

آزمون غیر مخرب رزونانس صوتی Acoustic Resonance Testing

دکتر هومن دژنابادی

مهندس حامد دژنابادی

شرکت رادروش شمال (مکانیک خودروی آسیا)

www.rad-ravesh.com

www.testmag.ir

آزمون رزونانس صوتی یک آزمون غیر مخرب بر مبنای آنالیز مودال (پاسخ ارتعاشی) قطعات می‌باشد. در این روش ویژگی‌های ذاتی دینامیکی قطعات (سازه‌ها) با بکار بردن مودهای ارتعاشی آنها شناسایی می‌شوند. ویژگی‌های دینامیکی مورد نظر شامل فرکانس‌های طبیعی، ضریب‌های میرایی و شکل مودها هستند. این ویژگی‌ها مستقیماً با خواص مکانیکی (مدول الاستیک) و ابعاد ارتباط دارند. وجود عیب یا خرابی در یک قطعه منجر به تغییر خواص مکانیکی (موضعی یا کلی) و ویژگی‌های دینامیکی آن می‌شود. مثلاً با افزایش خرابی یا ترک، فرکانس‌ها کاهش یافته و میرایی افزایش می‌یابد. با بررسی تغییرات پارامترهای فوق، و مقایسه با نمونه‌های سالم، می‌توان قطعات معیوب را شناسایی کرد. این روش مورد تایید استاندارد ASTM-E2001 می‌باشد.

مدل ساده یک مود (یک درجه آزادی) را می‌توان با ارتعاش آزاد جرم - فنر - دمپر بیان کرد. فرکانس طبیعی سیستم بدون دمپر برابر است با

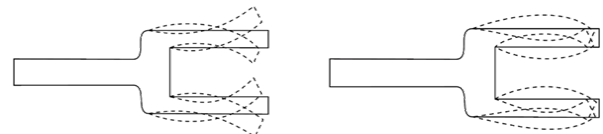
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k/m}$$

که در مدل ارتعاش سازه‌ای، k بیانگر خواص مکانیکی (مدول یانگ و خصوصیات الاستیک)، و m بیانگر چگالی و ابعاد (شکل هندسی) قطعه می‌باشد. در عمل یک جسم تعداد بی‌شماری فرکانس طبیعی یا مود دارد، که تابعی از خصوصیات الاستیک و ابعاد هندسی جسم می‌باشند. بصورت تئوری و با روش اجزای محدود (FEM) نیز می‌توان شکل مودها و فرکانس آنها را محاسبه کرد؛ که این نتایج با روش تجربی (ضربه‌ی مکانیکی) همخوانی دارند.

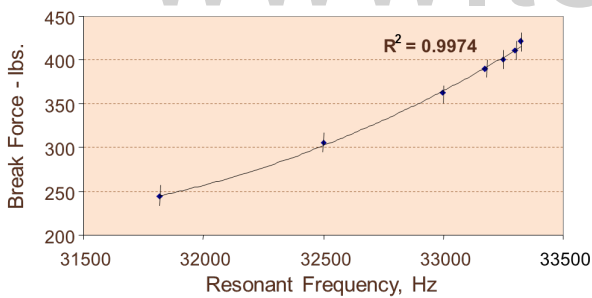
فرکانس‌های طبیعی در پاسخ فرکانسی به صورت قله ظاهر می‌شوند. این فرکانس‌ها مستقل از محل ضربه، شدت ضربه، یا موقعیت حسگر (شتاب‌سنج، میکروفون، پیزو و ...) می‌باشند. (البته دامنه یا انرژی هر مود تغییر می‌کند، اما مقدار فرکانس هر مود همیشه ثابت است).

مودهای ارتعاشی و فرکانس‌های طبیعی

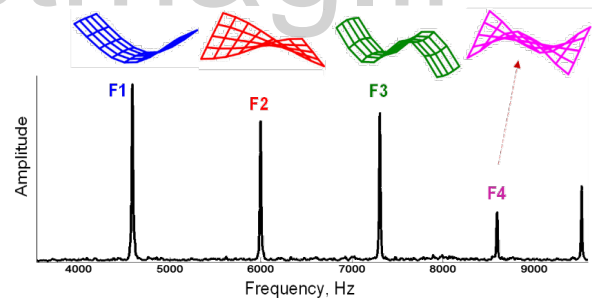
همه‌ی اجسام ارتعاش می‌کنند. هر جسم مودهای ارتعاشی خاص خود را دارد. هر مود بیانگر یک موج ایستا یا رزونانس در یک فرکانس طبیعی است. مودهای ارتعاشی هر جسم منحصر به فرد و همچون اثر انگشت آن می‌باشد. این مودها با نهایت دقت خواص ذاتی جسم را توصیف می‌کنند. هنگامی که به جسمی ضربه می‌زنیم، مودها تحریک شده و رفتار دینامیکی یا تابع تبدیل فرکانسی آن جسم مشخص می‌شود. در پاسخ به ضربه، تمام مودهای جسم تحریک شده و هر مود در فرکانس ویژه‌ای به صدا در می‌آید. هر مود، یک درجه آزادی (Degree of Freedom) ارتعاش جسم است، که به صورت سینوس میرا در فرکانس ویژه خود ارتعاش می‌کند. ارتعاش کلی جسم، برآیند یا حاصل جمع ارتعاش همه مودها است.



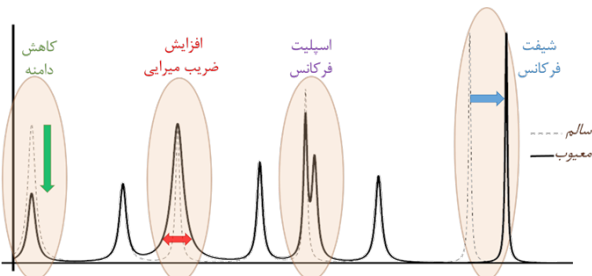
شکل ۱ - مودهای ارتعاشی اول (شکل چپ) و دوم (شکل راست) یک دیپازون



شکل ۳- همبستگی بالای استحکام مکانیکی (نیروی شکست) با فرکانس طبیعی در یک قطعه متالوژی پودر



شکل ۲- نمایش مدهای اول تا چهارم یک ورق مستطیلی و پاسخ فرکانسی آن. محل قله‌ها برابر با فرکانس‌های طبیعی است.



شکل ۴- نمایش گرافیکی تاثیر عیوب بر پاسخ فرکانسی. هر یک از قله‌ها (Peaks) مربوط به یک فرکانس طبیعی یا مود ارتعاشی می‌باشد.

کاربردهای آزمون رزونانس صوتی

کاربردهای روش رزونانس صوتی مطابق با استاندارد ASTM-E2001 عبارتند از: آزمون و عیب‌یابی ترک، ناخالصی، حفره، تخلخل، اکسید، سردجوشی، ندولاریته (کرویت)، عملیات حرارتی، تغییرات سختی، چگالی،

همبستگی خواص مکانیکی با فرکانس‌های طبیعی

وقوع خرابی در یک سیستم سازه‌ای، باعث کاهش k (مدول الاستیک) می‌شود، و طبق رابطه مذکور فرکانس طبیعی f کاهش می‌یابد. میزان کاهش یا شیفت فرکانس f با استحکام شکست یا خستگی رابطه مستقیم دارد. این همبستگی شدید اساس آزمون غیر مخرب با روش رزونانس صوتی می‌باشد. بنابراین فرکانس‌های طبیعی و کیفیت یک قطعه، همبستگی دارند. به‌عنوان مثال، شکل ۴ رابطه مستقیم فرکانس طبیعی با نیروی شکست را در یک قطعه متالوژی پودر نشان می‌دهد که با افزایش اندازه ترک فرکانس طبیعی کاهش می‌یابد.

در حالت کلی وجود عیب در یک قطعه اثرات مختلفی روی یک فرکانس طبیعی دارد که در شکل ۴ برخی از آنها نشان داده شده است. علاوه بر موارد فوق، رابطه ریاضی بین دو یا چند فرکانس طبیعی نیز در تشخیص عیوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

حذف یا اشتباه شدن یک مرحله از فرآیند تولید، ابعاد و اندازه. جدول ۱ برخی از کاربرهای رزونانس صوتی را در صنایع مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۱ - برخی از کاربردهای آزمون رزونانس صوتی

صنعت	عیب‌یابی	آزمون قطعه
چدن داکتیل	ندولاریته، ترک، تخلخل، سختی، ناخالصی، عملیات حرارتی، سردچوشی، ساختار، تنش پسماند، ابعاد و اندازه	سگدست، بازویی، کالیپر
چدن خاکستری	ترک، پرلیت، فرکانس - های طبیعی	میل بادامک، دیسک ترمز
فولاد	ترک	شفت رابط، پلوس
فورج	ترک	سگدست، شاتون
دایکاست آلومینیوم	ترک، عیوب ریخته‌گری	پدال، فرمان، جبه فرمان
سرامیک و شیشه	ترک، سطح، ابعاد	کاشی، سفال، سرامیک صنعتی، بطری



شکل ۵- تشخیص عیوب غیر قابل مشاهده همواره در صنایع از مسائل مهم و اولویت‌دار بوده است. در دو دهه‌ی اخیر بسیاری از تامین کنندگان قطعات ایمنی اتومبیل به آزمون رزونانس صوتی روی آورده‌اند.

به صورت کلی، آزمون‌های غیر مخرب را می‌توان به دو بخش اصلی موضعی و کلی تقسیم نمود. جدول ۲ جایگاه آزمون‌های متداول غیر مخرب از جمله آزمون رزونانس صوتی را در این تقسیم بندی نشان می‌دهد. جدول‌های ۳ تا ۵، آزمون رزونانس صوتی را با آزمون‌های اولتراسونیک و ذرات مغناطیسی مقایسه کرده، و مزایا و معایب هر روش را بیان می‌کند.

جدول ۲- تقسیم‌بندی آزمون‌های غیر مخرب به دو بخش اصلی موضعی و کلی، و جایگاه آزمون رزونانس صوتی.

موضعی	کلی
<ul style="list-style-type: none"> محل عیب را مشخص می‌کند. برای آزمون کلی، باید قطعه مرور (scan) شود. نتیجه آزمون به تحلیل اپراتور وابسته است. - بازرسی چشمی VT - آزمون ذرات مغناطیسی MP - آزمون اولتراسونیک UT - ادی کارنت ترک‌یاب ECT 	<ul style="list-style-type: none"> سراسر قطعه را آزمون می‌کند. محل عیب را مشخص نمی‌کند، فقط قطعه معیوب را پیدا می‌کند. نیاز به نمونه‌های شاهد جهت مقایسه و الگوشناسی مناسب برای عیب‌یابی سازه‌های پیچیده نتیجه آزمون بطور اتوماتیک Pass یا Fail است. - رزونانس صوتی: آزمون سراسر حجم - ادی کارنت سختی‌سنج: آزمون سراسر سطح و زیر سطح

جدول ۳- مزایا و معایب آزمون رزونانس صوتی

آزمون رزونانس صوتی	
مزایا	معایب
<ul style="list-style-type: none"> همبستگی مستقیم اندازه‌گیری‌ها با استحکام مکانیکی مناسب برای تولید انبوه و کنترل ۱۰۰٪ قطعات دقت و تکرارپذیری بالا تشخیص عیوب مختلف با یک آزمون آزمون کل قطعه (عمق تا سطح) اتوماسیون پذیری ساده آزمون خشک (بدون نیاز به مایع کوپلنت و مواد مصرفی) بدون نیاز به آماده‌سازی و تمیز کردن سطح سریع و باصرفه 	<ul style="list-style-type: none"> روش مقایسه‌ای: نیاز به تهیه نمونه‌های شاهد برای هر نوع قطعه نیاز به نرم‌افزار پیشرفته مدلسازی ریاضی برای جبران تغییرات پروسه تولید محل عیب یا نوع عیب را مشخص نمی‌کند، فقط قطعه معیوب را رد می‌کند. البته بصورت تکمیلی می‌توان قطعات مردود را با روش‌های دیگر (Metallography, MP, UT, VT) ریشه‌یابی کرد.

جدول ۴- مزایا و معایب آزمون اولتراسونیک

آزمون اولتراسونیک UT	
مزایا	معایب
<ul style="list-style-type: none"> بسیار حساس برای آزمون ترک نتایج سریع و فوری قابل حمل (پرتابل) نفوذ بالا 	<ul style="list-style-type: none"> احتیاج به تجربه و مهارت اپراتور نیاز به آماده‌سازی سطح نیاز به مایع کوپلنت دشواری آزمون قطعات پیچیده یا کوچک نیاز به پروب‌های متفاوت برای کاربردهای مختلف

جدول ۵- مزایا و معایب آزمون ذرات مغناطیسی

آزمون ذرات مغناطیسی MP	
مزایا	معایب
<ul style="list-style-type: none"> تشخیص ترک‌های سطحی و زیرسطحی 	<ul style="list-style-type: none"> خستگی اپراتور در ابتدای شیفت کاری. بطور متوسط ۲۰٪ از عیوب در اثر عدم تمرکز اپراتور دیده نمی‌شوند. گران (مواد مصرفی و انرژی) آزمون زمان‌بر نیاز به تمیز کردن سطح قبل و بعد از آزمون آلوده کننده نیاز به مغناطیس‌زدایی پس از آزمون



شکل ۶- مراحل آزمون و آنالیز یک قطعه توسط سیستم رزونانس صوتی



شکل ۷- نمونه‌های شاهد سگدست پژو برای معرفی به پایگاه داده سیستم رزونانس صوتی

معرفی سیستم ادی سونیک EddySonic™

ادی سونیک یک سیستم آزمون غیرمخرب رزونانس صوتی می‌باشد. قابل ذکر است که نرم افزار یکپارچه این سیستم شامل بخش‌های زیر می‌باشد:

- رزونانس صوتی EddySonic-AR
- ادی کارنت چند فرکانس / چند کانال EddySonic-EC
- ادی کارنت اسکنر EddySonic-ES
- رزونانس صوتی / ادی کارنت جاروب فرکانس EddySonic-SW
- ویژگی‌های سیستم رزونانس صوتی EddySonic-AR عبارتند از:
 - دقت و تکرارپذیری بالا
 - سرعت بالای آزمون (۱ ثانیه)
 - استفاده آسان برای کاربر
 - مخصوص تولید انبوه و کنترل کیفیت ۱۰۰٪ قطعات
 - جبران‌سازی دما، وزن و دیگر تغییرات روند تولید
 - ابزارهای متنوع مدل‌سازی و الگوشناسی داده‌ها
 - امکان یکپارچه‌سازی با داده‌های ادی کارنت
 - کامپیوتر صنعتی مقاوم در برابر غبار و نویز
 - مستندسازی و گزارش‌آمار

تصاویر زیر برخی از کاربردهای سیستم EddySonic-AR را برای آزمون قطعات فوق ایمنی و ایمنی اتومبیل نشان می‌دهد. بیشترین موارد استفاده عبارتند از: آزمون ندولاریته (کرویت)، ترک، تغییرات ابعادی، سردجوشی، تنش پسماند و انحرافات سختی.

آماده سازی و مراحل آزمون رزونانس صوتی

شکل ۶ مراحل آزمون و آنالیز یک قطعه را نشان می‌دهد، که بطور خلاصه شامل ۴ مرحله می‌باشد:

- ۱- تحریک مکانیکی قطعه: تکیه‌گاه و محل ضربه در طراحی فیکسچر بهینه‌سازی شده است.
- ۲- ضبط پاسخ ارتعاشی: ثبت پاسخ زمانی توسط میکروفون یا شتاب‌سنج، و حذف نویز زمینه
- ۳- استخراج پارامترهای مودال: فرکانس‌های طبیعی، ضرایب میرایی، اسپیت
- ۴- الگوشناسی و تصمیم‌گیری: جبران‌سازی تغییرات روند تولید، مدل‌سازی داده‌ها، تفکیک قطعات معیوب

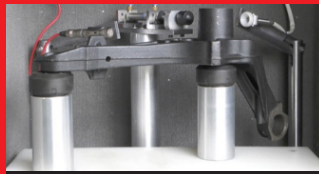
آزمون رزونانس صوتی، همانند آزمون ادی کارنت، یک روش مقایسه‌ای نسبت به نمونه‌های شاهد (reference or training parts) می‌باشد. نمونه‌های شاهد یا مرجع، قطعات سالم (یا معیوبی) هستند که با روش‌های دیگری در آزمایشگاه از صحت (یا خرابی) آنها اطمینان حاصل کرده‌ایم. معمولاً نمونه‌های شاهد با روش‌های دیگر مثلاً بازرسی چشمی (VT)، اولتراسونیک (UT)، ذرات مغناطیسی (MP)، متالوگرافی، یا سختی‌سنجی صحه‌گذاری می‌شوند. نمونه‌های شاهد باید تغییرات پروسه تولید را دربرگیرد. تعداد آنها معمولاً ۱۰۰ تا ۲۰۰ قطعه می‌باشد، با این حال چنانچه تغییرات پروسه تولید زیاد باشد، به نمونه‌های بیشتری از شیفت‌های مختلف تولید احتیاج داریم. این قطعات در مرحله کالیبراسیون دستگاه برای آموزش به سیستم معرفی می‌شوند. یادآوری می‌شود که صحت عملکرد سیستم، وابسته به تهیه و آنالیز دقیق نمونه‌های شاهد می‌باشد.

پس از معرفی نمونه‌های شاهد به سیستم، پارامترهای مودال نمونه‌ها محاسبه شده و این اطلاعات به واحد الگوشناسی در سیستم منتقل می‌شود. هدف این واحد، فرمول‌بندی چندمتغیره رابطه بین عیب و تغییرات پارامترهای مودال به منظور تفکیک اتوماتیک قطعات معیوب از سالم می‌باشد. یکی دیگر از اهداف این واحد، جبران‌سازی یا خنثی کردن اثر متغیرهای ناخواسته‌ای می‌باشد که روی پارامترهای مودال اثر می‌گذارند. برخی از متغیرهای ناخواسته عبارتند از دما، وزن، تغییرات ابعادی، و دیگر تغییرات روند تولید. از طرفی این متغیرها در محدوده‌ی مجاز خط تولید می‌باشند.

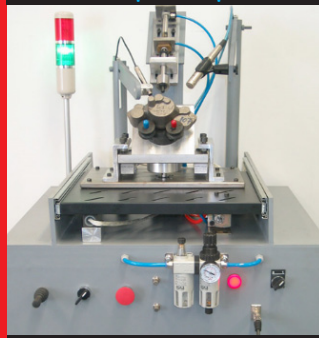
تکنیک‌ها و ابزارهای مختلفی برای مدل‌سازی ریاضی و آماری داده‌های نمونه‌های شاهد استفاده می‌شوند؛ که عبارتند از: چک کردن محدوده فرکانس‌ها و ضرایب میرایی، آنالیز هارمونیک‌ها، نسبت فرکانس‌ها، پیشگویی فرکانس از روی فرکانس‌های دیگر، تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، تجزیه فرکانس (Split)، گروه‌بندی (رگرسیون، شبکه عصبی و ...)، و خوشه‌بندی داده‌ها.



سگمنت پژو



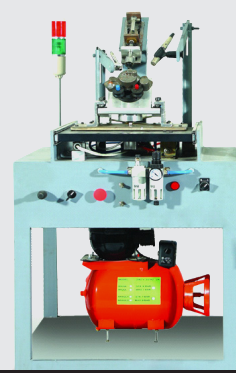
پایه اتاق پژو



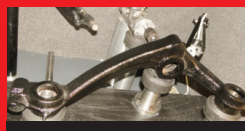
کالیپر پراید



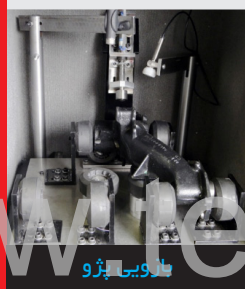
ما کیفیت را
می شنویم



سگدست پراید



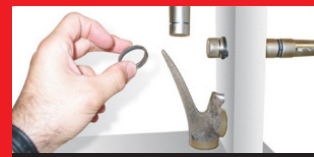
پایه اتاق ۲۰۶



بالا بی پژو



شفت رابط پژو



سیت هوا و اگزوز



استکان تایپیت پژو

www.testmag.ir



میل تعادل پراید



محور پلوس L90

ارائه راهکار جامع به مشتری

با توجه به اهمیت ویژه آزمون ۱۰۰٪ قطعات فوق ایمنی و ایمنی، و به منظور پیاده سازی موفق خط آزمون غیر مخرب، مراحل زیر با دقت و حساسیت بالا برای هر قطعه انجام می گیرد. قابل ذکر است که معمولاً دو آزمون رزونانس صوتی و ادی کارنت همزمان روی برخی قطعات انجام می گیرد.

- امکان سنجی و آنالیز آزمایشی ۲۰ قطعه سالم و ۱۰ قطعه معیوب
- یافتن بهترین معیارها و مدلها جهت تفکیک نمونه های معیوب

آنالیز اولیه قطعات

- طراحی اختصاصی فیکسچر و تجهیزات مکانیکی برای قطعه مورد نظر
- بهینه سازی فیکسچر، شرایط ضربه، ایزولاسیون صوتی، اتوماسیون و ...

طراحی فیکسچر و یونیت مکانیکی

- راه اندازی خط NDT و یکپارچه سازی با خط تولید
- آموزش سیستم با نمونه های شاهد متنوع (۲۰۰ سالم و ۵۰ معیوب)

نصب و راه اندازی در خط تولید

- دوره های آموزشی برای مسئول خط NDT و اپراتور
- آموزش نرم افزار ادی سونیک، شرایط آزمون، نگهداری و سرویس های ادواری

کلاس های آموزشی

- ارتقای سیستم، راه اندازی برای قطعات جدید، تعمیر اجزاء مکانیکی
- مشاوره و ارائه دانش فنی

خدمات پس از فروش