

جلسه پنجم

ظرفیت استاتیک بلبرینگ

اگر میان حلقه های بلبرینگ حرکت نسبی وجود نداشته باشد فشار ساچمه ها در داخل شیار حلقه ها به تدریج افزایش می یابد و بر روی جدار شیار حلقه ها گودی های دائمی ایجاد می کند. ظرفیت استاتیک بلبرینگ به صورت زیر تعریف می شود:

حداکثر بار استاتیکی که باعث از بین رفتن خواص گردشی یاتاقان نشده و بدین ترتیب آن را غیر قابل استفاده نمی کند.

این تغییر دائمی تحت اثر ساچمه ها را اثر برینلینگ (*Brinelling*) می نامند. این اثر در بارهای متوسط تا زیاد اتفاق می افتد. مقدار بار مجاز به روش های استاندارد تعیین می گردد و محاسبات مربوط به بلبرینگ ها در جدول انجام شده و در ستونی به عنوان P_{St} آمده است.

طراحی با درجه اطمینان های مختلف

پس از نصب بلبرینگ روشی وجود ندارد که با استفاده از آن بفهمیم آیا این بلبرینگ در گروه ۹۰ درصدی است که طی عمر خود به خوبی کار خواهد کرد و یا در گروه ۱۰ درصدی است که پیش از عمر اسمی خود خراب خواهند شد. به عبارت دیگر ما فقط ۹۰ درصد مطمئن هستیم که بلبرینگ نصب شده در طی عمر اسمی خود به خوبی کار خواهد کرد و حتی ممکن است بیشتر از عمر اسمی خود کار کند.

عمر اسمی را معمولاً با L_{10} نشان می دهند. در برخی موارد درجه اطمینان بیشتری لازم است در این گونه موارد عمر انتظاری بلبرینگ را کمتر از عمر انتظاری مشخص شده برای آن در نظر می گیریم. ضریبی مانند α_1 به عنوان ضریب تنظیم کننده در نظر می گیریم. و عمر L_n بلبرینگ را به صورت $\alpha_1 L_{10}$ بیان می کنیم ضرایب α_1 برای درجه اطمینان های مختلف در جدول آمده است. عمر L_{10} عمر اسمی است.

ضریب تنظیم عمر (a_1)	L_n	درجه اطمینان بر حسب %
1.00	L_{10}	90
0.62	L_5	95
0.53	L_4	96
0.44	L_3	97
0.33	L_2	98
0.21	L_1	99

شکل ۸-۱: ثابت های مربوط به درجات اطمینان مختلف

اصطکاک و روانکاری بلبرینگ ها

در بلبرینگ و رولربرینگ ها مقدار اصطکاک لغزشی بیشتر از اصطکاک مالشی هست. در حالت کلی مقاومت اصطکاکی بلبرینگها اندکی کمتر از مقاومت اصطکاکی یاتاقانهای ژورنال ناقص یعنی کمتر از ۳۶۰ درجه مرغوب است. که توسط سیلی از روغن روانکاری می شود اصطکاک یاتاقان های ژورنالی که به روش تغذیه قطره های روغن روانکاری می شوند بیشتر از اصطکاک بلبرینگها است. مقادیر میانگین ضریب اصطکاک به شرح زیر است:

0.0010	بلبرینگهای خود تنظیم
0.0011	رولربرینگها با ساچمه های غلتکی کوتاه و مجهز به فلنج راهنما
0.0013	بلبرینگهای ضربه گیر (کف گرد)
0.0015	بلبرینگهای یک ردیفه با شیار عمیق
0.0018	رولربرینگهای مخروطی و کروی با رولرهای مجهز به فلنج راهنما
0.0045	رولربرینگهای سوزنی بدون قفسه

شکل ۹-۱: مقادیر میانگین ضریب اصطکاک

اصطکاک بلبرینگ به مقدار زیادی بستگی به غلظت روغن روانکاری دارد. آزمایشات نشان داده‌اند که مقدار اصطکاک در روانکاری به روش تغذیه چگالشی روغن که در آن به ازای هر دو تا چهار ساعت یک قطره روغن به بلبرینگ تغذیه می‌شود، بسیار کمتر از اصطکاک در روانکاری توسط مقدار زیاد روغن است.

در حقیقت در روانکاری سیلابی توان لازم برای حرکت دادن خود روغن به تنهایی ممکن است بیشتر از توان اصطکاکی تلف شده توسط یاتاقان باشد. اصطکاک ناشی از یک روغن بسیار سبک یا شل کمتر از اصطکاک روغن بسیار لزج است.

یک پوشش نازک از روغن یا گریس میان ساچمه‌ها و شیارهای یاتاقان برای روانکاری آن کافی است در مواردی که از روغن برای روانکاری یاتاقانهای استفاده می‌شود لازم است از واشرهای آب بندی مرغوب برای جلوگیری از نشت روغن به بیرون از یاتاقان استفاده شود. در مواردی که سرعت چرخش یاتاقان بسیار زیاد است روانکاری آن به وسیله مه روغن یعنی ذرات روغن مخلوط با هوا موفقیت‌آمیز است.

گریس صابونی است که به وسیله روغن ویژه روانکاری بارور شده داخل یاتاقان می‌ماند و از سطوح آن محافظت می‌کند بنابراین لازم نیست از واشرهای مرغوب برای حفظ آن در داخل یاتاقان استفاده شود. در دماهای پایین‌تر ساچمه‌ها از میان گریس کانال می‌زنند اما معمولاً به مقدار کافی روغن از درون گریس بیرون آمده و موجب روانکاری یاتاقان می‌گردد. در بیشتر موارد استفاده از یاتاقان گریس دار و آب بندی شده ارزان‌تر تمام می‌شود زیرا در این صورت نیازی به واشر آب بندی و جا گریس و لوازم مربوط به گریس کاری نیست. یاتاقانهای گریس دار در کارخانه سازنده پر از مقدار صحیح از گریس می‌شوند. این نوع یاتاقانها سال‌ها بدون گریسکاری کار می‌کنند برای دماهای بالاتر است ۲۵۰ درجه فارنهایت از گریس‌های نسوز استفاده می‌شود.

قابل اطمینان بودن سیستم تغذیه روغن بیشترین اهمیت را دارد. فقدان روغن می‌تواند باعث گرم شدن موضعی انبساط و از دست رفتن بازی شعاعی یاتاقان گردد. همچنین ممکن است بار یاتاقان به قدری افزایش یابد که باعث کنده شدن سطح آن و استهلاک سریع گردد.

ماده روانکاری در داخل بلبرینگ نه تنها مقدار اصطکاک آن را کاهش می‌دهد بلکه از ورود اجسام خارجی به یاتاقان جلوگیری کرده و بدین ترتیب از آسیب دیدن سطوح بلبرینگ نیز ممانعت می‌کند. حداکثر تلاش خود را باید به کار گیریم تا از خوردگی و خراش برداشتن سطوح کاملاً پرداخت بلبرینگ بر اثر سنگریزه آب اسیدها و هر ماده خراشنده و خورنده دیگر جلوگیری شود به ویژه خستگی ناشی از خوردگی بسیار مضر است و باعث گسیختگی سریعتر یاتاقان می‌گردد. گسیختگی ناشی از خستگی از ضعیف شدن کیفیت سطوح یاتاقان ناشی می‌شود. به این ترتیب که ذرات کوچک فلزی از سطح یاتاقان کنده شده و حفره‌ها یا گودی‌های روی آن به جا می‌گذارند. پیش از پدیدار شدن این ضعف در کیفیت سطوح یاتاقان ترک‌های کوچک ایجاد شده و نواحی ضعیف موضعی در سطح توان به وجود می‌آورند ترک‌های کوچک یاد شده از وارد آمدن تنش‌های تکراری در یاتاقان ناشی می‌شوند.

مواد یاتاقان و پرداخت سطح آن

همانگونه که قبلاً گفتیم فولاد کروم پرکربن به طور گسترده در ساخت انواع بلبرینگ به کار می رود. این فولاد از نوع قابل سخت کاری عمیق است. معمولاً حداقل سختی لازم برای اجزای یاتاقان $58R_C$ است این ماده برای ساخت یاتاقان هایی که در دماهای بالاتر از 350°C درجه فARENهایت کار می کنند مناسب نیست برای دماهای بالاتر از فولاد هایی که مخصوصاً برای تحمل دماهای بالاتر ساخته می شوند استفاده می شود.

برخلاف بلبرینگ ها رولبرینگ ها از فولاد هایی می سازند که سطح خارجی شان قابل سخت سازی است. سطح کربوریزه یا سطح خارجی فولاد باید دارای سختی $58 - 63R_C$ باشد. بخش خارجی یا هسته این نوع فولاد نرم است و معمولاً دارای سختی $25 - 40R_C$ است بعضی از فولادهای کربن ساده و آلیاژی برای ساخت رولبرینگها مناسب هستند حداکثر دمای مجاز در حدود 350°C درجه فARENهایت است.

قفسه جداکننده ساچمه ها را در بلبرینگ های معمولی معمولاً از فولاد کم کربن و به روش فرزکاری می سازند و در مواردی که سرعت و دقت زیاد مورد نیاز است قفسه جدا کننده ساچمه ها را به روش ماشینکاری و از آلیاژ مناسب مس مانند برنز می سازند همچنین در مواردی که استفاده از روش های روانکاری معمولی امکان پذیر نیست قفسه یاتاقان را از ماده ای می سازند که خود یک ماده روان کار است.

عمر یاتاقانهای لغزشی به مقدار زیادی بستگی به درجه میزان پرداخت سطوح تماسی ساچمه ها، رولرها و حلقه های یاتاقان دارد. ابعاد زبری سطوح یاتاقان های معمولی به صورت زیر است. یادآور می شویم که این ابعاد را بر حسب میکرو اینچ و معمولاً با نماد $\mu in.$ بیان می کنند.

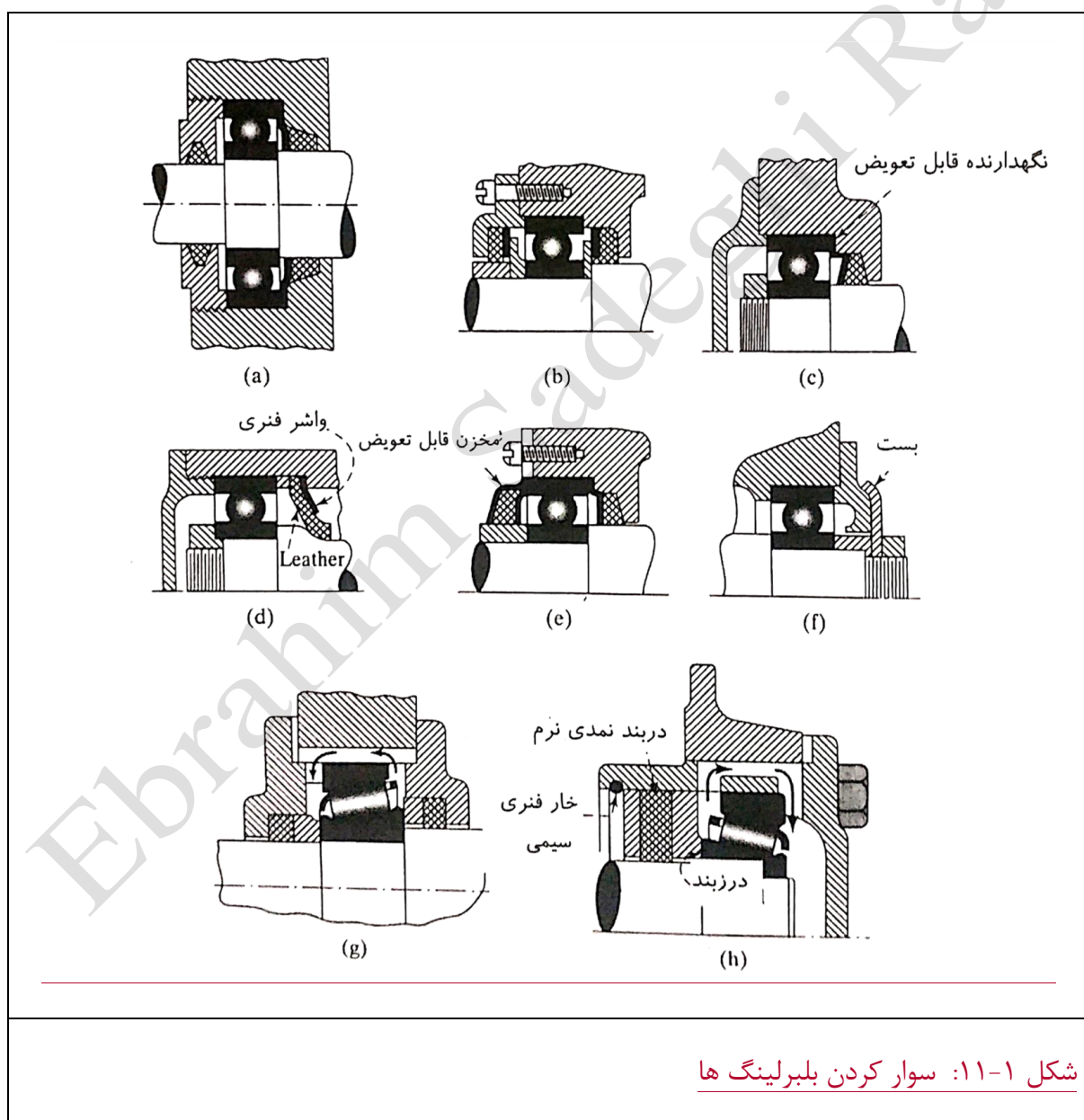
$2 - 3 \mu in. rms$	ساچمه های گرد
$6 - 10 \mu in. rms$	حلقه های بلبرینگ
$8 - 12 \mu in. rms$	ساچمه های غلتکی یا رولرها
$10 - 20 \mu in. rms$	حلقه های رولبرینگها

شکل ۱-۱۰: زبری سطوح یاتاقان

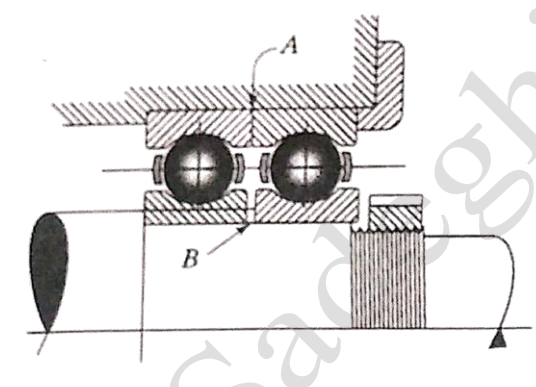
درجه پرداخت بلبرینگ های ساخته شده توسط یک کارخانه با کارخانه دیگر تفاوت فاحشی دارد در کاربردهای حاد و بحرانی لازم است درجه پرداخت واقعی بلبرینگها را به دست آوریم.

سوار کردن بلبرینگ ها

درمورد شفت های گردان حلقه داخلی یاتاقان را معمولاً به روش انطباق پرسی بر روی شفت سوار کرده و با انداختن یک مهره بر روی شفت از دوران نسبی میان شفت و یاتاقان جلوگیری می کنند. در انطباق پرسی یاتاقان ها بر روی شفت باید مواظب بود که تداخل فلزی بین آنها از مقدار مجاز تجاوز نکند در غیر این صورت حلقه داخلی یاتاقان کشیده شده و قطر آن افزایش پیدا می کند این عمل باعث کاهش کوچکی در لقی داخلی که برای یاتاقان نیاز است می گردد.



در مواردی که شفت می چرخد اگرچه حلقه خارجی بلبرینگ بسیار شل تر از حلقه داخلی آن سوار می شود اما باید از خزش دورانی میان حلقه خارجی یاتاقان و محفظه آن جلوگیری شود هرگاه دو یاتاقان بر روی شفت کار کنند لازم است حلقه خارجی یکی از آنها دارای امکان جابجایی محوری باشد تا اینکه انبساط بیش از حد میان شفت و محفظه یاتاقان ها موجب اشکال در کار آنها نشود. در شکل چندین روش سوار کردن یاتاقان همراه با محفظه های روغن نشان داده شده است. در کاتالوگ های کارخانه های سازنده یاتاقان تصاویر مفیدی مانند این ها و همچنین اطلاعات عملی دیگری وجود دارد شفت های ماشین های ابزار و دستگاه های دقیق باید بدون بازی آزاد یا لقی شعاعی و محوری بچرخند لذا این شفت ها را بر روی بلبرینگ هایی که قبلاً تحت بار قرار داده شده اند سوار می کنند عمل پیش بارگذاری را که باعث حذف هرگونه لقی یا بازی آزاد و یاتاقان می شود به روش های گوناگون انجام می دهند.



شکل ۱-۱۲: تعیین پیش بار

ناهم محوری مجاز

ناهم محوری بلبرینگها و رولبرینگ ها می تواند اثر جدی بر طول عمر و ظرفیت تحمل بار آنها داشته باشد. ناهم محوری ممکن است ناشی از خمش شفت، بار و یا خطاهای ماشین کاری تکیه گاه های حلقه ها باشد. در بعضی موارد تکیه گاه یاتاقان به طور کشسان خمیده می شود طرح یاتاقان باید طوری باشد که خمش محفظه یاتاقان موجب خمش شفت و یا ناهم محوری آن نگردد.

یاتاقان های ضد اصطکاک یا بلبرینگ ها با مقادیر لقی های داخلی مختلف ساخته می شوند. در حالت کلی اگر مقدار ناهم محوری به قدری باشد که فقط موجب حذف لقی داخلی یاتاقان گردد یعنی بیشتر از لقی داخلی نباشد، باعث کاهش عمر آن نمی گردد. اگر سوار کردن یا جفت سازی بلبرینگ روی شفت از نوع پرسی باشد قسمتی از لقی داخلی بلبرینگ از بین میرود. ناهم محوری مجاز همچنین بستگی به عواملی نظیر

نوع بار، نوع انحنا و عمق شیار حلقه‌های یاتاقان، قطر و تعداد ساچمه‌ها، نوع روانکاری، شکل هندسی محفظه روغن و سایر جزئیات ابعادی کوچک دارد.

رولبرینگ‌ها نسبت به اثرات ناشی از نا هم محوری حساسیت بیشتری از خود نشان می‌دهند بنابراین وجود هرگونه شیب بر روی شفت عمر و ظرفیت تحمل بار یاتاقان را کاهش می‌دهد وجود تاج کوچک بر روی رولرها با ساچمه‌های سوزنیاز اثرات بد نا هم محوری جلوگیری می‌کند. در یاتاقانهای با رولرهای سوزنی کیفیت هدایت رول‌ها بستگی به خود آنها دارد بنابراین یک لقی منتهجه برای بهبود عمل یاتاقان لازم است.

در جدول حدود نا هم محوری‌های پیشنهاد شده آمده است در این جدول بعضی از سازندگان محدوده کوچکتر و برخی از آنها محدوده بزرگتری را توصیه کرده‌اند اگر موردی پیش بیاید که در انتخاب مقدار نا هم محوری شک کنیم بهترین راه این است که از خود کارخانه سازنده یاتاقان کمک بگیریم.

بلبرینگ رادیال یک ردیفه	نا هم محوری مجاز
در سرعت کم و درجه انطباق شل	$0.0020 - 0.0040 \text{ in. / in.}$
سرعت زیاد	0.0010 in. / in.
رولبرینگ استوانه‌ای	$0.0003 - 0.0015 \text{ in. / in.}$
یاتاقان سوزنی (رولبرینگ سوزنی)	$0.0003 - 0.0010 \text{ in. / in.}$
رولبرینگ مخروطی	0.0005 in. / in.

شکل ۱-۱۳: نا هم محوری زاویه ای مجاز بین یاتاقان و شفت