

تست غیر مخرب سختی و عمق سختی با روش جریان‌های Eddy Current

دکتر هومن دژنابادی

مهندس حامد دژنابادی

شرکت رادروش شمال
www.rad-rosh.com

www.testmag.ir

استفاده از آزمون‌های غیرمخرب در خطوط تولید به دلایل مختلف به صورت روزافزون در حال گسترش است. از جمله دلایل آن می‌توان به سهولت استفاده همه قطعات در خطوط تولید با تیراژ بالا، هزینه پایین انجام آزمون، سرعت بالا، شناسایی به موقع عیوب جهت اصلاح فرآیند تولید، ایمنی بالا و دسترسی آسان به ادوات تست را نام برد. شرکت رادروش با توجه به سابقه طولانی در طراحی و ساخت تجهیزات آزمون غیرمخرب و با سرمایه‌گذاری جهت توسعه زیرساخت‌های طراحی و مهندسی، نقش بسیار ارزنده‌ای در ارتقای سطح دانش و تجهیز خطوط تولید و آزمایشگاه‌های صنایع مختلف کشور داشته است.

در ادامه مقاله منتشر شده در شماره پیشین؛ جناب آقای دکتر هومن دژنابادی و مهندس حامد دژنابادی به بیان تعاریف و روش‌های نوین در آزمون‌های جریان گردابی یا اِدی‌کارنت و همچنین ابعاد دیگری از زمینه‌های کاربرد این تجهیزات در خطوط تولید و آزمایشگاه‌های تخصصی می‌پردازند.

اطلاعات هارمونیک‌های بالاتر (سوم و پنجم) شکل و رفتار غیر خطی حلقه پسماند (hysteresis loop) را توصیف می‌کند. انتخاب فرکانس‌های تحریک مناسب به ما امکان مشاهده خواص سطحی و لایه‌های زیر سطحی را می‌دهد. در مجموع جریان‌های گردابی تابع اثر پوسته‌ای (skin effect) هستند، بدین معنی که فقط در پوسته نازک زیر سطح جریان دارند. ضخامت این پوسته تابعی از فرکانس است، به طوری که فرکانس‌های پایین حساس به لایه‌های عمیق‌تر و فرکانس‌های بالا حساس به سطح قطعه می‌باشند. به عنوان مثال، برای ارزیابی عمق سختی پس از عملیات حرارتی از فرکانس‌های پایین (۱۰ - ۱۰۰ Hz) و برای ارزیابی سختی سطح قطعه از فرکانس‌های بالاتر (۳۰۰ kHz - ۲۰ Hz) استفاده می‌کنیم.

یک روش سریع برای آنالیز همزمان عمق‌های مختلف، ارسال همزمان چند موج سینوسی با فرکانس‌های مختلف (multi-frequency testing) به قطعه می‌باشد. یکی از امتیازات آنالیز چند فرکانس، در نظر گرفتن بسیاری

تست جریان گردابی یا اِدی کارنت یک روش متداول و استاندارد برای کنترل کیفیت صد در صد قطعات می‌باشد. در این مقاله به کاربردهای فرکانس پایین (۳۰ kHz - ۱۰ Hz) این روش اشاره داریم. این کاربردها عبارتند از کنترل سختی، عمق سختی، عملیات حرارتی و ساختار قطعات چدنی و فولادی. در این روش آزمون با استفاده از یک کویل فرستنده، میدان مغناطیسی را به قطعه اعمال کرده و با یک کویل گیرنده، خواص الکتریکی و مغناطیسی قطعه را دریافت می‌کنیم. ولتاژ یا سیگنال کویل گیرنده وابسته به رسانایی (هدایت الکتریکی) و نیز شکل و اندازه منحنی پسماند مغناطیسی قطعه دارد. از طرف دیگر منحنی پسماند مغناطیسی مستقیماً تحت تأثیر سختی، عملیات حرارتی و ساختار آلیاژی می‌باشد.

برای مدل کردن منحنی پسماند مغناطیسی، قطعه را با امواج سینوسی در فرکانس‌های مختلف تحریک کرده، سپس هارمونیک‌ها و فاز سیگنال برگشتی را برای هر فرکانس جداگانه محاسبه می‌کنیم. اطلاعات اصلی در دامنه و فاز هارمونیک اول نهفته است. علاوه بر این



www.testmag.ir

از عوامل تاثیرگذار در نتیجه آزمون می‌باشد. زیرا عیوب مختلف، رفتارها و الگوهای مختلفی را در هر فرکانس از خود نشان می‌دهند.

برای تست هر نوع قطعه، کوپل و فیکسچر متناسب برای آن قطعه طراحی می‌شود، به طوری که حداکثر حجم داخل کوپل را قطعه اشغال کند (maximum fill factor) و قطعه به سهولت در کوپل قرار گیرد. چنانچه کل قطعه در کوپل قرار گیرد، میانگین سختی یا خواص ساختاری آن قطعه ارزیابی می‌شود. برای تست موضعی از کوپل‌های چند کاناله یا چند کوپل یا پروب استفاده می‌کنیم. جدول ۱ چند نمونه از کوپل و فیکسچر طراحی شده توسط شرکت رادروش را نشان می‌دهد.



شکل ۱ - دستگاه تست ادی کارنت سگدست پژو. سختی موضعی در ۳ ناحیه توسط ۳ کوپل اندازه‌گیری می‌شود.

جدول ۱ - چند مثال از کاربرد ادی کارنت در تست قطعات چدنی و فولادی.
کویل و فیکسچر هر قطعه بصورت سفارشی طراحی می شود.

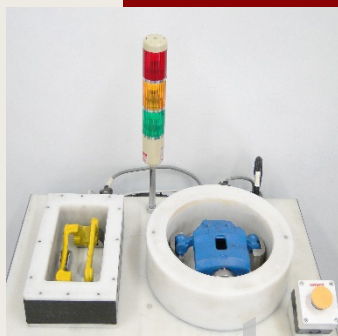
نام قطعه:
سگدست پژو
جنس:
چدن داکتیل
تست:
سختی سنجی
فرکانسهای تحریک:
۱۶۰, ۹۶, ۴۰, ۲۵ Hz



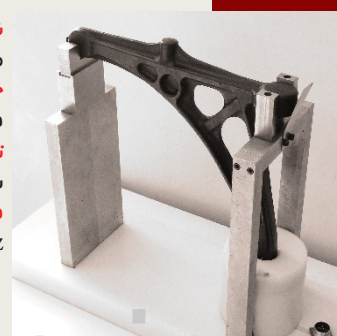
نام قطعه:
شففت رابط پژو
جنس:
فولاد آلیاژی
تست:
سختی سطح، عمق سختی،
عملیات حرارتی
نوع کویل:
چند کاناله جهت تست
موضعی
فرکانسهای تحریک:
۱۶, ۴۰, ۱۶۰, ۵۰۰ Hz



نام قطعه:
کالیپر و رکابی ترمز
جنس:
چدن داکتیل
تست:
سختی سنجی
فرکانسهای تحریک:
۱۶۰, ۹۶, ۴۰, ۲۵ Hz

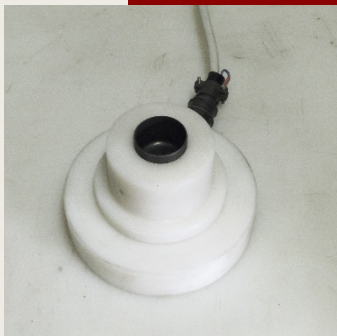


نام قطعه:
مثلثی پژو
جنس:
فولاد
تست:
سختی سنجی موضعی
فرکانسهای تحریک:
۵۰۰, ۱۶۰, ۹۶, ۴۰ Hz



www.testmag.ir

نام قطعه:
استکان تاپیبت
جنس:
فولاد سماتنه
تست:
سختی سنجی سطحی و نقطه ای
نوع کویل:
پروپ با گاید فریت
فرکانسهای تحریک:
۹۶۰۰, ۶۰۰۰, ۱۶۰۰, ۹۶۰ Hz



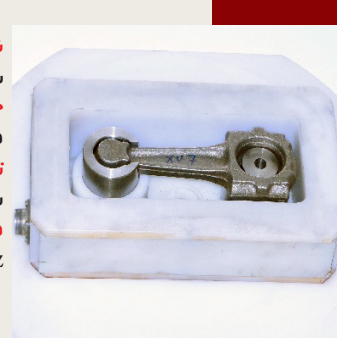
نام قطعه:
میل بادامک
جنس:
چدن خاکستری
تست:
سختی سنجی، سختی در
اثر کاریبد
نوع کویل:
چند کاناله جهت تست
موضعی
فرکانسهای تحریک:
۱۶۰, ۹۶, ۶۴, ۴۰ Hz



نام قطعه:
بازونی چرخ و پایه اتاق پژو
جنس:
چدن داکتیل
تست:
سختی سنجی
فرکانسهای تحریک:
۱۶۰, ۹۶, ۴۰, ۲۵ Hz



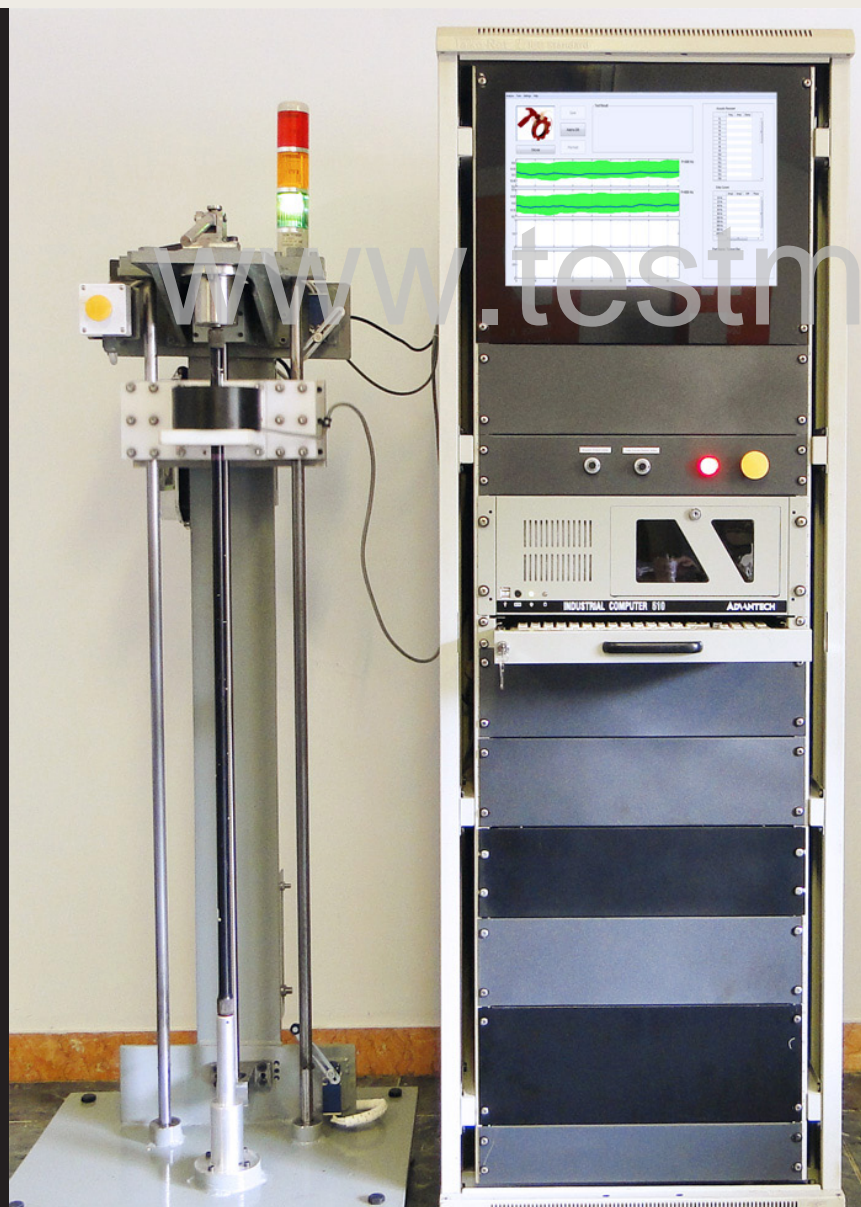
نام قطعه:
شاتون
جنس:
فولاد
تست:
سختی سنجی
فرکانسهای تحریک:
۵۰۰, ۱۶۰, ۹۶, ۴۰ Hz



سیستم فوق قابلیت اسکن کردن طولی یا دورانی یک قطعه را نیز دارد، بدین معنی که کوئل در حین حرکت از روی قطعه سیگنال ادی کارنت را ضبط می‌کند. شکل ۲ نمونه‌ای از اسکنر برای تست قطعه Torsion bar را نشان می‌دهد. در این کاربرد طول قطعه (۹۰۰mm) با دقت ۱mm اسکن شده و سپس منحنی تغییرات سختی یا عملیات حرارتی بدست آمده با پروفیل تعریف شده مقایسه می‌شود. اطلاعاتی که در این منحنی نهفته است، بسیاری از عیوب عملیات حرارتی را آشکار می‌سازد. برخی از شاخص‌هایی که در این آزمون بررسی می‌شوند عبارتند از: باند مجاز دامنه در هر نقطه از طول قطعه، شیب یا مشتق در هر نقطه و نوسانات پریودیک در طول قطعه ناشی از عیوب عملیات حرارتی.

باید در نظر داشت که تست ادی کارنت میزان مطلق سختی (مانند راکول یا برینل و غیره) را به ما نشان نمی‌دهد. تست ادی کارنت یک تست مقایسه‌ای نسبت به نمونه‌های شاهد (reference parts) می‌باشد. نمونه‌های شاهد، قطعات سالمی هستند که با روش دیگری در آزمایشگاه از صحت آنها اطمینان حاصل کرده‌ایم. تعداد آنها معمولاً ۵۰ تا ۱۰۰ قطعه می‌باشد، با این حال چنانچه تغییرات فرآیند تولید زیاد باشد، به نمونه‌های بیشتری از شیفتهای مختلف تولید احتیاج داریم. ضمناً بصورت اختیاری می‌توان گروه‌هایی از نمونه‌های معیوب نیز جهت معرفی به سیستم آماده کرد. در مرحله کالیبراسیون یا آموزش، کلیه قطعات را در کوئل قرار داده و اطلاعات آنها را در پایگاه داده سیستم ذخیره می‌کنیم.

نرم‌افزار سیستم شامل یک واحد تصمیم‌گیری (decision module) بر مبنای روش‌های چند متغیره آماری جهت مدل‌سازی الگوی قطعات سالم و تفکیک آنها از قطعات معیوب می‌باشد. این واحد شاخص‌های مختلفی را برای جداسازی قطعات چک می‌کند. برخی از این شاخص‌ها عبارتند از: بازه قابل قبول دامنه و فاز هارمونیک‌ها در هر فرکانس، توزیع آماری یا تابع چند متغیره داده‌ها و گروه‌بندی (classification) قطعات سالم و معیوب.



تست ادی کارنت روشی مطمئن، سریع و مقرون به صرفه برای کنترل غیر مخرب صد در صد قطعات تولیدی می‌باشد. با آنالیز هارمونیک‌ها در فرکانس‌های مختلف و مدل‌سازی چند متغیره آماری اطلاعات، می‌توان با دقت بالا پارامترهای سختی، عمق سختی، عملیات حرارتی، ساختار و آلیاژ را در قطعات چدنی و فولادی کنترل نمود.

شکل ۲- دستگاه اسکنر ادی کارنت به منظور تست تغییرات سختی و کیفیت عملیات حرارتی در طول قطعه Torsion bar.