نشریه صنعت لاستیک ایران
سال۲۸/شماره ۱۱۱/ پاییز ۱۴۰۲

علمی- فنی

پایش و عیب‌یابی هوشمند ماشین‌های صنعتی با فناوری شاک پالس و ترموگرافی

Intelligent monitoring and troubleshooting of industrial machines with shock pulse and thermography technology

چکیده

هدف اصلی این پژوهش پیشگیری، شناسایی زود هنگام عیوب قابل شناسایی و عوامل خرابی ماشین‌های صنعتی است، حدود سه چهارم از خرابی‌های ماشین‌های دوار در صنعت از جمله دستگاه‌های گران قیمت آزمون تایر مثل درام تست‌ها که دارای سرعت چرخش غلتک بسیار بالا هستند مربوط به خرابی بلبرینگ‌های غلتشی است. برای جلوگیری از توقف ناخواسته و برنامه ریزی نشده، پایش دورهای دستگاه‌ها اهمیت بالایی دارد. شناسایی زودهنگام خرابی آنها به‌دلیل صرفه‌جویی در هزینه و خدمات از جدی مدیران صنعت هست با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش عملی با مشارکت یک شرکت دانش بنیان، براساس تکنولوژی شاک پالس و ترموگرافی وضعیت ماشین مد نظر پایش گردید. بررسی و مقایسه و تحلیل فرکانسی نمودار بیرینگ غلت شیء سالم با نمونه ناسالم انجام شد و در نهایت بازرسی چشمی صورت گرفته خرابی بیرینگ را تایید کرد، در پایش به روش ترموگرافی انجام شده نیز دمای ناحیه شافت دستگاه و مقایسه دمای آن با جدول مرجع خرابی آن نیز تایید شد. با به‌کارگیری روش‌های نوین پایش، خرابی ها را قبل از توقف و آسیب بیشتر کشف و با داشتن فرصت کافی برنامه‌ریزی و تعمیرات با هزینه کم صورت می‌گیرد.

کلمات کلیدی: Shock Pulse - Thermogram – ISO 10815,10816 -db.- PDM– دستگاه آزمون تایر – بلبرینگ – صدا، عیب یابی

نوع مقاله: پژوهشی

حسین صمدی[1*] - زهرا صمدی[2]

۱-کارشناس ارشد تایر- مدیر مرکز آزمون / شرکت مهندسی وتحقیقات صنایع لاستیک

۲-دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی مکانیک – محقق دانشگاه الزهرا/ تهران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات: H.samadi1@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۰-۰۶-۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۱-۰۸-۱۴۰۲

مقدمه:

بسیاری از عیوب ایجاد شده در ماشین‌آلات، به‌صورت صدا و ارتعاش هستند. اندازه گیری و آنالیز صدا و ارتعاشات تجهیزات دوار، اصلی‌ترین تکنیک جهت مراقبت وضعیت و تشخیص مشکلات ماشین‌آلات و تجهیزات دواراست که عمدتاً" ناشی از شکست فیلم روغن، نابالانسی، ارتعاشات ماشین و بار زیادی می‌باشد، از این رو تنوع و گستردگی تست ارتعاشات به قدری است که این تکنیک را به یک دانش مدرن تبدیل کرده و در صنایع مختلف کاربردهای زیادی دارد. از طرفی نگهداری و تعمیرات هوشمندانه و پیشگویانه (PDM) که پایش وضعیت ماشین را با ابزارهای نوین براساس پارامترهای مذکور آنالیز می‌کند یک ضرورت بوده و با توجه با محدویت‌های از قبیل تحریم‌ها و مشکل تهیه لوازم یدکی ماشین آلات به ویژه وارداتی ساخت خارج مواجه هستیم اهمیت آن را دو چندان می‌کند .

مباحث نظری و عملی:

به‌منظور تشخیص بهینه و صحیح خرابی‌ها و مشکلات تجهیزات دوار، لازم است که از تست‌های ارتعاشی مختلفی نظیر، طیف فرکانسی ارتعاشات، منحنی شکل موج ارتعاش، زاویه فاز ارتعاش و ... بهره گرفت. از تکنیک آنالیز ارتعاشات جهت تشخیص عیوب و ارزیابی حالت‌های خرابی مختلفی نظیر مشکلات و خرابی‌های بیرینگ‌ها و یاتاقان‌های غلتشی، آف الان سی جرمی،، ناهم‌راستایی، خمیده شدن شفت، ناهم مرکزی، انواع لقی‌های مکانیکی،، مشکلات و خرابی‌های بیرینگ‌ها و یاتاقان‌های لغزشی، خرابی‌های گیربکس‌ها، خرابی چرخ دنده‌ها، مشکلات سیستم‌های تسمه و پولی و... استفاده می‌شود از طرفی یکی از شایع‌ترین و متداول‌ترین علت ارتعاشات ماشین نابالانسی جرمی هست زمانی که محور چرخش و خط مرکز یک جسم دوار بر هم منطبق نباشد. به‌دلیل توزیع غیر یکنواخت جرم و ایجاد نابالانسی در اثر خرابی و شافت به تولید نیروی گریزاز مرکز و تغییرات در فرکانس‌های ارتعاشات و گشتاور نیروهای ناخواسته، کاهش طول عمر و ایجاد سایش در آنها و خرابی آب بندها می‌شود در ابتدای شروع کار ماشین آلات به سه گروه (حیاتی، مهم ، عادی) تقسیم، برنامه ریزی پایش دورهای را طبق اولویت بندی با روش‌های که در ذیل آورده‌ایم انجام می‌دهیم .

آنالیزهای ارتعاشات:

آنالیزهای ارتعاشات عمدتاً شامل: صدا-روغن - میزان خوردگی-ترموگرافی دما-جریان برق میباشند. با اندازه گیری های مذکور و شدت ارتعاشات و تحلیل پارامترهای اندازه گیری شده به میزان سلامت ماشین پی می‌بریم چونکه ارتعاشات و دما همانند شاخص دمای بدن فرد می‌باشد همان طور که فرد بدون دلیل تب و لرز نمی‌کند ماشین هم بدون دلیل ارتعاشات اضافی تولید و داغ نمی‌کند پس به‌سادگی با پردازش سیگنال‌های ارتعاشی پی به میزان سلامت و خرابی ماشین پی می‌بریم مثلاً با افزایش دمای گیربکس پی به سایش اضافی و خرابی چرخ دنده آن می‌رسیم.

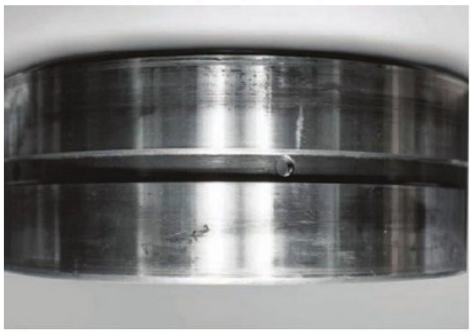
در خرابی بیرینگ ها فرکانس‌های ایجاد شده با پالس‌های بسیار ضعیف پس از آشکار ابتدا تقویت شده و از طرفی هم سیگنال‌های در فرکانس‌های پایین حذف و فیلتر می‌شوند. سیگنال به‌دست آمده از اندازه گیری های صورت گرفته دو نوع می‌باشد.

نوع اول پالس مفروش: تعداد زیادی پالس با دامنه کم - در نمودار لگاریتمی dBc نشان داده می‌شوند

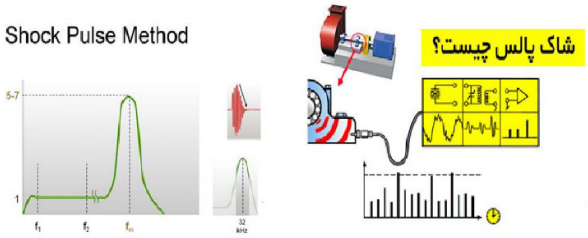
نوع دوم پالس ماکسیمم: پالس‌های با دامنه زیاد - در نمودار با علامت dBm نشان داده می‌شوند

در پارامتر شاک پالس عیوب بیرینگ ها پالس‌های کم انرژی با فرکانس‌های بالا هستند این سنسورشاک پالس که با تکنولوژی شرکت SPM سوئدی ابداع شده است تنها در محدوده فرکانس

kHz ۳۲ حساسیت بالایی دارد و در سایر فرکانس‌ها حساسیتی از خود نشان نمی‌دهد به‌کمک این سنسور سیگنال ارتعاشی تا هفت‌برابر تقویت می‌گردد سپس فرکانس‌های تقویت شده به کمک ترنسدیوسرها مجهز آشکارسازی شده. ازطرفی به‌دلیل تداخل ارتعاشات ناشی از سایر عیوب و تولید پارازیت‌های مزاحم آنها حذف می‌شوند، لذا در روش‌های عیب‌یابی سنتی پارازیت‌های مزاحم ما را به‌اشتباه می‌اندازند ولی با آنالیز ارتعاشات شاک پالس به‌سادگی در مراحل اولیه قابل تشخیص و قابل پیشگیری هستند.



شکل۱ نمونه بیرینگ خراب



نمودار۱- شماتیک shock pulse و نمودار آن

۱- پایش شاک پالس (shock pulse):

مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های تشخیص عیوب این است که با این روش می‌توان اسپکتروم شاک پالس را نیز به‌دست آورد. تطبیق اسپکتروم شاک پالس با فرکانس‌های اجزای بیرینگ با گراف‌های مرجع، علت دقیق خرابی بیرینگ مشخص می‌گردد. مثلاً آیا عیب بیرینگ از ساچمه یا رینگ داخلی یا کونس خارجی می‌باشد در ادامه به پایش کیفیت روغن وضعیت بلبرینگ و صدای آن می‌پردازیم.

الف – پایش کیفیت روغن بیرینگ ها:

ضخامت فیلم روغن در قسمت بیرینگ ها حدود ۷۰ میکرون هست وقتی ضخامت فیلم روغن گسسته می‌شود برخورد فلز – فلز اتفاق می‌افتد که باعث خرابی فوری آنها می‌گردد لذا یکی از فاکتورهای نگهداری پیش‌بینی‌کننده کنترل ضخامت فیلم روغن می‌باشد که یکی از کم هزینه‌ترین و ساده‌ترین روش پیشگیری از خرابی ناگهانی ماشین و جلوگیری از هزینه سنگین تعویض بیرینگ و افت تناژ تولید هست.

ب-پایش صدای بیرینگ ها:

از جمله عیوب مهم به‌ویژه بیرینگ ها به‌ویژه از نوع المان غلت شیء شامل: خرابی ساچمه خرابی، کنس داخلی و خارجی ، کجی بیرینگ و شیار شیار شدن بیرینگ هاست چنین عیوب منجر به تغییر ساختار هندسی آن شده و زمانی که آسیب می‌بینند منجر به تولید شاک پالس با فرکانس‌های با انرژی کم می‌کند که با آنالیز ارتعاشات شاک پالس به‌سادگی در مراحل اولیه قابل تشخیص و کشف و برنامه ریزی هستند. سیگنال به‌دست آمده از اندازه‌گیری به‌روش شاک‌پالس شامل دو نوع پالس مطابق نمودارهای ذیل است:

نوع اول تعداد زیادی پالس با دامنه کم که به آنها پالس مفروش (Carpet) گفته می‌شود و در نمودار لگاریتمی dBc نامیده می‌شود.

نوع دوم پالس‌ها با دامنه زیاد می‌باشد که به آنها پالس ماکزیمم گفته شده و با علامت dBm مشخص می‌شود

پارامترهایی که شاک پالس دریافت می‌کنند مقدار پالس مفروض مستقیم با فیلم روغن و کیفیت آن بستگی دارد. اگر فیلم روغن به‌اندازه کافی ضخامت داشته و عاری از هر نوع ذرات فلزی باشد ساچمه‌ها با سطوح داخلی و خارجی قطعه بیرینگ در تماس نخواهد بود. در نتیجه شاک پالس ایجاد نمی‌شود. پس dBc بسیار پایین است.

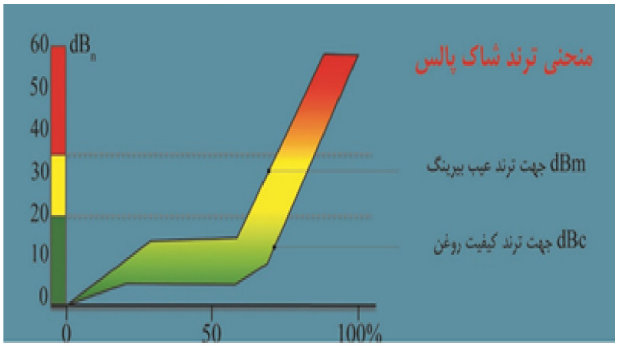
زمانی که در نمایشگر افزایش مقدار dBm نشان داده شود

نشان از خوردگی یکی از المان‌های بیرینگ است. زیاد شدن شاک پالس‌های این پارامتر در اولین مرحله خرابی این قطعه را شش ماه قبل از آن پیش بینی کند. بهترین روش عیب‌یابی به‌موقع قطعه بیرینگ رسم منحنی برند dBc, dBm است.

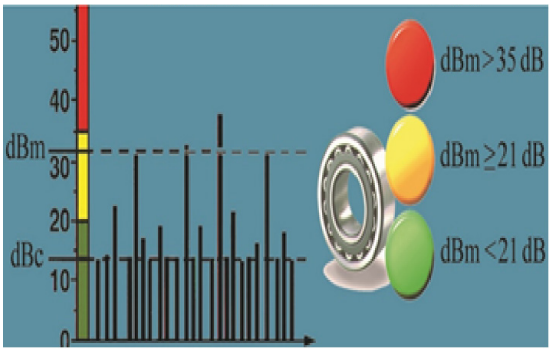
ج-وضعیت بیرینگ:

در زمان رسم منحنی ترند با دو پارامتر dBc, dBm مواجه می‌شویم. افزایش dBc نشان از کم بودن ضخامت روغن و افزایش dBm علامت خرابی بیرینگ است. وضعیت بیرینگ با سه چراغ‌سبز، زرد و قرمز نمایش داده می‌شود. سبز نشان از سلامت و زرد نشان هشدار و چراغ‌قرمز نشان از شرایط بحرانی وضعیت قطعه است.

طبق استاندارد با dBm کمتر از ۲۱ قطعه در ناحیه سبز و سالم قرار گرفته است. با dBm بیشتر از ۲۱ و کمتر از ۳۵ بیرینگ در ناحیه زرد و هشدار قرار گرفته است. همچنین با dBm بیشتر از ۳۵ در بیرینگ وضعیت قرمز قرار می‌گیرند



نمودار ۲ – منحنی روند Shock Pulse خرابی بیرینگ در اثر



نمودار ۳- خرابی بیرینگ و صدای تولید شده dB

د- بررسی ساختار شکست دمایی:

مرحله اول- عیب جزئی ناشی از کمبود روغن صدای تولیدی در حدود db ۲۰ در فرکانس ۱۰kHZ

مرحله دوم-گسترش عیب مرحله قبل- در حدود ۲۵ تا ۳۵ db در فرکانس ۵۰ kHZ

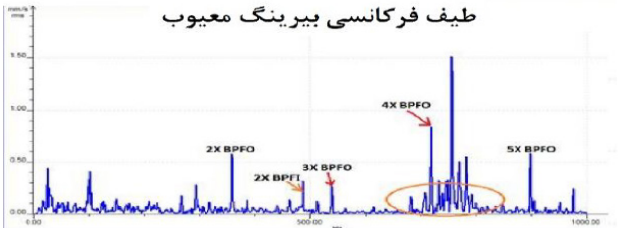
مرحله سوم-خرابی و آسیب دیدگی سطح بیرینگ و قابل رؤیت با چشم- در حدود db ۳۵ دسی بل در حدود ۵۰۰ HZ

مرحله چهارم-خرابی ساچمه-سطح بیرینگ و کنز داخلی و قابل رؤیت با چشم- در حدود db ۳۵ دسی بل در فرکانس ۵۰۰ HZ

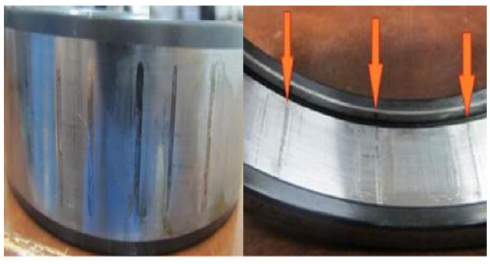
مرحله آخر-خرابی کامل شده علائم لقی و ایجاد فاصله زیاد شده- صدا بالاتر از ۳۵ دسی بل در فرکانس خیلی پایین و ارتعاش بالا

جدول۱- تشخیص خرابی

نوع عیب	نوع عیب	علایم	تشخیص
لقی دورانی بیرینگ	لقی دورانی بیرینگ	در یک ناحیه وسیع	افزایش نویز تا ۳۵
خرابی بیرینگ -سرز توقف	خرابی بیرینگ -سرز توقف	در یک ناحیه وسیع	افزایش نویز بالتر از ۳۵
فرسایش و کچلی بیرینگ	فرسایش و کچلی بیرینگ	باندهای ۱ ایکس	چندین پیک با فرکانس بالا
فرسایش دندانه	فرسایش دندانه	در المانهای غلتشی	چندین پیک با فرکانس بالا

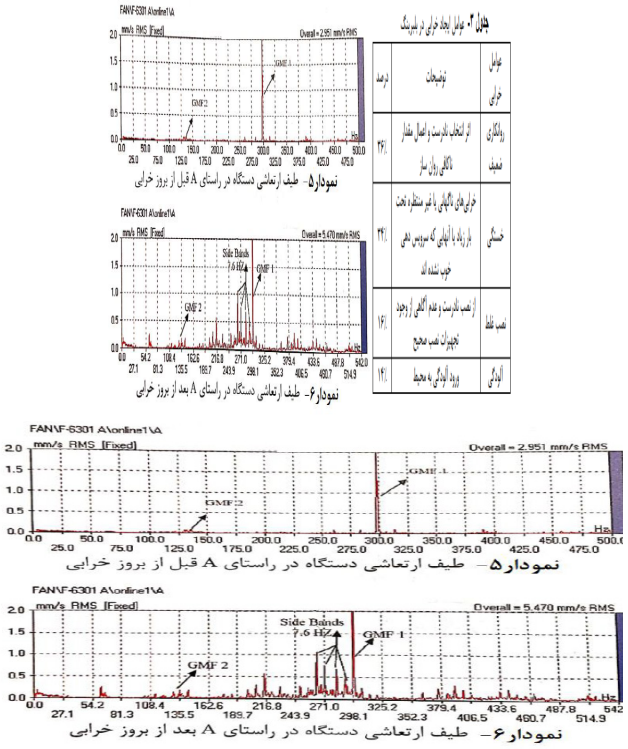


نمودار۴- طیف فرکانسی بلبرینگ خراب



شکل ۲- خرابی کنز داخلی و خارجی بیرینگ (گود شدگی خطی روی رینگ داخلی ورینگ خارجی بیرینگ ها

جدول ۲- عوامل ایجاد خرابی در بلبرینگ



۲-روش ترموگرافی:

دوربین ترموویژن یک دماسنج غیر تماسی است و با داشتن دوربین حرارتی مادون‌قرمز، تصویربردار حرارتی را انجام می‌دهد. در آنالیز ترموگرافی به‌دنبال این هستیم آیا توزیع حرارتی غیرطبیعی اساس رابطه توزیع تابش روی یک منطقه هدف وجود دارد یا خیر؟

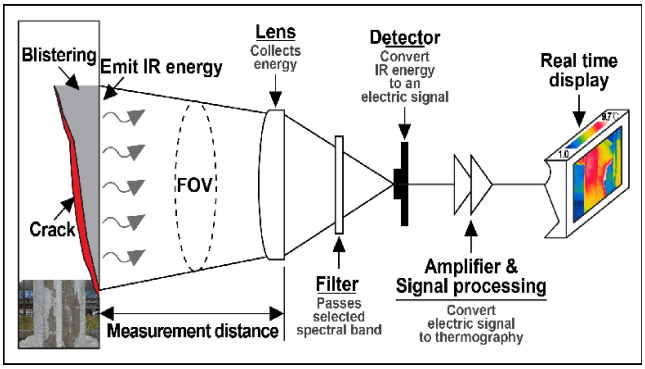
براساس قانون پلانک، تابش فروسرخ (infrared)) از همه اشیا با دمای بالاتر از صفر مطلق با صورت طیف الکترومغناطیسی با طول موج ۹تا ۱۴ میکرومتر اتفاق می‌افتد. دوربین ترموگرافی این تابش را دریافت کرده و تصویر آن را تولید می‌کند. سپس دوربین ترموگرافی با کمک پردازشگر داخلی، این تصاویر را به تصویر رنگی تبدیل می‌کند. که به این تصاویر دمانگاشت (Thermogram) می‌گویند. مطابق دیاگرام شماتیک شکل ۳ تصویر مادون‌قرمز از جسم با عبور از میدان دید دوربین با لنز و فیلم مخصوص منتقل می‌شود، و تصویر باکیفیت (فوکوس بالا روی سطح، کنتراست خوب و محدوده‌ی دمایی) و الگوی حرارتی قابل تحلیل ارائه می کند.

مقایسه دما Delta / :

در روش مقایسه نسبی اختلاف دمای یک نقطه با نقطه مرجع (دمای نقطه مد نظر در شرایط یکسان و ماکزیمم دمای مجاز آن نقطه) سنجیده می‌شود. از جدول Delta T ذیل به‌عنوان معیار برای ارزیابی شدت دمای یک ایراد فنی استفاده می‌گردد.

جدول ۳- شاخص DELTA T

Delta T تجهیزات مشابه	بالای Delta T دمای محیط	اقدامات توصیه شده
1 to 3C°	10C° to 11C°	احتمال خرابی و انجام بازرسی
4 to 15C°	20C° to 11C°	مشخص شدن عیب، اگر زمان اجازه دهد تعمیر انجام شود.
---	40C° to 21C°	پایش تا زمانی که اقدامات اصلاحی تمام میشود
15C° <	40C° <	بلافاصله تعمیر گردد



شکل۳- شماتیک عملکرد دوربین ترموگرافی

به‌طور خلاصه استفاده از تکنیک‌های صدا سنجی ، ارتعاشات و ترموگرافی در موارد ذیل کاربرد دارد

پایش سلامت وضعیت ماشین‌های صنعتی و دواراز نظر روان کاری، ارتعاشات و عملکرد قطعات

عیب‌یابی زود هنگام و داشتن فرصت برنامه ریزی تعمیرات و تأمین قطعات

پایش وضعیت بلبرینگ‌ها و شافت بعد از تعمیر و تعویض قطعات و تایید صحت عملکرد

صرفه جوی در زمان، هزینه، افت تولید، خدمات وافزایش بهره‌وری

کمک به انتخاب مناسب بلبرینگ‌ها و شافت و اسپیندل در تهیه و خرید قطعات

کمک به ارتقای عملکرد ماشین / تعمیرات اصلاحی جهت بهینه‌سازی

کمک شایان در نصب و راه اندازی و تایید ماشین‌آلات جدید

دستیابی به قابلیت اطمینان بالا (Reliability)

نتیجه‌گیری:

آنالیز ارتعاشات و عیب یابی بیرینگ یکی از تکنیک‌های مؤثر، دقیق و بسیار کاربردی در پایش وضعیت است که به‌کمک آن می‌توان بسیاری از عیوب و مشکلات تجهیزات صنعتی را به‌راحتی با استفاده از اسپکترم شاک پالس تشخیص و برطرف نمود. با تحلیل نمودارهای فرکانسی اجزای بیرینگ دلیل اصلی و دقیق خرابی قطعه را مشخص خواهد کرد و همچنین از منحنی روند شاک پالس به کیفیت روغن ماشین و زمان تعویض آن می‌توان پی برد.

در این روش پایش وضعیت ماشین‌ها را براساس درجه اهمیت آن به‌صورت دوره‌ای ، با استفاده از سخت‌افزار و نرم افزارهای به‌ویژه در قطعات حساس مثل بیرینگ و چرخ دنده‌ها و آف بالانس روتورها و....را ارزیابی کرده و حدود شش ماه قبل از خرابی و توقف کامل ماشین تشخیص داد و با داشتن فرصت کافی جهت برنامه ریزی و تعویض قطعات عمدتاً"گران قیمت به‌ویژه ماشین‌آلات دوار آزمون سرعت بالا و دستگاه یونیفورمیتی مرکز آزمون و خط تولید در فرصت مناسب انجام داد. لذا ضرورت دارد مدیران صنایع برنامه نگهداری و تعمیرات هوشمندانه / پیشگویانه (Predictive Maintenance) را جایگزین روش‌های سنتی تعمیر و نگهداری کنند.

سپاسگزاری IRM

منابع:

۱. آنالیز ارتعاشات سعید کردی زاده - انتشارات سخنوران - سال ۱۴۰۰.
۲. هندبوک آنالیز ارتعاشات –نویسنده جیمز تیلور -مترجم حمید کریمی و خلیل ا لله سیاوشی -انتشارات کنکاش- سال ۱۳۹۶
۳. راهنمای آنالیز ارتعاشات غلامرضا کاظمی چاپ نوین گر سال ۱۳۹۹
۴. تشخیص عیب ماشینهای صنعتی از طریق صوت سنجی عباس طلوعی کارشناس ارشد مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران
5. ISO 10816-Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts
6. https://www.iso.org/standard- ISO 10815:2016- Mechanical vibration — Measurement of vibration
7. www.spminstrument.com

IRM

Iranian Rubber Magazine
Vol.28, NO.111, Autumn 2023

Science & Technology

Intelligent monitoring and troubleshooting of industrial machines with shock pulse and thermography technology

Hossein Samadi [1]*, Zahra Samadi[2]

1. Rubber Industry Engineering and Research Company(Rierco.net)
2. Al-Zahra University of Tehran- Senior expert in mechanical engineering

Corresponding author Email: H.samadi1@gmail.com

Abstract

The main purpose of this research is prevention, early detection of defects and identifiable failures of industrial machines, about 70% of the failures of rotating machines in the industry It is related to bearing failure, such as drum testing machine, with very high speed. Considering the importance of the subject, this applied research was done with the participation of a knowledge-based company, and based on the technology of vibration pulses and thermography, the condition of the machine was monitored.

The evaluation, comparison and analysis of the frequency diagram of the damaged bearing was done with the bearing sample, and finally the visual inspection confirmed the failure of the bearing, in the temperature analysis, the temperature of the machine shaft and the comparison of the temperature of the reference table of the failure was confirmed. By using new methods, failures are discovered before further failure and damage, and with enough time, planning and repairs are done at low cost

ÑÒÓÖÈ- db.- ISO 10815, 10816 - Shock Pulse - Thermogram - Tire test device - Bearing - Sound, troubleshooting