



دانشکده فنی مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

عنوان

بررسی تاثیر پارامترهای محیطی روی تشخیص عیب یابی بلبرینگ ها در
حالت دینامیکی

استاد راهنما

دکتر احمد قنبری

استاد مشاور

دکتر تاج بخش نوید چاخارلو

پژوهشگر

محمد تقی اله یاری صادق آبادی

شهریور ماه ۱۳۸۷

سپاسگذاری

اکنون که با موفقیت تحصیلات عالی خود را در مقطع کارشناسی ارشد به پایان رسانیده ام بر خود لازم می دانم از همه کسانی که در مسیر زندگی تحصیلی و شغلی ام موجبات رشد فکری و اجتماعی مرا فراهم نمودند و اکنون بسیاری از آنها را به خاطر ندارم، تشکر نموده و مراتب ارادت و شاگردی خود را نسبت به افکار و شخصیت آنها ابراز دارم. در راه پر پیچ و خمی که طی نموده ام افرادی حضور داشته اند که انتخاب مسیر زندگی تحصیلی ام کاملاً تحت تاثیر افکار ایشان بوده است و از این بابت بر خود فرض می دانم از دکتر داوود یونسیان و مهندس میر حسینی نهایت تشکر را بنمایم. جناب آقای دکتر احمد قنبری استاد راهنمای محترم نیز در مسیر انجام این پژوهش زحمات فراوان را متحمل گردیدند که این پایان نامه حاصل امکانات و وقت پر بهایی بود که ایشان در اختیار من قرار دادند و از ایشان نیز نهایت سپاسگذاری را دارم.

<p>نام خانوادگی : اله یاری صادق آبادی</p>	<p>نام: محمدتقی</p>
<p>عنوان پایان نامه : بررسی تاثیر پارامترهای محیطی روی تشخیص عیب یابی بلبرینگ ها در حالت دینامیکی</p>	
<p>استاد راهنما : دکتر احمد قنبری استاد مشاور : دکتر تاج بخش نوید</p>	
<p>مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد رشته : مهندسی مکانیک گرایش : طراحی کاربردی دانشگاه : تبریز دانشکده : مهندسی مکانیک تاریخ فارغ التحصیلی: ۸۷/۶/۲۳ تعداد صفحه: ۱۰۱</p>	
<p>کلمات کلیدی : بلبرینگ، گشتاور اصطکاکی، عیب یابی، گشتاورسنج دینامیکی، ذرات آلاینده، گریس</p>	
<p>چکیده :</p> <p>در قرن حاضر شاهد روند رو به افزایش نیازمندی های صنایع پیشرفته و نوین برای تولید توانها و سرعتهای بالاتر و نیز افزایش دقت ابزار آلات و ماشین آلات وابسته هستیم. همه این نیازمندیها در نوع خود مستلزم طراحی و ساخت بلبرینگ های دقیقی هستند که هر یک باید در شرایط ویژه ای در ساختار ماشین های دوار بکار گرفته شوند. کاربرد بلبرینگ ها به مقیاسهای میکرو و نانو نیز نفوذ نموده و تکنولوژی و فن آوری های نوین نیز نیازمند بلبرینگ های بسیار حساس هستند. لیکن تنها تولید این بلبرینگ ها مهم نمی باشد بلکه نگهداری و مانیتور کردن وضعیت بلبرینگ بدلیل وابستگی دینامیک سیستم های دوار به آن، از اهمیت دو چندان برخوردار است. در این تحقیق سالم یا معیوب بودن بلبرینگ توسط یک دستگاه گشتاور سنج دینامیکی بررسی می شود. بدین منظور یک نوع بلبرینگ را به صورت کنترل شده معیوب نموده (عیب در نظر گرفته شده در این تحقیق وجود ذرات آلاینده خارجی در داخل بلبرینگ می باشد) و سعی شد تا با کمک دستگاه گشتاورسنج به تشخیص وجود عیب پرداخته و نوع عیب را نیز شناسائی نمائیم. اساس این روش بر پایه مقایسه گشتاور اصطکاکی تلف شده در دو بلبرینگ سالم و معیوب استوار است. در تست ها برخی تغییرات در سیگنال های بدست آمده از بلبرینگ معیوب نسبت به بلبرینگ سالم مشاهده گردید. با اندازه گیری این تغییرات و اعمال تکنیکهای آماری دو بازه معیار حاصل گردید، یکی برای بلبرینگ سالم و دیگری برای بلبرینگی که گریس آن توسط مقدار مشخصی از یک آلاینده معین آلوده گردیده است. هر نوع عیب ، بازه های معیار معین مربوط به خود را داراست. از این نکته برای تعیین نوع عیب استفاده می شود.</p>	

فهرست مطالب

صفحه

۱	..... مقدمه
۱- فصل اول: بررسی منابع	
۴	..... ۱-۱- پیشینه تحقیق
۲۶	..... ۲-۱- مدل ریاضی بلبرینگ ها
۲۶	..... ۱-۲-۱- بار گذاری در بلبرینگ ها
۲۷	..... ۱-۱-۲-۱- بارگذاری استاتیکی
۲۷	..... ۲-۱-۲-۱- بارگذاری دینامیکی
۳۰	..... ۲-۲-۱- معادلات سرعت در بلبرینگ ها
۳۲	..... ۱-۳-۲-۱- گشتاور اصطکاکی در بلبرینگ ها
۳۴	..... ۲-۳-۲-۱- منابع اصطکاک در بلبرینگ ها
۳۵	..... ۳-۱- روانکاری در بلبرینگ ها
۳۸	..... ۴-۱- انواع آلاینده های محیطی
۳۸	..... ۵-۱- ضرورت انجام این تحقیق
۲- فصل دوم : مواد و روشها	
۴۱	..... ۱-۲- گریس مورد استفاده
۴۱	..... ۲-۲- آلاینده مورد استفاده
۴۴	..... ۳-۲- مشخصات بلبرینگ مورد استفاده در این پروژه
۴۴	..... ۴-۲- تجهیزات تست
۴۴	..... ۱-۴-۲- معرفی دستگاه گشتاور سنج
۴۶	..... ۲-۴-۲- نحوه عملکرد دستگاه
۴۷	..... ۳-۴-۲- ضریب تبدیل
۴۷	..... ۴-۴-۲- کالیبره نمودن دستگاه
۴۹	..... ۵-۲- مراحل انجام کار
۴۹	..... ۶-۲- آزمایشات تجربی
۵۱	..... ۱-۶-۲- نتایج تست بلبرینگ سالم

۵۷	..... ۲-۶-۲- بحث بر روی نتایج بلبرینگ سالم
۵۸	..... ۳-۶-۲- نتایج تست بلبرینگ معیوب
۶۵	..... ۴-۶-۲- بحث بر روی نتایج بلبرینگ معیوب
۶۵	..... ۷-۲- استخراج پارامترهای موثر در عیب یابی
۷۳	..... ۸-۲- مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب

۳- فصل سوم : نتایج و بحث

۷۸	..... ۱-۳- نتیجه گیری
۷۹	..... ۲-۳- محدودیتهای موجود در این تحقیق و پیشنهادات
۸۰	..... مراجع
۸۳	..... ضمائم

فهرست جداول

صفحه

۷	جدول ۱-۱ اندازه و محل عیب در بلبرینگ ها
۱۴	جدول ۲-۱ شرایط بار ، سرعت و آلاینده ها در تست ها
۳۷	جدول ۳-۱ خواص گریسهای مختلف
۴۸	جدول ۱-۲ ارتباط بین ولتاژ و سرعت محور بلبرینگ
۶۷	جدول ۲-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب - پارامتر t_0 - ولتاژ ۱۵ ولت
۶۷	جدول ۳-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب - پارامتر t_0
۶۸	جدول ۴-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب- پارامتر t_s - ۱۲ ولت
۶۸	جدول ۵-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب- پارامتر t_s
۶۹	جدول ۶-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب- پارامتر V_{ave} - ۱۰ ولت
۶۹	جدول ۷-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب- پارامتر V_{ave}
۷۰	جدول ۸-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب- پارامتر V_{start} - ۱۲ ولت
۷۰	جدول ۹-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب- پارامتر V_{start}
۷۱	جدول ۱۰-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب- پارامتر $V_{H.P}$ - ۱۲ ولت
۷۱	جدول ۱۱-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب- پارامتر $V_{H.P}$
۷۲	جدول ۱۲-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب- پارامتر $V_{L.V}$ - ۱۲ ولت
۷۲	جدول ۱۳-۲ مقایسه نتایج بلبرینگ سالم و معیوب- پارامتر $V_{L.V}$

فهرست شکل ها

صفحه

فصل اول

- شکل ۱-۱ سیگنال AE در حوزه زمان بدست آمده از سه نوع گریس با مخلوط آلاینده های مختلف ۶
- شکل ۲-۱ نمونه هایی از شمارش پالس برای دو بلبرینگ 6206 با دو نوع گریس متفاوت بدون آلاینده ۷
- شکل ۳-۱ نتیجه آنالیز صوتی برای عیب با ابعاد مختلف ۸
- شکل ۴-۱ نتیجه آنالیز صوتی برای بلبرینگ سالم و معیوب با قطر داخلی متفاوت ۸
- شکل ۵-۱ نتیجه آنالیز صوتی برای بلبرینگ سالم و معیوب در بارهای مختلف ۹
- شکل ۶-۱ نتیجه آنالیز صوتی برای بلبرینگ سالم و معیوب در سرعت های مختلف ۹
- شکل ۷-۱ سرعت ارتعاشات بلبرینگ سالم در بار 15Kg ۱۰
- شکل ۸-۱ rms ارتعاشات به ازای ابعاد متفاوت برای عیب ۱۱
- شکل ۹-۱ مقدار rms در فرکانس ۸۴,۱۵ برای بلبرینگ سالم ۱۲
- شکل ۱۰-۱ مقدار rms برای فرکانس ۸۴,۱۵ برای عیب 1500 μm ۱۲
- شکل ۱۱-۱ مقایسه تکنیک های مختلف به ازای کوچکترین عیب ۱۳
- شکل ۱۲-۱ مقایسه تکنیک های مختلف به ازای بزرگترین عیب ۱۳
- شکل ۱۳-۱ نمایش میکروسکوپی آلاینده ها در سایزهای متفاوت ۱۴
- شکل ۱۴-۱ آنالیز ارتعاشات بلبرینگ سالم ۱۵
- شکل ۱۵-۱ آنالیز ارتعاشات برای تعیین اثر حجم آلاینده ها ۱۵
- شکل ۱۶-۱ آنالیز ارتعاشات برای تعیین اثر ابعاد ذرات آلاینده ها ۱۶
- شکل ۱۷-۱ مقایسه مقدار Ra برای حالت سالم و معیوب برای ساچمه و رینگ داخلی ۱۶
- شکل ۱۸-۱ نمایش سطوح ساچمه و رینگ سالم در مقیاس میکروسکوپی ۱۷
- شکل ۱۹-۱ تاثیر آلاینده ها بر روی اجزای مختلف بلبرینگ ۱۷
- شکل ۲۰-۱ آنالیز ارتعاشات برای ذرات 53 μm و در بار 15 Kg ۱۸
- شکل ۲۱-۱ آنالیز جریان استاتور برای ذرات 53 μm و در بار 15 Kg ۱۹
- شکل ۲۲-۱ سنجش صوتی برای ذرات 53 μm و در بار 15 Kg ۱۹
- شکل ۲۳-۱ مقدار شوک ماکسیمم برای ذرات 53 μm و در بار 15 Kg ۲۰
- شکل ۲۴-۱ آنالیز ارتعاشات برای 25% ذرات اکسید آهن با ابعاد مختلف و در بار 15 Kg ۲۰
- شکل ۲۵-۱ آنالیز جریان استاتور برای 25% ذرات اکسید آهن با ابعاد مختلف و در بار 15 Kg ۲۱
- شکل ۲۶-۱ سنجش صوتی برای 25% ذرات اکسید آهن با ابعاد مختلف و در بار 15 Kg ۲۱
- شکل ۲۷-۱ مقایسه تکنیک های مختلف عیب یابی به ازای کمترین مقدار آلاینده ۲۲

صفحه

۲۲	..... شکل ۲۸-۱ مقایسه تکنیکهای مختلف عیب یابی به ازای بیشترین مقدار آلاینده
۲۳	..... شکل ۲۹-۱ مقایسه تکنیکهای مختلف عیب یابی به ازای بیشترین ابعاد آلاینده
۲۴	..... شکل ۳۰-۱ مقایسه میزان سایش در قسمت‌های مختلف بلبرینگ
۲۴	..... شکل ۳۱-۱ مقدار سایش تئوری و عملی بلبرینگ در بارها و ابعاد مختلف آلاینده
۲۶	..... شکل ۳۲-۱ گریس سالم قبل از استفاده
۲۶	..... شکل ۳۳-۱ گریس در حین سرویس دهی
۲۶	..... شکل ۳۴-۱ گریسی که عمر مفید آن به پایان رسیده است
۲۷	..... شکل ۳۵-۱ نمایش راستای نیروهای وارد بر بلبرینگ در حالت استاتیکی
۲۸	..... شکل ۳۶-۱ دستگاه‌های مختصات لازم برای تحلیل دینامیکی بلبرینگ
۳۵	..... شکل ۳۷-۱ حلقه هیستریزس
۳۵	..... شکل ۳۸-۱ لغزش بین المانهای تماسی ناشی از تغییر شکل

فصل دوم

۴۲	..... شکل ۱-۲ میکروسکوپ استفاده شده
۴۳	..... شکل ۲-۲ عکس میکروسکوپی براده اول - 50x
۴۳	..... شکل ۳-۲ تصویر براده دوم - 50x
۴۳	..... شکل ۴-۲ تصویر براده سوم - 50x
۴۴	..... شکل ۵-۲ نمای کلی بلبرینگ ۶۲۰۲
۴۵	..... شکل ۶-۲ دستگاه گشتاورسنج دینامیکی
۵۰	..... شکل ۷-۲ راهنما
۵۰	..... شکل ۸-۲ راهنما
۵۲	..... شکل ۹-۲ نمودار مربوط به اولین تست بلبرینگ سالم در ولتاژ ۱۰ ولت
۵۲	..... شکل ۱۰-۲ بلبرینگ سالم - ۱۰ ولت - ثانیه اول
۵۳	..... شکل ۱۱-۲ بلبرینگ سالم - ۱۰ ولت - ثانیه اول تا دوم
۵۳	..... شکل ۱۲-۲ تست سیزدهم بلبرینگ سالم - ۱۰ ولت
۵۴	..... شکل ۱۳-۲ بلبرینگ سالم - ۱۰ ولت - ثانیه اول
۵۴	..... شکل ۱۴-۲ بلبرینگ سالم - ۱۰ ولت - ثانیه اول تا دوم
۵۵	..... شکل ۱۵-۲ بلبرینگ سالم - ۱۲ ولت
۵۵	..... شکل ۱۶-۲ - بلبرینگ سالم - ۱۲ ولت - ثانیه ۴ الی ۵
۵۶	..... شکل ۱۷-۲ - بلبرینگ سالم - ۱۳ ولت
۵۶	..... شکل ۱۸-۲ بلبرینگ سالم - ۱۵ ولت
۵۹	..... شکل ۱۹-۲ بلبرینگ معیوب - ۱۰ ولت

۵۹	..... شکل ۲۰-۲ بلبرینگ معیوب - ۱۰ ولت - ثانیه ۱ الی ۲
۶۰	..... شکل ۲۱-۲ بلبرینگ معیوب - ۱۰ ولت - ثانیه ۲ الی ۳
۶۰	..... شکل ۲۲-۲ بلبرینگ معیوب - ۱۲ ولت
۶۱	..... شکل ۲۳-۲ بلبرینگ معیوب - ۱۲ ولت - ثانیه ۱ الی ۲
۶۱	..... شکل ۲۴-۲ بلبرینگ معیوب - ۱۲ ولت - ثانیه ۲ الی ۳
۶۲	..... شکل ۲۵-۲ بلبرینگ معیوب - ۱۳ ولت
۶۲	..... شکل ۲۶-۲ بلبرینگ معیوب - ۱۳ ولت - ثانیه ۱ الی ۲
۶۳	..... شکل ۲۷-۲ بلبرینگ معیوب - ۱۵ ولت
۶۳	..... شکل ۲۸-۲ بلبرینگ معیوب - ۱۵ ولت - ثانیه ۲ الی ۳
۶۴	..... شکل ۲۹-۲ - بررسی دقت جوابها
۷۳	..... شکل ۳۰-۲ نمایش مقایسه ای t_0 برای بلبرینگ سالم و معیوب
۷۳	..... شکل ۳۱-۲ نمایش مقایسه ای t_s برای بلبرینگ سالم و معیوب
۷۴	..... شکل ۳۲-۲ نمایش مقایسه ای T_s برای بلبرینگ سالم و معیوب
۷۴	..... شکل ۳۳-۲ نمایش مقایسه ای T_{ave} برای بلبرینگ سالم و معیوب
۷۵	..... شکل ۳۴-۲ نمایش مقایسه ای $T_{L.V}$ برای بلبرینگ سالم و معیوب
۷۶	..... شکل ۳۵-۲ نمایش مقایسه ای $T_{H.P}$ برای بلبرینگ سالم و معیوب

فهرست اختصارات

Q	بار بلبرینگ در راستای خط تماس آن
Q_a	بار بلبرینگ در راستای محوری
Q_r	بار بلبرینگ در راستای شعاعی
α	زاویه تماس
β	زاویه بین محور x' و W
ρ	دانسیته ساچمه
r_R	شعاع ساچمه
m	جرم ساچمه
J	ممان اینرسی جرمی ساچمه
d_m	قطر متوسط بلبرینگ
ω_R	سرعت چرخشی ساچمه حول محور $U-O'$
ω_m و n_m	سرعت چرخشی ساچمه حول محور x بلبرینگ
F_c	نیروی گریز از مرکز
D	قطر ساچمه
ω_i و U_i	سرعت دورانی رینگ داخلی
ω_0 و U_0	سرعت دورانی رینگ خارجی
v_m	سرعت قفسه
n_R	سرعت چرخش ساچمه در راستای چرخش بلبرینگ

بلبرینگ ها به عنوان یکی از مهم ترین اجزاء ماشینها کاربردهای رو به گسترش فراوانی دارند. امروزه دامنه کاربرد آنها در مقیاسهای میکرو و نانو نیز نفوذ کرده و تحول عظیمی را در تکنولوژی قرن بیست و یکم سبب گردیده است. به همین دلیل تلاشهای فراوانی جهت بهینه کردن عملکرد آنها صورت پذیرفته است. اما پس از طراحی و ساخت بلبرینگها، مراقبت وضعیت و نگهداری آنها اهمیت می یابد. بسیاری از سیستم های شامل بلبرینگ ها، سیستمهای گران قیمتی هستند که سلامت آنها بستگی زیادی به عملکرد بلبرینگ ها دارد. لذا در چنین سیستمهایی مراقبت وضعیت بلبرینگ ها اهمیت دوچندان خواهد داشت.

علاوه بر تکنیکهای عیب یابی و مراقبت وضعیت بلبرینگ ها در هنگام سرویس دهی، روشهایی نیز برای تشخیص سالم و یا معیوب بودن آنها در زمانی که هنوز روی ماشین نصب نشده اند، وجود دارد. استفاده از گشتاورسنجی دینامیکی، روشی است که توسط آن می توان به تشخیص وجود عیب در بلبرینگ پرداخت. یکی از مزایای این روش، امکان استفاده آسان از آن پس از انجام تعمیرات بر روی ماشین می باشد. پس از اینکه ماشین برای تعمیرات دمونتاز می گردد، بلبرینگ ها توسط این دستگاه تست گردیده و چنانچه عملکرد آنها تایید گردد می توانند مورد استفاده مجدد قرار گیرند.

هرچند بلبرینگ های غلثشی با نام بلبرینگ های بدون اصطکاک نیز شناخته می شوند، با این حال مقدار اندکی توان اصطکاکی در آنها تلف می شود که به علت کوچک بودن آن، اندازه گیری آن نیز مشکل می باشد. در این پژوهش توسط اندازه گیری گشتاور اصطکاکی تلف شده در بلبرینگ، به تشخیص وجود یا عدم وجود نوع خاصی از عیب خواهیم پرداخت. عیب بررسی شده در این پژوهش وجود آلاینده های محیطی در گریس می باشد. این آلاینده ها به شکل براده های فولادی با ابعاد مشخص می باشند. نتیجه انجام این تحقیق این است که بتوانیم بلبرینگی را که عیب کنترل شده ای را در آن ایجاد کرده ایم را توسط دستگاه گشتاورسنج به عنوان بلبرینگ معیوب شناسائی کرده و نوع عیب را نیز تشخیص دهیم.

در بدست آوردن نتایج فقط از یک نوع آلاینده و فقط از یک حجم مشخص استفاده گردید. لذا برای انواع دیگر آلاینده و حجم های متفاوت، این نتایج باید مورد بازبینی قرار گیرد.

در فصل اول این پایان نامه منابع مطالعاتی موجود و مقالات مرتبط با تئوری های بلبرینگ و نیز تکنیک های عیب یابی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

در فصل دوم ، ابزارها و دستگاههای مورد استفاده و نیز روشهای بکار گرفته شده در تست ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در ادامه نتایج بدست آمده از تست ها آورده خواهد شد.

در فصل سوم جمع بندی نهائی و نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات صورت خواهد گرفت.

فصل اول

بیرسانی مناجیج

از نخستین روزی که بشر استفاده از چرخ را در مکانیزمهای مختلف آغاز کرد، در واقع استفاده از بلبرینگ ها نیز آغاز شده بود. در سالهای اخیر که مکانیزمها از سرعت و پیچیدگیهای بیشتری برخوردارند، استفاده از بلبرینگ های پیچیده تر نیز معمول گردیده است. نگهداری و تعمیرات این نوع بلبرینگ ها هزینه های زیادی دارد، لیکن این هزینه ها در مقابل هزینه های از هم گسیختگی سیستمها و شکست محور های دوار ناچیز می باشد. به همین دلیل امروزه بودجه های فراوانی صرف تحقیقات و ابداع روشهای نوین نگهداری و تعمیرات و مراقبت وضعیت بلبرینگ ها می شود و این روشها روز به روز رو به بهبود و کاملتر شدن می باشد. در این فصل با بیان پایه های تئوری برای بررسی حرکت بلبرینگ ها به سراغ روشهای نوین مراقبت وضعیت و نگهداری و تست بلبرینگ ها می رویم و در فصل دوم روش گشتاور سنجی را به عنوان روشی برای تست کردن بلبرینگ معرفی خواهیم نمود.

۱-۱- پیشینه تحقیق

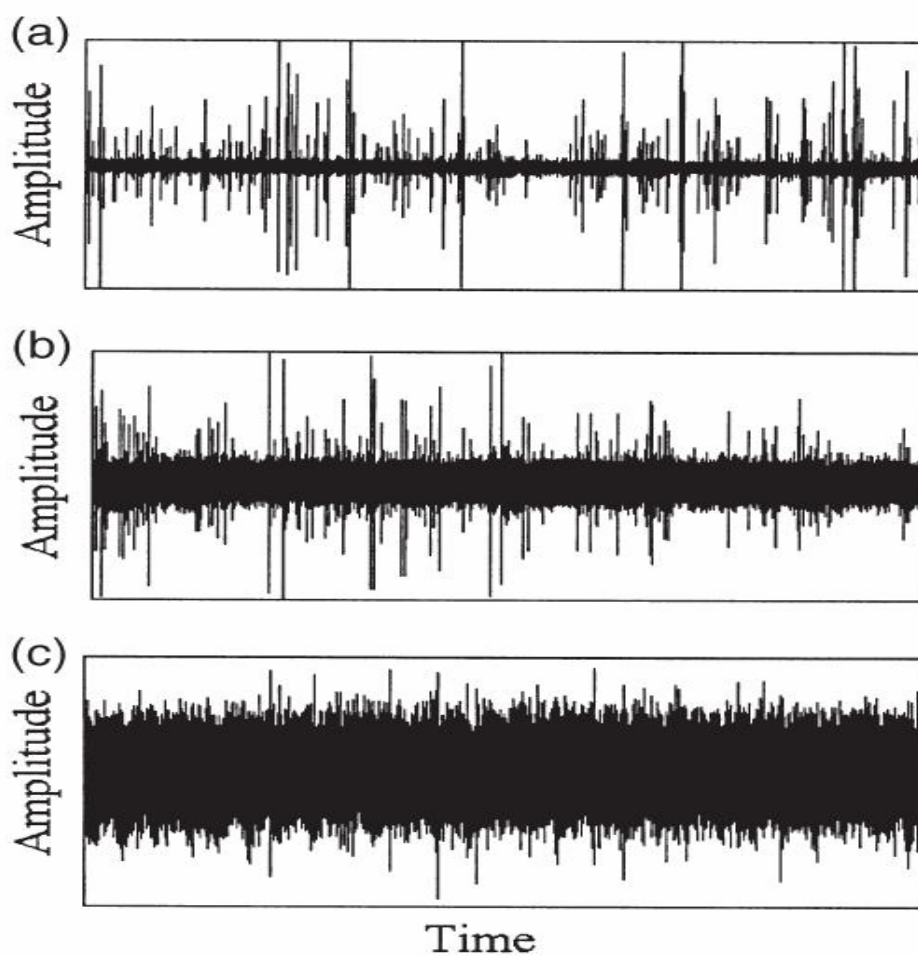
در این قسمت کارآیی روشهای عیب یابی مختلف مانند استفاده از آنالیز ارتعاشات، آنالیز صوتی و آنالیز جریان استاتور مورد بررسی قرار گرفته اند. از بین روشهای مختلف عیب یابی، آنهایی را که به عیب یابی روانکارها در بلبرینگ اختصاص دارد با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار خواهیم داد. در کل عیب یابی با روشهای متفاوت پردازش سیگنال انجام می گیرد. به همین دلیل تمام روشهایی که برای پردازش سیگنال های پیوسته و یا گسسته وجود دارند می توانند در موارد مجاز مورد استفاده قرار گیرند. این مساله روشهای عیب یابی را بسیار گسترده می کند و بررسی همه آنها را غیر ممکن می سازد. به همین دلیل فقط به ذکر چند روش مرسوم می پردازیم.

Andersson و Miettinen [۱] در پژوهشی تاثیر وجود آلاینده ها در گریس را بر روی امواج صوتی منتشره^۱ (AE) از بلبرینگ بررسی کردند. نتیجه این پژوهش این بود که وجود آلاینده ها بر روی امواج صوتی منتشره از بلبرینگ تاثیر بسیار واضح و روشنی دارد و لذا این روش یکی از بهترین روشها برای تشخیص آلاینده ها در بلبرینگ معرفی شده است. بلبرینگ مورد تست در این پژوهش بلبرینگ سری ۶۲۰۶ بود. بار اعمال شده یک بار استاتیکی و شعاعی خالص و برابر ۱۹۵۰ نیوتن بوده و تست ها در دو سرعت ۴۰۰ و ۸۰۰ دور در دقیقه انجام گردید. برای اطمینان از صحت نتیجه گیری ها از ۲۰ ترکیب مختلف گریس و آلاینده استفاده شد. از ترکیب گریس تمیز با آلاینده های مختلف مخلوطی ساخته شده و در بلبرینگ تزریق گردید. برای ترکیب گریس و آلاینده ها از دستگاه مخصوصی استفاده گردید. آلاینده های مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از ذرات سیلیکا، براده آهن، اکسید آهن و فولاد M2. در این روش نشان داده شد که استفاده از آلاینده هایی با وزنی برابر ۰,۰۲٪ وزن کل مخلوط گریس و روانکار، تاثیر بسیار آشکاری بر روی پالسهای بدست آمده از دستگاه اندازه گیری امواج منتشر شده می گذارد.

در بین آلاینده های هم جنسی که بکار رفتند، آلاینده هایی که سایز ذرات آن کوچکتر بودند سطح امواج صوتی بالاتری را ایجاد کردند.

اثر گریس زدایی و گریس زنی دوباره نیز در این پژوهش بررسی شد و نتیجه آن این بود که سطح امواج صوتی منتشره از بلبرینگی که دوباره گریس زنی شده است از بلبرینگی که اولین بار گریس زده شده است بالاتر بوده ولی نسبت به بلبرینگ حاوی گریس و آلاینده تقریباً نصف می باشد.

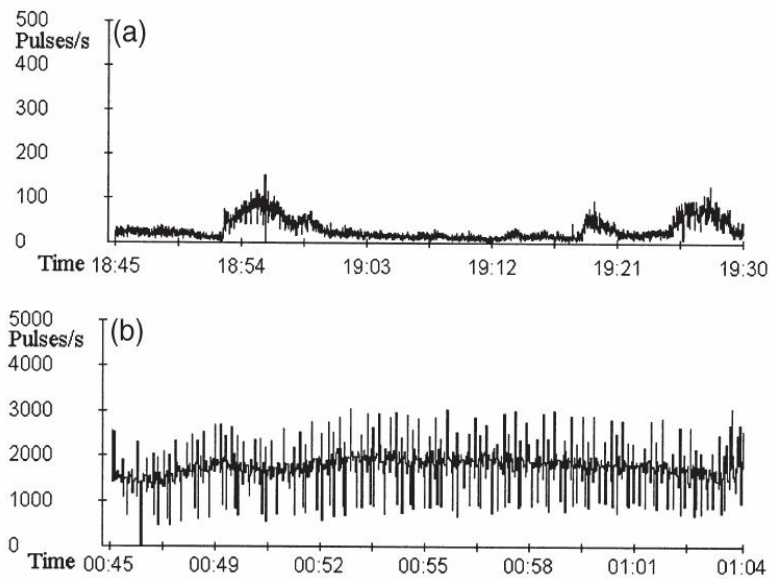
¹ Acoustic emission



شکل ۱-۱ سیگنال AE در حوزه زمان که از سه نوع گریس با درصد آلاینده های متفاوت بدست آمده است

(a) 0.02 w-% of quartz dust; (b) 0.2 w-% of quartz dust; (c) 2 w-% of quartz dust

در شکل‌های ۱-۱ و ۲-۱ نمودارهای بدست آمده برای آشکارسازی اثر امواج صوتی مشاهده می شوند. یکی از روش های تجزیه تحلیل داده های حاصل از اندازه گیری سطح امواج صوتی روش شمارش پالس ها می باشد که در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ نمونه هایی از شمارش پالس برای دو بلبرینگ ۶۲۰۶ با دو نوع

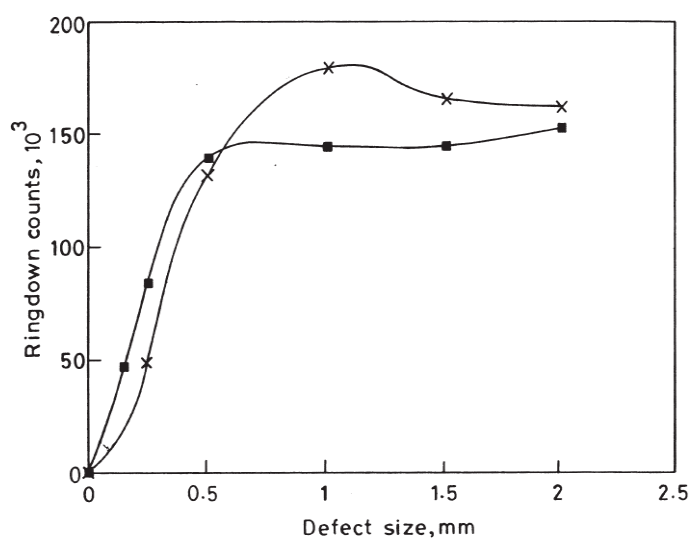
گریس متفاوت و بدون آلاینده

Tandon و Choudhury [۲] به بررسی روش سنجش امواج صوتی (AE) برای تشخیص عیوب موجود در بلبرینگ پرداختند. برای عیوب با اندازه کوچک در رینگ داخلی و ساچمه روش ringdown counts برای پردازش سیگنال AE استفاده گردید. در این روش تعداد مرتبه هایی که دامنه سیگنال از یک حد تعریف شده آستانه تجاوز می نماید شمارش می شوند. در این پژوهش مقدار آستانه 1v و در سایر اندازه گیری ها ثابت بوده است.

جدول ۱-۱ انواع بلبرینگ های بکار رفته همراه با نوع عیب و اندازه های آنها را نشان می دهد. شکلهای ۱-۳ تا ۱-۶ نتایج بدست آمده از آزمایشات را نشان می دهند..

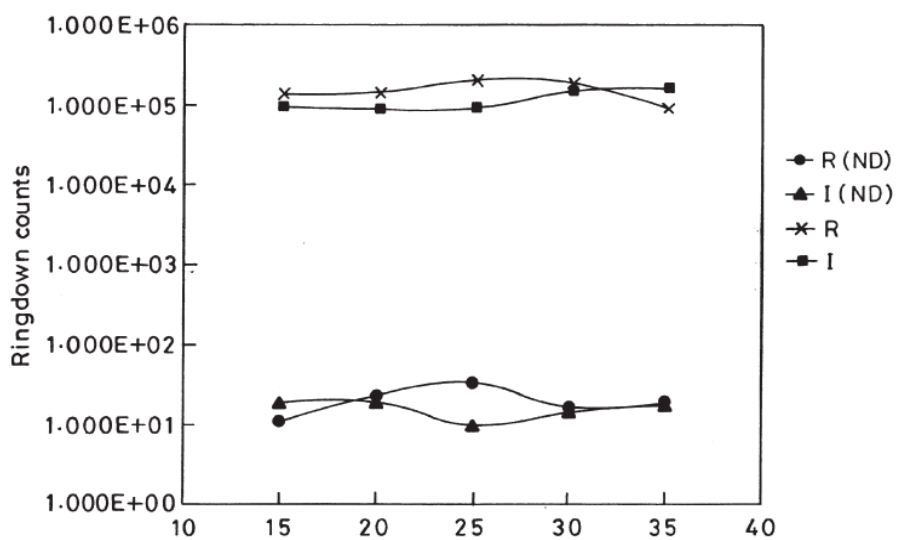
جدول ۱-۱ اندازه و محل عیب

Bearing size	Width of defect on	
	Inner race (mm)	Roller (mm)
NJ 202	0.0, 1.0	0.0, 1.0
NJ 204	0.0, 1.0	0.0, 1.0
NJ 205	0.0, 1.0	0.0, 1.0
NJ 206	0.0, 0.15, 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0	0.0, 0.15, 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0
NJ 207	0.0, 1.0	0.0, 1.0



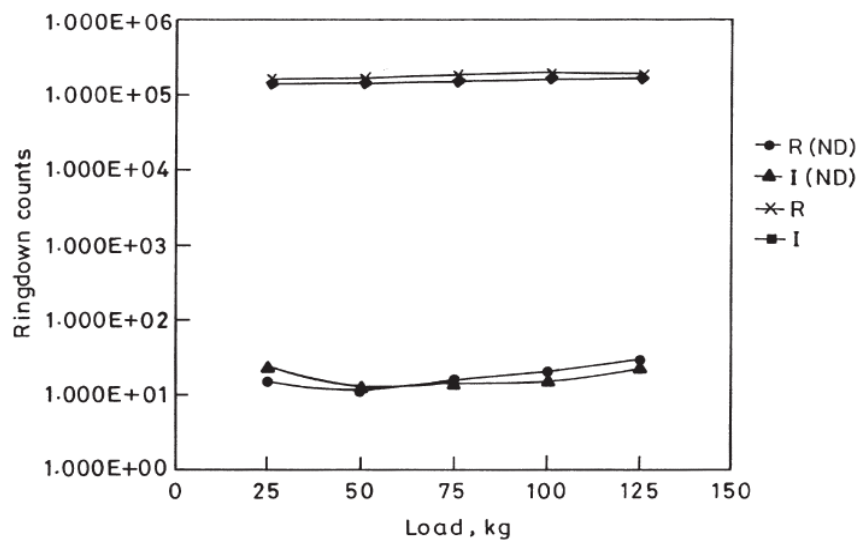
شکل ۳-۱ نتیجه آنالیز صوتی برای عیب با ابعاد مختلف در بار ۷۵ کیلوگرم و سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه

■ رینگ داخلی، x ساچمه

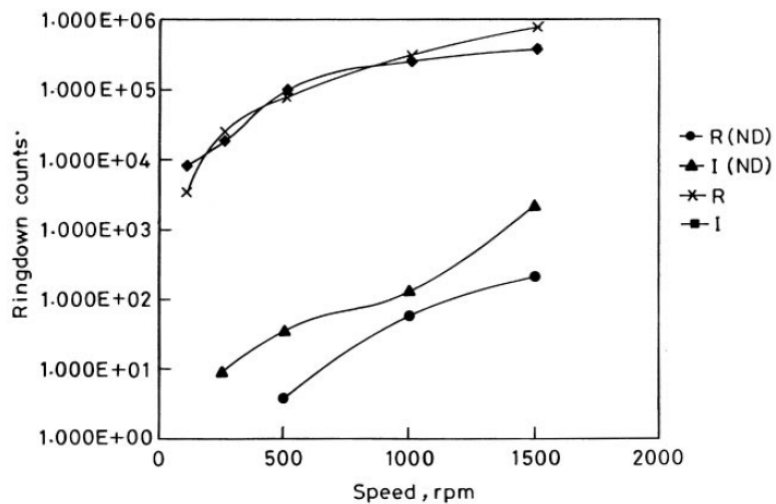


شکل ۴-۱ نتیجه آنالیز صوتی برای بلبرینگ سالم و معیوب (عرض 1mm) با قطر داخلی متفاوت

در بار ۷۵ کیلوگرم و سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه



شکل ۵-۱ نتیجه آنالیز صوتی برای بلبرینگ سالم و معیوب در بارهای مختلف در سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه

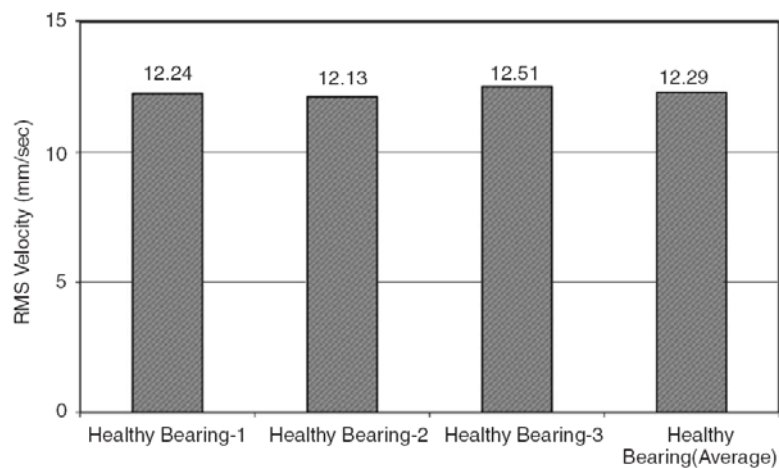


شکل ۶-۱ نتیجه آنالیز صوتی برای بلبرینگ سالم و معیوب در سرعت‌های مختلف در بار ۷۵ کیلوگرم و سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه

در این پژوهش نشان داده شد که هر چه ابعاد عیب ایجاد شده بزرگتر باشد مقدار پیک ها و نیز دامنه سیگنالها افزایش می یابد. همچنین نشان داده شد که AE برای آشکار کردن عیوب بزرگ در بلبرینگ ها ناتوان است.

Tandon و همکاران [۳] چهار روش مختلف را برای تشخیص عیب در رینگ خارجی بلبرینگ ها بکار بردند. در این پژوهش روش صوت سنجی به عنوان بهترین روش شناخته شد. روش اندازه گیری شوک پالس و جریان استاتور و ارتعاشات نیز بررسی شدند. در این پژوهش یک سوراخ دایره ای با عمق ثابت $2500 \mu\text{m}$ و قطر متغیر $250 \mu\text{m}$ تا $1500 \mu\text{m}$ با افزایش $250 \mu\text{m}$ در رینگ خارجی ایجاد شده و در هر مورد تستها صورت پذیرفت. تست ها در بارهای مختلف صورت گرفت.

شکل ۷-۱ نتایج آنالیز ارتعاشات بلبرینگ های سالم در بار 15Kg را نشان می دهد.



شکل ۷-۱ سرعت ارتعاشات بلبرینگ سالم در بار 15Kg