

تشخیص عیب سایش سمبه با استفاده از روش انتشار صدا

سید محمد جعفری

دانشجوی دکتری، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو
sm_jafari@ip-co.com

حمید مهدیقلی

دانشیار، دانشگاه صنعتی شریف
library@sharif.ir

مهدی بهزاد*

استاد، دانشگاه صنعتی شریف
m_behzad@sharif.edu

* نویسنده مسئول/تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۰۲ پذیرش نهایی مقاله: ۹۱/۱۷/۲۴

چکیده

سایش سمبه یکی از خرابی‌های اصلی است که در شرایط خاص در موتور احتراق داخلی به وجود می‌آید و باعث از کار افتادگی سمبه و موتور می‌گردد. این عیب در اثر از بین رفتن لایه روغن بین سمبه و جدار استوانه به وجود می‌آید که بررسی آن به کمک انتشار صدا تا به حال انجام نشده است. زیرا علاوه بر اینکه این عیب بندرت به وجود می‌آید، شرایط تشخیص آن نیز دشوار است به نحوی که زمان تشخیص خرابی ایجاد شده، عموماً خیلی دیر است و لحظات اولیه ایجاد عیب از دست رفته است. بنابراین به عنوان یک مطالعه نو، هدف این تحقیق بررسی توانایی روش انتشار صدا در تشخیص این عیب و مطالعه رفتار موج‌های انتشار صدا قبل و بعد از این عیب است. به این منظور در مطالعه‌ای آزمایشگاهی، روی موتور دیزل دو حسگر انتشار صدا نصب شدند. ایجاد عیب سایش سمبه در شرایط آزمایشگاه بر راحتی پذیر نمی‌باشد لذا با طراحی آزمون ویژه، این عیب طبیعی به صورت عمدی بوجود آورده شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که بهترین شاخص‌ها برای تشخیص سایش از روش انتشار صدا، ریشه مجموع مربعات و انرژی مطلق اند. همچنین بر اساس روش ارائه شده در این مقاله، توانایی تشخیص محل عیب به وسیله دو حسگر از روی وابستگی داده‌های انتشار صدا به میزان سایش، توضیح داده شده است.

کلید واژه‌ها: سایش سمبه، انتشار صدا، عیب‌یابی، سرعت دورانی، موتور احتراق داخلی

۱- مقدمه

جمع‌بندی کلی ارائه شده، نشان می‌دهد که در اکثر موارد روش انتشار صدا توانایی خوبی در تشخیص عیب داشته است و محققان توانسته‌اند شاخص‌هایی از داده‌های انتشار صدا را بیابند که وقوع یک عیب را نشان دهد. همچنین در حالت مقایسه بین موتورهای کوچک و بزرگ، دامنه داده‌های دریافتی در موتورهای بزرگ نسبت به موتورهای کوچک، وابستگی بیشتری به محل قرارگیری حسگر و نزدیکی آن به محل عیب دارد. در مقابل در موتورهای کوچک، داده‌های انتشار صدا پیچیده‌تر است و تحلیل‌های پیشرفته‌تری را احتیاج دارند [۹].

۱-۲- عوامل مؤثر در عیب سایش سمبه

عیب سایش سمبه^۳ یکی از خرابی‌های اصلی و پیچیده است که روی عمر موتور خودرو تاثیر گذار است. متغیرهای مختلفی در به وجود آمدن این عیب اثرگذارند: نیروهای مکانیکی، کرنش‌های حرارتی، تداخل‌های فیزیکی و شیمیایی، آثار شرایط مرزی و محیطی، روانکاری و دیگر مواردی که در تماس لغزشی دو سطح اثر دارند، از جمله این علل اند [۱۰].

سایش سمبه می‌تواند در اثر از بین رفتن لایه روانکار در نیمه ورود آن به سطح تماس، اتفاق بیافتد [۱۱]. تحقیقات مختلفی برای بررسی اثر از بین رفتن لایه روانکار در به وجود آمدن عیب سایش سمبه، انجام شده است [۱۲]. بلاک [۱۳] نشان داد زمانی لایه روانکار از بین خواهد رفت که دمای کلی سطح لغزش به یک حد بحرانی برسد. برای بررسی این موضوع تحقیقات مختلفی انجام شد که نشان دادند جنس ماده سطح، شرایط کار و تداخل‌های فیزیکی و شیمیایی روی این دمای بحرانی مؤثرند [۱۴-۱۵]. برای نمونه کاک [۱۶] اثبات کرد این دمای بحرانی زمانی اتفاق می‌افتد که ذرات دو سطح تمایل زیادی به چسبیدن به یکدیگر پیدا می‌کنند. او نشان داد با افزایش دور و بار موتور تمایل به سایش بیشتر خواهد شد.

در شرایط آزمایشگاهی، به وجود آوردن شرایطی که موتور دچار سایش سمبه شود، اندکی پیچیده و دشوار است. علاوه بر این، تشخیص لحظه شروع سایش سمبه نیز دشوار است و به حسگرها و دستگاه‌های مختلفی احتیاج دارد. به طور عمده، تغییرات آبی دمای جداره استوانه‌ها و نرخ گازهای ناشی محفظه لنگ دو متغیر رایج و مهم اند که با احتمال خوبی نشان‌دهنده شروع سایش سمبه می‌باشند.

در این مطالعه تجربی، در آزمایشی مهار شده، شرایط کارکرد آزمون به نحوی اعمال شد که انتظار می‌رفت، با احتمال زیاد موتور به طور

به طور کلی در طی دوره کارکرد هر دستگاه، هر تغییر عمده در شاخص‌های اندازه‌گیری شده آن، حاکی از پیشرفت عیبی در آن دستگاه است. بنابر این شناسایی محدوده‌های مجاز و به کار بردن روش‌های جدید عیب‌یابی، کاملاً لازم و ضروری است. در این میان موتورهای احتراق داخلی بویژه موتورهای دیزل از جمله دستگاه‌های اساسی در صنایع و سامانه‌هاییند که محققان زیادی در زمینه عیب‌یابی آنها با روشهای مختلف به مطالعه پرداخته‌اند [۱].

در میان روش‌های مختلف عیب‌یابی در موتور، کاربرد روش انتشار صدا در شناسایی عیوب موتورهای احتراق داخلی کاربردی نسبتاً جدید است [۲]. همچنین بر اساس جستجوی نویسندگان، تشخیص عیب سایش سمبه به کمک روش انتشار صدا کاربردی نو از این روش در موتورهای احتراق داخلی است. لذا در قسمت مقدمه ابتدا کاربرد روش انتشار صدا در عیب‌یابی موتور معرفی می‌شود. سپس عوامل مؤثر در به وجود آمدن عیب سایش سمبه به عنوان عیب مورد مطالعه در این مقاله ارائه خواهد شد.

۱-۱- کاربرد انتشار صدا در عیب‌یابی موتور

انتشار صدا به تولید امواج الاستیکی گذرا در طی مدت زمان آزاد شدن انرژی از یک منبع موجود در ماده، اشاره می‌کند. منبع این انتشار موج در فزات تا حد زیادی به حرکت نابه‌جایی‌ها در اثر تغییر شکل‌های دائمی^۱ و یا به آغاز و گسترش رشد ترک در سازه تحت تنش وابسته است. منابع دیگر انتشار صدا شامل: ذوب شدن، تغییر حالت^۲ ماده، تنش‌های حرارتی در اثر گرم و سرد شدن، رشد ترک، نشستی، خوردگی و اصطکاک اند [۳]. در دهه اخیر از این روش برای شناسایی و پایش برخی عیوب در موتورهای احتراق داخلی استفاده شده است.

استیل و ریوبن [۴]، مقاله‌ای تحقیقاتی در مورد کارهای انجام شده تا سال ۲۰۰۴ در زمینه کاربرد روش انتشار صدا در موتورهای احتراق داخلی انتشار دادند. آنها زمینه‌های کاربردی و میزان توانایی روش انتشار صدا در تشخیص برخی عیوب در موتورهای احتراق داخلی را جمع‌آوری نمودند. زمینه‌هایی مانند کاربرد انتشار صدا در شناسایی عیب افشانه در موتور دیزل سنگین [۵]، نشستی دریچه دود در موتور دیزل بزرگ [۶]، سایش حلقه‌های سمبه [۷]، تخمین توان موتور به وسیله داده‌های انتشار صدا [۸] از مواردی هستند که محققان بررسی نموده‌اند.

1- Plastic deformation

2- Phase

3- Piston scuffing

- در این زمان بین دو سطح به صورت نقطه‌ای و بسیار ریز نقاط به هم جوش خورده و سایش آغاز می‌شود.
- بمرور، نشانه‌های سایش با لایه‌های سفیدرنگ و نقطه‌ای با میکروسکوپ قابل مشاهده‌اند.
- با ادامه روند سایش، علائم سایش سمبه با چشم قابل مشاهده می‌شوند.
- در نهایت سمبه و دیواره استوانه به حدی خراب می‌شوند که سایش سمبه موجب خرابی موتور می‌شود.

۳- روش اجرای آزمون

آزمون در آزمایشگاه موتور مرکز تحقیقات موتور ایران خودرو^۱ انجام شد. آزمون روی یک موتور دیزل نو انجام شد. خصوصیات آن در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱ خصوصیات موتور مورد آزمون

ردیف	مشخصات
۱	تولید کننده
۲	مدل موتور
۳	ظرفیت موتور
۴	تعداد سیلندر
۵	تعداد سوپاپ
۶	تعداد سوپاپ در هر سیلندر
۷	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۸	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۹	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۱۰	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۱۱	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۱۲	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۱۳	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۱۴	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۱۵	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۱۶	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۱۷	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۱۸	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۱۹	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۲۰	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۲۱	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۲۲	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۲۳	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۲۴	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۲۵	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۲۶	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۲۷	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۲۸	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۲۹	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ
۳۰	تعداد سوپاپ در هر سوپاپ

بر اساس توضیحات قبلی، ایجاد عیب سایش سمبه در شرایط آزمایشگاهی، فرایندی دشوار است. زیرا چنانچه موتور در شرایط سخت قرار نگیرد و قطعات آب بندی شده و سایش‌های آنها به حد عادی برسد، رساندن عمدی موتور به عیب سایش سمبه، در شرایط آزمایشگاهی بسیار دشوارتر خواهد شد. لذا آزمون بر اساس رویه آزمون پیشنهادی شرکت شرک^۲ [۲۰] به گونه‌ای طراحی شد که موتور نو، بدون اینکه آب‌بندی شود، در حداکثر شرایط کاری خود یعنی بیشترین بارگذاری و حداکثر سرعت دورانی، قرار داده شود. به همراه این شرایط دمایی سیال خنک کاری موتور نیز با تغییرات شدید همراه خواهد بود تا موتور و قطعات آن فرصت تطابق‌پذیری با یکدیگر را نداشته باشند. لذا لحظات اولیه شروع آزمون و اعمال شرایط بسیار مهم است. برای این منظور بلافاصله بعد از روشن شدن موتور، سرعت دورانی آن به کمک لگام ترمز

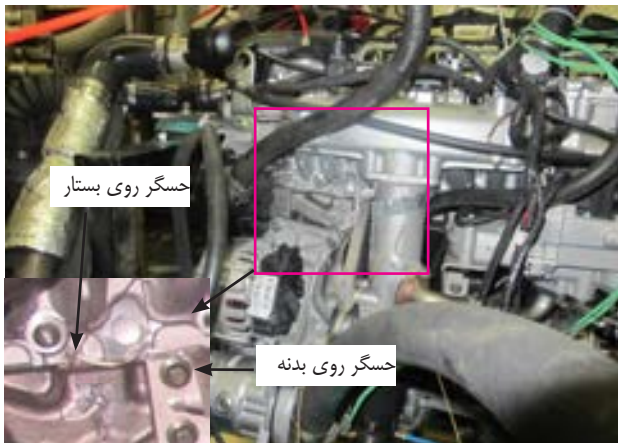
1- IPCO
2- SCHRICK

طبیعی دچار سایش سمبه شود. موتور مورد آزمون موتور دیزل سواری بود که در ادامه خصوصیات آن ذکر خواهد شد. در این آزمون علاوه بر اندازه‌گیری شار گازهای نشتی محفظه لنگ، از دو حسگر انتشار صدا (یکی روی بدنه و دیگری روی بستار) استفاده شد. هدف از این مطالعه، بررسی رفتار داده‌های انتشار صدا در هنگام کارکرد طبیعی و خراب شدن سمبه در اثر عیب سایش آن، بود. در این مطالعه، کارایی این روش برای شناسایی پدیده سایش سمبه نشان داده شد و متغیرهای انتشار صدا مهم وابسته به این عیب به دست آمد. علاوه بر این مقایسه بین محل قرارگیری حسگر روی بستار و بدنه نیز انجام شده است.

۲- چگونگی به وجود آمدن عیب سایش سمبه

سایش سمبه عیبی است که در اثر از بین رفتن لایه روغن بین سمبه و جداره استوانه به وجود می‌آید. این عیب می‌تواند منابع مختلفی برای شروع داشته باشد. از جمله آنها می‌توان به این موارد اشاره نمود [۱۷]:

- دمای پایدار کاری گرم و یا بسیار خنک
 - دمای گذرای کاری گرم و یا بسیار خنک
 - تغییرات شدید دمایی بخصوص در لحظه روشن شدن موتور
 - بارگذاری شدید به همراه تغییرات سریع دمای مایع خنک کاری موتور
 - تفاوت ذاتی بین مواد حلقه سمبه، سمبه و جداره استوانه
 - لقی‌های بسیار بسته و حساس در حین همبندی و ساخت
 - نیروهای پیچیده و زیاد بین سطوح تماس
 - بزرگ بودن گرانشی روغن در لحظه روشن شدن موتور و عدم تشکیل لایه روغن در این لحظه
 - سامانه روانکاری ناکارآمد
- در ادامه چگونگی خرابی سایش سمبه از آغاز آن و در مراحل مختلف نشان داده شده است:
- ابتدا حرارت زیادی (به سبب علت‌هایی که پیشتر ذکر شد) بین سطوح در تماس سمبه و جداره استوانه ایجاد می‌شود.
 - سپس در اثر از بین رفتن روانکار به صورت نقطه‌ای، اصطکاک میان سطوح افزایش می‌یابد.
 - همچنان در اثر افزایش اصطکاک، سطوح در تماس گرم‌تر می‌شوند.
 - با ادامه افزایش دما، روانکاری به طور کلی از بین می‌رود.
 - به سبب نبود روانکار، ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد.

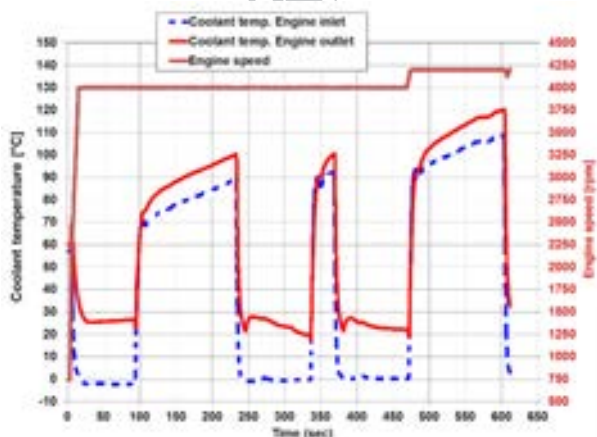


شکل ۱ نمای کلی آزمون و محل‌های قرارگیری دو حسگر

۵- بررسی نتایج

۵-۱- چرخه‌های خنک‌کاری و گرم کردن موتور

چون موتور نو است و قطعات سایش‌های اولیه را دارند، داده‌های انتشار صدا در زمان داده‌برداری بسیار پیچیده است. لذا تحلیل زمان و بسامد آن دستاوردی نخواهد داشت. لذا در این قسمت تحلیل شاخص‌های استخراجی از داده‌های زمانی نشان داده می‌شود که بخوبی پیوند داده‌های انتشار صدا و پدیده سایش سمبه را نشان می‌دهد. در شکل ۲ به طور همزمان سرعت دورانی موتور در طول آزمون به همراه تغییرات دمای سیال خنک‌کاری ورودی و خروجی موتور نشان داده شده است. همان گونه که در بخش روش آزمون توضیح داده شده، سرعت دورانی موتور بلافاصله بعد از روشن شدن به دور حداکثر توان موتور یعنی ۴۰۰۰ د.د.د. برده شده و سپس به دور ۴۲۰۰ د.د.د. برده می‌شود.



شکل ۲ دمای سیال خنک‌کننده بر حسب زمان آزمون

به دور حداکثر توان موتور یعنی ۴۰۰۰ د.د.د. برده می‌شود. بعد از سپری شدن مدت زمان مشخص، سرعت دورانی موتور به دور ۴۲۰۰ د.د.د. برده خواهد شد. در این آزمون دمای سیال خنک‌کاری موتور در ابتدای آزمون ۶۰ درجه است. رویه کلی آزمون:

■ در ۴۰۰۰ د.د.د. دمای سیال خنک‌کاری خروجی از موتور با نرخ ۰/۴ تا ۰/۶ سانتیگراد بر ثانیه گرم می‌شود و به دمای ۱۰۰ درجه می‌رسد، سپس با نرخ ۵ تا ۱۰ درجه سانتیگراد بر ثانیه سرد می‌شود و به دمای ۲۰ درجه می‌رسد.

■ در ۴۲۰۰ د.د.د. دمای سیال خنک‌کاری خروجی از موتور با نرخ ۰/۴ تا ۰/۶ سانتیگراد بر ثانیه گرم می‌شود و به دمای ۱۲۰ درجه می‌رسد، سپس با نرخ ۵ تا ۱۰ درجه سانتیگراد بر ثانیه سرد می‌شود و به دمای ۲۰ درجه می‌رسد.

■ این آزمون حدوداً ۳۰ تا ۴۰ دقیقه طول می‌کشد. گرم و سرد شدن سریع جداگانه استوانه، موتور را در شرایط سختی قرار می‌دهد که احتمال وقوع سایش سمبه در این شرایط زیاد است.

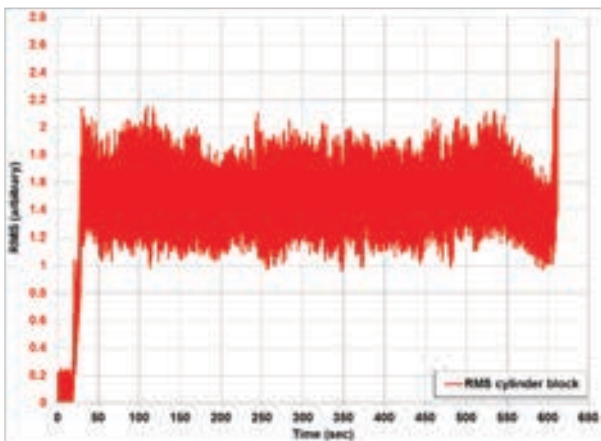
۴- تجهیزات آزمون

تجهیزات آزمون شامل:

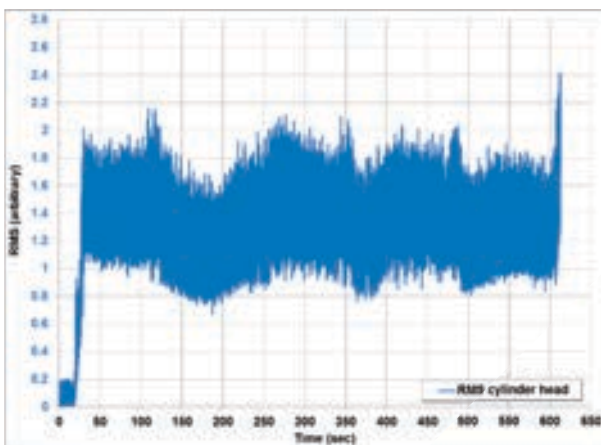
- لگام ترمز
- نرم افزار و سخت افزارهای خوانش و پایش موتور
- دستگاه اندازه‌گیری گازهای نشتی محفظه لنگ با محدوده عملکرد بین ۰ تا ۱۵۰ لیتر در دقیقه
- دو عدد حسگر انتشار صدا کوچک^۱ محدوده بسامد حسگرها بین ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱ مگاهرتز. تجهیزات سخت افزاری شامل برد داده‌برداری^۲ و پیش‌تقویت‌کننده^۳. نرخ داده برداری در این آزمون ۵ میلیون داده در ثانیه بوده است.

- سامانه گرمایش و سرمایش مجهز مخصوص آزمون
- ترموکوپل‌ها و تجهیزات پایش دمای سیال خنک‌کاری موتور
در شکل ۱ نمای کلی از تجهیزات و اتاق آزمون و محل نصب حسگرها نشان داده شده‌اند.

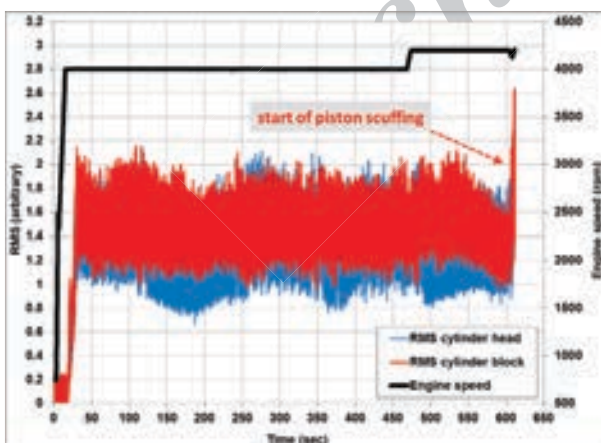
1- Miniature Sensors type: PAC PICO
2- PAC PCI2
3- PAC 2/4/6



شکل ۳ ررم داده حسگر روی بدنه بر حسب زمان



شکل ۴ ررم داده حسگر روی بستار بر حسب زمان



شکل ۵ ررم داده حسگرهای روی بدنه و بستار

همان گونه که در شکل (۲) مشخص است، در دو چرخه اول (سرعت دورانی ۴۰۰۰ د.د.د.) دمای سیال خنک‌کننده خروجی از موتور از حدود ۲۰ درجه سانتیگراد به ۱۰۰ درجه سانتیگراد رسیده است. در این آزمون زمان زیادی برای رسیدن به دمای ۱۰۰ درجه صرف نشده است لذا با توجه به لخت بودن دما و سامانه گرمایش و سرمایش، چرخه اول کمی کندتر از چرخه دوم بوده است. همچنین در هر دو چرخه مدت زمان سرد شدن بسیار کوتاه‌تر از مدت زمان گرم شدن بوده است.

همچنین مطابق شکل ۲، در چرخه سوم (سرعت دورانی ۴۲۰۰ د.د.د.) دمای سیال خنک‌کننده خروجی از موتور از حدود ۲۰ درجه سانتیگراد به ۱۲۰ درجه سانتیگراد رسیده است. چنانچه در شکل‌های بعد مشخص خواهد شد، پدیده سایش سمبه در انتهای چرخه سوم در زمان سرد شدن موتور اتفاق افتاده است. این عیب در سمبه شماره ۱، اتفاق افتاد که در شکل‌های بعد مشخص خواهند شد.

۵-۲- ریشه مجموع مربعات (ررم) داده‌های انتشار

صدا

ررم داده در واقع بنحوی معرف متوسط انرژی انتشار صدا است. مقدار آن برای یک علامت از معادله (۱) حساب می‌شود [۱۸].

$$AE_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v^2(t) dt}$$

که در آن $v(t)$ مقدار دامنه شکل موج انتشار صدا، t و T زمان‌های انتگرالگیری و AE_{rms} ررم داده انتشار صدا هستند.

از زمان آغاز آزمون تا لحظه خاموش شدن موتور به دلیل عبور نرخ گازهای نشتی محفظه لنگ از حد مجاز، ۶۱۱/۸ ثانیه طول کشید. در این حالت با توجه به حد آستانه تعریف شده (۱۰ دسی‌بل) برای داده انتشار صدا، تعداد ۶۱۱۸۲ ضربه ثبت شد. شکل‌های ۳ و ۴ و ۵ نمودارهای ررم داده‌های دریافتی از بستار و بدنه را نشان می‌دهد.

1- Root Mean Square
2- Hit

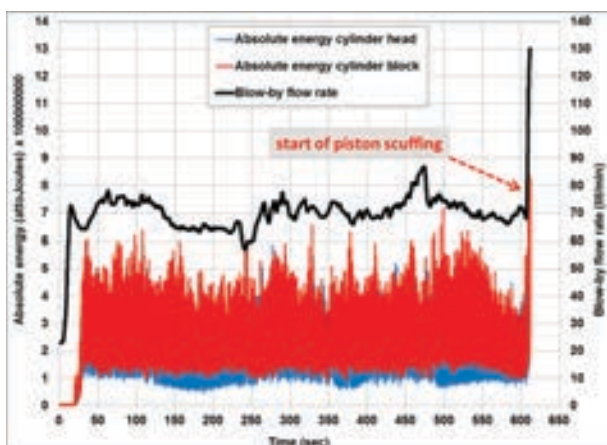
۳-۵- انرژی مطلق^۱

انرژی مطلق داده به مقدار انتگرال سطح زیر داده گفته می‌شود و از معادله (۳) قابل محاسبه است [۱۸].

$$E_{Abs} = \frac{1}{R} \int_0^T v^2(t) dt$$

که در آن E_{Abs} انرژی مطلق داده و مقاومت مدار (۱۰ کیلو اهم) هستند.

گازهای نشتی محفظه لنگ به گازهای حاصل از احتراق گفته می‌شود که از کنار حلقه سمبه و دیواره به زیر سمبه راه می‌یابند. در این آزمون نرخ عبور گازهای محفظه لنگ بر حسب لیتر بر دقیقه اندازه‌گیری شده است. در شکل ۶ و ۷، انرژی مطلق داده به همراه گازهای محفظه لنگ برای دو حسگر روی بستار و بدنه نشان داده شده است: مشخص است مانند ریم داده، انرژی داده نیز مطابق با پدیده‌های درون موتور تغییر کرده و در زمان سایش سمبه با نرخ فزاینده‌ای زیاد می‌شود.



شکل ۸ انرژی مطلق داده حسگر روی بدنه و بستار به همراه نرخ گازهای نشتی محفظه لنگ بر حسب زمان

۴-۵- سایش گرم روی سمبه استوانه اول

در نهایت پس از بازکردن موتور، مشخص شد سمبه استوانه اول از دو ناحیه فشاری^۲ و ضد فشاری^۳ دچار سایش گرم شدید شده است. شکل‌های ۹ وضعیت خرابی به وجود آمده در اثر سایش گرم روی سمبه استوانه اول را نشان می‌دهند.



Thrust side, cyl. 1

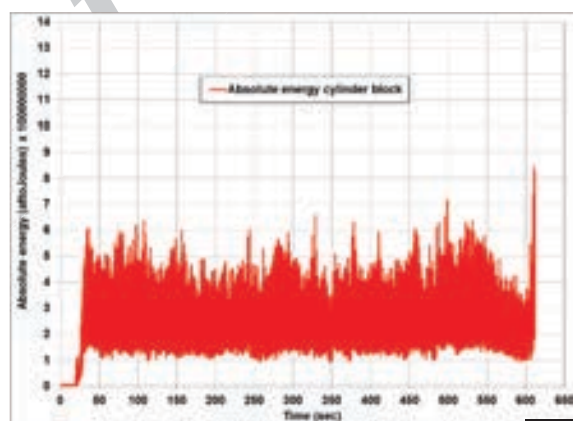
Anti-Thrust side, cyl. 1

شکل ۹ تصاویر سایش سمبه و دیواره استوانه اول در سمت فشاری و ضد فشاری

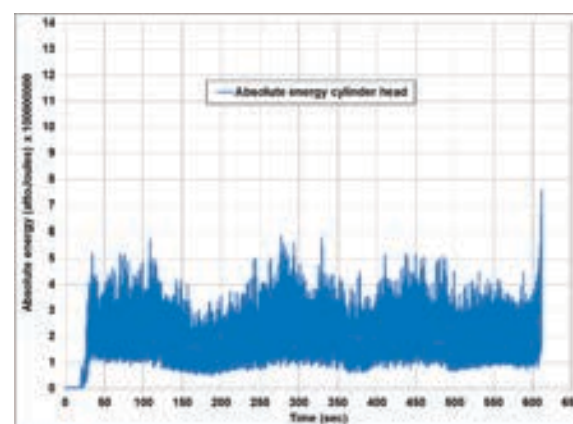
۶- تشخیص خرابی از داده‌های حسگرهای انتشار صدا

در این قسمت با توجه به نمودارهای ارائه شده، نتیجه‌گیری و جمع‌بندی مطالب ارائه می‌شوند:

- 2- Thrust
- 3- Anti-thrust



شکل ۶ انرژی مطلق داده حسگر روی بدنه بر حسب زمان



شکل ۷ انرژی مطلق داده حسگر روی بستار بر حسب زمان

- 1- Absolute energy

نرخ مشابهی داشته‌اند. لذا نمی‌توان از روی مقایسه داده‌های آنها بتهنهایی محل عیب را تشخیص داد. در این قسمت با بررسی داده‌های شار گازهای محفظه لنگ این احتمال قویتر می‌شود که عیب در بدنه اتفاق افتاده باشد. در انتها با باز نمودن موتور و بررسی وضعیت سنبه‌ها، احتمال داده شده به یقین تبدیل می‌شود.

۷- جمع بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله، نتایج اندازه‌گیری انتشار صدا روی یک موتور دیزل نشان داده شد. هدف از این آزمون بررسی متغیرهای انتشار صدا در زمان وقوع عیب سایش سنبه به طور طبیعی بود. نتایج نشان دادند که اولاً روش انتشار صدا می‌تواند بخوبی پدیده‌های داخل موتور را دنبال کند. ثانیاً روم و انرژی داده دو متغیر مهم اند که بخوبی در زمان وقوع پدیده سایش این مسأله را نشان می‌دهند و می‌توانند برای شناسایی سایش سنبه به کار روند که روم داده نتایج بهتری را بازگو کرد. وابستگی شدید داده‌های انتشار صدا به میزان سایش‌ها و عملکرد روانکار نیز تفسیر شد. نهایتاً مشخص شد برای تشخیص عیب سایش سنبه در حالت طبیعی کارکرد موتور، لازم است همزمان دو حسگر یکی روی بدنه و دیگری روی بستار وجود داشته باشد تا با مقایسه آنها و بررسی دیگر مسائل، احتمال وقوع عیب و محل آن با دقت بیشتری اعلام شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت تحقیق و طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو) اعلام می‌دارند.

با توجه به آب بند نبودن موتور، قطعات متحرک و دوار چه قطعات داخل بستار مثال میل بادامک، بادامک، دریچه و چه قطعات داخل بدنه مثل میل لنگ، یاتاقانها، حلقه‌های سنبه، محور سنبه همگی سایش دارند. در موتور آب بند نشده میزان روم داده‌ها نشان دهنده وجود سایش‌های اولیه است. حال با توجه به اینکه داده‌های دریافت شده از بدنه قویتر از داده‌های دریافتی از بستارند (مقایسه شکل‌های ۳-۴ و ۶-۷)، احتمالاً می‌توان نتیجه گرفت، در مراحل اولیه، میزان سایش روی قطعات داخل بدنه بیشتر از قطعات داخل بستار است. برای علت این احتمال می‌توان به بیشتر بودن نیروهای تماسی بین یاتاقانها و میل لنگ در بدنه در مقایسه با نیروهای تماسی بین یاتاقانها و میل بادامک در بستار اشاره کرد. همچنین تماس دائمی حلقه‌های فشاری و روغنی با بدنه باعث ایجاد تولید دائمی امواج انتشار صدا می‌شود.

علاوه بر این، چنانچه شکل ۲ که نشان‌دهنده دمای سیال خنک کاری است با شکل‌های ۳ و ۴ مقایسه شود، مشخص می‌گردد که در زمانهایی که دمای سیال خنک کاری در ۸۰-۹۰ درجه بوده است، میزان روم داده‌ها در هر دو حسگر روی بدنه و روی بستار تقریباً کاهش داشته‌اند. زیرا روغن موتور نیز در دمای کاری خود قرار داشته است و لذا عملکرد بهتری برای مقابله با سایش قطعات نشان می‌دهد. این امر به احتمال زیاد نشان‌دهنده وابستگی شدید داده‌ها به وضعیت سایش قطعات و عملکرد روانکاری سامانه است. این نتایج یعنی وابستگی میزان روم داده به میزان سایش‌ها و عملکرد روانکار در مراجع قبلی و در نمونه‌های آزمایشگاهی به اثبات رسیده است [۷ و ۱۹].

همچنین با توجه به داده‌های آخر شکل‌های ۳-۴ و افزایش ناگهانی و سریع داده‌ها، مشخص می‌شود عیبی اتفاق افتاده است که هر دو داده حسگرهای روی بستار و روی بدنه، به طور همزمان رشدی بسیار سریعی داشته‌اند. لذا توانایی تشخیص عیب به کمک حسگرهای انتشار صدا اثبات می‌شود. به طوریکه بخوبی افزایش مقدار روم داده در ثانیه‌های آخر داده‌برداری (از ثانیه ۶۰۰ به بعد) از سایر اتفاقات داخل موتور مجزا شده است و نشانه‌های انتشار امواج ناشی از عیب برای حسگرها قابل فهم و اندازه‌گیری بوده است.

تا این مرحله مشخص شد عیبی در موتور به وجود آمده است که هر دو داده دریافتی از حسگرهای روی بستار و بدنه افزایش ناگهانی و تقریباً همزمانی را داشته‌اند. اما سؤال اینجاست: این عیب داخل بستار اتفاق افتاده است یا داخل بدنه؟ در هر دو حالت (شکل‌های ۳-۴ یا ۶-۷) مقایسه (مقایسه روم‌ها یا مقایسه انرژی‌های مطلق) مشخص می‌شود که داده‌های حسگر روی بدنه و روی بستار از نظر نرخ افزایش تقریباً

References:

- [1] K. Mobley, *An Introduction to Predictive Maintenance*, ISBN: 0750675314, Verlag Elsevier, 2002
- [2] D.P. Lowe, W. Wu, A.C.C. Tan, R.J. Brown, Diesel engine problems, acoustic emission signals and simulated misfire faults, *Proceeding of Engineering Asset Management and Infrastructure Sustainability*, pp. 587-598, 2012
- [3] A.G. Beattie Acoustic emission, principles and Instrumentation, *Journal of Acoustic Emission*, Vol. 2, Nos. 1/2, pp. 95-128, 1983
- [4] J.A. Steel, R.L. Reuben, Recent developments in monitoring of engines using acoustic emission, invited paper in *Journal of Strain Analysis*, (Special Issue on Acoustic Emission), Vol. 40, No. 1, pp. 45-57, 2005
- [5] J.D. Gill, R.L. Reuben and J.A. Steel, A study of small HSDI diesel engine fuel injection equipment faults using acoustic emission, *Proceedings of the EWGAE 2000, 24th European Conference on Acoustic Emission Testing*, Paris, France, pp. 281-286, 2000
- [6] T.L. Fog, E.R. Brown, H.S. Hansen, I.B. Madsen, P. Sorensen, E.R. Hansen, J.A. Steel, R.L. Reuben, P.S. Pedersen, Exhaust valve leakage detection in large marine diesel engines, *11th International Conference on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management (COMADEM 98)*, Launceston, Tasmania, Australia, pp. 269-278, 1998
- [7] A. Noorul Haq, T. Tamizharasan, Ring wear monitoring in IC engines: an acoustic emission approach, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 31, pp. 1148-1155, 2006
- [8] R.M. Douglas, J.A. Steel, R.L. Reuben, T.L. Fog, On-line power estimation of large diesel engines using acoustic emission and instantaneous crankshaft angular velocity, *Journal of Engine Research*, Vol. 7, pp. 399-410, 2006
- [9] L. Tian Ran, T. Andy, C.C.M. Joseph, Condition monitoring and diagnosis of injector faults in a diesel engine using in-cylinder pressure and acoustic emission techniques, *14th Asia Pacific Vibration Conference (APVC 2011)*, The Hong Kong Polytechnic University, 5-8 December, pp. 454-463, 2011
- [10] A. Dyson, The failure of elasto-hydrodynamic lubrication of circumferentially ground discs, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 190, No. 1, pp. 52-76, 1976
- [11] P.K. Rohatgi, B.C. Pai, Effect of microstructure and mechanical properties on the seizure resistance of cast aluminum alloys, *Journal of Wear*, Vol. 28, pp. 353-367, 1974
- [12] H. Blok, Theoretical study of temperature rise at surface of actually contact under oiliness lubricating conditions, *Proceedings of the General Discussion on Lubrication and Lubricants in London*, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 2, pp. 222-235, 1937
- [13] A.S. Reddy, B.N.P. Bai, K.S.S. Murthy, S.K. Biswas, Wear and seizure of binary Al-Si alloys, *Journal of Wear*, Vol. 171, pp. 115-127, 1994
- [14] A.S. Reddy, B.N.P. Bai, K.S.S. Murthy, S.K. Biswas, Mechanism of seizure of binary Al-Si alloys dry sliding against steel, *Journal of Wear*, Vol. 181-183, pp. 658-667, 1995
- [15] M. Cocks, Interaction of sliding metal surfaces, *Journal of Applied Physics*, Vol. 33, No. 7, pp. 2152-2161, 2000
- [16] S.C. Lee, H.S. Cheng, Scuffing theory modeling and experimental correlations, *Journal of Tribology*, Vol. 113, pp. 327-334, 1991
- [17] C.U. Grosse, M. Ohtsu, *Acoustic emission testing*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-540-69895-1, 2008
- [18] Y. Wang, S.C. Tung, Scuffing and wear behavior of aluminum piston skirt coatings against aluminum cylinder bore, *Journal of Wear*, Vol. 225-229, pp. 1100-1108, 1999
- [19] M. D. Rogers, The mechanism of scuffing in diesel engines, *Journal of Wear*, Vol. 15, pp. 105-116, 1970
- [20] SCHRICK Test Procedure, Piston thermo cycle test Diesel, Document No. PREBTDEI-2009-70, 2009

Piston Scuffing Detection by Acoustic Emission Method

S.M. Jafari

PhD. Candidate, Irankhodro Powertrain Company (IPCO)
sm_jafari@ip-co.com

H. Mehdigholi

Assistant professor, Sharif University of Technology
library@sharif.ir

M. Behzad*

Professor, Sharif University of Technology
m_behzad@sharif.edu

*Corresponding Authors
Received: Feb. 20, 2012
Accepted in Revised Form: Feb. 11, 2013

Abstract

The piston scuffing is a major failure of an internal combustion engine. This failure occurs due to loss of the oil film between the piston and the cylinder liner. The piston scuffing investigation by the acoustic emission (AE) method is a new study. Because this failure occurs randomly, it is an online detection which is very difficult. The goal of this paper is to study the ability of the AE method to be applied to the piston scuff detection. In addition record of the AE signal behaviour, before and after the piston scuffing is another new purpose. To this order, in an experimental set-up, two AE sensors was installed on the cylinder head and the engine block of a diesel engine. We know that the blow-by is directly affected by the piston scuffing failure. Therefore, it was measured as a base parameter. The creation of intended piston scuff conditions is very difficult. Therefore, a special test was designed to make it artificially. Results show that the best AE parameter for the piston scuff detection is the AE root mean square and the AE energy. Based on the present method, we can find the location of the event in the cylinder head or in the engine block.

Keywords: *scuffing, acoustic emission, fault diagnosis, revolution speed, internal combustion engine*