

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

# آزمون آتراسونیک

و

## کاربرد آن در صنایع

تألیف:

حسن جعفری

عضو هیأت علمی دانشگاه شهید رجائی



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: فیپا

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: QC۲۴۴/ج۷۴۴

رده‌بندی دیویی: ۵۳۴/۵۵

شماره کتابخانه ملی: ۵۰۴۷۷-۵۰۸۵ م

تقدیم به:

منجی منتظران،

مهدی موعود (عج)

و

با سپاس از:

همسر دلسوز و مهربانم

شریک لحظه‌ها و روشنی زندگی‌ام



## فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
پیشگفتار .....	۱
<b>فصل اول: تاریخچه آزمون آلتراسونیک</b>	
۱-۱- تاریخچه آزمون آلتراسونیک .....	۵
<b>فصل دوم: مشخصات عمومی امواج و رفتار آنها</b>	
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 واسط آزمون (Couplant) .....	۲۵

## فصل سوم: امواج آلتراسونیک

- ۳-۱- تولید امواج آلتراسونیک ..... ۲۷
- ۳-۱-۱- اثر پیزوالکتریک (Piezoelectric) ..... ۲۷
- ۳-۲- ترانسدیوسرها و انواع آن ..... ۳۰
- ۳-۲-۱- ترانسدیوسرهای پیزوالکتریک مصنوعی ..... ۳۰
- ۳-۲-۲- سرامیک‌های پولاریزه شده (Polarized Ceramics) ..... ۳۱
- ۳-۲-۳- کوارتز (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 پروب‌های آلتراسونیک.....
- ۵۱-۱-۱-۴ پروب نرمال (Normal Probe).....
- ۵۱-۲-۱-۴ پروب با کریستال دوبل یا پروب T/R.....
- ۵۴-۳-۱-۴ پروب مایل (Angle Probe).....
- ۵۵-۴-۱-۴ پروب آزمون لوله.....
- ۵۶-۵-۱-۴ پروب امواج سطحی.....
- ۵۷-۶-۱-۴ پروب‌های صوتی - الکترومغناطیسی.....
- ۵۸-۷-۱-۴ پروب آزمون غوطه‌وری (Immersion Probe).....
- ۵۹-۲-۲ انواع دستگاه‌های آزمون آلتراسونیک از نظر نوع نمایش تصویری.....
- ۵۹-۱-۲-۴ روش جاروب A (A-Scan).....
- ۵۹-۲-۲-۴ روش جاروب B (B-Scan).....
- ۶۱-۳-۲-۴ روش جاروب C (C-Scan).....

## فصل پنجم: اصول اساسی کار با دستگاه آلتراسونیک

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

۶۸	.....(Monitor) مانیتور	۸-۱-۵
۶۸	..... اصول اساسی کار با دستگاه آلتراسونیک	۲-۵
۶۹	.....(Coupling) پیوند پروب با قطعه کار	۳-۵
۶۹	..... مشخصات سطح قطعه کار	۴-۵
۶۹	..... (Roughness) زبری	۱-۴-۵
۷۰	..... (Curvature) انحنا	۲-۴-۵
۷۱	.....(Coating) پوشش سطح	۳-۴-۵
۷۲	..... انتخاب پروب‌های آلتراسونیک	۵-۵
۷۲	..... انتخاب روش آزمون	۱-۵-۵
۷۳	..... انتخاب جهت تابش صوت	۲-۵-۵
۷۳	..... انتخاب فرکانس آزمون	۳-۵-۵
۷۵	..... انتخاب اندازه ترانسدیوسر	۴-۵-۵
۷۶	.....(Coupling Technique) تکنیک‌های پیوند پروب با قطعه کار	۶-۵
۷۶	.....(Contact Technique) روش تماس مستقیم	۱-۶-۵
۷۷	.....(Flow Water Coupling) روش پیوند به کمک جریان آب	۲-۶-۵
۷۷	.....(Immersion Technique) روش غوطه‌وری در مایع	۳-۶-۵
۷۷	.....(Bubbler or Pool Technique) روش حوضچه‌ای	۴-۶-۵
۷۸	.....(Wheel Transducer Technique) روش پروب چرخ‌دار	۵-۶-۵
۷۹	..... تنظیم دستگاه آلتراسونیک	۷-۵
۸۱	..... CRT تفسیر علائم دریافتی روی صفحه	۸-۵
۸۱	..... طرق مختلف نمایش عیوب	۹-۵
۸۱	..... نمایش مستقیم عیوب	۱-۹-۵
۸۳	..... نمایش غیرمستقیم عیوب	۲-۹-۵
۸۵	.....(Echo Height) ارتفاع پژواک	۱۰-۵



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

### فصل ششم: استانداردهای کالیبراسیون دستگاه آلتراسونیک

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

- ۱۰۵..... IIW بلوک کالیبراسیون جوشکاری
- ۱۰۶..... (Din ۵۴۱۲۲) V<sub>2</sub> بلوک کالیبراسیون
- ۱۰۶..... گوه‌های کالیبراسیون پله‌ای و مخروطی
- ۱۰۷..... بلوک‌های مرجع
- ۱۰۷..... ASTM صفحه مرجع
- ۱۰۸..... ASME بلوک مرجع
- ۱۰۹..... بلوک‌های مرجع دامنه- مساحت
- ۱۱۰..... بلوک‌های مرجع دامنه- فاصله
- ۱۱۰..... آزمایشات اولیه با استفاده از بلوک‌های استاندارد
- ۱۱۲..... V<sub>1</sub> بلوک و امواج طولی و پروب امواج طولی با استفاده از پروب امواج طولی و بلوک V<sub>1</sub>
- ۱۱۸..... آزمایشات با استفاده از پروب‌های امواج عرضی
- ۱۲۱..... موارد استفاده بلوک کالیبراسیون V<sub>2</sub>

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

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

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

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.....