

عیب یابی و ریشه یابی علل خرابی بیرینگ های کمپرسور فرآیند احیاء فولاد به کمک آنالیز ارتعاشات، روغن و آکوستیک

سعید شیروانی شاه عنایتی^۱، حمید کریمی^۲

شرکت بهینه سازان ماشین های دوار (بسامد)

s_sh665@yahoo.com

چکیده

در پژوهش حاضر به بررسی وضعیت ارتعاشات و تشخیص خرابی در بیرینگ های کمپرسور فرآیند مجتمع فولاد احیاء پرداخته شده است. همچنین تلاش گردیده است مکانیسم ایجاد و گسترش خرابی، تشریح و روش پیش بینی زود هنگام خرابی بیرینگ مورد مطالعه بر اساس تکنیک آنالیز ارتعاشات معرفی گردد. همچنین در ادامه به ریشه یابی خرابی نیز پرداخته شده است.

واژه های کلیدی: ریشه یابی علل خرابی، کمپرسور لوب، آنالیز ارتعاشات، آکوستیک، آنالیز روغن

مقدمه

بیرینگ ها از مؤلفه های اساسی و جدانشدنی در بیشتر تجهیزات دوار مورداستفاده در صنایع می باشند. شکست یک بیرینگ منجر به از کار افتادگی یک تجهیز می گردد که با توجه به میزان اهمیت دستگاه می تواند منجر به توقف تولید یک کارخانه گردد. این توقف های ناخواسته و خارج از برنامه برای صنایعی با خط تولید پیوسته بسیار پرهزینه و زیان بار است. از این رو یکی از نگرانی های مهندسين شاغل در برنامه های نگهداری و تعمیرات بالا بردن ضریب اطمینان تجهیزات و ماشین آلات تولیدی است. به جرئت می توان ادعا نمود که اطمینان از وضعیت بیرینگ های یک تجهیز اولین مرحله به سوی عملکرد قابل اعتماد تجهیزات است. به همین علت بیرینگ ها همواره از سوی سازندگان و مصرف کنندگان مورد تحقیقات و پایش گسترده ای قرار گرفته اند و پیرو آن تکنیک های متعدد و کارآمد از تکنیک های پیشرفته تا بسیار ساده و ابتدایی برای تشخیص خرابی بیرینگ ها توسط سازندگان تجهیزات پایش وضعیت به کاربران ارائه شده است.

دلایل زیادی برای آسیب و شکست یک بیرینگ وجود دارد که از آن جمله می توان به خستگی، مشکلات روان کاری مشکلات آب بند، بارگذاری سنگین تر از حد مجاز، مشکلات نصب، جابجایی و ذخیره سازی غیراصولی و ... اشاره نمود.

۱- کارشناس پایش وضعیت

۲- کارشناس ارشد پایش وضعیت

بر اساس دسته‌بندی ارائه‌شده از سوی شرکت SKF حدود ۱۶٪ از خرابی‌های زودرس بیرینگ ناشی از نصب نادرست و عدم آگاهی از وجود تجهیزات صحیح نصب است. همچنین ۳۶٪ از خرابی‌های زود هنگام بیرینگ در اثر انتخاب نادرست و یا اعمال مقدار ناکافی روان کار رخ می‌دهد. حدود ۱۴٪ از موارد خرابی پیش از موعد بیرینگ‌ها نیز ناشی از ورود آلودگی است. بارگذاری بیش از حد و همچنین سرویس نبودن بیرینگ‌ها نیز علت ۳۴٪ از خرابی‌های زود هنگام بیرینگ‌ها است [۱].

به منظور عیب‌یابی بیرینگ‌ها ابتدا لازم است نشانه‌های عمومی که دلالت بر عملکرد نامناسب بیرینگ دارد؛ مورد اشاره قرار گیرد. عمومی‌ترین مشخصه‌هایی که دلالت بر عملکرد نامناسب بیرینگ دارد شامل حرارت بیش از حد، سروصدا، ارتعاشات، حرکت بیش از حد و اصطکاک بیش از حد است. به طور کلی افزایش غیرمنطقی دمای بیرینگ یکی از علائم کارکرد نامطلوب بیرینگ‌ها است که در صورت کارکرد بیرینگ در این شرایط منجر به کاهش عمر بیرینگ خواهد شد. مهم‌ترین علت افزایش دمای کارکرد بیرینگ ناشی از مشکلات روان کاری (روان کاری بیش از حد یا فقدان روان کار)، آب‌بندی نامناسب، لقی نامناسب و بارگذاری نامناسب است. یکی دیگر از علائم خرابی بیرینگ‌ها افزایش سروصدا در آن‌ها است که از عمده‌ترین علت‌های این مسئله می‌توان به تماس فلز با فلز در اثر روان کاری نامناسب و یا لغزش عناصر غلتان در اثر بارگذاری نامناسب، آلودگی، کلیرنس پایین، آسیب سطحی و سایش اشاره نمود. حرکت بیش از حد شفت نیز در اثر لقی و آزادی، آسیب‌های سطحی و لقی داخلی نادرست بیرینگ روی می‌دهد. اصطکاک بیش از حد موقع چرخش شفت به علت پیش بارگذاری نامناسب، آب‌بندی اشتباه، آسیب‌های سطحی و طراحی غلط روی می‌دهد. هنگامی که یک بیرینگ تحت بارگذاری می‌چرخد، ظاهر سطوح عموماً به شکل نقش و طرح‌هایی بر روی مسیر ساچمه روی کنس داخلی و یا خارجی ظاهر می‌گردد. این نقش‌ها با توجه به شرایط بارگذاری بیرینگ و نحوه چرخش متفاوت هستند.

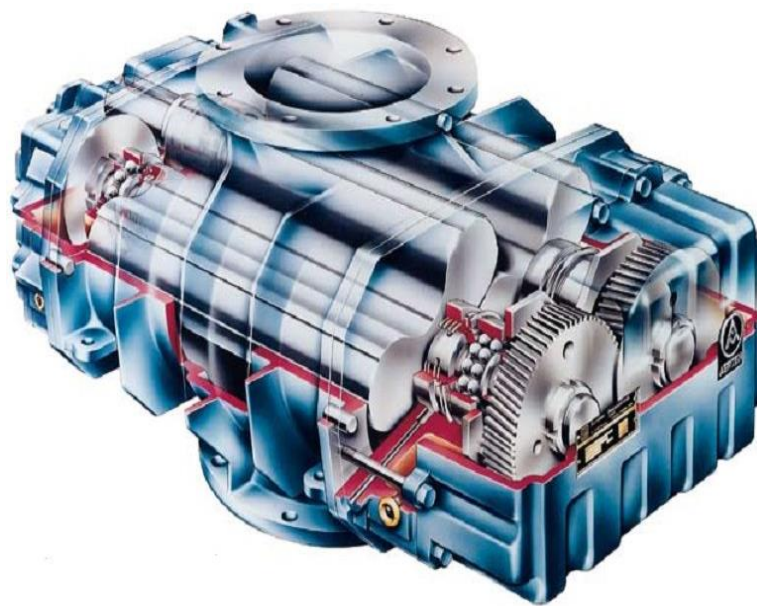
بررسی الگوی مسیر در یک بیرینگ دمونتاژ شده سرخ‌های خوبی از شرایط حاکم بر کارکرد بیرینگ به تحلیل‌گر ارائه می‌دهد. تجربه نشان داده است در اکثر موارد آسیب‌های بیرینگ در محدوده الگوی مسیر آغاز شده است و بازرسی سطوح بیرینگ می‌تواند اطلاعات مفیدی درباره شرایط بهره‌برداری بیرینگ ارائه دهد. برای این منظور لازم است الگوی مسیر، سایش و فرسایش کیچ، خوردگی فرسایشی بر روی رینگ داخلی و خارجی و تغییر رنگ عناصر غلتان و مسیر ساچمه رو بررسی گردد. نکته قابل توجه آن که حتماً شرایط کارکرد عادی نیز می‌تواند منجر به تشکیل الگوی مسیر شود. بنابراین لازم است ضمن آشنایی با انواع الگوی مسیر، تفاوت بین الگوهای عادی و غیرعادی نیز تشخیص داد شود.

با فرض بارگذاری ثابت و تک جهتی بر روی سطوح یک بیرینگ، بار اعمالی از طریق کنس داخلی تحمل شده و از طریق عناصر غلتان به کنس خارجی منتقل و تقسیم می‌گردد. با توجه به چرخش کنس داخلی، همه‌ی نقاط کنس مذکور به داخل منطقه بارگذاری وارد شده و در نتیجه یک نوار با عرض یکسان در سطح کنس ایجاد خواهد شد. از سوی دیگر و با توجه به ثابت بودن کنس خارجی، منطقه بارگذاری کنس خارجی تنها به ناحیه‌ی بارگذاری محدود می‌گردد. این مسئله منجر به ایجاد الگوی مسیر با عرض متغیر در محدوده بارگذاری خواهد شد. در صورت انطباق نرمال بین شفت، کنس داخلی و هوزینگ با کنس خارجی و وجود لقی داخلی نرمال در بیرینگ، الگوی مسیر کمتر از نصف محیط دایره از مسیر ساچمه رو گسترش خواهد یافت. وجود بار محوری نیز موجب ایجاد الگوی مسیر در یک طرف مسیر ساچمه رو در کنس داخلی و خارجی خواهد شد. بر اساس استاندارد ISO15243 حالات مختلف آسیب‌های بیرینگ در شش گروه اصلی دسته‌بندی می‌گردد. این طبقه‌بندی با هدف شناخت علت آسیب بیرینگ‌ها و پیشگیری از وقوع مجدد خرابی ارائه شده است. لازم به ذکر است که دسته‌بندی مذکور مربوط به بعد از تولید آسیب‌های پایدار است. یک دسته‌بندی دیگر آسیب‌های بیرینگ را به دودسته کلی پیش عملیاتی و عملیاتی تقسیم می‌کند. آسیب‌های پیش عملیاتی پیش و یا در زمان نصب بیرینگ رخ می‌دهند در حالی که آسیب‌های عملیاتی آن دسته از خرابی‌ها را شامل می‌شود که در زمان بهره‌برداری از بیرینگ رخ می‌دهند [۱].

در پژوهش جاری ضمن تشریح رفتار ارتعاشی کمپرسور فرآیند مرحله دوم فولاد احیا، به چگونگی تشخیص و تبیین علل خرابی بیرینگ‌های کمپرسور مورد مطالعه پرداخته شده است. در این کمپرسور با گردش یک جفت لوب در داخل یک محفظه جریان سیال را به حرکت می‌اندازد و ایجاد فلوی بالا و فشار پایین از مشخصات این نوع کمپرسور است. لوب‌های کمپرسور

بافاصله‌ی معینی در داخل یک محفظه خلاف جهت یکدیگر می‌چرخند که این محفظه دارای یک ورودی جهت مکش گاز و یک خروجی جهت انتقال گاز است. دو لوب مذکور به‌صورت موازی با یکدیگر قرار داشته و حرکت یکی از آن‌ها توسط تایمینگ گیر (Timing Gear) به دیگری منتقل می‌شود.

کمپرسورها دارای سه محفظه بوده که محفظه نخست جهت لوب‌ها، محفظه دوم محلی جهت قرار گرفتن بیرینگ‌ها و مکانیکال سیل‌ها و محفظه سوم جهت تایمینگ گیر است. نمای شما تیک اجزای داخلی در شکل (۱) و چیدمان بیرینگ‌های کمپرسور در شکل (۲) ارائه شده است.

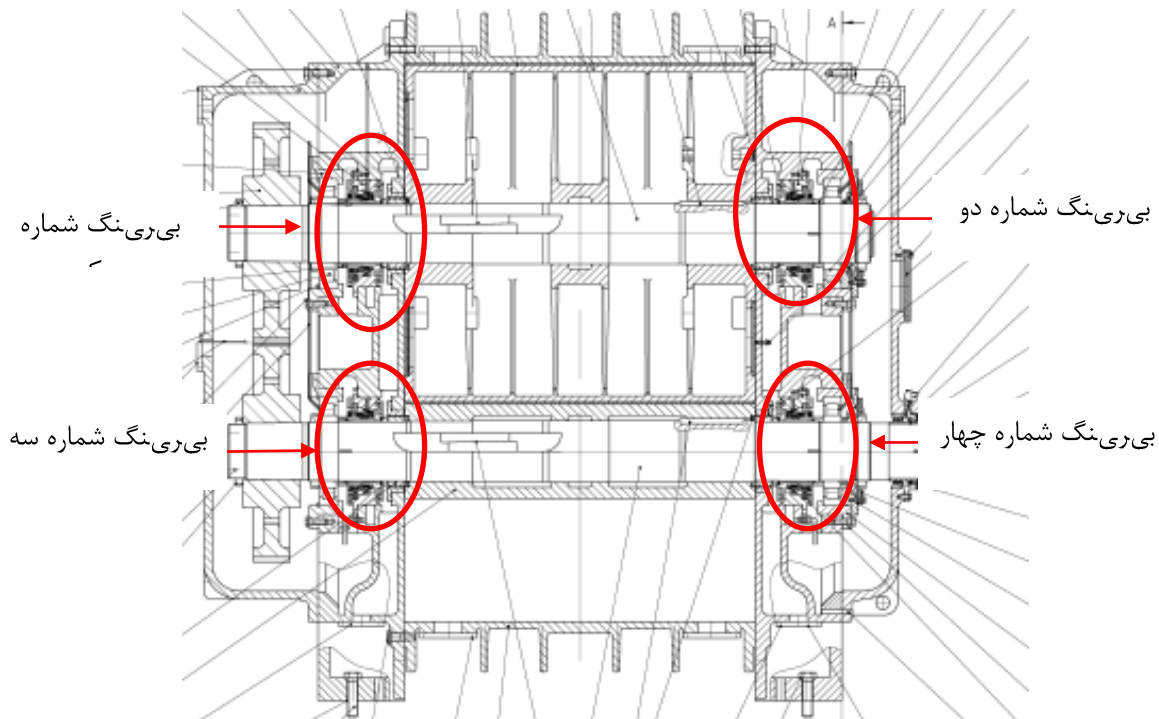


شکل (۱) شما تیک چیدمان اجزای داخلی کمپرسور

وضعیت بیرینگ‌ها را می‌توان با بهره‌گیری از روش‌های عیب‌یابی ارتعاشی اندازه‌گیری و ارزیابی نمود. عیوب در بیرینگ‌ها ناشی از جدایش موضعی مواد، ظهور ترک در سطوح بیرینگ و یا اجزای غلتشی است. تماس سطوح آسیب‌دیده با سایر سطوح موجب ایجاد ضربه یا شوک پالس می‌شود که حاصل آن تولید امواج ارتعاشی است. به ازای هر حرکت در بیرینگ‌ها یک فرکانس در طیف فرکانسی تحریک خواهد شد. در نتیجه فرکانس دور شفت، فرکانس چرخش کیچ، فرکانس گذر ساچمه از کنس داخلی، فرکانس گذر ساچمه از کنس خارجی و فرکانس چرخش ساچمه در طیف فرکانسی قابل مشاهده است. وجود عیب در بیرینگ موجب تحریک برخی از فرکانس‌های مذکور خواهد شد. به عبارت دیگر هر یک از فرکانس‌ها بیانگر نرخ ضربه ایجادشده در اثر عیب مربوطه است و با رشد عیب، ضربات ناشی از عیب، فرکانس‌های رزونانس مجموعه را نیز تحریک می‌کند. نخستین علامت سایش در بیرینگ‌ها، شوک پالس ناشی از ضربه فلز با فلز است که در حوزه زمان قابل مشاهده است [۲]. لازم به ذکر است که مشاهده شوک پالس در سیگنال زمانی لزوماً به معنی خرابی بیرینگ نبوده و ممکن است ناشی از مشکلات روان کاری یا بارگذاری باشد. در مراحل نخست عیب، به علت کوتاه بودن ضربات ارتعاشی، تعداد زیادی از هارمونیک‌های فرکانس بالا تحریک می‌شود و مشاهده فرکانس‌های اصلی در طیف به علت دامنه کوچک از یک سو و نویزهای موجود از سوی دیگر معمولاً امکان‌پذیر نیست اما با رشد عیب، شناسایی آن در فرکانس‌های اصلی معمولاً راحت‌تر است.

به علت پیرویدیک نبودن ماهیت ضربه‌ها و گذرا بودن پالس‌ها امکان مدل‌سازی با استفاده از ترکیب موج‌های سینوسی امکان‌پذیر نبوده و تبدیل فوریه قادر به نمایش فرکانس تکرار این دسته از ضربات در طیف فرکانسی نیست. به همین علت

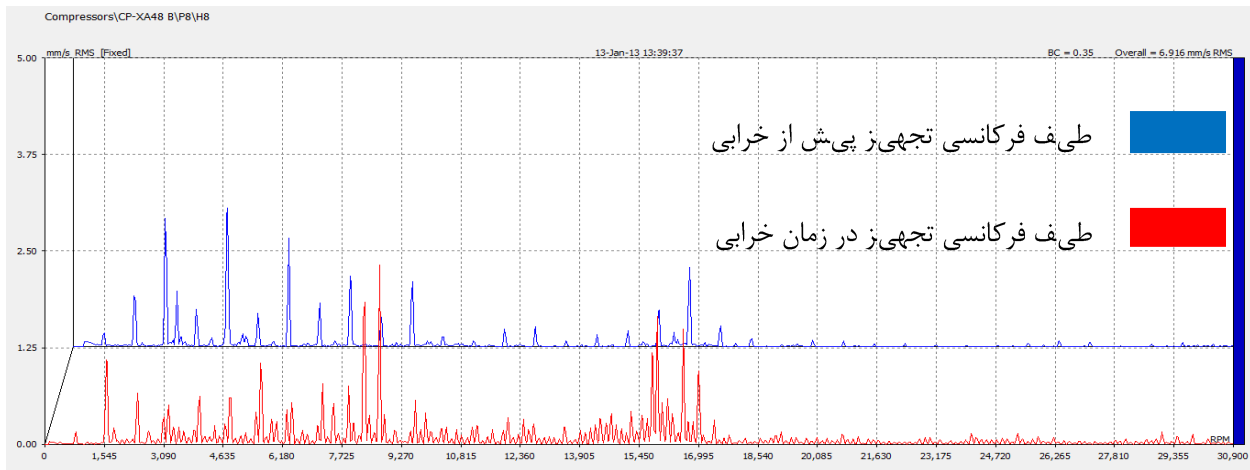
استفاده از سایر تکنیک‌های حساس به فرکانس‌های بالا از قبیل طیف پوش زمانی به منظور پایش وضعیت یاتاقان‌ها ضروری است. در طیف پوش زمانی برعکس تبدیل فوری و به علت حساسیت به پدیده‌های گذرا با ماهیت ضربه‌ای و عدم حساسیت به موج‌های سینوسی پرپودیک، بررسی عیوب نقطه‌ای در مراحل ابتدایی عیب در بیرینگ‌ها و چرخ‌دنده‌ها امکان‌پذیرتر است [۲]. همچنین ضربات با پرپود مشخص نیز در فرکانس متناظر قابل مشاهده است. این همه‌ی مواردی است که در چهار مرحله‌ی خرابی بیرینگ‌ها به آن پرداخته می‌شود. در ادامه، به بررسی روند تغییرات رفتار ارتعاشات و چگونگی تشخیص خرابی بیرینگ کمپرسور مورد مطالعه پرداخته خواهد شد.



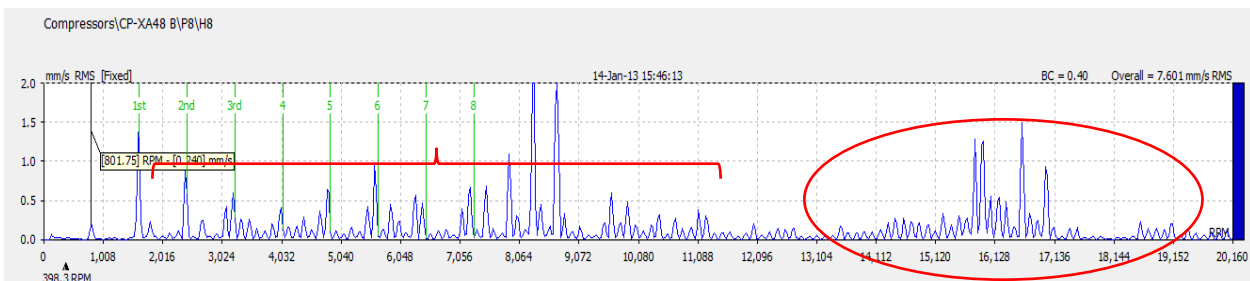
شکل ۲) چیدمان بیرینگ‌های تجهیز

آنالیز ارتعاشات کمپرسور فرآیند مرحله اول

بررسی طیف فرکانسی نشان از تغییرات عمده در وضعیت اجزای داخلی کمپرسور همزمان با شروع و رشد خرابی دارد. تکرار فرکانس‌های زیر هارمونیک دور و وجود نویز در پهنای باند وسیع از نشانه‌های لقی و سایش در تجهیز است. تحریک و رشد دامنه فرکانس‌های هارمونیک دور نیز به‌وضوح در شکل (۳) و (۴) قابل مشاهده است. بررسی طیف فرکانسی نشان از وجود لقی همراه با سایش بین اجزای بیرینگ دارد که با تغییر بک لش در تایمینگ گیر و تحریک فرکانس‌های طبیعی اجزای داخلی کمپرسور در اثر ضربات ناشی از لقی همراه است. لازم به ذکر است که چرخش حلقه خارجی در هوزینگ با سرعتی کمتر از فرکانس چرخش نیز قادر است موجب ظهور فرکانس‌های یک‌سوم دور در طیف فرکانسی گردد.



شکل ۳) مشاهده رشد سطح نویز با پهنای باند وسیع در طیف فرکانسی تجهیز



شکل ۴) رشد هارمونیک‌های دور و سطح نویز در طیف فرکانسی تجهیز در زمان خرابی

در مورد وضعیت روان کار تجهیز باید گفت که در کیسینگ و مخزن کمپرسور مشابه براده‌ای که جذب مگنت شود وجود نداشت. همچنین مقدار براده‌ی خارج شده از کمپرسور مورد بررسی نسبت به مورد مشابه در شرایط آزمایش برابر بیشتر است و تعداد براده‌های پوسته‌ای و درخشان خارج شده از مخزن نیز بیشتر است. در نتیجه‌ی آنالیز روغن انجام شده نیز مقدار کروم بیش از حد مجاز گزارش شد. گفتنی است که کروم و نیکل دو عنصر اصلی برای تبدیل فولاد به فولاد ضدزنگ به شمار می‌روند. شکل (۵) وجود براده در روغن کمپرسور را تأیید می‌کند.



شکل ۵) وجود براده در روغن کمپرسور

با توجه به اهمیت تجهیز در فرآیند احیاء و تولید مجتمع و به منظور رسیدن به قطعیت بیشتر در تشخیص خرابی، پیش از باز کردن تجهیز، تست التراسونیک بر روی کمپرسور انجام پذیرفت که در ادامه به تشریح نتایج آن پرداخته می‌شود. گفتنی است که تست التراسونیک در ماشین‌های دور پایین کاربری مناسبی دارد ولی ذکر این نکته نیز ضروری است که استفاده از این تکنیک می‌تواند در تشخیص مراحل آغازین خرابی یعنی مراحل ۱ و ۲ خرابی بیرینگ مؤثر و کارآمد باشد و در مراحل بعدی خرابی، با توجه به گسترش خرابی، مشکلات بیرینگ با آنالیز ارتعاشات به خوبی قابل تشخیص است. با این وجود بررسی نتایج این تست می‌تواند قابل توجه باشد.

همان‌گونه که می‌دانیم امواج التراسونیک به کمک فرآیند هترودا این (مترادف با دمدولاسیون در ارتعاشات) قابل ترجمه به امواج سونیک و در نتیجه قابل شنیدن می‌باشند. با توجه به این که در مراحل آغازین خرابی یک بیرینگ، ضربات تیز ناشی از خرابی‌ها در زمان بسیار کوتاه نواخته می‌شوند، فرکانس‌های بالای محدوده‌ی شنوایی در اسپکترام تحریک می‌شوند. تکنیک هترودا این به کاربر این امکان را می‌دهد تا امواج را با گوش غیر مسلح بشنود.

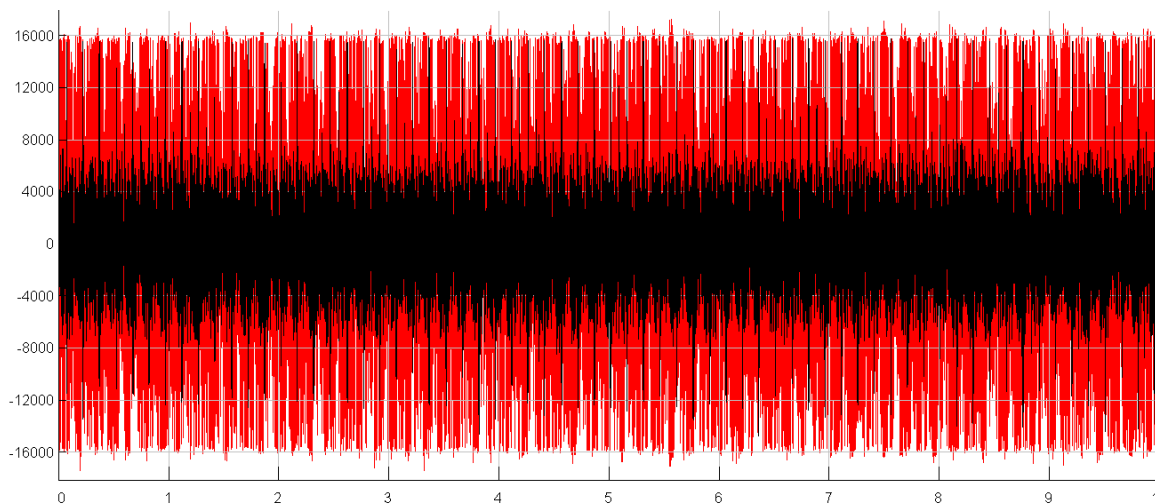
در این مورد کاوی سیگنال و اسپکترام آکوستیکی نقطه‌ی محل خرابی با نقاط دیگر و نیز کمپرسور مشابه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت که همگی نشان از افزایش شدید سطح نویز و تغییر مقادیر پارامترهای کمی سیگنال داشت. جدول (۱) مقادیر پارامتر RMS و SNR را برای سیگنال‌های گرفته‌شده برای یک نقطه در کمپرسور معیوب و یک نقطه در کمپرسور مشابه و سالم و نیز یک نقطه در کمپرسور مشابه و متناظر در یک مجتمع مشابه دیگر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقدار عددی RMS در کمپرسور معیوب بالاتر از دو کمپرسور دیگر است. این امر نشان می‌دهد که خرابی باعث افزایش انرژی موج آکوستیکی شده است. همچنین مقدار عددی SNR در کمپرسور معیوب کمتر از دو کمپرسور مشابه است. بدیهی است که با افزایش سطح نویز در سیگنال آکوستیکی، نسبت سیگنال به نویز کاهش می‌یابد.

در شکل (۶) سیگنال آکوستیکی گرفته‌شده از دو کمپرسور خراب و سالم در یک شکل و به منظور مقایسه نمایش داده‌شده است. سیگنال قرمز رنگ با دامنه‌های بالا مربوط به کمپرسور خراب و سیگنال سیاه‌رنگ مربوط به کمپرسور سالم است. در ادامه به منظور مقایسه‌ی دقیق‌تر دو سیگنال، اسپکترام آکوستیکی دو سیگنال مورد بررسی قرار گرفت که این دو اسپکترام در شکل (۷) نمایش داده‌شده است. پیرو توضیحات قبلی اسپکترام قرمز رنگ با دامنه‌های بالا مربوط به کمپرسور خراب و اسپکترام سیاه‌رنگ مربوط به کمپرسور سالم است. در مقایسه دو اسپکترام چند مورد به وضوح دیده می‌شود. نخست این که سطح نویز در اسپکترام ماشین معیوب بسیار گسترده‌تر از ماشین سالم است. همچنین مقادیر دامنه‌ها در محدوده‌ی ۳۰۰ تا ۶۰۰ هرتز برای ماشین معیوب بسیار بیشتر از ماشین سالم است. گفتنی است در طیف‌های آکوستیکی تجهیزات مختلف، دامنه‌های غالب عموماً در همین محدوده دیده می‌شوند.

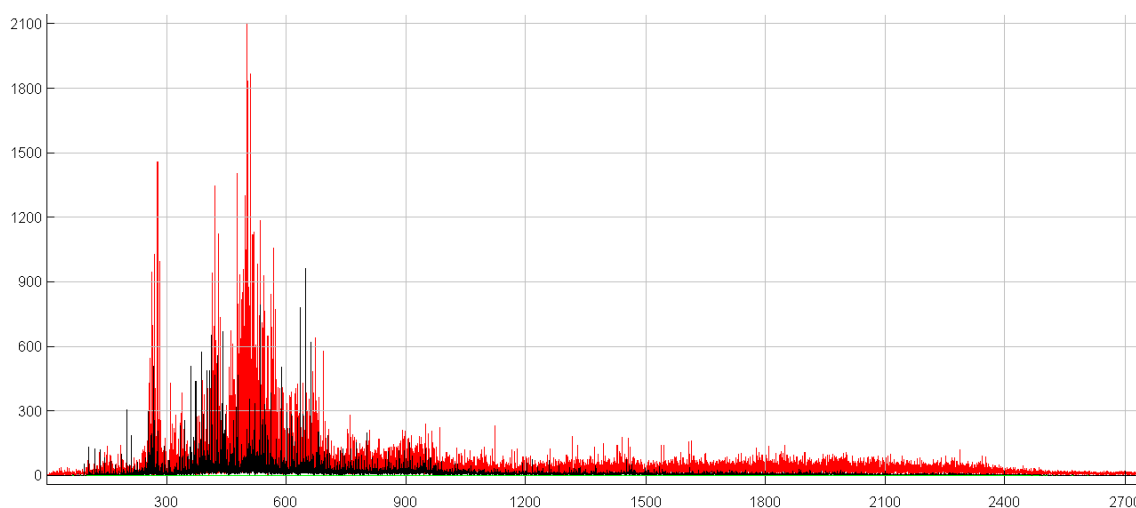
در اقدامی دیگر در این خصوص سیگنال‌های ماشین سالم از ماشین خراب کسر گردید که سیگنال باقیمانده نویز بود. البته انجام این کار به لحاظ علمی مستلزم برابری کامل دور دو ماشین و استفاده از تریگر است که این امکان در زمان داده‌برداری وجود نداشت.

جدول ۱: مقایسه مقادیر پارامترهای کمی سیگنال آکوستیک

روش	RMS	SNR
کمپرسور سالم اول	۲۷۰۱	۵۴
کمپرسور معیوب	۷۷۸۹	۴۲
کمپرسور سالم دوم	۳۰۳۸	۵۰



شکل ۶) مقایسه‌ی سیگنال آکوستیکی کمپرسور خراب و سالم



شکل ۷) اسپکترام آکوستیکی سیگنال‌های کمپرسور خراب و سالم

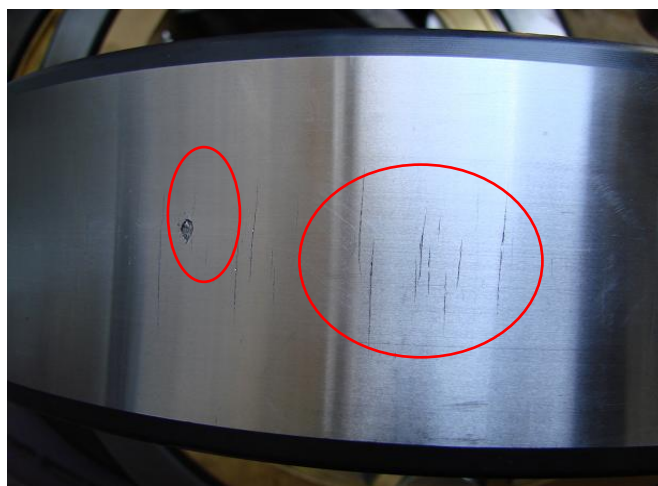
تبیین علل خرابی بیرینگ‌ها

پس از خروج تجهیز از سرویس و بازدید انجام شده وضعیت کلی خرابی تجهیز مورد بررسی قرار گرفت. در حلقه‌ی داخلی بیرینگ شماره یک مشکل پیلینگ (Peeling) به‌وضوح مشاهده می‌شود که این مشکل به‌نوعی پیشرفت مشکل کاواک (Cavity) یا ترک‌های ریز روی سطح است.

اگرچه در بیرینگ شماره دو خرابی عمیق همانند آنچه در بیرینگ شماره یک، دیده می‌شود وجود ندارد ولی ترک‌های ریز روی سطح حلقه‌ی خارجی به همراه حفره‌های کوچک مشاهده می‌شود. این ترک‌ها آغاز مراحل پوسته‌پوسته شدن (Flaking) و اسپالینگ (Spalling) است که در نهایت منجر به پیلینگ می‌شود. در این مرحله لایه‌ی روی سطح حلقه برداشته می‌شود. وجود حفرات روی سطح، مرحله‌ی پیشرفته‌ی ترک‌ها و آستانه‌ی پیلینگ است. نکته قابل تأمل اینکه فاصله‌ی بین ترک‌ها بافاصله‌ی گام بین رولرها برابر و منظم نیست. این عیب یک مشکل نوظهور در بیرینگ‌ها است و در چند سال اخیر مشاهده شده است. علل این مشکل در دست بررسی است و هنوز در دسته‌بندی خرابی‌های استاندارد ایزو درج نشده است. نکته دیگر مشاهده علائم سایش در قسمت داخلی حلقه‌ی داخلی بیرینگ و محل تماس شفت با حلقه است.



شکل ۸) وضعیت خرابی اجزای بیرینگ شماره یک



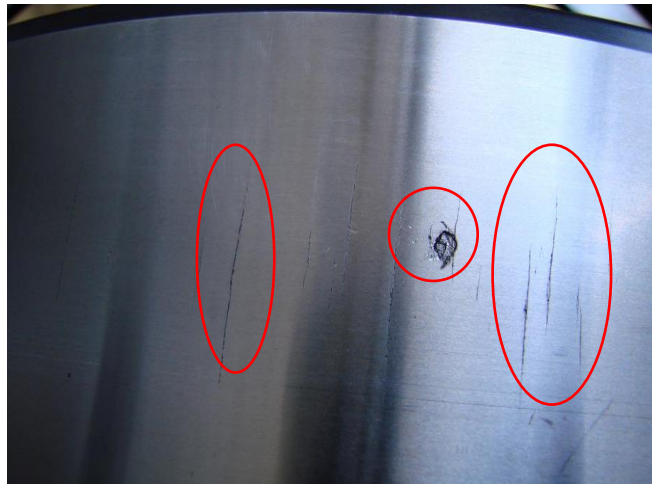
شکل ۹) وضعیت خرابی اجزای بیرینگ شماره دو

بر اساس دسته‌بندی و تعاریف استاندارد، این امر به دلیل وجود کلیرنس نامناسب بین حلقه‌ی داخلی و شفت است و اصطلاحاً فرسایش خوردگی (Fretting Corrosion) نامیده می‌شود. برای پیشگیری از وقوع این امر باید از کلیرنس مناسب و نیز مقداری زبری سطح تماس بهره جست. در بیرینگ شماره سه نیز حفره‌های کوچک و ترک‌های سطحی بر روی رینگ داخلی با شدتی کمتر نسبت به بیرینگ شماره دو مشاهده می‌شود.

بیرینگ شماره چهار نسبت به سه بیرینگ دیگر تقریباً سالم به نظر می‌رسد. هرچند با انجام آزمون‌های غیر مخرب ممکن است در این بیرینگ نیز ترک‌های ریز مشاهده شود. نکته‌ی دیگر اینکه در اجزای بال بیرینگ‌های کمپرسور خرابی چندانی مشاهده نمی‌شود ولی لازم است که این بیرینگ‌ها به همراه رولربیرینگ‌ها تعویض گردند. آنچه در این بیرینگ‌ها نامتعارف است، وجود خوردگی روی سطح بیرونی حلقه‌ی خارجی است که می‌تواند در نتیجه‌ی نفوذ آب یا سیال خورنده باشد.



شکل ۱۰) وضعیت خرابی اجزای بیرینگ شماره دو



شکل ۱۱) وضعیت خرابی اجزای بیرینگ شماره سه



شکل ۱۲) وضعیت خرابی اجزای بیرینگ شماره چهار

تفسیر نتایج

مهم‌ترین نکته‌ای که در بررسی خرابی به نظر می‌رسد، تقارن عیوب در دو سمت رینگ داخلی است. با توجه به مشاهدات بالا مراحل مختلف خرابی در بیرینگ‌های تجهیز به ترتیب شامل ایجاد ترک، به وجود آمدن حفره (Cavity)، تشدید خرابی و کنده شدن لایه‌های سطحی، پوسته‌پوسته‌شده (Spalling) و در نهایت آسیب‌دیدگی قسمت‌های مختلف بیرینگ در اثر تماس با سطوح زبر و رول شدن احتمالی ذرات ریز جدا شده از سطح زیر رولرها است. این ترتیب خرابی به خوبی در بیرینگ‌های یک تا چهار قابل مشاهده است.

در اینجا چند فرضیه در خصوص ارتباط خرابی بیرینگ‌ها با یکدیگر قابل بررسی است. فرضیه‌ی نخست این‌که این مدل خرابی می‌تواند در اثر وجود شیء خارجی در بین لوب‌های کمپرسور و وارد شدن شوک به ازای هر نیم دور چرخش شفت به وجود آید. این فرضیه به چند دلیل چندان منطقی به نظر نمی‌رسد. دلیل نخست این‌که اگر علت خرابی بیرینگ ورود قطعه‌ی خارجی به داخل لوب‌ها باشد، باید همه‌ی بیرینگ‌ها تقریباً به یک اندازه دچار خرابی شده باشند. از سوی دیگر در صورت ورود یک قطعه به داخل کمپرسور، نخستین بیرینگی که مستعد خرابی است بیرینگ‌های پایین است چراکه علاوه بر نیروی به وجود آمده در نتیجه‌ی فشار بین دو لوب، نیروی وزن نیز به کمک نیروی تخریبی خواهد آمد. افزون بر این ورود یک قطعه بین دو لوب به معنی وارد آمدن فشار زیاد به بیرینگ‌ها است که نتیجه‌ی آن بروز پدیده‌ی برینلینگ واقعی (True Brinelling) بر اساس استاندارد ISO15243 خواهد بود. در این حالت نیروی اعمالی از مقاومت تسلیم فراتر رفته و در نتیجه تغییر شکل دائمی روی گذرگاه‌های حلقه‌ها پدیدار می‌شود. همچنین در صورت بروز مشکل برینلینگ واقعی، فرورفتگی‌ها باید در فواصل گام رولرها پدیدار شود. این در حالی است که ترک‌ها دارای فواصل منظم با یکدیگر نمی‌باشند. فرضیه‌ی دوم، نامرتب بودن خرابی مشاهده شده در بیرینگ‌ها با لوب‌هاست که می‌تواند در صورت بیضوی بودن (Oval) شفت یا بیرینگ هوزینگ به وجود آید. این مورد هم بسیار بعید به نظر می‌رسد؛ چراکه احتمال بیضوی ساخته شدن چهار نقطه از دو شفت امری دور از ذهن است. فرضیه‌ی سوم قابل طرح در این زمینه این‌که، این مدل خرابی می‌تواند در اثر نامناسب بودن کلیانس اجزای داخلی به وجود آید. به عبارت دیگر اگر قطر خارجی شفت از قطر داخلی حلقه‌ی داخلی بیرینگ خیلی بیشتر باشد (انطباق پرسی بیش از حد)، حلقه تحت کشش قرار می‌گیرد و این کشش باعث گسسته شدن لایه‌ی روی سطح حلقه شده ترک‌هایی روی آن بروز می‌کند.

نتیجه گیری

بدیهی است که در اثر تنش که متناوباً بر روی سطح بیرینگ وارد می‌شود خستگی (Fatigue) ایجاد خواهد شد. پس از بروز خستگی در بیرینگ، ترک بر روی سطح بیرینگ رخ داده و به مرور زمان پیشرفت کرده و بزرگ‌تر خواهد شد. با عبور رولرها از روی ترک و پاره شدن آن و در نتیجه جدا شدن فلز از بیرینگ، پدیده‌ی پوسته‌پوسته شدن رخ خواهد داد. پس از جدا شدن لایه‌های سطح بیرینگ، ذرات جدا شده بین اجزای چرخشی Over-rolled شده باعث به وجود آمدن پدیده‌ی تخریس (Indentation) می‌شود که این پدیده روی رولرهای بیرینگ خراب به خوبی دیده می‌شود. دلیل به وجود آمدن این ترک‌ها می‌تواند عواملی چون تنش حاصل از نیروهای نوسانی، تنش حرارتی، کشش بیش از حد در حلقه‌ی بیرینگ، تماس سطح بیرینگ با یک ماده‌ی شیمیایی تردکننده و... باشد.

نکته‌ی دیگر در بررسی این پدیده می‌تواند مرتبط با کیفیت روان کار و روان کاری و نیز کیفیت بیرینگ باشد که لازم است مورد ارزیابی قرار گیرد. در خصوص وضعیت روان کار باید نتایج آنالیز روغن به لحاظ آلودگی و کیفیت و تناسب روغن با شرایط عملیاتی کمپرسور به صورت دقیق بررسی و ارزیابی شود.

زمانی که یک برنامه پایش وضعیت بخشی از یک برنامه جامع نگهداری باشد، بیشتر آسیب‌های ایجاد شده در نتیجه مکانیسم‌های خرابی به راحتی قابل شناسایی است. با استفاده از تکنیک آنالیز ارتعاشات می‌توان ضمن شناسایی نخستین نشانه‌های آسیب بیرینگ، فرصت لازم به منظور برنامه‌ریزی جهت اقدامات اصلاحی لازم را فراهم نمود. تحقق این امر ضمن پیشگیری از رشد خرابی به قطعات مجاور از وقوع شکست‌های سنگین و مشکلات غیرمنتظره‌ی بعدی نیز جلوگیری خواهد

کرد. از سوی دیگر با بررسی وضعیت قطعات در مراحل اولیه خرابی علت ریشه‌ای مشکل نیز با دقت و اطمینان بیشتری قابل تشخیص است.

مراجع

- [۱]، عسگری، عیب‌یابی بیرینگ‌ها، بهتاپژوهش، ۱۳۹۳.
- [۲]ح، کریمی، خ، سیاوشی، هندبوک آنالیز ارتعاشات، کنکاش، ۱۳۹۰.