکفایی و در بعضی موارد به

جهت نیاز به صادرات، دامنه کاربرد آن در بخش‌های مختلف صنایع سنگین نیز گسترش یافته و امروزه در صنایع ریخته‌گری، جوشکاری، خودروسازی، ماشین سازی، نورد و غیره نیز آزمون آلتراسونیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

البته لازم به ذکر است که برای انجام دقیق و صحیح آزمون آلتراسونیک علاوه بر دانش تئوری، داشتن تجربه و دقت کافی نیز اهمیت اساسی دارد که این امر مستلزم گذراندن دوره‌های خاص و کسب تجربه همراه با آموزش تئوری می‌باشد.

این کتاب گامی در جهت معرفی آزمون آلتراسونیک است که در آن مطالب به صورت کاربردی، تدوین شده است. در تدوین این کتاب از منابع و مراجع متعددی در زمینه آزمون غیر مخرب استفاده شده است و می‌تواند قسمت اعظم دانش یک فرد نسبت به این آزمون را فراهم کند.

امید است که کتاب حاضر بتواند مورد توجه و استفاده استادان و دانشجویان فنی و مهندسی، صنایع و شیفتگان علم و دانش قرار گیرد.

حسن جعفری

زمستان ۸۵