مجله مهندسی زیست سامانه

استفاده از فناوری ترموگرافی در عیب‌یابی یاتاقان

احمد سهیلی[۱]- ابراهیم ابراهیمی [۲] *

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

چکیده:

پایش وضعیت یکی از اجزای اصلی نگهداری پیش‌بینانه می‌باشد. تشخیص خرابی باید در اولین مراحل پایش شود ولی در عمل متاسفانه این تشخیص عیب در اولین و یا حتی دومین مرحله نیز امکان پذیر نیست. هر تکنیک، به طور خاص، بر روی برخی علائم مشخصه از وضعیت کارکرد ماشین تمرکز دارد و پارامترهای خاصی را اندازه‌گیری می‌نماید که نشان دهنده وضعیت سلامت ماشین است. در دهه‌های اخیر راهکارهای متعددی در زمینه نگهداری و تعمیرات و اصول تعمیرات پیشگیرانه به خدمت صنعت گرفته شده است که یکی از دقیق‌ترین این روش‌ها برای تشخیص عیب با استفاده از فناوری گرمانگاری است. از جمله راهکارهای کاربردی در خصوص نت بهره‌گیری از فناوری ترموگرافی است که در آن کاربری‌های متنوعی در زمینه‌های گوناگون تعریف می‌شود. بهره‌گیری از فن‌آوری گرمانگاری یکی از مباحث اساسی پایش وضعیت در صنایع است. در روش گرمانگاری، الگوی تابش حرارتی از اشیاء که برای چشم انسان نامرئی است به یک تصویر دو بعدی حرارتی مرئی تبدیل می‌شود. در این روش مقدار پرتو ساطع شده از اشیاء با افزایش دما افزایش می‌یابد. بنابراین، گرمانگاری امکان مشاهده تغییرات دمای اشیاء را برای ما امکان‌پذیر می‌سازد. در این پژوهش افزایش بار و سرعت و وجود هر گونه عیب در یاتاقان سبب افزایش دما می‌شود. وجود عیب در ساچمه‌ها خود را در محیط و پیرامون قاب‌های درونی و بیرونی نشان می‌دهد. در حالت خرابی قفسه نگهدارنده ساچمه فقط دمای محل وجود عیب افزایش داشته و در حالت خرابی قاب‌ها افزایش دما در کل سطح یاتاقان مشاهده شد.

واژگان کلیدی: گرمانگاری، پایش وضعیت، یاتاقان

مقدمه :

اطمینان از کارکرد صحیح، همیشه مسئله مهمی در کاربرد تجهیزات صنعتی است. با توسعه‌ی فناوری، هزینه تعمیرات و نگهداری دوره‌ای افزایش یافته است و همچنین کنترل کیفی به عنوان بخش جدایی ناپذیر صنعت مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین سامانه‌های پایش وضعیت بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته‌اند. در کاربردهای صنعتی، یاتاقان‌ها به عنوان اجزاء مکانیکی بحرانی شناخته می‌شوند و یک عیب اولیه در این اجزاء اگر به موقع تشخیص داده نشود به از کار افتادگی کلی دستگاه منجر می‌شود و امکان دارد بعضی مواقع باعث یک خرابی فاجعه بار در ماشین شود. عیوب یاتاقان‌ها امکان دارد در هنگام استفاده یا در هنگام فرآیند ساخت آنها ایجاد شود و تشخیص این عیوب برای پایش وضعیت و نیز برای بالا بردن کیفیت بازرسی یاتاقان‌ها بسیار مهم است [1]. هر سامانه دینامیکی، الکتریکی، هیدرولیکی یا حرارتی دارای علائم مشخصه‌ای است که وضعیت عادی آن دستگاه را در حین کار نشان می‌دهد. تغییر این علائم، هر چند به اندازه کم، می‌تواند نشانه‌ای از بروز اشکال و خرابی در سامانه باشد. منظور از پایش وضعیت، تعیین وضعیت سامانه با اندازه‌گیری علائم مشخصه‌ی آن و بهره‌گیری از این اطلاعات برای پیش‌بینی خرابی سامانه است. پایش وضعیت با تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی اجرا می‌گردد. هر تکنیک به طور خاص، بر روی برخی علائم مشخصه از وضعیت کارکرد ماشین تمرکز دارد و پارامتر-های خاصی را اندازه‌گیری می‌نماید که نشان دهنده وضعیت سلامت ماشین است. در دهه‌های اخیر راهکارهای متعددی در زمینه نگهداری و تعمیرات و اصول تعمیرات پیشگیرانه به

[۱-۲] - گروه مکانیک، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران
* نویسنده مسؤول: e.ebrahimi57@gmail.com

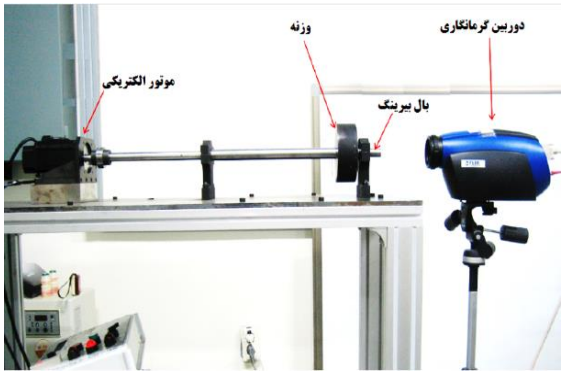
خدمت صنعت گرفته شده است که یکی از دقیق‌ترین این روش‌ها برای تشخیص عیب استفاده از فناوری گرمانگاری است. بهره‌گیری از فناوری گرمانگاری یکی از مباحث اساسی پایش وضعیت در صنایع است. در روش گرمانگاری، الگوی تابش حرارتی از اشیاء که برای چشم انسان نامرئی است به یک تصویر دو بعدی حرارتی مرئی تبدیل می‌شود. در این روش مقدار پرتو ساطع شده از اشیاء با افزایش دما افزایش می‌یابد. بنابراین، گرمانگاری امکان مشاهده تغییرات دمای اشیاء را امکان‌پذیر می‌سازد. لذا وجود عیوب در یاتاقان‌ها سبب افزایش اصطکاک گردیده که با استفاده از سامانه‌های گرمانگاری می‌توان تغییرات دمایی را ثبت نمود و با پردازش این تصاویر می‌توان عیوب را تشخیص داد.

در این راستا شمس و پشتان (۱۳۸۴) انواع روش‌های تشخیص عیب یاتاقان‌ها را به صورت کلی مورد بررسی قرار دادند. روش‌هایی چون آنالیز ارتعاشات بدنه، سیگنال‌های صوتی و سیگنال‌های الکتریکی منبع تغذیه موتورها را بررسی کردند. روه[۱] و همکاران (۲۰۰۳) به ارایه روشی برای محاسبه نویز روغن یاتاقان پرداختند که خواص آکوستیک یاتاقان، تجزیه و تحلیل غیر خطی از جمله عدم تعادل روتور برای یک سامانه روتور دار را بدست آوردند. سامانتا[۲] و همکاران (۲۰۰۳) به تشخیص عیوب یاتاقان‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک و طبقه بندهای شبکه عصبی مصنوعی و ماشین‌بردار پشتیبان پرداختند. سینق[۳] و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تحلیل سیگنال‌های ارتعاشی یاتاقان به بررسی عیوب آن پرداختند. در این تحقیق آنها یاتاقان را با استفاده از یک موتور الکتریکی سه فاز تحت بار دینامیکی قرار دادند. سیگنال‌های ارتعاشی در حالت‌های مختلف سلامت و عیوب یاتاقان با استفاده از حسگر شتاب‌سنج استحصال شدند. سیگنال‌های استحصالی توسط تبدیل فوریه سریع و تبدیل موجک پردازش شدند. چو[۴] و یو[۵] (۲۰۰۹) با استفاده از روش گرمانگاری به تشخیص عیب خودکار در تجهیزات الکترونیکی پرداختند. آنها در تحقیقات خود عیوب در فیوزهای برق، کابل‌های فشار قوی و تابلوهای برق را تعیین کردند. (Y.C.Chou,Y.Yao,2009)

نظر به مطالب ذکر شده هدف اصلی از انجام این تحقیق تشخیص هرگونه عیب در یاتاقان تحت اثر بارهای دینامیکی با استفاده از پردازش تصاویر گرمایی و تعیین تغییرات دمایی کارکرد یاتاقان در حالت خرابی نسبت به حالت سلامت آن است.

مواد و روش‌ها

به منظور شبیه سازی عیوب و کسب داده‌های تجربی نیازمند به ساخت بستر آزمایشی مطابق شکل ۱ بود. در این پژوهش جهت تنظیم دور موتورالکتریکی از یک اینورتورمدل LS سری IC5 استفاده شد. به منظور اعتبار سنجی دور خروجی اینورتور از یک از یک دورسنج الکتریکی دیجیتالی ARMA ETI-TACHO استفاده شد.



شکل ۱ - بستر آزمایش

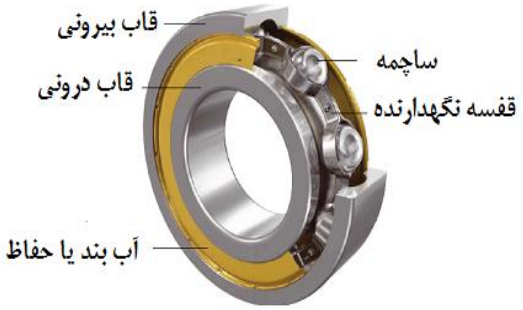
برای تهیه تصاویر گرمایی نیاز به یک یا چند دوربین گرمانگاری می‌باشد که این دوربین دارای مشخصات خاص به خود از قبیل: قدرت تفکیک‌پذیری، توانایی دریافت گستره طیفی، حساسیت گرمایی می‌باشند که با توجه به پروژه مورد نظر باید مشخصات دوربین گرمانگاری را انتخاب نمود. در این پژوهش برای تهیه تصاویر گرمایی از حالت‌های مختلف بال یاتاقان از دوربین گرمانگاری فروسرخ FLIR Silver 450M استفاده شد (شکل ۲). دوربین گرمانگاری مورد نظر دارای تفکیک‌پذیری ۳۲۰×۲۵۶ پیکسل، توانایی دریافت گستره طیفی ۳ تا ۵ µm (۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰nm)، حساسیت گرمایی ۰/۰۴ درجه سلسیوس در دمای ۳۰ درجه سلسیوس و چهار محدوده دمایی R1: -20°C to 60°C ، R2: -40°C to 120°C، R3: 0°C to 500°C ، R4: 350°C to 1500°C می‌باشد.

شکل ۲ - دوربین گرمانگاری

[۱] Rho
[۲] Samanta
[۳] Singh
[۴] Chou
[۵] Yao

عیوبی که برای بلیاتاقان در نظر گرفته شد عبارت بودند از:

- خراش و سائیدگی در ساچمه
- خراش و سایش در قاب درونی و قاب بیرونی
- شکستگی قفسه نگهدارنده ساچمه‌ها

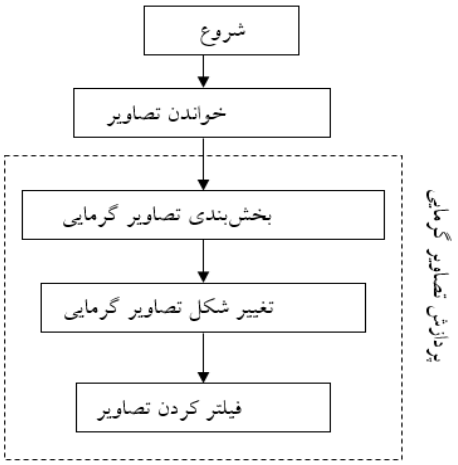


شکل ۳ - اجزاء یاتاقان ساچمه‌ای

در شکل ۴ حالت‌های مختلف خرابی بال یاتاقان نشان داده شده است. به منظور فراهم آوردن یاتاقان‌های معیوب به مراکز تعمیراتی و کارگاه‌ها مراجعه نموده و نمونه‌هایی از یاتاقان‌های معیوب دارای عیوب فوق تهیه شد.

شکل ۱ - عیوب اعمالی بر بال یاتاقان

بعد از تهیه تصاویر گرمایی از حالت‌های سالم و خراب، هر نمونه به صورت جداگانه مورد پردازش قرار می‌گیرد. مراحل پردازش تصاویر گرمایی در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ - مراحل پردازش تصاویر گرمایی

بعد از اکتساب تصاویر گرمایی و پردازش آنها، از روی تصاویر گرمایی به راحتی می‌توان دما در نقاط مختلف تصویر را به دست آورد یا از روی اختلاف رنگ در نقاط مختلف تصاویر به راحتی نقاط با دمای بیشتر را می‌توان شناسایی کرد و تشخیص یاتاقان در حالت خرابی نسبت به حالت سلامت آن میسر خواهد بود.

در پروژه حاضر ابتدا چندین نمونه یاتاقان سالم تهیه شد. بعد از قرار گرفتن یاتاقان در مجموعه ساخته شده برای آزمایش آن، بدون اعمال هر گونه باری از لحظه شروع به مدت ۳۰ دقیقه از یاتاقان تصاویر گرمایی تهیه شد. با توجه به اینکه بعد از طی مدت زمان معلومی یاتاقان به دمای بیشینه کاری خود می‌رسد لذا از روی تصاویر گرمایی به ازای هر دو دقیقه یکبار میانگین دمای سطح یاتاقان قرائت شد. این کار برای هر سه سرعت ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه انجام شد. بعد از به دست آوردن مدت زمان لازم برای رسیدن به دمای بیشینه کاری و حداکثر دمای بدون بار یاتاقان بر روی محور گردنده در یاتاقان وزنه‌ای به جرم سه کیلوگرم آویزان شد. مجددا مطابق حالت قبل در بازه زمانی ۳۰ دقیقه تصاویر گرمایی تهیه گردید و هر دو دقیقه یکبار دمای تصاویر قرائت شد.

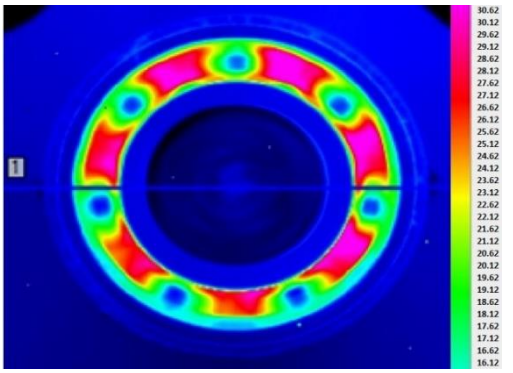
در مرحله دوم از آزمایش‌ها یاتاقان سالم را از مجموعه آزمایش خارج نموده و یاتاقان معیوبی را در محل قرار داده و بعد از بارگزاری برای هر سه سطح سرعت تصاویر گرمایی تهیه شد و حداکثر دمای کارکرد یاتاقان و مدت زمان لازم برای رسیدن به دمای بیشینه کاری به دست آمد.

نتایج

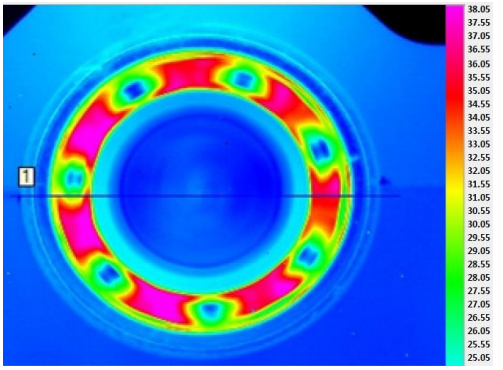
تحت اثر بارگزاری و سرعت‌های مختلف دوران محور ورودی در یاتاقان تصاویر گرمایی در پنج وضعیت سالم، خراش و سائیدگی در ساچمه، خراش و سایش در قاب درونی، خراش و سایش در قاب بیرونی و شکستگی قفسه نگهدارنده ساچمه‌ها به دست استخراج شدند.

تصاویر گرمایی برای وضعیت سلامت یاتاقان

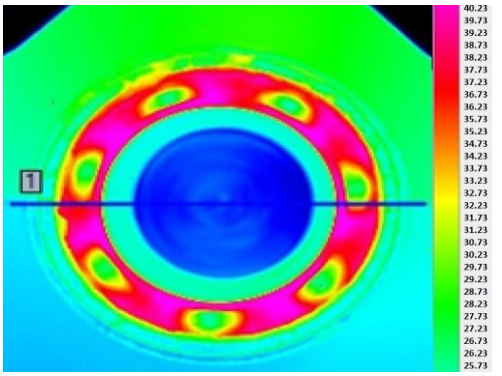
در وضعیت سلامت یاتاقان در ابتدا بدون اعمال باری بر یاتاقان در سه سرعت مختلف ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه تصاویر گرمایی بعد از ۲۰ دقیقه تهیه شدند. در شکل ۶ تا ۸ تصاویر گرمایی آورده شده است.



شکل ۶ -تصویر گرمایی یاتاقان در دور rpm ۱۰۰۰



شکل۷ - تصویر گرمایی یاتاقان در دور rpm ۲۰۰۰



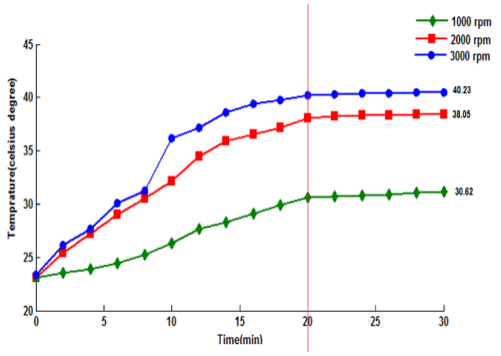
شکل ۸ -تصویر گرمایی یاتاقان در دور rpm ۳۰۰۰

همانطور که در تصاویر فوق مشخص است با افزایش سرعت گردش یاتاقان دمای کاری یاتاقان افزایش یافته به طوری که با افزایش سرعت از ۱۰۰۰ درو در دقیقه به ۳۰۰۰ دور در دقیقه حداکثر دمای کارکرد یاتاقان از ۳۰/۶۲ به ۴۰/۲۳ درجه سیلسیوس افزایش پیدا کرده است.

از طرف دیگر با دقت در تصاویر ۶ تا ۸ این نتیجه حاصل می‌گردد با کارکرد یاتاقان در دور پایین توزیع دما در کل سطح یاتاقان کمتر است و فقط گرمای تولید شده در محدوده اطراف ساچمه‌ها توزیع می‌شود. اما با کارکرد در دور بالا و وجود دمای کاری بالا توزیع دما تقریبا در کل سطح یاتاقان یکنواخت‌تر است به طوری که می‌توان ادعا کرد با افزایش سرعت به بیش از ۴۰۰۰ دور در دقیقه دمای کل یاتاقان یکنواخت گردد. البته وجود دمای بالا در یک یاتاقان سبب از بین رفتن ماده روانکار بین اجزاء یاتاقان می‌شود که سبب خرابی یاتاقان می‌شود. لذا با تهیه یک تصویر گرمایی از سطح یاتاقانی در حین کار به راحتی می‌توان توزیع دما در سطح آن و حداکثر دمای کاری آن را شناسایی کرد و از آسیب رسیدن به یاتاقان جلوگیری نمود.

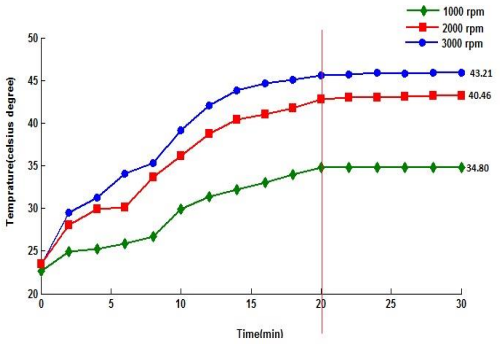
در شکل ۹ نمودار تغییرات دمایی یاتاقان در سرعت‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه در فاصله زمانی ۳۰ دقیقه از کارکرد یاتاقان بدون اعمال بار آورده شده است.

با توجه به تغییرات دمایی در حین کارکرد یاتاقان این نتیجه حاصل می‌شود که با روند تغییرات دما با افزایش سرعت بسیار سریع‌تر است. در سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه تغییرات دما با گذشت زمان تقریبا ثابت است اما در سرعت‌های ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه بعد از گذشت هشت دقیقه از کارکرد یاتاقان، شیب تغییرات دما بیشتر شده و کم کم با گذشت زمان تا ۲۰ دقیقه از کارکرد این تغییرات ادامه داشته و از دقیقه ۲۰ به بعد دمای بیشینه تقریبا ثابت شده است. نتیجه به دست آمده از این بخش را می‌توان برای تعیین دمای بیشینه‌ی کاری یک یاتاقان به کار برد. مدت زمان ۲۰ دقیقه برای کارکرد یک یاتاقان و اندازه‌گیری دمای کاری یاتاقان بعد از این زمان می‌تواند برای تعیین بیشترین دمای کاری یاتاقان مناسب باشد.



شکل ۹ - تغییرات دما نسبت به زمان شروع به کار یاتاقان در سرعت‌های مختلف و بدون اعمال بار

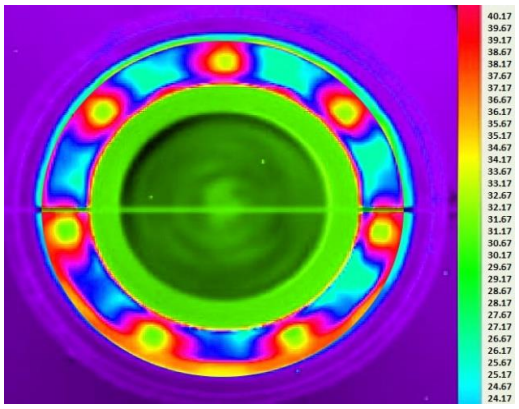
در شکل ۱۰ نمودار تغییرات دمایی کارکرد یاتاقان در سرعت‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه و با اعمال بار سه کیلوگرمی بر یاتاقان آورده شده است. با مقایسه نمودار شکل ۹ با نمودار شکل ۱۰ می‌توان فهمید که با افزایش بار اعمالی بر یاتاقان میزان دمای کارکرد آن نیز افزایش پیدا خواهد کرد. روند افزایش دما در هر دو نمودار تقریبا شبیه به هم است اما در اثر اعمال بار بر یاتاقان دمای آن حدود ۳ درجه افزایش می‌یابد.



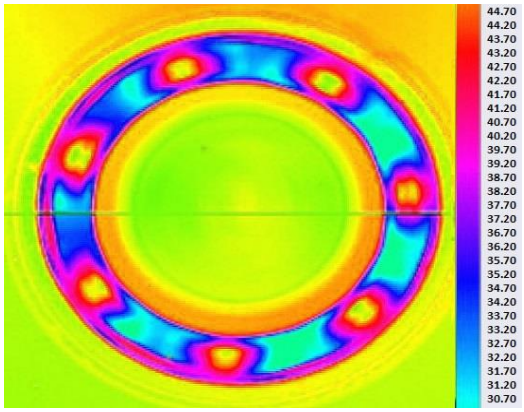
شکل ۱۰ - تغییرات دما نسبت به زمان شروع به کار یاتاقان در حالت سلامت در سرعت‌های مختلف و اعمال ۳ کیلوگرم بار

تصاویر گرمایی برای وضعیت خرابی ساچمه یاتاقان

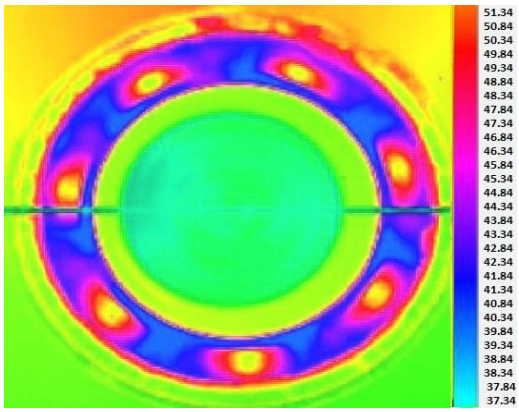
شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ تصاویر مربوط به حالت خرابی ساچمه یاتاقان آورده شده است. با توجه به شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ مشخص است که وجود عیب در ساچمه‌ها به خوبی خود را با دمای بالاتری نسبت به تمامی قسمت‌های یاتاقان خود را نشان داده است. به‌دلیل چرخش ساچمه‌ها بر روی قاب داخلی علاوه بر سطح بیرونی ساچمه قاب داخلی یاتاقان نیز داغ شده است. در شکل‌ها ۱۱ تا ۱۳ اطراف ساچمه‌ها و سطح قاب داخلی که با رنگ قرمز مشخص است بیشترین دما را دارند که نشان از وجود عیب در ساچمه یاتاقان است. در سرعت‌های ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه افزایش دما در سطح داخلی قاب بیرونی مشاهده شد که این مورد در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ با رنگ قرمز خود را نشان داده است. سرعت زیاد گردش یاتاقان سبب می‌شود گرمای ایجاد شده در سطح ساچمه‌ها (به‌دلیل خرابی و افزایش اصطکاک) به سرعت در سطح قاب داخلی و خارجی توزیع گردد و گرما را به این نقاط انتقال دهد. میزان تغییرات دمای کارکرد یاتاقان نسبت به حالت سالم یاتاقان چندین درجه افزایش یافته است. افزایش دما در حالت سائیدگی ساچمه در مقایسه با حالت سلامت کارکرد یاتاقان در سرعت‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه به ترتیب ۱۵/۴۳، ۱۰/۴۸ و ۱۸/۸۱ درصد بود. بیشترین میزان افزایش دما در سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه است. در سرعت‌های بالای گردش یاتاقان، چون میزان سطح تماس ساچمه‌ها در واحد زمان افزایش پیدا می‌کند و همچنین وجود سائیدگی در ساچمه سبب افزایش دما می‌شود این عوامل سبب می‌شوند گرمای زیادی در واحد زمان تولید شده به همین دلیل در سرعت‌های بالا میزان افزایش دما بیشتر است. در وضعیت سائیدگی ساچمه‌ها چون محیط ساچمه‌ها با سطح داخلی قاب بیرونی و سطح خارجی قاب دورنی در تماس است لذا افزایش دما در محل تماس ساچمه و سطح رخ می‌دهد که این موضوع در شکل های ۱۱ تا ۱۳ موضوع کاملا مشخص است.



شکل ۱۱ - تصویر گرمایی یاتاقان در دور ۱۰۰۰rpm در حالت خرابی ساچمه یاتاقان



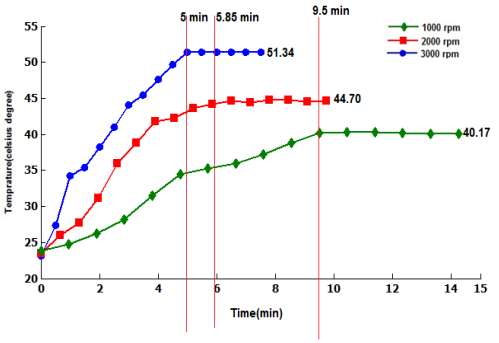
شکل۱۲ - تصویر گرمایی یاتاقان در دور rpm ۲۰۰۰ در حالت خرابی ساچمه یاتاقان



شکل ۱۳ - تصویر گرمایی یاتاقان در دور ۳۰۰۰rpm در حالت خرابی ساچمه یاتاقان

در شکل ۱۴نمودار تغییرات دمایی کارکرد یاتاقان در سرعت های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه در حالت خرابی ساچمه یاتاقان و با اعمال بار سه کیلوگرمی بر یاتاقان آورده شده است. همانطور که در شکل ۱۴ مشخص است هر چه دور گردش یاتاقان بالاتر باشد مدت زمان رسیدن به دمای بیشینه کاری کمتر است. از نمودار شکل ۱۴ این نتیجه حاصل می‌گردد که وجود خرابی در یاتاقان علاوه بر افزایش دمای کارکرد یاتاقان سبب می‌شود که در بازه زمانی کوتاه‌تری دما به شدت افزایش

پیدا کند. در حالت سلامت کارکرد یاتاقان مدت زمان معمول برای رسیدن به بیشینه دمای کاری ۲۰ دقیقه بود اما در وضعیت خرابی ساچمه در سرعت‌های مختلف این زمان کمتر از حالت سلامت یاتاقان بود به طوری که در ۳۰۰۰ دور در دقیقه زمان لازم برای رسیدن به دمای اوج کاری ۵ دقیقه بود.



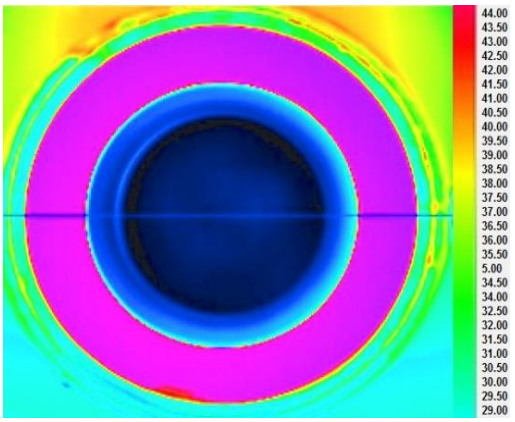
شکل ۱۴ - تغییرات دما نسبت به زمان شروع به کار یاتاقان در حالت خرابی ساچمه در سرعت‌های مختلف

تصاویر گرمایی برای حالت خرابی قاب داخلی و خارجی یاتاقان

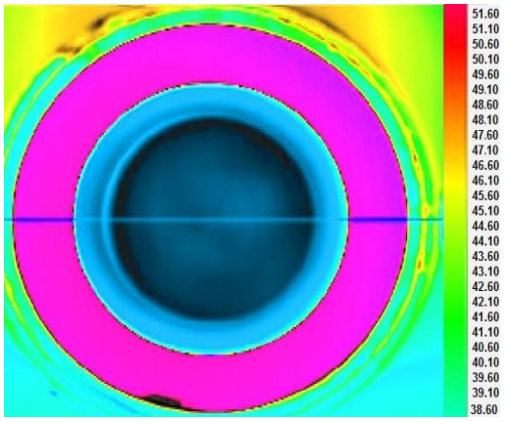
شکل‌های ۱۵ تا ۱۷ تصاویر مربوط به حالت خرابی قاب یاتاقان را نشان می‌دهد. وجود عیب در قاب‌ها بخوبی خود را با دمای بالاتری نسبت به تمامی قسمت‌های یاتاقان نشان می‌دهد. شدت عیب در حالت خرابی و شکستگی در قاب درونی و بیرونی بیشتر از خرابی ساچمه‌های یاتاقان است. در حالت خرابی ساچمه یاتاقان گرمای تولید شده در اثر افزایش اصطکاک بین ساچمه‌ها و قاب درونی و بیرونی توزیع می‌شد که از بالا رفتن بیش از حد دما در یک مکان از یاتاقان جلوگیری می‌کرد. اما در حالت خرابی قاب درونی و بیرونی چون گرمای تولید شده در تماس کمتری با ساچمه ها است لذا این گرما بیشتر بر روی سطح قاب درونی و بیرونی خود را نشان می‌دهد. در شکل ۱۵ دوایر قرمز رنگ مماس بر قاب بیرونی و درونی وضعیت دمای سطح قاب را نشان می‌دهد که بالاترین دمای یاتاقان را دارد. در قسمت پایین شکل‌های ۱۵ تا ۱۷ شدت خرابی قاب بیرونی زیاد است لذا تغییرات دمایی در این قسمت زیاد است.

با افزایش سرعت میزان افزایش دما به شدت افزایش می‌یابد به طوری که در سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه دمای سطح قاب داخلی و خارجی تا ۶۵ درجه سلسیوس بالا می‌رود. از طرف دیگر با افزایش دور و به تبع آن افزایش دمای سطح یاتاقان، این گرما به کل سطح یاتاقان منتقل شده و می‌توان گفت که آنقدر گرمای تولیدی در دورهای بالا زیاد است که این گرما کل سطح یاتاقان را فرا می‌گیرد. در شکل ۱۸ نمودار تغییرات دمایی کارکرد یاتاقان در دورهای ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه در حالت خرابی قاب بیرونی و درونی و با اعمال بار سه کیلو گرمی بر یاتاقان آورده شده است.

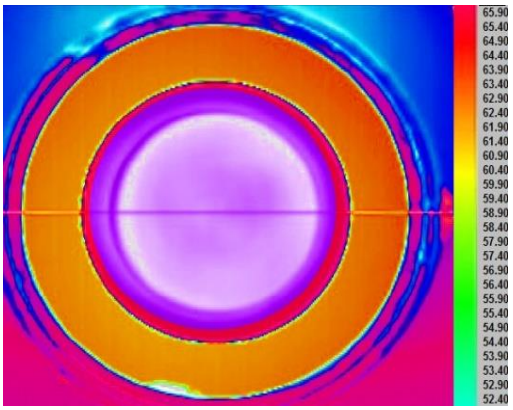
با توجه به افزایش شدت عیب در حالت خرابی قاب داخلی و خارجی در مدت زمان کمتری نسبت به حالت سلامت و حالت خرابی ساچمه، دمای کاری بیشینه یاتاقان رخ می‌دهد. همانطور که در شکل ۱۸ مشخص است در دور ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه بعد از طی زمان‌های ۲/۴، ۳/۷۵ و ۴/۶۵ دقیقه از شروع به کار یاتاقان دمای بیشینه کاری یاتاقان خود را نشان داده و از آن به بعد دیگر دما افزایش پیدا نخواهد کرد. وجود عیب و خرابی در قاب درونی و بیرونی سبب افزایش دمای کارکرد یاتاقان شد که این افزایش دما در سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به میزان ۲۶/۴۳ درصد، در سرعت ۲۰۰۰ ب دور در دقیقه به میزان ۲۷/۵۳ و در سرعت ۳۰۰۰ ب دور در دقیقه به میزان ۵۲/۵۰ است. همانطور که از نتایج پیدا است اثر سرعت بر افزایش دما و خرابی در یاتاقان تقریبا به یک نسبت است. لذا باید هنگام طراحی هر سامانه به حداکثر سرعت دورانی یاتاقان آن توجه داشت تا بر این اساس نوع یاتاقان مطلوب را برای تحمل دماهای بالا انتخاب نمود.



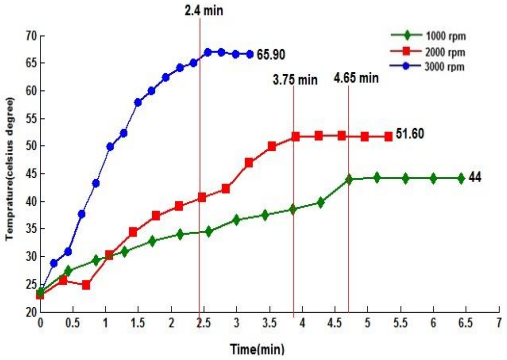
شکل ۱۵ - تصویر گرمایی یاتاقان در دور ۱۰۰۰ دور در دقیقه در حالت خرابی قاب



شکل ۱۶ - تصویر گرمایی یاتاقان در دور ۲۰۰۰ دور در دقیقه در حالت خرابی قاب



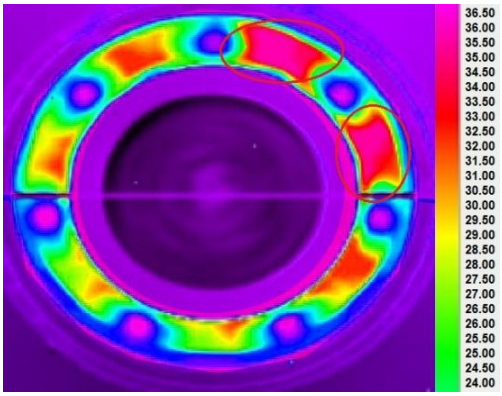
شکل ۱۷ - تصویر گرمایی یاتاقان در دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه در حالت خرابی قاب



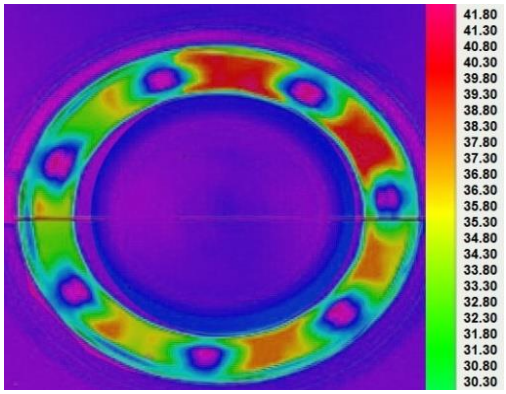
شکل ۱۸- تغییرات دما نسبت به زمان شروع به کار یاتاقان در حالت خرابی قاب داخلی و خارجی در سرعت‌های مختلف

تصاویر گرمایی برای حالت شکستگی قفسه نگهدارنده ساچمه‌ها

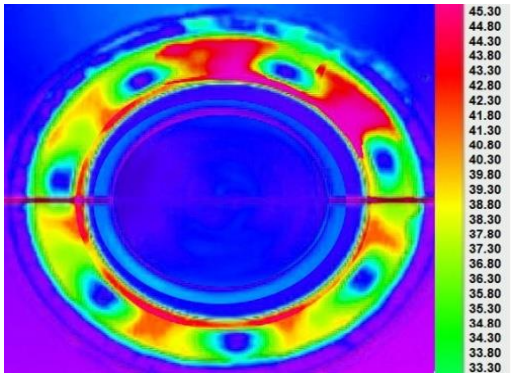
شکستگی قاب نگهدارنده ساچمه‌ها در دو قسمت از قفسه ایجاد شد که در شکل ۱۹ با دوایر قرمز رنگی محل آنها مشخص شده است. در سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه محل شکستگی قاب دارای دمای بالاتری نسبت به سایر قسمت‌های یاتاقان است. گرمای ایجاد شده در اثر خرابی قفسه نگهدارنده ساچمه به اطراف قفسه نگهدارنده منتقل شده به طوری که در قفسه‌های کناری دما نسبت به سایر بخش‌ها بیشتر است اما این افزایش دما کمتر از نقاط خرابی قفسه است. روند انتقال گرمای تولید به سایر قسمت‌های یاتاقان در دورهای ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه نیز مشخص است اما همانطور که قبلا نیز بیان شد افزایش دور سبب افزایش دما در یاتاقان می‌شود، وجود خرابی در یاقاقان افزایش دما در یاتاقان را افزایش داده و سبب می‌شود هر گونه خرابی خود را به‌خوبی نشان دهد. در دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه گرمای تولید شده علاوه بر تجمع در محل شکستگی قفسه در سطح داخلی قاب درونی جمع می‌شود به طوری که در شکل ۲۱ کاملا مشخص است. افزایش دما در حالت شکستگی قفسه نگهدارنده در مقایسه با حالت سلامت کارکرد یاتاقان در سرعت‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه به ترتیب ۴/۸۹ ، ۳/۳۱ و ۴/۸۴ درصد بود. کمترین میزان افزایش دما در مقایسه با سایر عیوب در این وضعیت خرابی قفسه نگهدارنده است که دلیل آن نیز بخاطر ارتباط کمتر اجزاء قفسه با سایر قسمت‌های یاتاقان است. قفسه فقط با کمانی از ساچمه‌ها در تماس است به همین دلیل میزان اصطکاک ایجاد شده کم و تغییرات دمایی آن نسبت به سایر عیوب کمتر است.



شکل ۱۹ - تصویر گرمایی یاتاقان در دور ۱۰۰۰ دور در دقیقه در حالت خرابی قاب نگهدارنده ساچمه



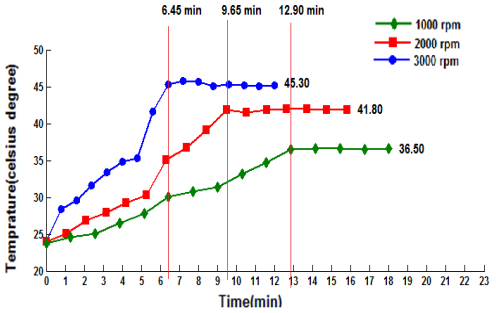
شکل ۲۰ - تصویر گرمایی یاتاقان در دور ۲۰۰۰ دور در دقیقه در حالت خرابی قاب نگهدارنده ساچمه



شکل ۲۱ - تصویر گرمایی یاتاقان در دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه در حالت خرابی قاب نگهدارنده ساچمه

شکل ۲۲ تغییرات دمای کاری یاتاقان نسبت به زمان را در دورهای مختلف در حالت خرابی قفسه نگهدارنده ساچمه

نشان می‌دهد. در حالت خرابی قفسه نگهدارنده ساچمه افزایش دما نسبت سایر عیوب کمتر است. همانطور که در شکل ۲۲ مشخص است مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن به دمای کاری بیشینه بیشتر از سایر عیوب است.



شکل ۲۲ - تغییرات دما نسبت به زمان شروع به کار یاتاقان در حالت خرابی قفسه نگهدارنده ساچمه در سرعت‌های مختلف

نتیجه گیری

در این بخش نتایج به دست آمده از مطالعه به صورت موردی بیان می‌شود:

افزایش بار اعمالی بر یاتاقان سبب افزایش اصطکاک بین اجزاء یاتاقان شده و دمای کاری آنها را بالا می‌برد. در حالت سلامت یاتاقان در دورهای مختلف با افزودن بار به میزان ۳ کیلوگرم بر محور یاتاقان دمای کارکرد آن نسبت به حالت بدون بار به میزان ۴/۱۸، ۲/۴۱ و ۲/۹۸ درجه سلسیوس در سرعت-های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه افزایش یافت.

افزایش سرعت یاتاقان سبب افزایش دمای آن خواهد شد. به طوری که در وضعیت سلامت یاتاقان افزایش دور از ۱۰۰۰ به ۳۰۰۰ دور در دقیقه باعث می‌شود دمای کارکرد یاتاقان ۹/۶۱ درجه سلسیوس (۳۱/۳۸ درصد) افزایش یابد.

هر یاتاقان تحت هر دور و بار خاصی در مدت زمان مشخصی بعد از شروع به کار به دمای بیشینه کاری خود می‌رسد. دانستن مدت زمان رسیدن به دمای کاری بیشینه یاتاقان مطلب مهمی در طراحی یاتاتان‌ها و کاربرد آنها است.

وجود هر گونه عیب و خرابی در یاتاقان خود را با افزایش دما نشان می‌دهد. با توجه به اجزاء داخلی یاتاقان خرابی در هر بخش یاتاقان باعث افزایش دما در یک ناحیه خاص از یاتاقان می‌شود که تشخیص نوع و محل عیب را ساده می‌کند. در حالت خرابی و سائیدگی ساچمه یاتاقان بدلیل گردش ساچمه-ها بر سطح داخلی قاب بیرونی و سطح خارجی قاب درونی سبب افزایش دما در محیط بیرونی و درونی قاب‌های درونی و بیرونی یاتاقان می‌شود. وجود خرابی در دورهای بالا خود را بهتر از دورهای پایین نشان می‌دهد. نتیجه مهمی که در این بخش حاصل می‌شود این است که برای پایش وضعیت و کنترل وضعیت یاتاقان با روش گرمانگاری تا حد امکان دور گردش یاتاقان را بالا ببریم تا عیوب خود را به‌خوبی نشان دهند.

در وضعیت خرابی قاب درونی و بیرونی بیشترین افزایش دما را نسبت به حالت سلامت داریم به طوری که گرمای تولید شده در محل عیب آنقدر زیاد است که در کل سطح یاتاقان افزایش دما را مشاهده می‌کنیم.

در مقایسه حالت سلامت با حالت شکستگی قفسه نگهدارنده ساچمه‌ها افزایش دما زیاد نیست اما با افزایش سرعت از ۱۰۰۰ به ۳۰۰۰ دور در دقیقه افزایش دما در حدی است که فقط محل خرابی و عیب یاتاقان افزایش دما داشته و گرمایی به سایر نقاط یاتاقان منتقل نمی‌شود.

با بیان مطالب فوق این نتایج حاصل می‌گردد که افزایش بار و سرعت و وجود هر گونه عیب در یاتاقان سبب افزایش دما می‌شود. وجود عیب در ساچمه‌ها خود را در محیط و پیرامون قاب‌های درونی و بیرونی نشان می‌دهد. در حالت خرابی قفسه نگهدارنده ساچمه فقط دمای محل وجود عیب افزایش دما داشته و در حالت خرابی قاب‌ها افزایش دما را در کل سطح یاتاقان مشاهده می‌کنیم.

References

B. Bagheri, 2010. Acoustic condition monitoring of MF285 tractor gearbox and faults classification, M.Sc Thesis, Department of Agricultural Machinery, Collage of Agricultur and Natural Resources, Tehran University, Alborze,. (in Farsi)

B. H. Rho1, D. G. Kim, K. W. Kim, 2003. Noise analysis of oil-lubricated journal bearings, Mechanical Engineering Science, Vol. 217, No. 3, pp. 365-371

B. Samanta, K. R. Al-Balushi, S. A. 2003. Al-Araimi, Artificial neural networks and support vector machines with genetic algorithm for bearing fault detection, Engineering Applications of Artificial Intelligence,Vol.16,No. 7-8, pp. 657–665

S. M. Shamse Mosavi, J. Poshtan, 2005. Analysis of Bearing fault detection methods to predictive maintenance, *3rd National Conference* on Maintenance, Iran Maintenanace Association,. (in Farsi)

S. Singh, A. Kumar, N. Kumar, 2014. Motor current signature analysis for bearing fault detection in mechanical systems, Procedia Materials Science, Vol. 6, pp. 171 – 177

Y. C. Chou, Y. Yao, 2009. Automatic diagnosis system of electrical equipment using infrared thermography. International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition, Malacca, Malaysia, 4-7 Dec.

مجله مهندسی زیست سامانه

Using Thermography Technology in Bearing Troubleshooting

Ahmad Soheili Mahdizadeh[1] - Ebrahim Ebrahimi*[2]

1-2- Department of Mechanics, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
*Coresponding author: e.ebrahimi57@gmail.com

Received: 08 Apr 2023
Accept:21 Jun 2023

Abstract

Condition monitoring is one of the main components of predictive maintenance. Fault diagnosis should be monitored in the first stages, but in practice, unfortunately, this fault diagnosis is not possible in the first or even the second stage. Each technique, in particular, focuses on some characteristic signs of the machine's working condition and measures certain parameters that indicate the machine's health status. In recent decades, many solutions in the field of maintenance and repairs and the principles of preventive repairs have been used in the industry, one of the most accurate of these methods is to detect defects using thermography technology. One of the practical solutions regarding Net is the use of thermography technology, in which various applications are defined in various fields. The use of thermal imaging technology is one of the basic issues of condition monitoring in industries. In the thermographic method, the pattern of thermal radiation from objects that are invisible to the human eye is converted into a visible two-dimensional thermal image. In this method, the amount of radiation emitted from objects increases with increasing temperature. Therefore, thermography makes it possible for us to observe changes in the temperature of objects. In this research, the increase in load and speed and the presence of any kind of defect in the bearing causes the temperature to increase. The presence of defects in the pellets shows itself in the environment and around the inner and outer frames. In the case of failure of the bullet holding rack, only the temperature of the location of the defect increased, and in the case of failure of the frames, an increase in temperature was observed on the entire surface of the bearing.

Keywords: thermography, condition monitoring, bearings