تحلیل فرسایش گیربکس به کمک آنالیز روغن

محمدرضا اشراقی[۱]، شادی سمیعی فر[۲]، علی مقداری[۳]

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی مکانیک

E-mail: eshraghi@mehr.sharif.edu

چکیده

بـا پیچـیده شـدن ماشـین‌آلات صـنعتی تدوین روش‌های جدید عیب‌یابی سیستم‌های صنعتی ضرورت بیشتری پیدا مـی‌کـند. یکـی از روش‌هـای مرسـوم عیب‌یابی , استفاده از آنالیز روغن در مورد سطوح روغنکاری شده می‌باشد. در همیـن راستا جهت عیب‌یابی جعبه‌دنده پیکان، در فواصل زمانی معین از روغن جعبه‌دنده نمونه‌برداری شده و سپس آنالـیز نمونـه‌ها به منظور آشکارسازی عناصر حاصل از فرسایش ، نسبت عناصر موجود، اندازه و تعداد ذرات همچنین هندسه ذرات تولید شده صورت پذیرفت.

واژه‌های کلیدی: **Tribology -Condition Monitoring -Ferrograghy** -جعبه‌دنده – آنالیز روغن

مقدمه

شناسایی و ردیابی مشکلات به وجود آمده در عملکرد یک محصول به منظور تشخیص سر منشا آن اعم از مشکلات طراحی و تولید در صنعت امروز اجتناب ناپذیر می‌باشد.از ای‌ن رو در سال‌های اخیر تدوین و انجام تست‌های مورد نیاز عیب‌یابی، جایگاه خود را در صنعت به خوبی پیدا کرده است. در مواردی که سطوح تماسی در محیط روغن قرار دارند یکی از بهترین روش‌ها استفاده از آنالیز روغن به منظور تشخیص نوع ذرات ، مقدار ذرات فرسایشی ، شکل هندسی و روند افزایشی آنها در روغن می‌باشد. در این مقاله در خصوص فروگرافی روغن بحث شده و نتایج تجربی آزمایش‌های انجام شده بر روی گیربکس پیکان بررسی می گردد.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانی‌ک

۲- کارشناس مهندسی مکانی‌ک

۳- استاد دانشکده مهندسی مکانی‌ک

تریبولوژی:

علمـی اسـت در رابطه با طراحی سطوح در تماس که نسـبت به هم دارای حرکت نسبی، اصطکاک، سایش و روغنکاری می باشند.

اسـتانداردهایی کـه در ایـن زمینه تدوی‌ن شده اند به شرح ذیل می باشند:

Title:Condition Monitoring and Diagnostics of Machines

ISO/DIS 14830-1:

Stage date: 2002-11-01

ISO/AWI 14830-2:

Stage date: 2001-08-15

ISO/CD 14830:

Stage date: 2001-10-06

در همین راستا به منظور عیب یابی گیربکس پیکان یک سری از آزمایش ها بر روی روغن گیربکس پیکان

صورت گرفته است که روش تست به شرح ذیل می-باشد.

روش تست

قوای محرکه یک دستگاه خودروی پیکان با استفاده از یک دستگاه گیربکس و یک دستگاه دیفرانسیل شبیه سازی شد. مجموعه مکانیزم زیر بار قرار گرفت و با ثابت نگه داشتن دور موتور روی ۳۰۰۰ دور در دقیقه گیربکس در شرایط دنده یک تا چهار معادل ۱۰,۰۰۰,۰۰۰ دور به ازای هر دنده گردانیده شده و به ازای هر ۲۰۰,۰۰۰ سیکل کارکرد حدود ۱۵ گرم روغن از دریچه تعویض روغن گیربکس نمونه‌برداری شده و جهت آزمایش به آزمایشگاه ارسال گردیده است.

فروگرافی

تکنیک فروگرافی در دهه ۱۹۷۰ برای جبران کاستی‌های روش آنالیز اسپکتروسکوپیک روغن توسعه یافت. این روش برای جداسازی ذرات موجود در روغن به منظور مشاهدات میکروسکوپی و آنالیزهای بعدی تدوین شده است.

در روش فروگرافی از یک میدان مغناطیسی قوی برای جداسازی ذرات فرسایشی موجود در روغن استفاده می‌شود. البته در مواردی از روش‌هایی مانند استفاده از نیروی گریز از مرکز نیز استفاده می‌گردد. دو نوع فروگراف ،متداول می‌باشد : فروگراف آنالیتیک و فروگراف مستقیم (Direct Ferrogragh)

فروگراف آنالیتیک

نمونه خشک‌شده روی یک اسلاید پخش می‌شود. در عمل اسلاید با یک شیب بسیار ملایم نسبت به خط افق قرار داده‌می‌شود تا سیال بتواند به کمک نیروی جاذبه جریان پیدا کند.

اسلاید بالای دو آهنربا که به کمک یک ورق آلومینیوم از هم جدا شده‌اند، قرار داده‌می‌شود. قطب های این دو آهن‌ربا در مجاورت اسلاید مخالف هم می‌باشد و یک میدان قوی مغناطیسی ایجاد می‌کنند. ذرات موجود که در اثر نیروی گرانش در حال حرکت به طرف پایین هستند در مسیر خود با میدان مغناطیسی مواجه می‌شوند و با توجه به سایز خود ته‌نشین می‌شوند.

همان‌طور که در شکل شماره ۱ نمایش داده شده در ابتدای مسیر ذرات آهنی درشت‌تر ته نشین می‌شوند. مقدار نیروی وارده به ذرات آهنی متناسب با سایز ذرات می‌باشد ولی مقاومت لزجتی سیال متناسب با سطح ذره است.بنابراین در مورد ذره کره‌ای شکل نیروی مغناطیسی با توان سوم قطر و مقاومت با توان دوم قطر متناسب است.بنابراین اندازه ذرات آهنی ته‌نشین شده از ابتدا تا انتهای مسیر به تدریج کاهش می‌یابد.

در مورد ذرات غیرآهنی مانند برنج و آلومنیوم که نیروی مغناطیسی ضعیفی به آنها اعمال می‌شود ذرات درشت این مواد در همه قسمت‌ها می‌تواند مشاهده شود و شامل ترتیب خاصی نمی‌شود.

پس از این مرحله نمونه به کمک شوینده‌های خاصی شستشو داده میشود تا روغن و آب موجود جدا شود. پس از تبخیر ماده شستشو دهنده ذرات به طور ثابت بر روی سطح باقی می‌مانند.

مرحله بعد مشاهدات میکروسکوپی می‌باشد. به طور کلی ذرات حاصل از فرسایش به پنج دسته تقسیم میشوند:

۱. **Normal Rubbing Wear**:

این ذرات در اثر سایش لغزشی و یا پوسته پوسته شدن سطوح چند لایه‌ای ایجاد می‌شود.این ذرات معمولا مسطح شکل می‌باشندو ابعاد آنها μ 5 و یا کمتر می‌باشد(اگرچه ذرات تا μ 15 نیز گاهی مشاهده می‌شود.)این ذرات معمولا بافت قابل تشخیصی ندارند و ضخامت آنها باید 1μ ویا کمتر باشد. (شکل ۲)

۲. **Cutting Wear Particles**:

این ذرات در اثر خراشیده شدن سطوح به وجود می‌آید. دو مکانیزم در این سایش وجود دارد:

الف) در اثر misalignment و یا بوجود آمدن شکست در قسمتی از سیستم که در نتیجه باعث ایجاد گوشه‌های تیز می‌شود که قادر به خراش دادن سطوح نرم‌تر هستند. ذرات حاصل از این فرسایش

معمولا بزرگ و زبر می‌باشند و عرض μ 2 تا μ 5 و طول μ 25 تا μ 100 دارند.

ب) ذرات ساینده موجود در سیستم روغن‌کاری مانند شن و یا آثار فرسایش در نقاط مختلف ، می‌توانند در سطوح نرم بنشینند و باعث خراشیدن سطوح در تماس با آن شوند. ابعاد ذرات تولیدی در این مکانیزم متناسب هستند با ابعاد ذرات ساینده موجود در روغن. در این مکانیزم ذرات سیمی شکل با ضخامت‌هایی حتی به کوچکی μ 0.25 ایجاد شود.البته غالب این ذرات در حدود چند میکرون طول و ضخامتی به اندازه کسری از میکرون دارند. (شکل ۳)

۳ . Spherical Particles:

این ذرات ممکن است در اثر ترک‌های به وجود آمده در اثر خستگی به وجود آمده در یاتاقان‌ها به وجود آیند و یا در محل حفره‌های موجود در سطوحی که بر اثر خوردگی و یا پروسه‌های جوشکاری و سنگزنی حاصل شده‌اند، تولید گردند. ذرات تولیدی در اثر خستگی یاتاقان‌ها قطری بیش از μ 5 دارند و ذرات حاصل از حفره‌های سنگزنی و جوشکاری و یا خوردگی، قطری بیش از μ 10 دارند. (شکل۴)

۴ . Severe Sliding:

این ذرات با شیارهای موازی موجود بر روی سطح‌شان قابل تشخیص هستند. اندازه‌ای در حدود μ 15 دارند و نسبت طول به ضخامت آنها بین 5 تا 30 می باشد. (شکل ۵)

۵ . Bearing wear Particles:

ذراتی هستند که با خستگی یاتاقان‌های غلتشی در ارتباط می‌باشند و شامل دو دسته می‌شوند:

الف) Fatigue Spall Particles: ذراتی هستند که در هنگام توسعه یک ترک و یاحفره از روی سطح کنده می‌شوند. ابعاد این ذرات تا μ 100 هم می‌تواند برسد. این ذرات معمولا به صورت تخت و با نسبت طول به ضخامت 10 به 1 می‌باشند. این ذرات دارای سطحی صاف ولی شکلی نامنظم و اتفاقی می‌باشند.

ب) ذرات پوسته‌ای بسیار نازک که سطح آنها سوراخ سوراخ می‌باشد. طول آنها بین μ 20 تا μ 50 و نسبت طول به ضخامت آنها 30 به 1 می‌باشد. این ذرات در طول عمر یاتاقان به تدریج ایجاد می‌شوند ولی در صورت وجود ذرات تراش مقدار تولید ذرات لایه‌ای افزایش می‌یابد. هنگامیکه علاوه بر ذرات لایه‌ای ذرات کروی هم مشاهده شوند،حکایت از به وجود آمدن میکروترک‌های حاصل از خستگی دارد.

فروگرافی مستقیم (DR):

مشابه روش فروگرافی آنالیتیکی به کمک ایجاد میدان مغناطیسی ذرات ریز و درشت در دو محدوده مختلف متمرکز می‌شوند .در این روش با استفاده از فیبر نوری نور به دو قسمت تقسیم می شود. نور تابیده شده در هنگام برخورد به ذرات یا جذب می‌شود و یا بازتابش پیدا می کند و در صورت عدم برخورد به ذرات به مسیر خود ادامه می‌دهد و از طرف دیگر نمونه به طرف بیرون حرکت می‌کند. با توجه به نسبت نور فرستاده شده و نور دریافت شده در آنسوی نمونه به تراکم ذرات می‌توان پی برد.

میدان‌های مغناطیسی به گونه‌ای قرار گرفته‌اند که ذرات بزرگتر از μ 5 (دستگاه عدد Direct Larg و یا DL را نمایش می‌دهد) در یک سو و ذرات کوچکتر از μ5 (دستگاه عدد Direct Small و یا DS را نمایش می‌دهد) در سوی دیگر جمع شوند.

با توجه به مقادیر DL و DS می‌توان پارامترهای DL+DS وDL-DS را به دست آورد.

- DL و یا (DL+DS) دلالت بر مقدار ذرات موجود آهنی دارد.
- (DL-DS) دلالت بر توزیع سایز ذرات دارد.
- (DL-DS)/(DL+DS) درصد بزرگی ذرات را نمایش می‌دهد.

نتایج آزمایش:

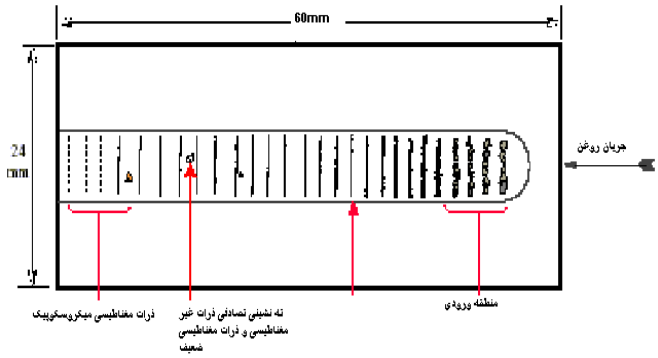
پارامترهای PQ (Particle Quantifier) عناصر موجود و مقدار آنها بر حسب (Part per million)

ppm برای همه دنده ها و IS وDL و DS برای دنده ۴ مشخص شده است.

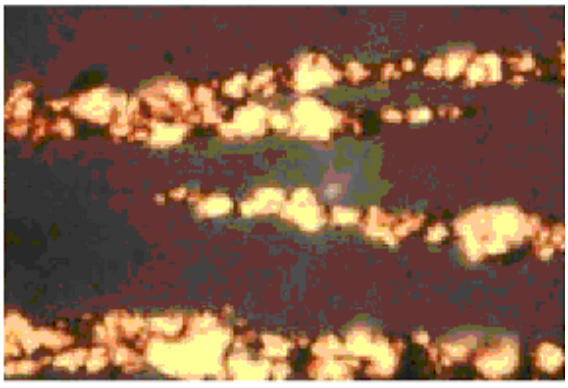
بررسی مقادیر حاصل از فروگرافی مستقیم :

نتایج حاصل به صورت نمودارهایی در شکل های ۶ و ۷ نمایش دادهشدهاند.

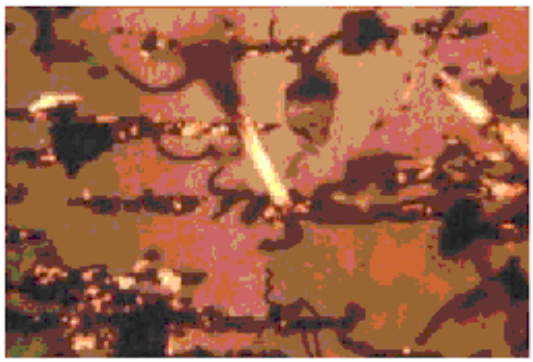
- DS اشاره به ذرات با اندازه کوچک دارد، و به آرامی روندی رو به کاهش دارد.
- DL در ابتدا کاهش شدیدی دارد و بعد روندی رو به افزایش دارد، با این حال مقادیر آخر DL از مقادیر اولیه آن کمتر میباشد.
- IS که اشاره به روند فرسایش دارد در ۱۰ ساعت اول آزمایش شدیداً روندی کاهشی دارد و در ساعات ۱۰ تا۴۰ به آرامی کاهش مییابد و بعد از ساعت ۴۰ مقدار IS دچار نوسان میشود.



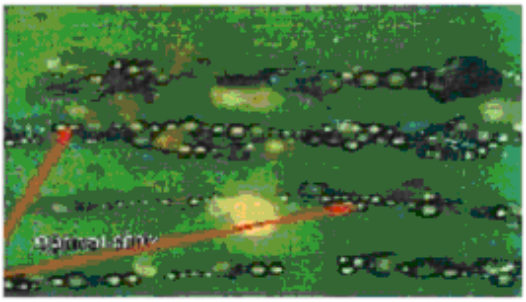
شکل ۱- شماتیکفروگرافی مستقیم



شکل ۳-**Normal Cutting Wear**



شکل ۲- نمونه ذرات **Rubbing Wear**



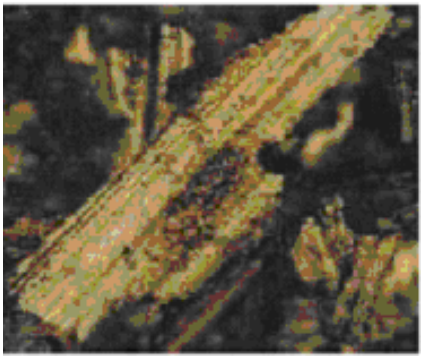
مراجع:

1)B.Griffiths, Raj Rao “Condition Monitoring and Diagnostioc Management” Kluwer Engineering Academic Publishers , 1990

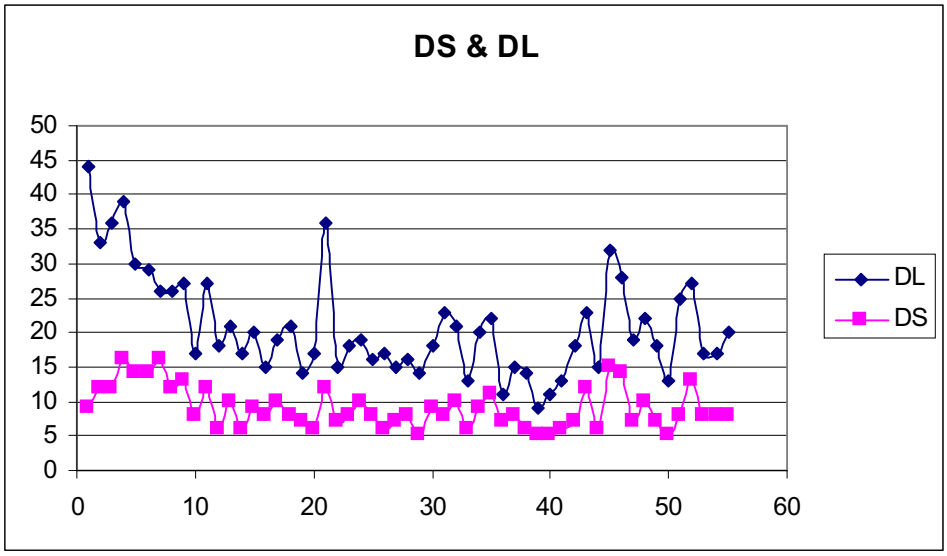
2) M.Lukas , D.P. Anderson “Analytical Tools to Detect and Quantify Lasere Wear Particles in Used Lubricating Oil” Littleton 1997

3) Alan Davies “Handbook of Condition Monitoring” Kluwer Academic Publishers 1997

شکل ۴- **Spherical Particles**



شکل ۵-**Severe Sliding Wear**



شکل۶- نمودار مقادیر **DS** و**DL** برحسب زمان(ساعت) در آزمایش دنده۴ [نتایج آزمایش تجربی]