بنام خداوند بخشنده و مهربان

بررسی انواع یاتاقان (Tilting Pad Journal)

و

خرابی یاتاقانهای غلتشی

بررسی انواع یاتاقان

فهرست	صفحه
مقدمه	۳
استحکام صفحه نگهدارنده (Pivot pad)	۵
افزایش و رشد اختلاف قطری و حرارتی	۹
خرابی یاتاقان‌های غلتشی	۱۲
علل خرابی یاتاقانها	۱۳

بررسی انواع یاتاقان

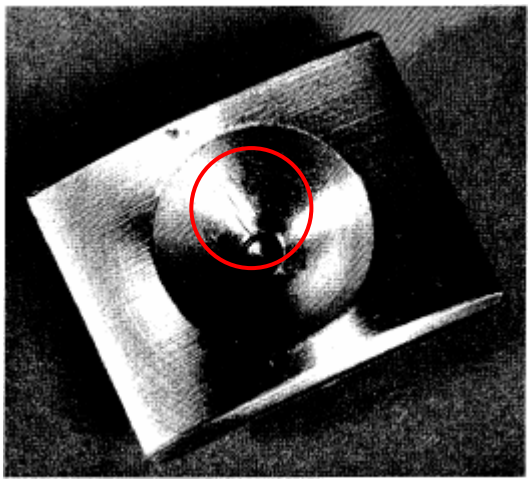
مقدمه:

یکی از عیبهای یاتاقانهای Tilting Pad Journal این است که فیلم روغن و نگهدارنده انعطاف پذیری زیادی را نسبت به هم نشان می‌دهند. صفحه متحرک (Tilting pad) به تنهایی انعطافهای خاص به خود را دارد و صفحه پاشنه‌ای و نگهدارنده (Pivot pad) نیز متحرک و انعطاف‌پذیر است. این انعطاف‌پذیری‌ها کارایی ظاهر یاتاقان را کاهش داده و همچنین باعث کاهش میرایی یاتاقان در برابر کمینه سرعت بحرانی روتور شده و ارتعاش شافت را متعاقبا افزایش می‌دهد.

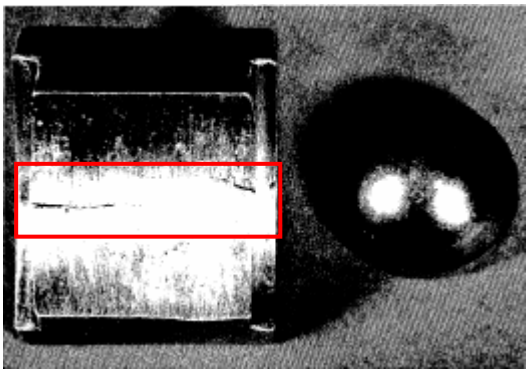
برای همین منظور تا جایی که امکان دارد صفحه نگهدارنده (Pivot pad) باید محکم باشد. علاوه بر این، با افزایش استحکام صفحه نگهدارنده (Pivot pad)، استرسها و سایشهای مربوط به زمان عملکرد دستگاه نیز کاهش می‌یابد.

کاهش استرس و سایش در صفحه نگهدارنده (Pivot pad) و جلوگیری از شکست آن از جمله دغدغه‌های طراحی برای طراحان یاتاقان با صفحه متحرک (Tilting pad) بوده است که رنج وسیعی از بار می‌بایست توسط این نوع یاتاقانها تحمل گردد چیزی بالاتر از ۳۰۰، ٤۰۰ و ۵۰۰ Psi. مشکل زمانی تشدید می‌شود که یاتاقان Tilting Pad Journal باید خود تنظیم باشد و آمادگی تنظیم هر گونه زاویه‌ای را بین صفحه و شافت بر اثر غیر هم محور بودن را داشته باشد. این نوع یاتاقانها برای جعبه دنده‌هایی با کارایی بالا و جعبه دنده‌هایی که بار زیادی را از سمت کمپرسور متحمل می‌شوند استفاده می‌گردند.

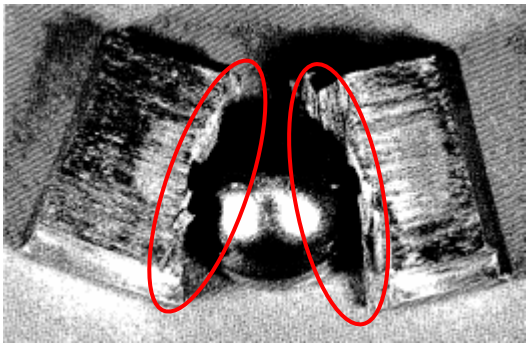
استفاده از معادلات ساده برای استرس صفحه نگهدارنده (Pivot pad) و روشی برای محاسبه اندازه مناسب صفحه نگهدارنده (Pivot pad) برای جلوگیری از شکست آن تحت نیروی زیاد، صفحه نگهدارنده (Pivot pad) را به سمت کروی شکل شدن در طراحی هدایت می‌کند. یک نوع شکست و خستگی را در شکلهای ۱، ۲ و ۳ برای صفحه نگهدارنده (Pivot pad) کروی نشان داده شده است. در شکل ۱ خستگی ناشی از استرس که باعث ترک خوردگی در صفحه برنجی قسمت نشیمنگاه صفحه نگهدارنده (Pivot pad) شده است را نشان می‌دهد، شکل ۲ صفحه را که در قسمت مرکزی ترک خورده است را نشان می‌دهد و در شکل ۳ صفحه از وسط نصف شده است. چنین شکست حاصل از خستگی در ماشینهایی که بطور جدی در ارتعاش خیلی زیاد حاصل از نیروهای غیر بالانسی کار می‌کنند صورت می‌گیرد. ارتعاش بالا با ایجاد یک نیروی دینامیکی زیاد بین صفحه متحرک (Tilting pad) و صفحه نگهدارنده (Pivot pad) باعث ترک خوردگی و در نهایت باعث شکستن صفحات می‌گردد.



شکل (۱) ـ خستگی بصورت ترک در نشیمنگاه یا محفظه(Housing)



شکل (۲) ـ خستگی بصورت ترک در صفحه متحرک (Tilting pad)



شکل (۳) ـ خستگی بصورت شکست در صفحه متحرک (Tilting pad)

استحکام صفحه نگهدارنده (Pivot pad)

صفحه نگهدارنده (Pivot pad) کروی

صفحه نگهدارنده (Pivot pad) خود تنظیم در شکلهای ٤ و ٥ نشان داده شده است. در این نوع صفحه نگهدارنده (Pivot pad) فولادی کروی در نشیمنگاه برنزی کروی شکل که در صفحه متحرک (Tilting pad) ماشینکاری شده است قرار دارد. پارامترهای زیر چنین تعریف می‌گردد:

W_p= pivot load, (بار صفحه نگهدارنده) [lbs]

D_p= pivot diameter, (قطر صفحه گهدارنده) [in]

D_h= housing or spherical seat diameter, (قطر نشیمنگاه کروی) [in]

K_p به عنوان استحکام صفحه نگهدارنده (Pivot Stiffness) چنین معرفی می‌گردد:

$$K_P = \frac{\partial W_P}{\partial \delta_P} \quad \text{[lbs/in]} \qquad (١)$$

تغییر شکل خمشی، δ_P، و استحکام صفحه نگهدارنده (Pivot Stiffness) با فرمولهای زیر نشان داده می‌شوند:

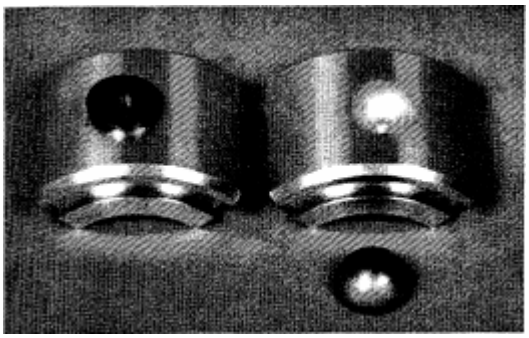
$$\delta_P = (1.040)\left[\frac{W_P^2 C_2^2}{C_1}\right]^{1/3} \quad \text{[in]} \qquad (٢)$$

$$K_P = (1.442)\left[\frac{W_P C_1}{C_2^2}\right]^{1/3} \quad \text{[in]} \qquad (٣)$$

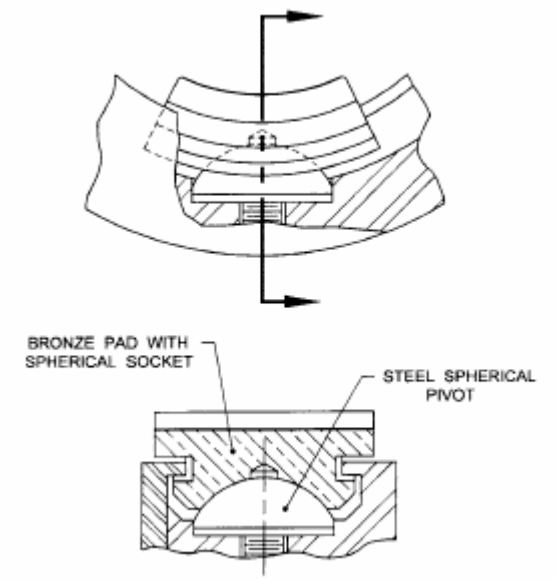
که ثوابت C_1 و C_2 برابر است با:

$$C_1 = \frac{D_h D_P}{D_h - D_P} \qquad (٤)$$

$$C_2 = \left(\frac{1-\nu_P^2}{E_p}\right) + \left(\frac{1-\nu_h^2}{E_h}\right) \qquad (٥)$$



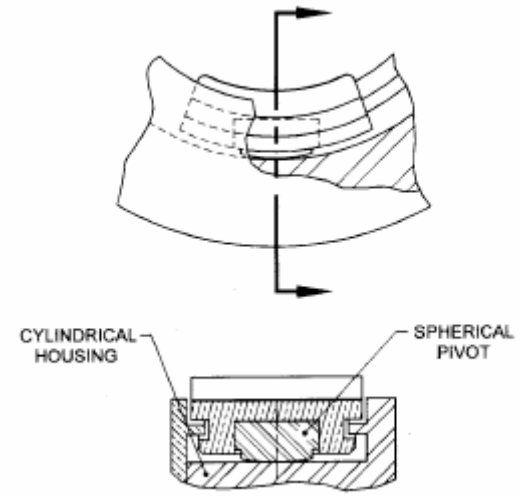
شکل (٤) ـ صفحه متحرک (Tilting pad) برنزی با صفحه نگهدارنده (Pivot pad) فولادی کروی شکل



شکل (۵) ـ برشی از نمای صفحه متحرک (Tilting pad) برنزی با صفحه نگهدارنده (Pivot pad) فولادی کروی شکل

صفحه نگهدارنده (Pivot pad) کروی ـ استوانه‌ای

در این نوع صفحه نگهدارنده (Pivot pad) کروی در یک محفظه (Housing) استوانه‌ای قرار دارد مانند آنچه که در شکل ٦ نشان داده شده است. این نحوه قرار گیری نمونه دیگری از یاتاقان Tilting Pad Journal خود تنظیم را ارائه می‌دهد. معمولا صفحه نگهدارنده (Pivot pad) و محفظه (Housing) از جنس فولاد کربن دار ساخته می‌شوند.



شکل (٦) ـ صفحه نگهدارنده (Pivot pad) فولادی کروی و صفحه متحرک (Tilting pad) فولادی استوانه‌ای

تغییر شکل خمشی صفحه نگهدارنده (Pivot Stiffness) این نوع یاتاقانها را با فرمول زیر بیان می‌نمایند:

$$\delta_P = (0.52)\left(W_P^2 C_2^2\right)^{1/3}\left[\frac{1}{D_P}+\frac{1}{C_1}\right]^{1/3}$$

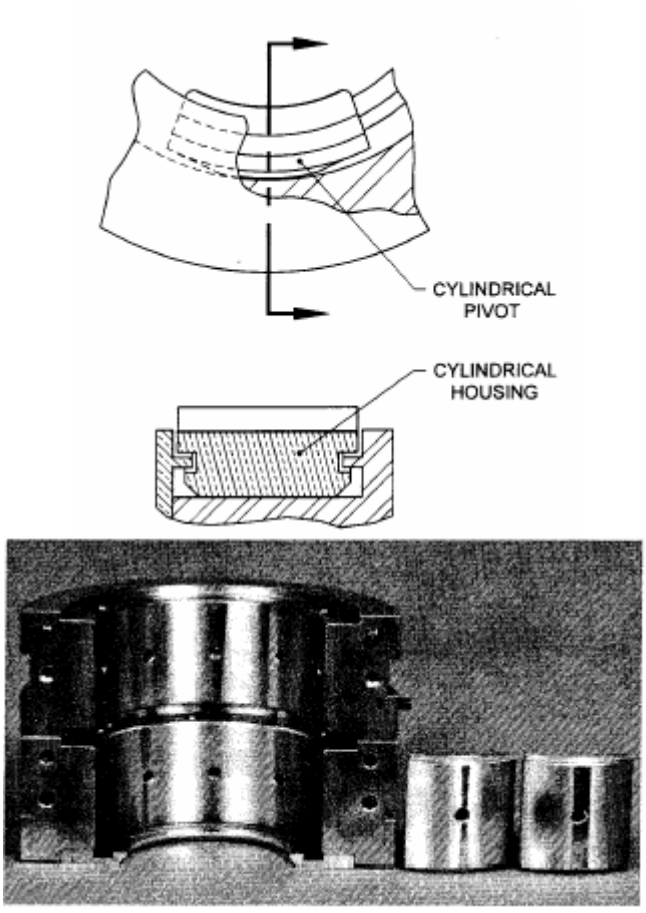
(٦)

با استفاده از معدله ۱، استحکام صفحه نگهدارنده (Pivot Stiffness) را می‌توان به شکل زیر محاسبه نمود:

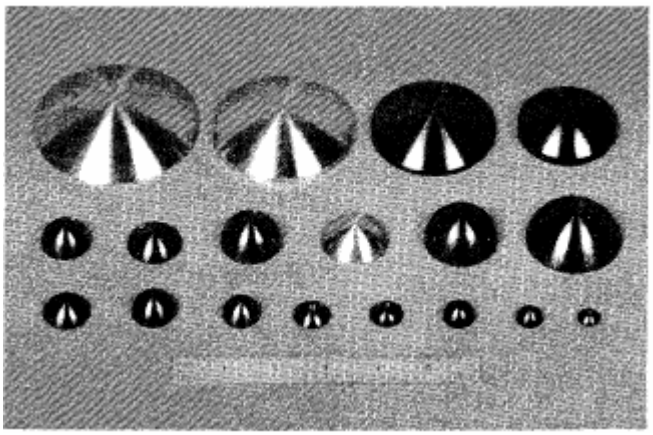
$$K_P = (2.885)\times\left[\left(\frac{D_P C_1}{D_P + C_1}\right)\frac{W_P}{C_2^2}\right]^{1/3} \qquad (۷)$$

صفحه نگهدارنده (Pivot pad) استوانه‌ای

صفحه نگهدارنده (Pivot pad) استوانه‌ای در یک محفظه(Housing) قرار می‌گیرد مانند آنچه در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل (۷) الف ـ صفحه نگهدارنده (Pivot pad) و صفحه متحرک (Tilting pad) فولادی استوانه‌ای



شکل ۷ ب ـ سایزهای مختلف از صفحه نگهدارنده (Pivot pad) کروی شکل فولادی

این نوع صفحه نگهدارنده (Pivot pad) از مجموعه یاتاقانهای (Tilting Pad Journal) غیر هم محور بوده که برای این نوع یاتاقان فولادی کربن‌دار مدول الاستیسیته، E، و نسبت پواسیون، υ، به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$E=E_P=E_h \text{ (psi)}$$
$$\upsilon=\upsilon_P=\upsilon_h \qquad (۸)$$

لذا تغییر شکل خمشی صفحه نگهدارنده (Pivot pad) بصورت زیر است:

$$\delta_P = \frac{2W_P(1-\nu^2)}{\pi L_P E}\left[\frac{2}{3}+\ln\left(\frac{2D_h}{b}\right)+\ln\left(\frac{2D_P}{b}\right)\right] \qquad (۹)$$

که b برابر است با

$$b = 2.15\sqrt{\frac{W_p D_h D_p}{L_p E(D_h - D_p)}} \qquad (۱۰)$$

اما برای صفحه نگهدارنده (Pivot pad) و محفظه(Housing) تمام فولادی داریم:

$$E=30.0\times10^6 \text{ (psi)}$$
$$\upsilon_P=\upsilon_h=0.3 \qquad (۱۱)$$

نهایتا استحکام صفحه نگهدارنده (Pivot Stiffness) می‌توان به شکل زیر بیان نمود:

$$K_P = L_P\left\{1.93\times10^{-8}\left[16.74+\ln\left(\frac{L_P(D_h-D_P)}{W_p}\right)\right]\right\}^{-1} \qquad (۱۲)$$

افزایش و رشد اختلاف قطری و حرارتی

با توجه به معادلات ۳، ٤، ۷ و ۱۲ به راحتی می‌توان فهمید کـه اسـتحکام صـفحه نگهدارنده (Pivot Stiffness) تابعی از قطـر صـفحه نگهدارنـده (Pivot pad) و قطـر محفظه(Housing) در دمای حین کار دستگاه می‌باشد. خـصوصا، اخـتلاف قطـر، ΔD، تاثیر بسیار قوی و زیادی را بـر روی اسـتحکام صـفحه نگهدارنـده (Pivot Stiffness) دارد. هر چقدر اختلاف این دو قطر کمتر باشد، به طبـع اسـتحکام صـفحه نگهدارنـده (Pivot Stiffness) نیز بیشتر می‌شود.

بطور معمول قطر محفظه (Housing) ، D_h، بصورت بسیار جزیی از قطـر صـفحه نگهدارنده (Pivot pad)، D_P، کوچکتر اسـت. بـرای مـدلهای اسـتوانه‌ای و کـروی ـ استوانه‌ای این دو قطر بـر حـسب کـارایی صـفحه نگهدارنـده (Pivot pad) طراحـی می‌شوند. مضاف بر این، تغییرات مربوط به قطر بین دمای محیط تا دمای کـاری بطـور خیلی جزیی صورت می‌پذیرد زیرا معمولا جـنس صـفحه نگهدارنـده (Pivot pad) و محفظه (Housing) را یکـسان در نظـر مـی‌گیرنـد (فـولاد کـربن‌دار). بـرای چنـین مواردی، رشد و افزایش اختلاف دمایی کاملا ناچیز بوده، لذا اخـتلاف حاصـل از قطـر بین محفظه(Housing) و صفحه نگهدارنده (Pivot pad) بسیار ناچیز می‌باشد.

$$\Delta D=D_h-D_P \text{ (in)}$$

در یاتاقانهایی (Tilting Pad Journal) خاص که بطـور معمـول جـنس خـود صـفحه نگهدارنـده (Pivot pad) کـروی از جـنس فـولاد کـربن‌دار و محفظـه (Housing)کروی از جنس برنز می‌باشد، تغییرات اختلاف قطـری حاصـل از تغییـرات دمایی بطور کاملا جدی استحکام صفحه نگهدارنـده (Pivot Stiffness) را دگرگـون مـی‌سـازد. فـرض کنیـد کـه دمـای صـفحه نگهدارنـده (Pivot pad) و محفظـه (Housing)یکسان بوده و ΔT افزایش دمایی از دمای محیط به دمای شـرایط کـاری دستگاه باشد، تغییرات قطری بصورت زیر بیان می‌شود:

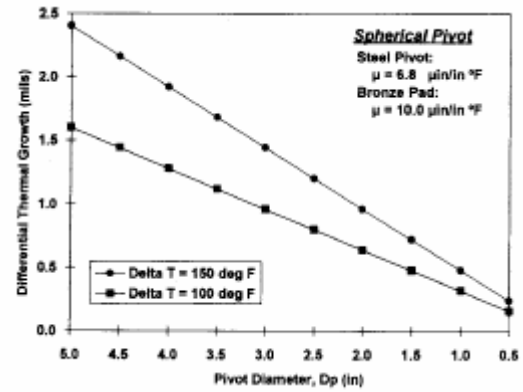
$$\Delta D_t= (\mu_h-\mu_P).\Delta T.D_P \text{ (in)} \qquad (١٤)$$

برای صفحه نگهدارنده (Pivot pad) فولاد کربنی و محفظه(Housing) برنـزی، ضریب انبساط حرارتی، μ، به ترتیب تقریبا برابر است با:

$$\mu_P= 6.8\times10^{-6} \text{ in/in}^{o}\text{F}$$

$$\mu_h= 10.0\times10^{-6} \text{ in/in}^{o}\text{F}$$

نمودار تغییرات دمای مربوط به یاتاقان با صفحه نگهدارنده (Pivot pad) فـولاد کربنی و محفظه(Housing) برنزی کروی برای قطرهای متفـاوت در شـکل ۸ آمـده

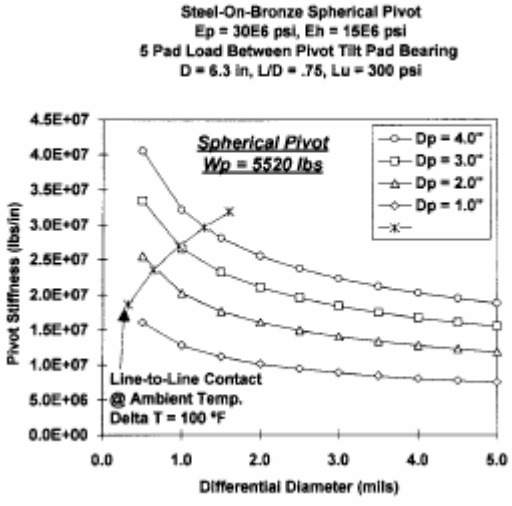


شکل (۸) تغییرات قطری مربوط به یاتاقان با صفحه نگهدارنده (Pivot pad) فولاد کربنی و محفظه (Housing)

بنابراین برای یاتاقان با صفحه نگهدارنده (Pivot pad) فولاد کربنی و محفظه (Housing) برنزی کروی اختلاف قطرحقیقی برابر با اختلاف قطر صفحه نگهدارنده (Pivot pad) و قطر محفظه (Housing) در دمای محیط بعلاوه اختلاف قطر بر اثر اختلاف دما می‌باشد:

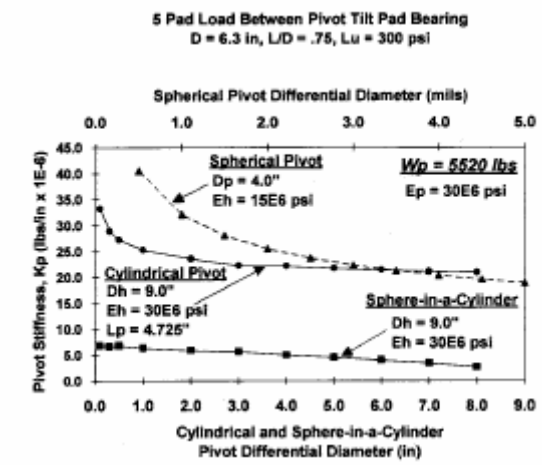
$$\Delta D = \Delta D_t + (D_h - D_P)\ (in) \qquad (16)$$

تاثیرات اختلاف قطر بر روی استحکام صفحه نگهدارندهٔ (Pivot Stiffness) یاتاقان فولاد ـ برنز برای قطرهای مختلفی از صفحه نگهدارنده (Pivot pad) در شکل ۹ آمده است. با افزایش اختلاف قطر، استحکام صفحه نگهدارنده (Pivot Stiffness) نیز کاهش می‌یابد، زمانی که اطلاعات از محدوده این نمودار خارج شود شما می‌توانید از معادلات ۱٤، ۱۵ و ۱٦ استفاده نمایید.



شکل (۹) تاثیرات اختلاف قطـــر بر روی استحکام صفحه نگهدارندهٔ (Pivot Stiffness) یاتاقان فولاد ـ برنز برای قطرهای مختلفی از صفحه نگهدارنده (Pivot pad)

یک مقایسه از استحکام صفحه نگهدارنده (Pivot Stiffness) بر اساس تابعی از اختلاف قطری برای صفحه نگهدارنده (Pivot pad) کروی فولاد ـ برنز، صفحه نگهدارنده (Pivot pad) استوانه‌ای فولاد ـ فولاد و صفحه نگهدارنده (Pivot pad) کروی ـ استوانه‌ای فولادی در شکل ۱۰ آمده است. آنچـــه از این نمودار بر مـی‌آیـد این است که استحکام صفـــحه نگهـــدارنده (Pivot Stiffness) برای دو مدل اول مقدار بالایی را بطور مشابهه ایجاد می‌شود، در حالی که این مقدار برای مدل آخـری در رنج پایینی قرار می‌گیرد.



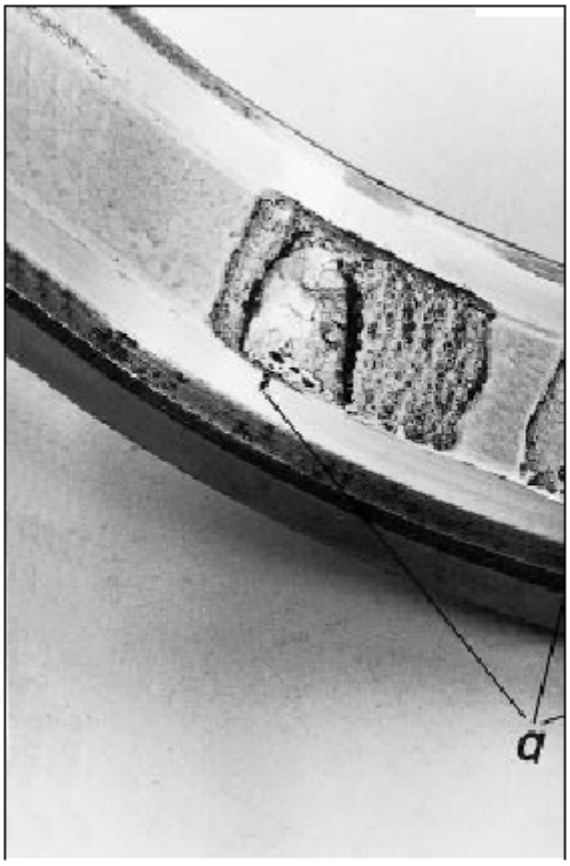
شکل (۱۰) مقایسه از استحکام صفحه نگهدارنده (Pivot Stiffness) بر اساس تابعی از اختلاف قطری برای صفحه نگهدارنده

خرابی یاتاقان‌های غلتشی

عمر یک یاتاقان غلتشی به کل تعداد سیکل‌های تنش و بارهایی که به اجزای غلتشی و غلتکهای یاتاقان وارد می‌شود بستگی دارد. روش استاندارد شده محاسبه تنش‌های دینامیکی یاتاقان بر پایه ویژگی خستگی مواد تشکیل یاتاقان که باعث خرابی در یاتاقان می‌شود، می‌باشد. خستگی معمولی با ورق ورق شد سطح یاتاقان آشکار خواهد شد (شکل ۱۱). افزایش تنش‌های موضعی موجب شکست در رینگ یاتاقان می‌شود (شکل ۱۲).

شکل ۱۱ ـ خرابی در رینگ داخلی یک یاتاقان شیار عمیق

شکل ۱۲ ـ شکست رینگ داخلی یاتاقان شیار عمیق در اثر خستگی نهایی



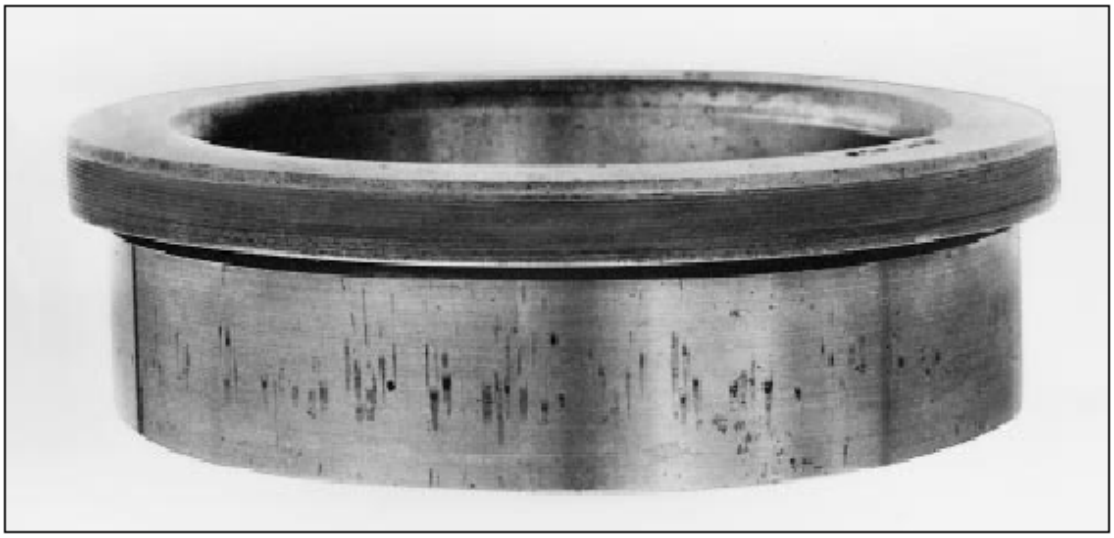
علل خرابی یاتاقانها

۱ - خرابی ناشی از جازدن

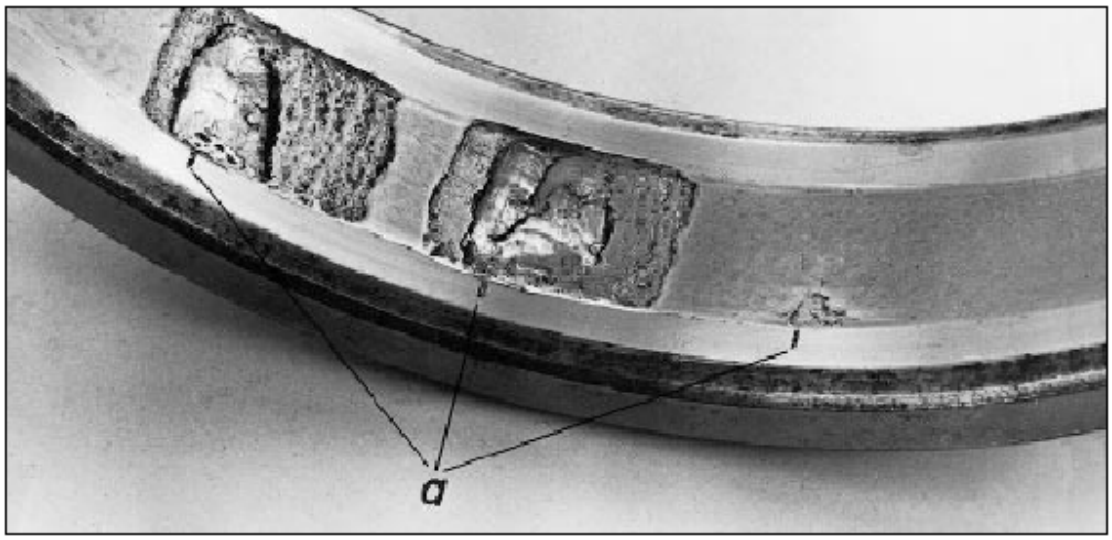
خرابی موضعی در شیارهای یاتاقان ناشی از عیب جازدن یاتاقان می‌باشد. این خرابی برای نمونه زمانی رخ می‌دهد که رینگ داخلی یاتاقان غلتشی استوانه‌ای به خوبی در رینگ خارجی آن جا زده نشود و یا نیروی جازدن یاتاقان در وسط اجزای یاتاقان وارد شود. (شکلهای ۱۳ تا ۱۶)

شکل ۱۳ ـ دندانه شدن شیارهای یاتاقان شیار عمیق ناشی از عیب در جا زدن

شکل ١٤ ـ شیارهای خراش یافته رینگ داخلی یاتاقان غلتشی استوانه‌ای



شکل ۱۵ ـ خستگی زود رس رینگ خارجی یاتاقان غلتشی استوانه‌ای ناشی از خراشهایی که با "a" در شکل مشخص شده است.



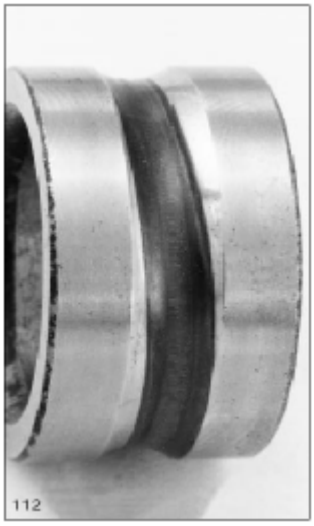
شکل ۱۶ ـ لبه شکسته شده رینگ داخلی یاتاقان غلتشی بشکه‌ای

بررسی انواع یاتاقان

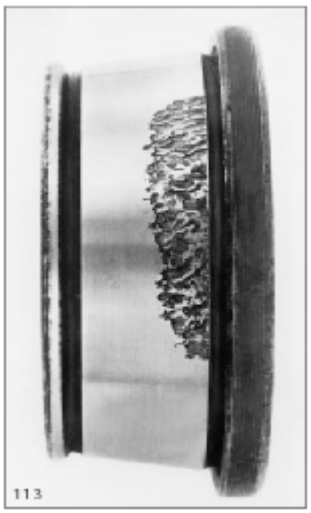
حوزه بار رینگ یاتاقان، ناشی از بارهای خارجی اعمال شده و شرایط گردش یاتاقان است که این حوزه با کدر شدن شیارهای یاتاقان مشخص می‌شود.

شیارهای غیر عادی روی یاتاقان، ناشی از پیشبار مخربی است که از جا زدن خیلی محکم یاتاقان و یا تنظیم غیر دقیق یاتاقان روی محور، می‌باشد. (شکلهای ۱۷ تا ۱۸)

شکل ۱۷ ـ شیارهای غیر عادی روی رینگ داخلی یاتاقان ثابت شیار عمیق



شکل ۱۸ ـ خرابی روی سطح یاتاقان غلتشی مخروطی Tapered به علت جازدن نادرست



۲ – آلودگی

ذرات خارجی که روی سطح یاتاقان قرار می‌گیرند موجب خستگی زودرس در یاتاقان می‌شوند. ذرات خارجی که دارای خاصیت ساینده‌گی هستند خرابی یاتاقان را تسریع می‌بخشند و باعث خشن شدن سطوح و کند شدن یاتاقان می‌شوند. سایش زیاد موجب لقی بیش از اندازه در یاتاقان می‌شود.

آلودگی‌ها:

۱ ـ قطعات آلوده

۲ ـ گرد و خاک

۳ ـ درز گیری نا کافی

٤ ـ روانسازهای آلوده

٥ ـ خرده فلزهای قطعات دیگر که همراه روانسازها به یاتاقان منتقل می‌شود.

۳ ـ خوردگی

خوردگی در یاتاقان‌های غلتشی ممکن است به شکل‌های مختلف و به دلایل گوناگون رخ دهد. خراب ناشی از خوردگی با سر و صدا یاتاقان هنگام کار کردن آشکار می‌شود. زنگ زدگی حاصل از خوردگی توسط اجزای یاتاقان ساییده می‌شوند و باعث سایش سطح یاتاقان می‌شود. در شکلهای ۱۹ و ۲۰ خرابی خوردگی، ناشی از رطوبت و یا سایر محیط‌های خورنده نشان داده شده است.

عوامل خوردگی

۱ ـ آب بندی ناکافی در برابر رطوبت و بخار آب

۲ ـ روانسازهایی که حاوی اسید می‌باشند

۳ ـ محیط نامناسب انبار نگهداری یاتاقان‌ها

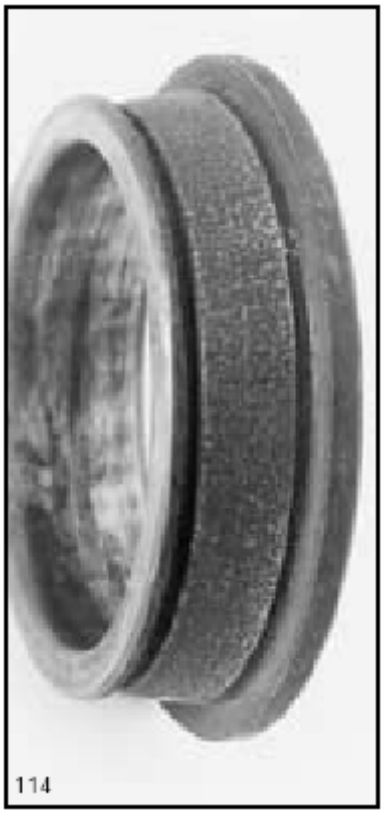
سایش ساچمه‌ها با شیار یاتاقان با خراش‌هایی در سطح غلتک یاتاقان ظاهر می‌شود. این خراش‌ها در مقایسه با دندانه شدن اجزای اتاقان در اثر نصب نا مناسب دارای لبه‌های برآمده نیستند (شکل ۲۱). افزایش دندانه‌های ایجاد شده در شکل ۲۲ در اثر گردش نامنظم یاتاقان می‌باشد.

سایش میان ساچمه‌ها و شیار یاتاقان در اثر ارتعاشات در سطح‌هایی از یاتاقان که ساکن هستند باعث ساییدگی شدید می‌شوند. چنین خرابی در ماشینهایی که در حال سکون در معرض ارتعاشات هستند به وجود خواهد آمد که راه بر طرف کردن آن ایجاد لبه‌های مناسب در یاتاقان و یا استفاده از ابزارهای مناسبی برای محافظت یاتاقان در هنگام دوران می‌باشد.

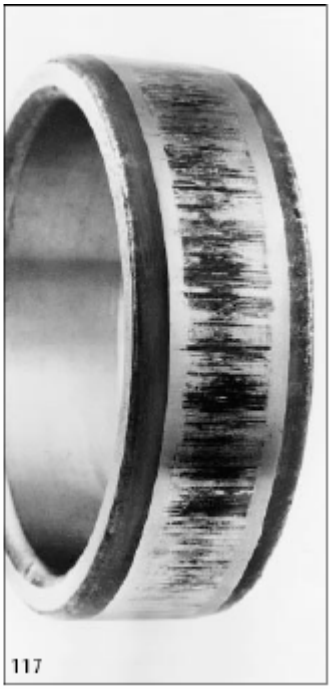
بررسی انواع یاتاقان

خوردگی که سطوح یاتاقان را از میان می‌برد در سطوحی رخ می‌دهد که انطباق آن‌ها با سایر اجزاء به صورت آزاد می‌باشد. حرکت‌های ریزی که در چنین سطوحی رخ می‌دهد باعث سایش زیادی می‌شود که حرکت یاتاقان را کند کرده و به سطح محور آسیب می‌رساند راه حل بر طرف کردن این مشکل استفاده از انطباق محکم میان این سطوح می‌باشد.

شکل ۱۹ ـ خوردگی در یاتاقان مخروطی داخلی یاتاقان ثابت



شکل ۲۰ ـ شیارهای غیر عادی روی رینگ

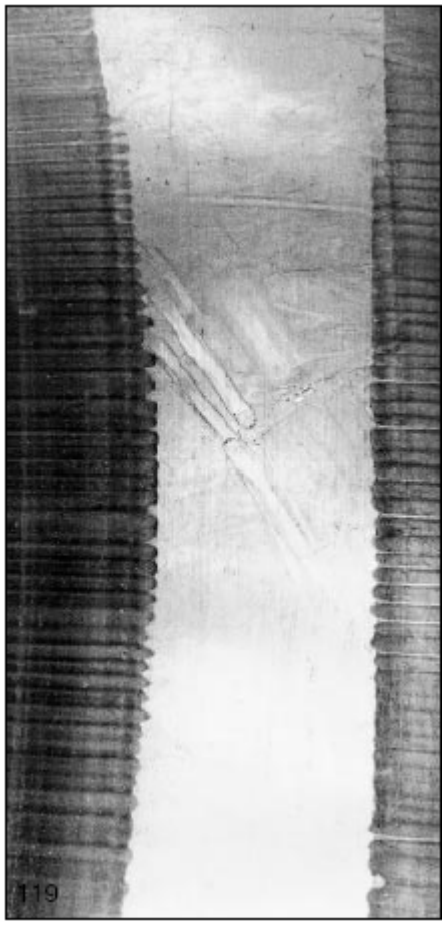


شکل ۲۱

شکل ۲۲

٤ ـ عبور جریان الکتریسیته

عبور مداوم جریان الکتریسیته از یاتاقان باعث ایجاد خراش‌های قهوه‌ای رنگ موازی با محور در تمام محیط غلتک و سایر اجزای غلتشی یاتاقان می‌شود. (شکل ۲۳ و ۲٤)



شکل ۲۳

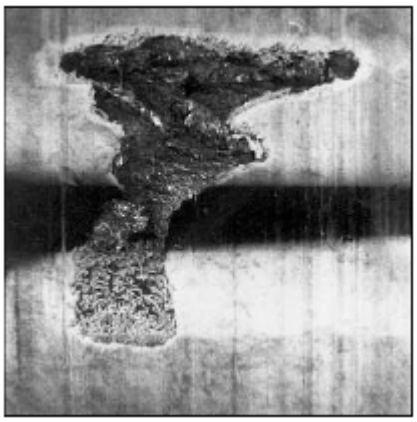
شکل ۲٤

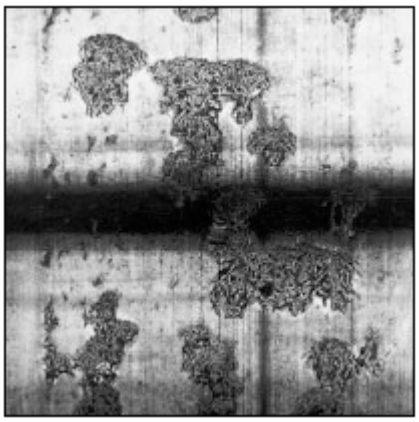
٥ ـ روانسازی ناقص

روانسازی ناقص در اثر تامین ناکافی روانساز و یا استفاده از روانسازهای نا مرغوب ایجاد می‌شود. اگر لایه روغن کافی میان سطوح تامین نشود که حرکت لغزشی و سایش به وجود آید باعث تشکیل حفره‌های ریز و ورق ورق شدن سطح در غلتکهای یاتاقان می‌شود (شکل ۲٥).

در مواردی که عمل روانسازی بیش از اندازه انجام شود، روانساز به دلیل حرکات شدید یاتاقان گرم شده و خاصیت خود را از دست می‌دهد و باعث خرابی

بررسی انواع یاتاقان





شکل ۲۵

مثال	علت ها	علائم
لنگ زدن چرخ در وسایل نقلیه افزایش ارتعاشات در فن ها ارتعاشات درمیل لنگ در موتور های احتراقی	خراب شدن رینگ ها و ساچمه ها آلودگی لقی بیش از حد	حرکت نا موزون
نکان های شدید آسیاب ها	سایش در اثر آلودگی یا روغنکاری نا کافی خراب شدن رینگ ها و ساچمه ها	کاهش دقت
سروصدا یاتاقان ها در گیر بکس موتورهای الکتریکی	لقی مجاز نا کافی	سر وصدا با فرکانس زیاد هنگام کار کردن
	لقی بیش از حد آلودگی روغنکاری نا کافی	سر وصدا نا منظم
	تغییر لقی به علت تغییر دما خرابی غلتک ها	تغییرات منظم در سر وصدا