

به نام خدا

پایش وضعیت و عیب‌یابی ریشه‌ای یاتاقانهای کلینکر کراشر در یک کارخانه سیمان

حسین وروانی فراهانی*^۱ - حسین غلامزاده ثانی^۲ - علیرضا رضایی^۳

^۱مدیر عامل، شرکت مهندسی فرا پایش باختر

^۲مسوؤل واحد PM و CM - ^۳کارشناس آنالیز صدا و ارتعاشات، شرکت سیمان زاوه تربت

* h_v_f@yahoo.com

چکیده:

به منظور افزایش کارایی برنامه‌های نگهداری و تعمیرات در صنایع، بکارگیری استراتژی‌های مختلف مانند نگهداری پیش‌گیرانه، نگهداری پیش‌بینانه و پیش‌اقدامانه ضروری است. در واقع هر یک از این استراتژی‌ها، جایگاه ارزشی خود را دارا بوده و یک نظام جامع نگهداری و تعمیرات، از ترکیب بهینه آنها حاصل خواهد شد. اجرای برنامه روتین پایش وضعیت ارتعاشی با استفاده از تکنیکهای مختلف تحلیل سیگنال ارتعاشات، برای تشخیص به موقع عیوب تجهیزات دوار نقش مهمی را بر عهده دارد. بطور خاص تشخیص به موقع عیوب یاتاقانهای غلتشی از این طریق قابل دستیابی می‌باشد. پس از تشخیص وجود عیب و رفع آن، تحلیل ریشه‌ای عیوب با اتکا به روشهای مهندسی موجود برای این کار، انجام شده و با اتخاذ رویکردهای مناسب بر اساس نتایج تحلیل، می‌توان از وقوع مجدد عیب جلوگیری نمود.

در این مقاله، نمونه‌ای از نتایج بدست آمده از ترکیب برنامه پایش وضعیت ارتعاشی و رویکرد پیش‌اقدامانه در خصوص یاتاقانهای دستگاه کلینکر کراشر یک کارخانه سیمان، ارائه شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: پایش وضعیت، تحلیل ریشه‌ای خرابی‌ها، آنالیز ارتعاشات، منحنی طیف فرکانسی، منحنی شکل
موج، منحنی Envelope

مقدمه:

روال تدریجی تکامل برنامه‌های نگهداری و تعمیرات در واحدهای صنعتی، عموماً از نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه^۱ آغاز شده و با نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت^۲ ادامه می‌یابد. استقرار برنامه‌های روتین پایش وضعیت، بخش مهمی از فعالیتهای نگهداری بر اساس وضعیت را تشکیل می‌دهد. هدف از بکارگیری این استراتژی، تشخیص به موقع پتانسیلهای از کارافتادگی و انجام به موقع اقدام اصلاحی، برای اجتناب از رشد عیوب است. در ادامه روند تکاملی برنامه‌های نگهداری و تعمیرات، شناسایی، کنترل و پایش علت‌های ریشه‌ای خرابی اجتناب‌ناپذیر است. با اتخاذ این رویکرد و بکارگیری اینگونه

¹ Preventive Maintenance

² Condition Based Maintenance

اقدامات که تحت نام کلی نگهداری پیش‌اقدامانه^۱ دسته‌بندی می‌شوند، حرکت به سمت نگهداری و تعمیرات کلاس جهانی آغاز می‌شود.

یکی از بخش‌های اصلی تولید در کارخانه سیمان، بخش پخت است که از جمله زیربخش‌های مهم آن، واحد خنک‌کاری کلینکر و کلینکر کراشر می‌باشد. توقف کلینکر کراشر، توقف کوره (اصلی‌ترین تجهیز بخش پخت) را به دنبال خواهد داشت که در واقع، به معنی کاهش حجم تولید سیمان خواهد بود. علاوه بر کاهش تولید، توقف کوره به دلیل دمای کاری بالای آن، اثرات زیان‌بار دیگری نیز در پی خواهد داشت. لذا پایش و تشخیص به موقع عیوب کلینکر کراشر (و سایر تجهیزات بخش پخت)، بسیار ضروری است. در این مقاله، نمونه‌ای از نتیجه بدست آمده از ترکیب برنامه پایش وضعیت و رویکرد پیش‌اقدامانه در یک واحد صنعتی تولید سیمان، ارائه شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱- پایش وضعیت و عیب‌یابی یاتاقانهای غلتشی به کمک تحلیل سیگنال ارتعاشات [10]

۱-۱- مقدمه

از میان روش‌های مختلف برای پایش وضعیت و عیب‌یابی یاتاقانها، تحلیل سیگنال ارتعاشات اندازه‌گیری شده از روی نشیمنگاه یاتاقان، جایگاه ویژه‌ای در میان صنعتگران به خود اختصاص داده است. علت اصلی این موضوع، رابطه مستقیم بین وضعیت فیزیکی یاتاقان و اجزاء آن و سیگنال ارتعاشی ایجاد شده توسط یاتاقان در حین کار است. در این قسمت، روش‌های پایش وضعیت یاتاقان به کمک آنالیز سیگنال ارتعاشات مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۲- روش‌های پایش وضعیت و عیب‌یابی یاتاقانها به کمک آنالیز ارتعاشات

برای قضاوت کلی درباره وضعیت ماشین، معمولاً مقدار کلی دامنه ارتعاشات^۲ از طریق مقایسه با سوابق اندازه‌گیری‌های قبلی، مقادیر پیشنهادی استانداردهای معتبر و یا مقادیر پیشنهادی کارخانه سازنده بکار می‌رود. بطور معمول، این دامنه از جنس سرعت بوده و در باند ISO یعنی فرکانس ۱۰ تا ۱۰۰۰ هرتز، اندازه‌گیری و پایش می‌شود. مقدار کلی ارتعاش با تعریف فوق، برای ارزیابی وضعیت یاتاقانهای غلتشی مناسب نیست. علت این موضوع، حساسیت پایین مقدار کلی ارتعاش نسبت به عیوب یاتاقانهای غلتشی در مقایسه با مشکلاتی چون نامیزانی جرمی، نا هم محوری، لقی مکانیکی و ... است. لذا به عنوان روش جایگزین، یکی از دو روش زیر به عنوان شاخص کلی وضعیت یاتاقانهای غلتشی قابل استفاده هستند:

- شاخص دامنه ارتعاش در فرکانس بالا یا HFD^۳. این شاخص به نوعی مقدار کلی دامنه ارتعاش است، با این تفاوت که از جنس شتاب بوده و در باند فرکانس بالا برای مثال ۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز یا بیشتر، اندازه‌گیری و پایش می‌شود [1].

- شاخص وضعیت یاتاقان غلتشی^۴. سازندگان دستگاه‌های ارتعاش‌سنجی و صاحبان تکنولوژی در این موضوع، انواع مختلفی از شاخص‌های وضعیت یاتاقان غلتشی را معرفی و توصیه کرده‌اند که هر یک، با روال پردازشی خاصی بدست می‌آید [1, 2]. نکته مهم در بکارگیری این شاخصها، اندازه‌گیری دوره‌ای و بررسی روال تغییرات آنها در طی زمان است. معمولاً روند افزایشی این شاخصها، نشانه‌ای از وضعیت غیرعادی یاتاقان یا وجود مشکل روانکاری در آن است.

- شاخص قله (CF^۵) از جمله شاخص‌هایی است که می‌توان با آن برخی عیوب ماشین از جمله خرابی‌های موضعی در یاتاقان‌های غلتشی را تشخیص داد. این شاخص، نشان‌دهنده میزان بار ضربه‌ای موجود در سیگنال است.

¹ Proactive Maintenance

² Overall Vibration

³ High Frequency Detection

⁴ Bearing Condition Unit (BC)

⁵ Crest Factor

منحنی شکل موج^۱ یا سیگنال زمانی ارتعاشات به عنوان خروجی اولیه سنسور، تصویر مستقیمی از رفتار دینامیکی ماشین و وضعیت اجزاء داخلی آن به دست می‌دهد. به ویژه عیوبی که منجر به ایجاد پالس در سیگنال شده و شکل سینوسی رایج آن را تغییر می‌دهند، از این طریق قابل ردیابی هستند. وجود آسیب موضعی در اجزاء یاتاقان غلتشی، وجود ترک در هر یک از رینگهای داخلی یا خارجی یاتاقان و ... برخی از عیوب قابل شناسایی از طریق منحنی شکل موج هستند [3, 4]. همچنین انتقال از حوزه زمانی به حوزه فرکانس که به کمک الگوریتم تبدیل فوریه سریع یا FFT^۲ صورت پذیرفته و منحنی طیف فرکانسی را به دست می‌دهد، یکی دیگر از روشها در تحلیل سیگنال ارتعاشات ماشین آلات دوار است. این روش به نوعی مهم ترین و رایج ترین روش تشخیص عیوب مختلف و از جمله مشکلات یاتاقانهای غلتشی بشمار می‌رود [3, 4]. مزیت این دو روش (شکل موج - منحنی فرکانسی)، ارائه تصویری مستقیم از وضعیت یاتاقان و عیوب مربوط به آن است. آنالیز Envelope یا به عبارت دیگر دمودولاسیون سیگنال ارتعاشی در حیطه فرکانس بالا، یکی دیگر از روشهای رایج در ارزیابی وضعیت یاتاقانهای غلتشی است. منحنی Envelope در واقع طیف فرکانسی سیگنال ارتعاشی از جنس شتاب است که با اعمال الگوریتم FFT بر روی سیگنال (پس از فیلتر کردن آن در ناحیه فرکانس بالا، یکسویه کردن و حصول منحنی پوش (Envelope))، بدست می‌آید [5, 6, 7].

۲- کلینکر کراشر و ارزیابی یاتاقانهای آن

کارخانجات تولید سیمان از بخشها یا دپارتمانهای مختلفی تشکیل شده اند که در هر یک از آنها، بخشی از مراحل تولید انجام می‌شود. یکی از بخشهای مهم این صنایع، بخش پخت می‌باشد. در این بخش، مواد خام وارد کوره شده و پس از طی مراحل، محصولی به نام کلینکر تولید می‌شود. کلینکر خروجی از کوره، دارای اندازه درشت می‌باشد و لذا پس از سرد شدن، وارد دستگاهی به نام کلینکر کراشر می‌شود که وظیفه آن، خرد کردن کلینکر و ریز کردن اندازه ذرات آن می‌باشد. کلینکر پس از عبور از کراشر، وارد سیلوهای ذخیره می‌شود. از آنجاییکه کلیه فرآیندهای بخش پخت به صورت پیوسته صورت می‌پذیرد، توقف هر یک از اجزاء اصلی آن (از جمله کلینکر کراشر)، منجر به توقف تولید شده و نهایتاً کاهش ظرفیت تولید کارخانه و خسارت اقتصادی را در پی خواهد داشت. جدا از آن، از آنجاییکه اجزاء مختلف دپارتمان پخت در دمای بالا کار می‌کنند، توقف ناگهانی عموماً آسیبها و خسارتهای دیگری نیز در پی خواهد داشت.



شکل ۱ - تصویر کلینکر کراشر کارخانه سیمان زاوه

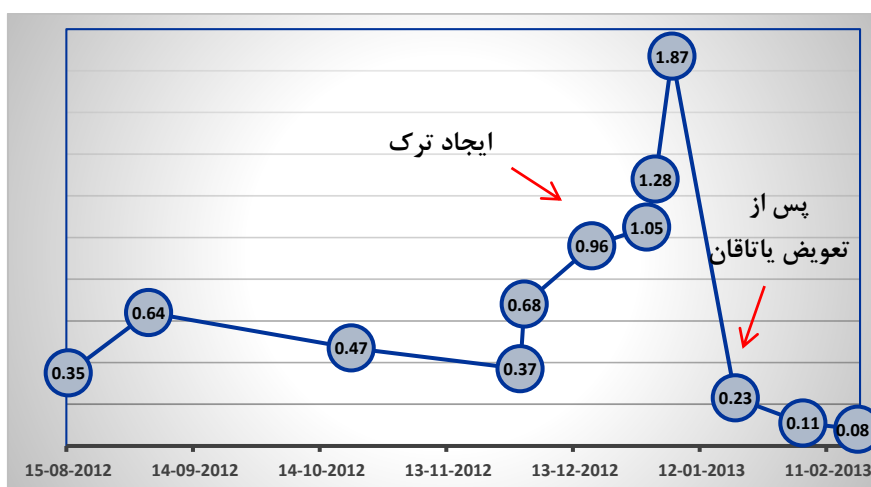
¹ Time Wave Form

² Fast Fourier Transform

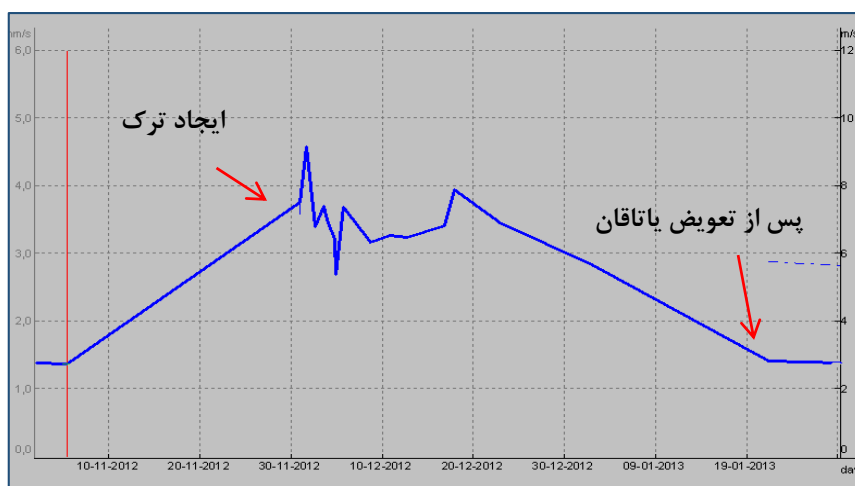
با توجه به مطالب فوق، پایش وضعیت تجهیزات مختلف بخش پخت (از جمله کلینکر کراشر) جزو مهمی از برنامه های پایش وضعیت در یک کارخانه سیمان است. در کارخانه سیمان زاوه، وضعیت ارتعاشی کلینکر کراشر به صورت ماهانه و از طریق مطالعه انواع اطلاعات ارتعاشی مورد بررسی قرار می گیرد.

۲-۱- آشکار سازی عیب

طی برنامه روتین پایش وضعیت ارتعاشی، از طریق بررسی منحنی ترند شاخص یاتاقان غلتشی^۱، منحنی ترند شاخص CF^2 و نیز افزایش دمای یاتاقان، مشخص شد که یکی از یاتاقانهای کراشر در شرایط غیر عادی قرار گرفته است. شکل ۲ الف و ب، به ترتیب منحنی ترند یا روال تغییرات مربوط به این دو شاخص را نشان می دهد. وجود روند افزایشی در این دو منحنی، واضح است. شایان ذکر است این یاتاقان تا زمان فوق، حدود ۲۸۰۰۰ هزار ساعت، کارکرد داشته است.



شکل ۲ - الف - منحنی ترند شاخص وضعیت یاتاقان غلتشی (BC) مربوط به یاتاقان سمت آزاد کراشر



شکل ۲ - ب - منحنی ترند شاخص قله (CF) ارتعاشات مربوط به یاتاقان سمت آزاد کراشر

¹ Bearing Condition (BC)

² Crest Factor

۲-۲- مطالعه روند رشد عیب از طریق بررسی طیفهای ارتعاشی

پس از تشخیص اولیه وجود عیب، بازه زمانی داده برداری کوتاه تر شده و وضعیت یاتاقان با مطالعه انواع منحنی های ارتعاشی، تحت پایش ویژه قرار گرفت. یاتاقان مورد نظر به شماره 24044 بوده و سرعت دورانی شفت مربوطه 363 RPM می باشد. بر اساس محاسبات انجام شده، فرکانسهای چهارگانه اجزاء یاتاقان فوق، در جدول ۱ درج شده است.

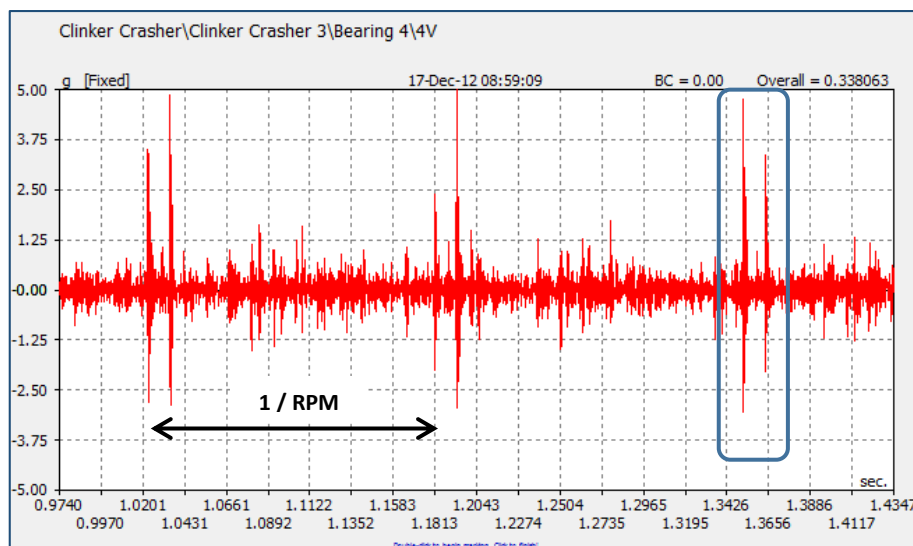
فرکانس گردش قفسه ^۱	فرکانس گردش غلتک ^۲	فرکانس خرابی رینگ بیرونی ^۳	فرکانس خرابی رینگ داخلی ^۴
2.71 Hz	28 Hz	67.7 Hz	83.5 Hz

جدول ۱ - فرکانسهای چهارگانه اجزاء یاتاقان سمت آزاد کلینکر کراشر

جزئیات منحنی های استفاده شده برای ارزیابی وضعیت یاتاقان و نتایج بدست آمده، در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

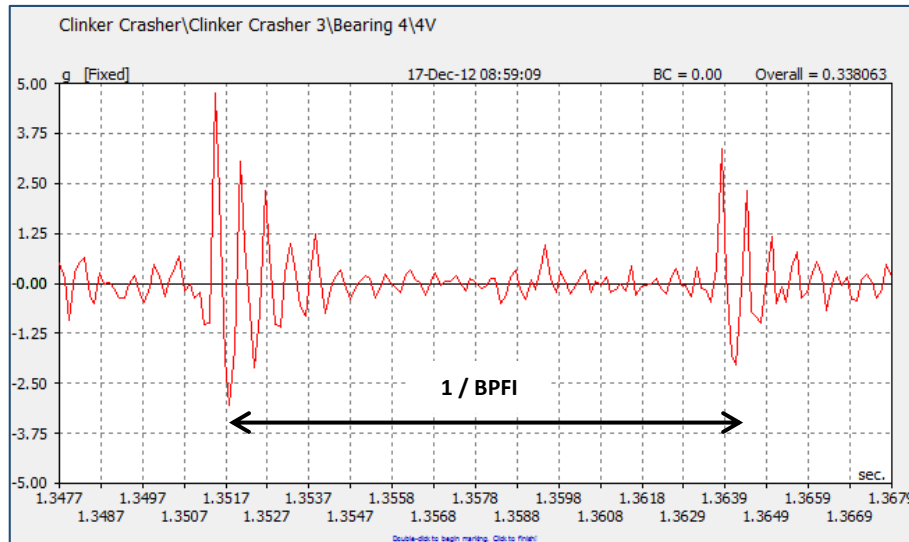
۲-۲-۱- بررسی منحنی سیگنال زمانی یا شکل موج

منحنی سیگنال زمانی (شکل موج) ارتعاش یاتاقان مورد نظر در جهت عمودی، در شکلهای ۳ و ۴ آمده است. شکل شماره ۳ بازه زمانی طولانی تری را در بر گرفته که در آن، پالسهای ارتعاشی ناشی از آسیب در رینگ داخلی، طی سه دوران متوالی شفت، دیده می شود. متفاوت بودن دامنه این پالسها طی بازه زمانی نشان داده شده، بواسطه ورود و خروج محل آسیب دیده رینگ داخلی به ناحیه تحت بار^۵ است که به صورت متناوب و طی دوران شفت، رخ می دهد. پیک با حداکثر دامنه، مربوط به زمانی است که ناحیه آسیب دیده تحت بار قرار می گیرد (عموماً ناحیه پایین یاتاقان و تحت اثر وزن روتور) و پیک با دامنه حداقل، مربوط به زمانی است که ناحیه آسیب دیده بی بار می شود (عموماً ناحیه بالای یاتاقان).



شکل ۳ - منحنی سیگنال زمانی ارتعاشات یاتاقان سمت آزاد کراشر (طی مدت زمان سه دوران شفت)

- ¹ Cage Frequency
- ² Ball Spin Frequency
- ³ Ball Pass Frequency of Outer Race
- ⁴ Ball Pass Frequency of Inner Race
- ⁵ Load Zone



شکل ۴ - منحنی سیگنال زمانی ارتعاشات یاتاقان سمت آزاد کراشر در یک بازه زمانی کوتاه (این منحنی، بزرگنمایی شده ناحیه ای است که در شکل ۳ با مستطیل مشخص شده است)

شکل ۴، منحنی سیگنال زمانی را طی یک بازه زمانی بسیار کوتاه نشان می‌دهد که در بر گیرنده دو پالس متوالی ایجاد شده بواسطه عبور غلتک‌ها از روی محل عیب بر روی رینگ داخلی می‌باشد. این فرکانس، اصطلاحاً فرکانس عبور ساچمه یا غلتک از رینگ داخلی^۱ یا به اختصار BPFi نامیده می‌شود (جدول ۱ را ببینید). این فرکانس در شرایط وجود عیب از ناحیه رینگ داخلی یاتاقان، تحریک می‌شود.

۲-۲-۲- بررسی طیف فرکانسی

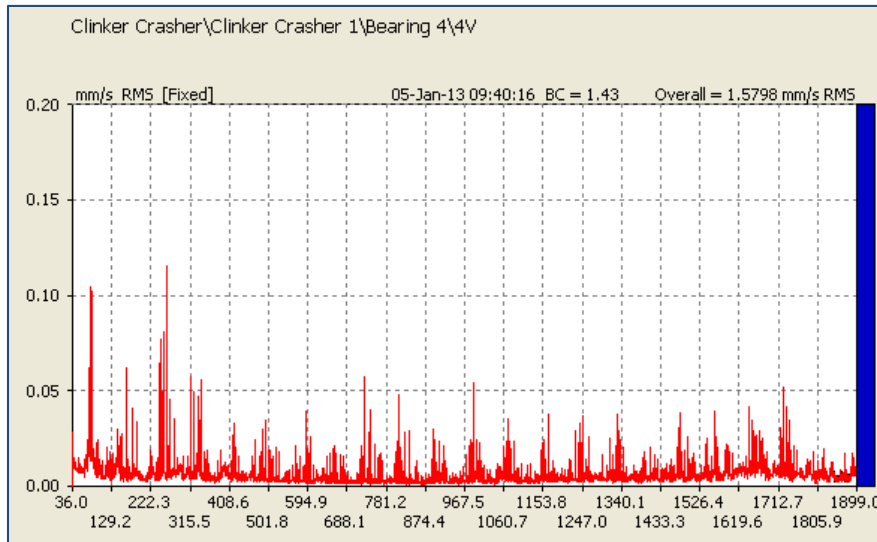
آخرین طیف فرکانسی ارتعاش یاتاقان مورد نظر قبل از تعویض، در شکل ۵ آمده است. مؤلفه‌های فرکانسی که در این شکل دیده می‌شود، مضارب فرکانس 83.5 Hz (فرکانس عبور غلتک از رینگ داخلی) و هارمونیک‌های آن می‌باشد که باندهای کناری^۲ سرعت دورانی (1xRPM) نیز در اطراف آنها وجود دارد. باندهای کناری 1xRPM، بواسطه تغییرات متناوب دامنه پالسهای ایجاد شده (به دلیل ورود و خروج از ناحیه تحت بار) ایجاد می‌شوند (شکل ۳ را ببینید). تحریک مضارب فرکانس رینگ داخلی تا هارمونیک بیستم آن در طیف فرکانسی، به علت نوع آسیب و پالس نسبتاً قوی ایجاد شده در سیگنال زمانی ارتعاشات است.

۲-۲-۳- بررسی منحنی پوش ارتعاشات (Envelope)

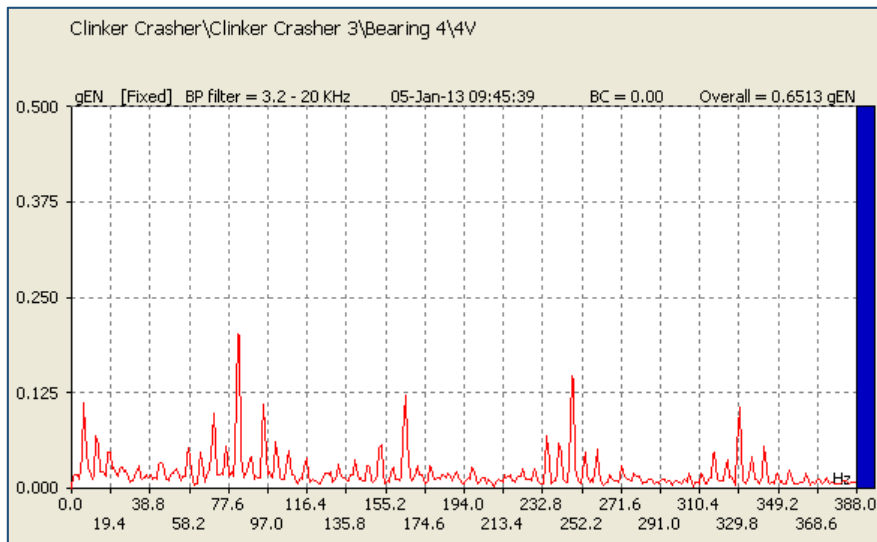
منحنی پوش یا Envelope ارتعاشات یاتاقان سمت آزاد کراشر در شکل ۶ آمده است. مؤلفه‌های فرکانسی که در این شکل دیده می‌شود، مضارب فرکانس 83.5 Hz (فرکانس عبور غلتک از رینگ داخلی) و هارمونیک‌های آن می‌باشد که باندهای کناری سرعت دورانی (1xRPM) نیز در اطراف آنها وجود دارد. الگوی این منحنی، مشابه الگوی طیف فرکانسی ارتعاشات است که قبل از این مورد بررسی قرار گرفت.

¹ Ball Pass Frequency of Inner Race (BPFi)

² Side Band



شکل ۵ - طیف فرکانسی ارتعاشات یاتاقان سمت آزاد کراشر در جهت عمودی



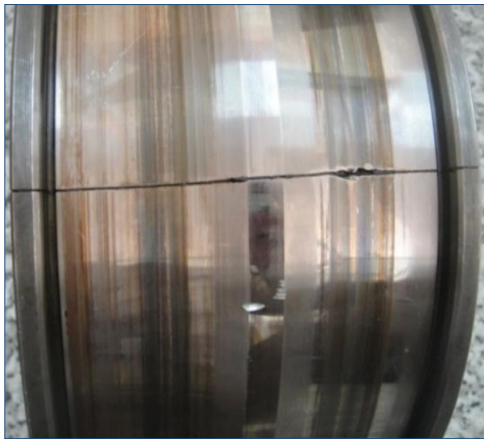
شکل ۶ - منحنی پوش (Envelope) ارتعاشات یاتاقان سمت آزاد کراشر در جهت عمودی

۲-۲-۴ - جمع بندی نتایج بدست آمده از بررسی انواع منحنی های ارتعاشی

بررسی الگوی ایجاد شده در انواع منحنی های ارتعاشی ثبت شده از این یاتاقان، تأیید کننده وجود اشکال از ناحیه رینگ داخلی است. شایان ذکر است که برای این مورد، منحنی شکل موج ارتعاشات، معیار مناسب تری از شدت عیب می باشد. علت این موضوع، نوع خرابی رخ داده و پالس نسبتاً قوی ایجاد شده بر اثر آن است که در شکل موج، به وضوح دیده می شود. هنگامی که از این پالس، طیف فرکانسی بدست می آید، مضارب متعددی از فرکانس اصلی در آن دیده خواهد شد که دامنه هر یک از آنها به تنهایی، معمولاً خیلی بالا نیست (شکل ۵).

۲-۳ - نتیجه بازدید از یاتاقان

پس از دمونتاز یاتاقان مورد نظر در یک فرصت تعمیراتی، مشخص شد که رینگ داخلی یاتاقان دچار آسیب شده است. تصاویر مربوطه در شکل ۷ آمده است.



ب



الف

شکل ۷ - تصاویر رینگ داخلی باتاقان پس از دمونتاز

پس از تعویض یاتاقان، به منظور پیشگیری از وقوع مجدد این خرابی، نوع خرابی و علت ایجاد آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده، در بخش بعدی این مقاله آمده است.

۲-۴- عیب‌یابی ریشه‌ای خرابی^۱ یاتاقان کلینکر کراشر با هدف جلوگیری از بروز مجدد

بر اساس استاندارد ISO 15243 [9] و مقایسه تصاویر مرجع موجود در این استاندارد با اجزای آسیب دیده یاتاقان مورد نظر (شکل ۷)، مشخص می‌شود که خرابی به وجود آمده، ترکیبی از دو خرابی زیر می‌باشد:

- ۱- آسیب دیدگی سطح نشیمنگاه رینگ داخلی از نوع خوردگی سطحی^۲ (شکل ۷ الف)
- ۲- ایجاد ترک^۳ یا شکست بر روی رینگ داخلی (شکل ۷ ب)

خوردگی سطحی نوعی آسیب سطحی در اجزای یاتاقان است که با علایمی همچون زنگ زدگی و سایش سطوح و تغییر رنگ ناشی از آن، قابل شناسایی می‌باشد. جابجایی (لغزش) سطوح بر روی یکدیگر و تماس فلز با فلز ناشی از آن، عامل ایجاد این نوع از آسیب می‌باشد. عوامل ایجاد و تشدید در این خصوص عبارتند از:

- نصب و تنظیمات نامناسب لقی
 - کیفیت و لقی نامناسب یاتاقان و بوش آن
 - اعمال بارهای نوسانی به یاتاقان
 - روانکاری نامناسب
- ایجاد ترک بصورت عرضی و یا طولی در اجزای یاتاقان (رینگ داخلی و یا رینگ خارجی) نیز نوعی از آسیب جدی است که مهم ترین عوامل بروز آن عبارتند از:

- لغزش یا چرخش یاتاقان درون هوزینگ
- چرخش رینگ داخلی بر روی شفت
- روانکاری نامناسب
- کم بودن بیش از حد لقی بین یاتاقان و شفت

¹ Root Cause Failure Analysis

² Fretting Corrosion

³ Crack or Fracture

یاتاقان آسیب دیده یک یاتاقان شعاعی با غلتک‌های بشکه‌ای دو ردیفه به شماره 24044C3W33 / CAK30 می‌باشد. حرف K در این شماره گذاری، نشان دهنده مخروطی بودن رینگ داخلی یاتاقان می‌باشد. لذا جهت نصب این یاتاقان بر روی شفت، از یک واسطه^۱ یا بوش مخروطی استفاده می‌شود. شایان ذکر است این یاتاقان توسط پیمانکار سازنده کارخانه و در زمان نصب کارخانه، مورد استفاده قرار گرفته است. بررسی مشخصات یاتاقان و بوش نصب شده نشان می‌دهد که هر دو آنها، محصول یک سازنده چینی به نام TWB می‌باشند.

بوش مورد استفاده در این مدل یاتاقان‌ها علی‌رغم قیمت نسبتاً پائین، به دو دلیل، بسیار حایز اهمیت می‌باشد. اول اینکه بوش‌ها تاثیر مستقیمی در ثابت نگه داشتن یاتاقان و شفت نسبت به یکدیگر داشته و مانع از چرخش یاتاقان و لغزش حاصل از آن می‌شوند. دوم اینکه با توجه به مخروطی بودن و وجود یک شیار طولی بر روی بوش‌ها و ضرورت رعایت تolerانس‌های دقیق، ساخت این قطعه بسیار دشوار به شمار می‌رود. از این رو توصیه فنی کارشناسان یاتاقان آن است که در خرید بوش‌ها، حساسیت به مراتب بیشتری نسبت به سایر قطعات از قبیل یاتاقان بکار رفته و حتماً بوش از سازندگان معتبر تامین شود. در مجموع با بررسی موارد طرح شده در این بخش، برای خرابی رخ داده دو احتمال را به عنوان علت ریشه‌ای می‌توان در نظر گرفت:

۱- نصب و تنظیمات ناصحیح، منجر به لغزش رینگ داخلی، بوش و شفت نسبت به یکدیگر شده که این امر، منجر به بروز خوردگی سطحی و در نهایت، خرابی و شکست شده است. البته با توجه به اینکه در چنین مواردی، علایم خرابی مرتبط با نصب ناصحیح به فاصله کوتاهی پس از استارت اولیه، خود را نشان می‌دهند، بنابراین بروز خرابی پس از حدود ۲۸۰۰۰ ساعت کارکرد، نمی‌تواند ناشی از نصب و تنظیمات اولیه ناصحیح باشد یا دست کم، علت اصلی خرابی، این موضوع نیست.

۲- وجود بارهای ضربه‌ای در کراشر (با توجه به ماهیت کارکرد آن)، به مرور زمان منجر به بروز لقی مکانیکی شده که این موضوع، منجر به آسیب سطحی شفت (Fretting) و ناحیه داخلی رینگ داخلی که روی شفت قرار می‌گیرد، شده است. نهایتاً رشد این عیب، منجر به ترک خوردن رینگ داخلی گردیده است. کیفیت نامناسب یاتاقان و اجزاء آن (به ویژه بوش) را می‌توان عامل تسریع کننده خرابی بر شمرده.

۳- امکان اینکه برنامه روتین روانکاری نیز در ایجاد یا تسریع روند خرابی نقش داشته باشد، وجود دارد.

شایان ذکر است بارهای ضربه‌ای، ناشی از برخورد چکش‌های نصب شده روی روتور کراشر با قطعات کلینکر ورودی به آن بوده و جزو لاینفک کارکرد کراشر بشمار می‌رود. لذا برای جلوگیری از وقوع خرابی‌های مشابه، موارد ذیل قابل پیشنهاد است:

۱. برای تجهیزات حساسی چون کراشر، لازم است از یاتاقان با کیفیت مرغوب‌تر (ترجیحاً از سازندگان معتبری همچون SKF)، استفاده شود. این موضوع در خصوص اجزاء جانبی مانند بوش نیز باید رعایت شود.

۲. لازم است تا یاتاقان این تجهیز به روش صحیح نصب شده و تolerانس‌های نصب آن، با حساسیت ویژه‌ای رعایت گردد. همچنین با توجه به شرایط کاری و مجاورت با تجهیزات دما بالا، تدوین و اجرای روتین یک برنامه روانکاری مهندسی شده برای این تجهیز، بسیار حیاتی است.

۳- نتیجه‌گیری

پایش وضعیت ارتعاشی تجهیزات دوار، از جمله اقدامات ضروری است که در یک برنامه نگهداری و تعمیرات پیشرو به اجرا در می‌آید. یکی از اهداف این پایش، ارزیابی وضعیت و عیب‌یابی اجزاء یاتاقانهای غلتشی می‌باشد. پس از شناسایی به موقع وجود آسیب در اجزاء یاتاقان، وضعیت آن تحت پایش ویژه در آمده و سپس در یک فرصت زمانی مناسب، یاتاقان تعویض می‌گردد.

¹ Adapter

برای جلوگیری از وقوع مجدد عیب، می‌توان با مطالعه الگوی خرابی و شناسایی علل ریشه‌ای ایجاد آن، سعی در رفع علل ریشه‌ای را در دستور کار قرار داد. در این مقاله، یک مورد کاوی از تشخیص به موقع خرابی یاتاقان کلینکر کراشر در یک کارخانه سیمان مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از انواع منحنی‌های ارتعاشی برای ارزیابی وضعیت دقیق تر و انجام تحلیل ریشه‌ای خرابی پس از تعویض یاتاقان، موضوعی است که در این مقاله مورد تأکید قرار گرفته است.

۴- فهرست منابع

- 1- Frank Gagnon - Spike Energy Diagnostics (and Similar Techniques), History, Usefulness & Future Outlook - Vibra-K Consultants Ltd
- 2- Ming Xu - Spike Energy measurement & Case Histories - ENTEK IRD International Corporation - Enteract 1999
- 3- Ian Howard - A Review of Rolling Element Bearing Vibration "Detection, Diagnosis and Prognosis" - DSTO-RR-0013 - Aeronautical and Maritime Research Laboratory Airframes and Engines Division - 1994
- 4- Alexej Barkov and Natalja Barkova - Condition Assessment and Life Prediction of Rolling Element Bearings - Part 1 & 2 - VibroAcoustical Systems and Technologies, St.Petersburg, Russia
- 5- Donald Howieson - Vibration Monitoring: Envelope Signal Processing - SKF Reliability Systems - 2008
- 6- Nathan Weller - Acceleration Enveloping: Higher Sensitivity, Earlier Detection - GE Energy - Orbit Magazine - Second Quarter 2004
- 7- Greg Lee - Acceleration Enveloping, A Key Element in Aggressive Condition Monitoring - Uptime Magazine - February 2006
- 8- Joëlle Courrech - Envelope Analysis for Effective Rolling Element Fault Detection, Fact or Fiction? - B & K UPTIME Magazine, No. 1 - 2000 - Vol. 8
- 9- ISO 15243 - Rolling bearings - Damage and failures -Terms, characteristics and causes - 1st Edition - 2004

۱۰- پایش وضعیت و عیب‌یابی یاتاقانهای غلتشی با استفاده از منحنی ENVELOPE سیگنال ارتعاشات، حسین وروانی
فراهانی و محمد فضلی، دومین کنفرانس بین‌المللی آکوستیک و ارتعاشات ایران، ۶ و ۷ دی ماه ۹۱، تهران، دانشگاه
صنعتی شریف