راهنمای جنرال کاتالوگ SKF

مترجم : نوید شهنی زاده

به نام خدا

انتشارات
کتاب‌سرای نیک

راهنمای جنرال کاتالوگ SKF

مترجم: نوید شهنی‌زاده

راهنمـای جنـرال کاتـالوگ SKF/ متـرجم نویـد شـهنی‌زاده. تهـران: کتاب‌سرای نیک، ۱۳۸۶.
ISBN: 978-964-8665-00-0
فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیپا.
۱. نمایه. ۲. بلبیرینگ‌ها. ۳. یاتاقان‌های غلتشی. شهنی‌زاده، نوید، مترجم.
TJ۱۰۷۱/ر۲ ۶۲۱/۸۲۲
۱۳۸۶
کتابخانه ملی ۱۰۳۲۶۱۳

راهنمای جنرال کاتالوگ SKF

مترجم: نوید شهنی‌زاده

انتشارات
کتاب‌سرای نیک

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: ۱۳۸۶

تیراژ: ۳۰۰۰ جلد

قیمت: ۱۲۵۰۰ تومان

شابک: ۰-۰۰-۸۶۶۵-۹۶۴-۹۷۸

کلیه حقوق محفوظ است.

خیابان انقلاب، مقابل دانشگاه تهران، شماره ۱۴۲۴

تلفن: ۶۶۴۸۰۸۷۱ فکس: ۶۶۴۸۰۸۷۰

Email: store@ketabsarayenik.com
Website: www.Ketabsarayenik.com
www.mena.skf.com

مقدمه مترجم

جنرال کاتالوگ SKF کتابی فراتر از یک کاتالوگ است. در حقیقت این کتاب سالیان سال است که مرجع دانشجویان، اساتید، طراحان و استفاده‌کنندگان از بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها در سراسر جهان می‌باشد.

در سال ۲۰۰۳، شرکت SKF ویرایش جدیدی از جنرال کاتالوگ را بر اساس آخرین یافته‌ها و تکنولوژی روز ارائه کرد و در سال ۲۰۰۶ آخرین اصلاحات بر روی آن انجام شد. کتابی که پیش رو دارید ترجمهٔ بخش‌های فنی آخرین ویرایش جنرال کاتالوگ شرکت SKF است.

جداول بیرینگ‌ها از این کتاب حذف شده‌اند و در صورت نیاز به آنها می‌توانید به لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کنید.

هیچ کاری خالی از اشکال نمی‌باشد لذا تقاضا می‌شود در صورت مشاهده هر گونه ایراد و اشکال و یا در صورت نیاز به اطلاعات بیشتر با شرکت SKF ایران تماس بگیرید.

امید است ترجمه این کتاب گامی هر چند کوچک در جهت توسعه صنعت کشور باشد.

نوید شهنی‌زاده
بهار ۱۳۸۶
navid.shahnizadeh@skf.com

SKF، CARB، INSOCOAT، NoWear و Sensor Mount علائم ثبت‌شده تجاری شرکت SKF می‌باشند.

کلیهٔ حقوق چاپ و نشر این کتاب برای شرکت SKF محفوظ بوده و هر گونه چاپ، کپی و یا تکثیر مجدد (کلی یا جزئی) بدون اجازه شرکت SKF ممنوع است. اگر چه سعی‌شده که مطالب ارائه‌شده بدون اشکال باشند ولی هیچگونه مسئولیتی در رابطه با مشکلات ناشی از استفاده مستقیم یا غیرمستقیم مطالب کتاب پذیرفته نمی‌باشد.

Dear reader

SKF®, the knowledge Engineering Company, has been the world leader in solutions for rotating equipment for a hundred years now.
SKF do want the country's industry to develop and become stronger. To help we have decided to share our knowledge and 100 years of experience.
So we realized that we have to publish the "Guide to the General Catalogue" in Farsi, because it contains so much knowledge that we feel is important to be easily available for engineers and technicians in Iran, both for design and for how to do maintenance.
The Guide to the General Catalogue will give you a deep insight in the new life theory and how to correct select a bearing arrangement. It will also give you an understanding of why correct handling is so important.
Nowadays SKF can offer not only rolling bearing but a lot of other tools and solutions, all of it aimed at improving the industry's performance. It is not easy to know all of it but by reading this book you would have a good idea of your operation's potential for improvements.

I hope that you will benefit a lot from this book.

Tehran 17th of may 2007

Thomas Larsson
General Manager, SKF Iran

Quantity	Unit	Conversion			
Length	inch	1 mm	0,03937 in	1 in	25,40 mm
	foot	1 m	3,281 ft	1 ft	0,3048 m
	yard	1 m	1,094 yd	1 yd	0,9144 m
	mile	1 km	0,6214 mile	1 mile	1,609 km
Area	square inch	1 mm^2	0,00155 sq.in	1 sq.in	645,16 mm^2
	square foot	1 m^2	10,76 sq.ft	1 sq.ft	0,0929 m^2
Volume	cubic inch	1 cm^3	0,061 cub.in	1 cub.in	16,387 cm^3
	cubic foot	1 m^3	35 cub.ft	1 cub.ft	0,02832 m^3
	imperial gallon	1 l	0,22 gallon	1 gallon	4,5461 l
	U.S. gallon	1 l	0,2642 U.S. gallon	1 U.S. gallon	3,7854 l
Velocity, speed	foot per second	1 m/s	3,28 ft/s	1 ft/s	0,30480 m/s
	mile per hour	1 km/h	0,6214 mile/h (mph)	1 mile/h (mph)	1,609 km/h
Mass	ounce	1 g	0,03527 oz	1 oz	28,350 g
	pound	1 kg	2,205 lb	1 lb	0,45359 kg
	short ton	1 tonne	1,1023 short ton	1 short ton	0,90719 tonne
	long ton	1 tonne	0,9842 long ton	1 long ton	1,0161 tonne
Density	pound per cubic inch	1 g/cm^3	0,0361 lb/cub.in	1 lb/cub.in	27,680 g/cm^3
Force	pound-force	1 N	0,225 lbf	1 lbf	4,4482 N
Pressure, stress	pounds per square inch	1 MPa	145 psi	1 psi	$6{,}8948 \times 10^3$ Pa
Moment	inch pound-force	1 Nm	8,85 in.lbf	1 in.lbf	0,113 Nm
Power	foot-pound per second	1 W	0,7376 ft lbf/s	1 ft lbf/s	1,3558 W
	horsepower	1 kW	1,36 HP	1 HP	0,736 kW
Temperature	degree	Celcius	$t_C = 0{,}555\,(t_F - 32)$	Fahrenheit	$t_F = 1{,}8\,t_C + 32$

مقدمه

ویرایش قبلی جنرال کاتالوگ SKF در سال ۱۹۸۹ چاپ شد. از آن زمان تاکنون بیش از یک میلیون نسخه از آن به ۱۶ زبان مختلف در سراسر دنیا توزیع شده است. در این ویرایش تئوری جدید عمر بیرینگ معرفی شده بود که اکنون استاندارد اصلی در صنعت بیرینگ است. این استفاده وسیع و مقبولیت کتاب توسط حرفه‌ای‌ها، جنرال کاتالوگ SKF را به مرجع اصلی در زمینه بیرینگ‌ها در صنعت تبدیل کرده است.

ویرایش جدید جنرال کاتالوگ شامل اصلاحات و اضافات زیادی می‌باشد که آن را به مرجعی با ارزش‌تر و مفیدتر تبدیل کرده است. در این مقدمه بخش‌های اصلی کتاب شرح داده می‌شوند.

واحدهای استفاده شده در این کتاب مطابق استاندارد ISO 1000:1992 و سیستم SI (Systeme International d Unites) می‌باشند.

بخش اول ــ اصول انتخاب و کاربرد بیرینگ‌ها[1]

این بخش شامل اصول اولیه تکنولوژی بیرینگ‌هاست که برای طراحی یک چیدمان بیرینگ (Bearing Arrangment) لازم می‌باشند. بخش‌های مختلف به ترتیبی که مهندسان طراح آن را دنبال می‌کنند، آورده شده‌اند.

نوآوری‌ها در بخش اول

- مدل جدید برای تعیین ممان اصطکاکی در بیرینگ‌های غلتشی
- سرعت‌های اسمی صلاح‌شده برای سرعت‌های مرجع مجاز حرارتی بر اساس مدل جدید اصطکاک
- روش جدید برای تعیین لزجت مورد نیاز روانکار، بر اساس محاسبات دقیق‌تر و در نظر گرفتن اثرات صافی سطح و تغییر شکل الاستیک فیلم روانکاری
- روش جدید برای تعیین عمر گریس روانکار و دوره روانکاری مجدد با گریس

بخش دوم ــ اطلاعات بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها[2]

در این بخش اطلاعات فنی و مهندسی مربوط به هر بیرینگ خاص آورده شده است. جداول مربوط به هر بیرینگ بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده‌اند.

نوآوری‌ها در بخش دوم

محصولات زیر برای اولین بار به جنرال کاتالوگ اضافه شده‌اند

- بیرینگ‌ها ICOS™ آب‌بند شده
- بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ
- رولربیرینگ‌های کروی آب‌بند شده
- رولربیرینگ‌های توریدال (Toroidal) CARB®
- بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط
- بیرینگ‌های عایق الکتریکی INSOCOAT®
- بلبیرینگ‌ها و Y- بیرینگ‌ها برای دماهای بالا
- بیرینگ‌های ضد سایش NoWear®
- بیرینگ‌ها با روغن جامد

SKF اکسپلورر (Explorer) ـ کلاس جدید از عملکرد بیرینگ‌ها

SKF اکسپلورر کلاس جدیدی از عملکرد بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای، رولربیرینگ‌های استوانه‌ای، رولربیرینگ‌های کروی، رولربیرینگ‌های توریدال CARB® و رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد است.

این بیرینگ‌ها عملکرد بهتری از نظر سر و صدا، ارتعاش، عمر، پایداری ابعادی، ظرفیت حمل بار دینامیکی و تولید حرارت (ناشی از اصطکاک) نسبت به بیرینگ‌های استاندارد دارند. از آن جایی که بیشتر عوامل فوق در محاسبات استاندارد

---

۱. مطالب این بخش برای کلیه بیرینگ‌های SKF صادق می‌باشند ولی صحت آنها برای بیرینگ‌های سازندگان دیگر نیاز به بررسی دارد. مترجم

۲. مطالب این بخش منحصراً برای بیرینگ‌های SKF صادق می‌باشند. مترجم

عمر در نظر گرفته نمی‌شوند، برای بیرینگ‌های اکسپلورر محاسبات بر اساس ظرایب تصحیح‌شده انجام می‌گیرد تا اثر این عوامل بر افزایش عمر بیرینگ نشان داده شود.

بیرینگ‌های اکسپلورر را می‌توان جایگزین بیرینگ‌های معمولی نمود ولی عکس آن با کاهش عمر بیرینگ نسبت به آنچه سازنده دستگاه تعیین کرده، همراه است. این بیرینگ‌ها در جداول بیرینگ‌ها بر روی لوح فشرده با رنگ آبی مشخص شده‌اند و هیچ گونه پسوند یا پیشوندی به شماره فنی بیرینگ اضافه نمی‌شود.

بیرینگ‌های اکسپلورر از نظر فنی دارای یک یا چند مشخصه زیر می‌باشند.

- فولاد بیرینگ تمیز و همگن با حداقل ناخالصی
- عملیات حرارتی خاص
- صافی سطح توسعه‌یافته به منظور افزایش اثر روانکاری و کاهش ارتعاش و سر و صدا

بیرینگ‌ها برای کاربردهای خاص

این بیرینگ‌ها دارای ابعاد استاندارد بوده و برای کاربردهای خاص تولید می‌شوند. این گروه از بیرینگ‌ها شامل، محصولات زیر است.

- بیرینگ‌های شیار عمیق مختلط با ساچمه‌های سرامیکی و رینگ‌های فولادی. این بیرینگ‌ها خواص حرکتی بسیار خوبی داشته و در سرعت‌های بالا و شرایط سخت بخوبی کار می‌کنند. به علت مقاومت آنها در مقابل عبور جریان الکتریکی این بیرینگ‌ها برای موتورهای الکتریکی مناسب می‌باشند.
- بیرینگ‌های INSOCOAT دارای رینگ داخلی یا خارجی عایق با پوششی از اکسید آلومینیوم می‌باشند. این بیرینگ‌ها در کاربردهای الکتریکی و شرایط سخت به کار می‌روند.
- بیرینگ‌ها و مجموعه بیرینگ‌ها[1] (Bearing Units) برای دماهای بالا. این بیرینگ‌ها می‌توانند در محدوده دمای 150- °C تا 350+ °C کار کنند و برای کاربردهایی نظیر واگن کوره‌ها (Kiln Truck)، صنایع غذایی (Bakery) و اتاق‌های سرد (Refrigeration Rooms) کاربرد دارند.
- بیرینگ‌های NoWear. این بیرینگ‌ها دارای سطح پوشش داده شده‌ای می‌باشند که در مقابل شرایط سخت نظیر بارهای بسیار سبک و شرایط روانکاری حدی مقاوم است.
- بیرینگ‌ها با روغن جامد، برای کاربردهایی که روش‌های روانکاری با روغن و گریس مناسب نبوده و یا امکان‌پذیر نمی‌باشند.

کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده

کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده است. این کاتالوگ شامل اطلاعات فنی و جداول محصولات زیر است.

- بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها به همراه تجهیزات جانبی آنها
- مجموعه بیرینگ‌ها و Y- بیرینگ‌ها
- نشیمنگاه‌ها (Housings)
- بیرینگ‌های تخت (Plain Bearings)
- آب‌بندها (Seals)

همچنین به کمک لوح فشرده می‌توان محاسبات زیر را به آسانی انجام داد.

- عمر اسمی و اصلاح‌شده (L_{10} و L_{nm})
- لزجت مورد نیاز برای روانکار
- بار معادل بیرینگ
- بار حداقل بیرینگ
- ظرفیت حمل بار محوری دینامیکی در رولربیرینگ‌های استوانه‌ای
- ممان اصطکاکی
- فرکانس‌های بیرینگ
- عمر گریس بیرینگ‌های آب‌بند
- جابجایی محوری بیرینگ‌های CARB
- تلرانس‌های شفت و انطباقات ناشی از آنها
- تلرانس‌های نشیمنگاه و انطباقات ناشی از آنها

همچنین نقشه‌های ۲ و ۳ بعدی هر بیرینگ را می‌توان از طریق لوح فشرده و اتصال به اینترنت سفارش داد.

---

۱. منظور از مجموعه بیرینگ‌ها مجموعه بیرینگ به همراه نشیمنگاه آن است. مترجم

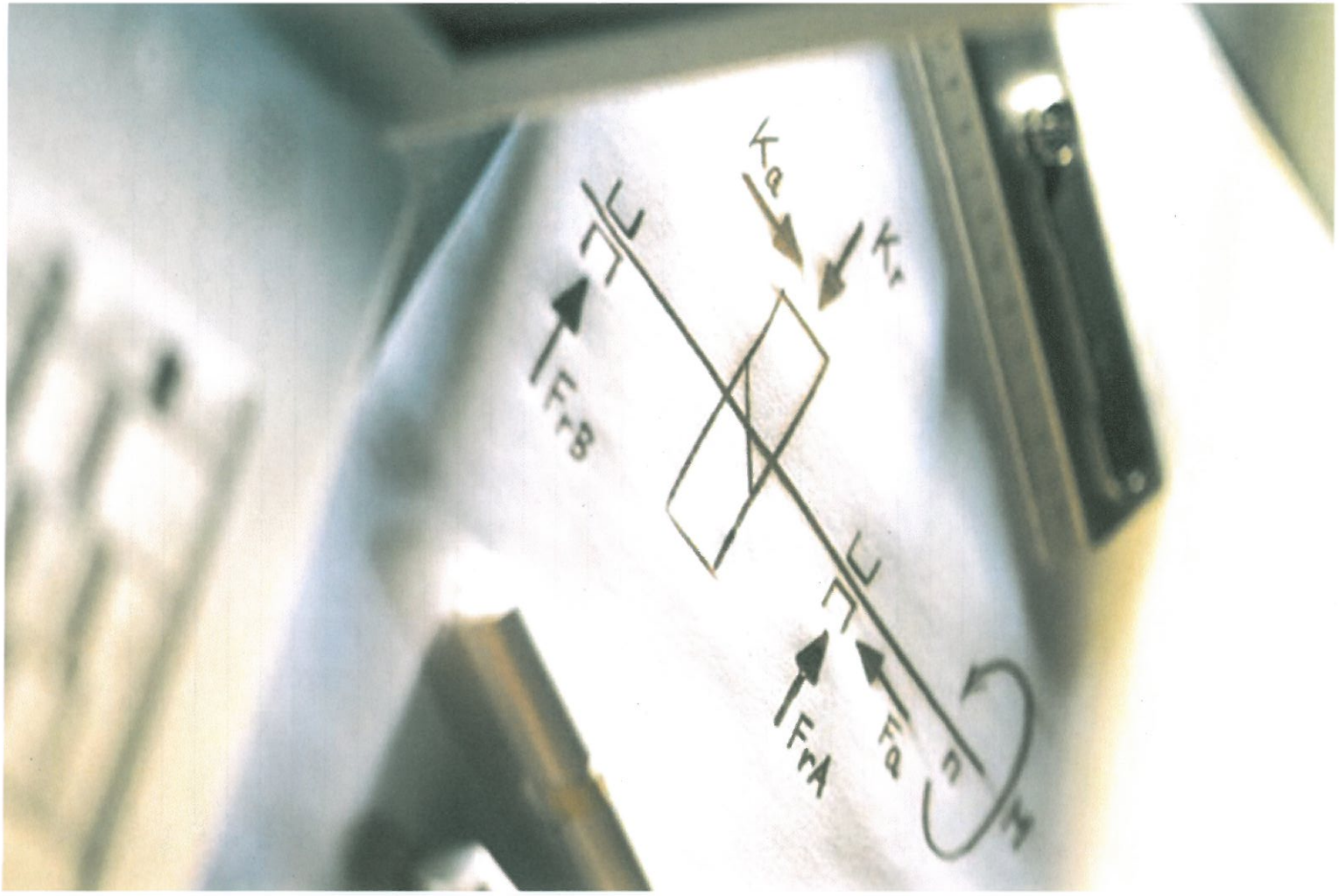
فهرست

بخش اول ـ اصول انتخاب و کاربرد بیرینگ‌ها

فصل اول ـ انواع بیرینگ‌ها ۱۵
فصل دوم ـ انتخاب نوع بیرینگ ۲۵
فصل سوم ـ انتخاب ابعاد بیرینگ ۴۱
فصل چهارم ـ اصطکاک ۷۵
فصل پنجم ـ سرعت‌ها و ارتعاشات ۹۵
فصل ششم ـ اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۱۰۵
فصل هفتم ـ کاربرد بیرینگ‌ها ۱۴۷
فصل هشتم ـ روانکاری ۲۱۷
فصل نهم ـ نصب کردن و بیرون آوردن بیرینگ‌ها ۲۴۵

بخش دوم ـ اطلاعات بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها

فصل اول ـ بلبیرینگ‌های شیار عمیق ۲۶۵
فصل دوم ـ بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای ۳۰۱
فصل سوم ـ بلبیرینگ‌های خود تنظیم ۳۳۷
فصل چهارم ـ رولربیرینگ‌های استوانه‌ای ۳۵۱
فصل پنجم ـ رولربیرینگ‌های مخروطی ۳۸۳
فصل ششم ـ رولربیرینگ‌های کروی ۴۱۱
فصل هفتم ـ رولربیرینگ‌های توریدال CARB® ۴۳۱
فصل هشتم ـ بلبیرینگ‌های کف‌گرد ۴۵۱
فصل نهم ـ رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد ۴۵۷
فصل دهم ـ رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد ۴۶۵
فصل یازدهم ـ بیرینگ‌های مهندسی ۴۷۳
فصل دوازدهم ـ مکاترونیک ـ بیرینگ‌های مجهز به سنسور ۵۱۳
فصل سیزدهم ـ تجهیزات جانبی بیرینگ‌ها ۵۲۱
فصل چهاردهم ـ نشیمنگاه‌های بیرینگ ۵۴۳
لغت‌نامه انگلیسی به فارسی ۵۶۳
لغت‌نامه فارسی به انگلیسی ۵۸۳


Ka
Kr
FrB
FrA
Fa

بخش اول

اصول انتخاب و کاربرد بیرینگ‌ها

فصل اول ـ انواع بیرینگ‌ها ۱۵
فصل دوم ـ انتخاب نوع بیرینگ ۲۵
فصل سوم ـ انتخاب ابعاد بیرینگ ۴۱
فصل چهارم ـ اصطکاک ۷۵
فصل پنجم ـ سرعت‌ها و ارتعاشات ۹۵
فصل ششم ـ اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۱۰۵
فصل هفتم ـ کاربرد بیرینگ‌ها ۱۴۷
فصل هشتم ـ روانکاری ۲۱۷
فصل نهم ـ نصب کردن و بیرون آوردن بیرینگ‌ها ۲۴۵

چیدمان بیرینگ‌ها علاوه بر بیرینگ شامل شفت و نشیمنگاه نیز می‌باشد. اهمیت روانکاری و آب‌بندی نیز غیرقابل انکار است. عملکرد بدون نقص یک بیرینگ به وجود یک روانکار مناسب بستگی دارد که علاوه بر روانکاری از خوردگی بیرینگ و نفوذ ذرات آلوده‌کننده خارجی نیز جلوگیری می‌کند. تمیزی محیط کارکرد عامل اساسی در عمر بیرینگ است.

به منظور طراحی چیدمان بیرینگ‌های غلتشی لازم است،

- بیرینگ مناسب انتخاب شود و
- ابعاد مناسب بیرینگ نیز تعیین شوند،

ولی این پایان کار نیست. جنبه‌های دیگر نیز باید بررسی شوند که عبارتند از،

- شکل و طراحی مناسب دیگر اجزای چیدمان،
- انطباق (Fit) مورد نیاز، لقی داخلی (Internal Clearance) بیرینگ یا پیش بار (Preload)،
- تجهیزات نگهدارنده (Holding Devices)،
- آب‌بندهای لازم،
- نوع و مقدار روانکار،
- روش نصب و بیرون آوردن و غیره.

هر کدام از موارد فوق در عملکرد، قابلیت اطمینان و هزینه چیدمان بیرینگ‌ها مؤثر می‌باشند.

میزان کار مورد نیاز بستگی به این دارد که آیا تجربهٔ قبلی در رابطه با چیدمان مشابه موجود است یا خیر. وقتی تجربهٔ قبلی موجود نیست، شرایط غیرمعمول وجود دارد یا هزینه چیدمان بیرینگ و مسائل مرتبط به آن اهمیت خاص پیدا می‌کند، میزان کار مورد نیاز افزایش می‌یابد. برای مثال محاسبات دقیق‌تر و یا آزمایش مورد نیاز است.

SKF به عنوان پیش رو در صنعت بیرینگ‌ها انواع گوناگون بیرینگ‌ها را در سری‌ها و طرح‌های مختلف تولید می‌کند. اطلاعات کامل در رابطه با این تولیدات در کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده‌اند.

در بخش‌های بعدی، طراحان چیدمان بیرینگ‌ها می‌توانند اطلاعات لازم را به ترتیبی‌که مورد نیاز است، پیدا کنند. واضح است که ارائه کامل مطالبی که دربرگیرنده کلیه جزئیات کاربردهای مختلف باشد، غیرممکن است.

اطلاعات ارائه‌شده در این بخش در مورد کل بیرینگ‌های غلتشی، یا حداقل گروهی از آنها صادق است و اطلاعات خاص و مربوط به هر نوع بیرینگ در بخش مربوط به آن بیرینگ آورده شده است.

جداول بیرینگ‌ها بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده‌اند. توجه شود که اطلاعات مربوط به ظرفیت اسمی حمل بار (Load Ratings)، سرعت اسمی و حد بار خستگی (Fatigue Load Limit) در جداول بر روی لوح فشرده به شدت گرد شده‌اند.

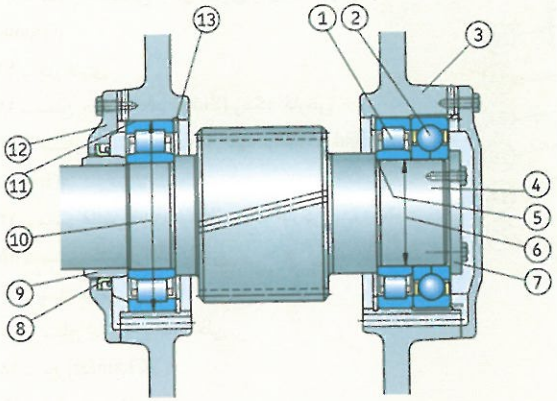
اصطلاحات بیرینگ‌ها

به منظور فهم بهتر اصطلاحات رایج بیرینگ‌ها، در صفحات ۱۳ و ۱۴ این اصطلاحات به کمک اشکال توضیح داده شده‌اند. جزئیات کامل در رابطه با اصطلاحات و تعاریف بیرینگ‌ها را می‌توان در استاندارد ISO 5593:1997 تحت عنوان « فرهنگ اصطلاحات بیرینگ‌های غلتشی » (Rolling Bearings - Vocabulary) پیدا کرد.

اصطلاحات بیرینگ‌ها

چیدمان بیرینگ (شکل ۱)

شکل ۱



۱ ـ رولربیرینگ استوانه‌ای (Cylindrical Roller Bearing)

۲ ـ بلبیرینگ چهار نقطه تماس (Four-Point Contact Ball Bearing)

۳ ـ نشیمنگاه

۴ ـ شفت

۵ ـ شانه پله شفت (Shaft Abutment Shoulder)

۶ ـ قطر شفت

۷ ـ صفحه قفل‌کننده (Locking Plate)

۸ ـ آب‌بند شعاعی شفت (Radial Shaft Seal)

۹ ـ رینگ فاصله انداز (Distance Ring)

۱۰ ـ قطر داخلی نشیمنگاه

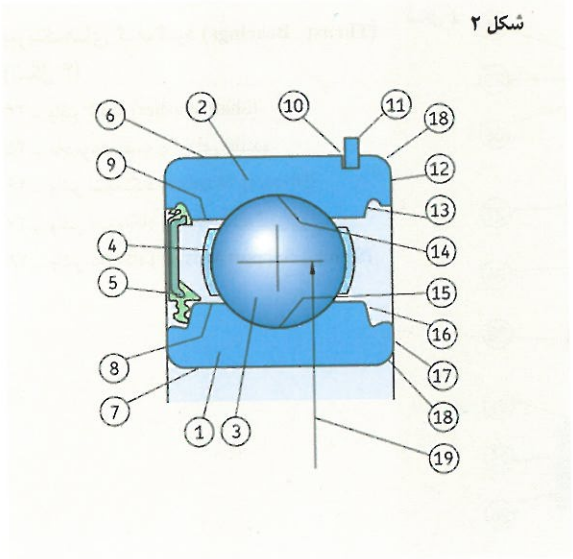
۱۱ ـ سطح داخلی نشیمنگاه

۱۲ ـ درپوش نشیمنگاه (Housing Cover)

۱۳ ـ خار فنری (Snap Ring)

بیرینگ‌های شعاعی (شکل‌های ۲ و ۳)

شکل ۲



۱ ـ رینگ داخلی

۲ ـ رینگ خارجی

۳ ـ جزء غلتنده (Rolling Element): ساچمه (Ball)، رولر استوانه‌ای (Cylindrical Roller)، رولر سوزنی (Needle Roller)، رولر مخروطی (Tapered Roller) و رولر بشکه‌ای (Spherical Roller)

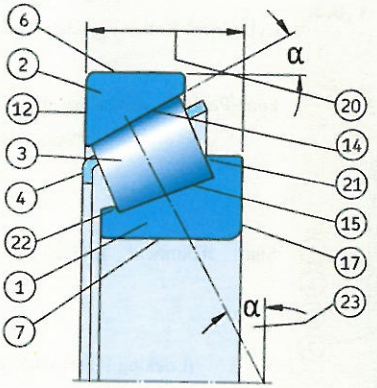
۴ ـ قفسه (Cage)

۵ ـ آب‌بند ـ از جنس الاستومر (Elastomer)، نوع تماسی (در شکل نشان داده شده است) یا حفاظ فلزی (Shield) غیرتماسی از ورق فولادی

۶ ـ قطر خارجی رینگ خارجی

۷ ـ قطر داخلی رینگ داخلی

شکل ۳



۸ ـ قطر شانه رینگ داخلی (Inner Ring Shoulder)

۹ ـ قطر شانه رینگ خارجی

۱۰ ـ شیار محیطی خار فنری (Snap Ring Groove)

۱۱ ـ خار فنری

۱۲ ـ سطح جانبی (Side Face) رینگ خارجی

۱۳ ـ شیار نصب آب‌بند (Seal Anchorage Groove)

۱۴ ـ مسیر غلتش (Raceway) رینگ خارجی

۱۵ ـ مسیر غلتش رینگ داخلی

۱۶ ـ شیار آب‌بند

۱۷ ـ سطح جانبی رینگ داخلی

۱۸ ـ پخ (Chamfer)

۱۹ ـ قطر متوسط بیرینگ

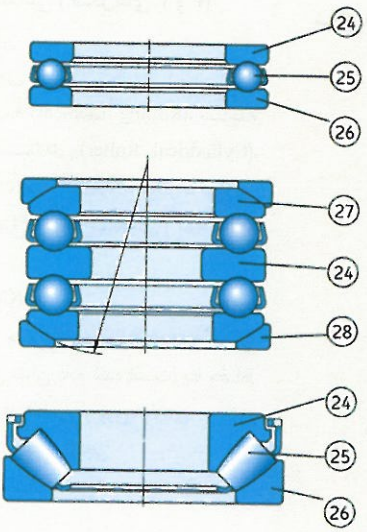
۲۰ ـ پهنای کل بیرینگ

۲۱ ـ لبه راهنما (Guiding Flange)

۲۲ ـ لبه نگهدارنده (Retaining Flange)

۲۳ ـ زاویه تماس (Contact Angle)

شکل ٤



بیرینگ‌های کف‌گرد (Thrust Bearings) (شکل ۴)

۲۴ ـ واشر شفت (Shaft Washer)

۲۵ ـ مجموعه قفسه و اجزای غلتنده

۲۶ ـ واشر نشیمنگاه (Housing Washer)

۲۷ ـ واشر نشیمنگاه با سطح تکیه‌گاه کروی

۲۸ ـ واشر تکیه‌گاه (Seating Support Washer)

فصل اول

انواع بیرینگ‌ها

بیرینگ‌های شعاعی

بلبیرینگ شیار عمیق (Deep Groove Ball Bearing)

یک ردیفه، با یا بدون شیار جازنی ساچمه‌ها (Filling Slot)

طرح اصلی باز (۱)

با حفاظ فلزی

با آب‌بند تماسی (۲)

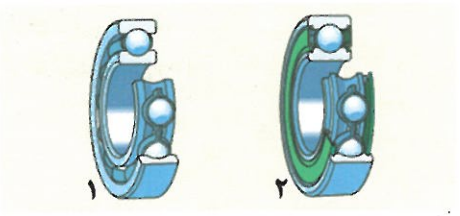
با شیار محیطی، با یا بدون خار فنری

یک ردیفه با مقطع باریک / ثابت (Fixed Section)

طرح اصلی باز (۳)

با آب‌بند تماسی

دو ردیفه (۴)



بلبیرینگ تماس زاویه‌ای (Angular Contact Ball Bearing)

یک ردیفه

طرح اصلی برای نصب تکی

طرح برای نصب جفتی چند منظوره (Universal Matching) (۵)

یک ردیفه دقیق (High Precision) [1]

طرح اصلی برای نصب تکی (۶)

طرح برای نصب جفتی چند منظوره

مجموعه بیرینگ‌های جفت‌شده (Matched Bearing Sets)

دو ردیفه

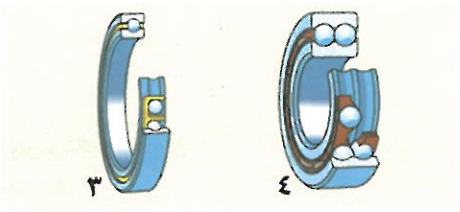
با رینگ داخلی یک تکه (۷)

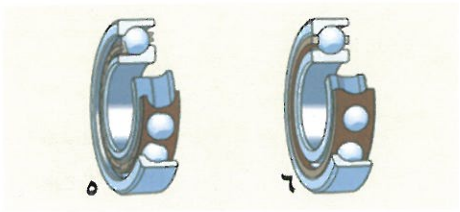
طرح اصلی باز

با حفاظ فلزی

با آب‌بند تماسی

با رینگ داخلی دو تکه





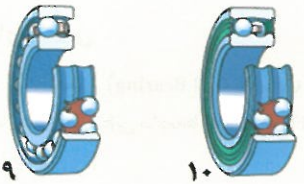
بلبیرینگ چهار نقطه تماس (۸)

بلبیرینگ خود تنظیم (Self-Aligning Ball Bearing)

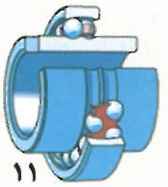
با رینگ داخلی استوانه‌ای یا مخروطی (Tapered Bore)

طرح اصلی باز (۹)

با آب‌بند تماسی (۱۰)



با رینگ داخلی بیرون‌زده (Extended Inner Ring) (۱۱)

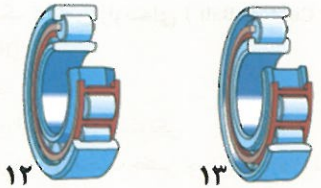


رولربیرینگ استوانه‌ای

یک ردیفه

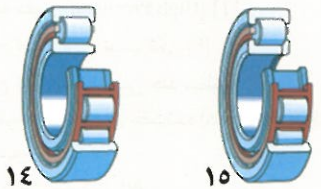
طرح NU (۱۲)

طرح N (۱۳)



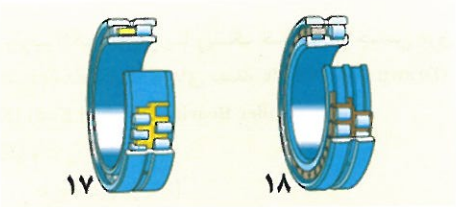
طرح NJ (۱۴)

طرح NUP (۱۵)



رینگ زاویه‌دار (Angle Ring) (۱۶)

برای طرح‌های NU و NJ



رولربیرینگ استوانه‌ای

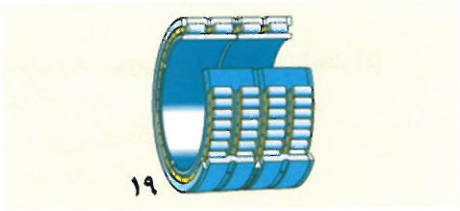
دو ردیفه [1]

با رینگ داخلی استوانه‌ای یا مخروطی

طرح NNU (۱۷)

طرح NN (۱۸)

طرح NNUP

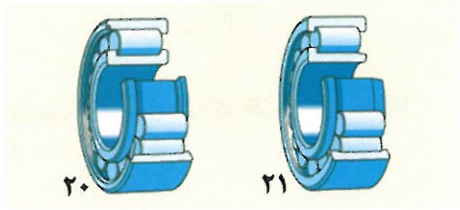


چهار ردیفه

با رینگ داخلی استوانه‌ای یا مخروطی

طرح باز (۱۹)

با آب‌بند تماسی

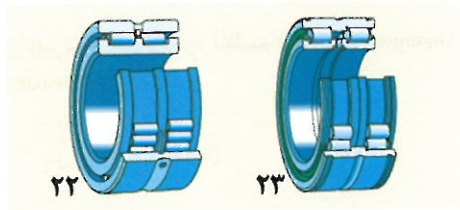


رولربیرینگ استوانه‌ای بدون قفسه (Full Complement)

یک ردیفه

طرح NCF (۲۰)

طرح NJG (۲۱)

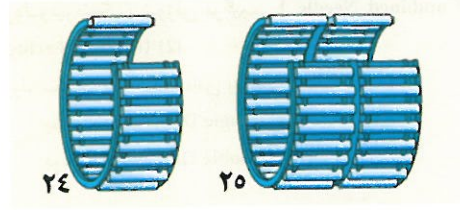


دو ردیفه

با رینگ داخلی لبه‌دار (Integral Flange) (۲۲)

با رینگ داخلی و خارجی لبه‌دار

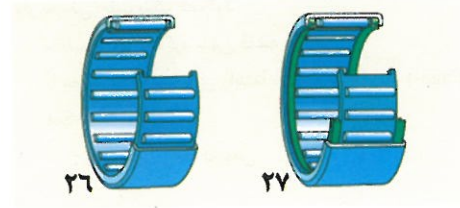
با آب‌بند تماسی (۲۳)



مجموعه قفسه و رولرهای سوزنی (Needle Roller and Cage Assemblies) [2]

یک ردیفه (۲۴)

دو ردیفه (۲۵)

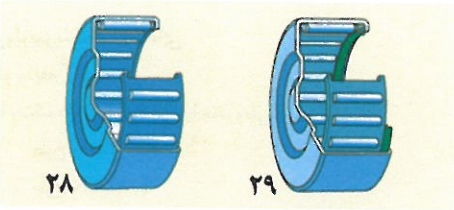


رولربیرینگ سوزنی با رینگ خارجی از جنس ورق کشیده‌شده با دو انتهای باز (Drawn Cup Needle Roller Bearing , Open Ends) [2]

یک و دو ردیفه

طرح اصلی باز (۲۶)

با آب‌بند تماسی (۲۷)

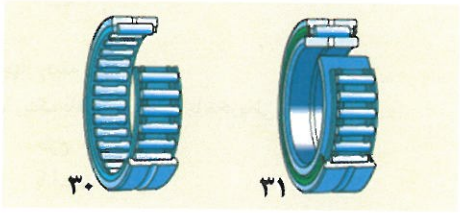


رولربیرینگ سوزنی با رینگ خارجی از جنس ورق کشیده‌شده با یک انتهای بسته (Drawn Cup Needle Roller Bearing , Closed End) [2]

یک و دو ردیفه

طرح اصلی باز (۲۸)

با آب‌بند تماسی (۲۹)



رولربیرینگ سوزنی با رینگ خارجی لبه‌دار [2]

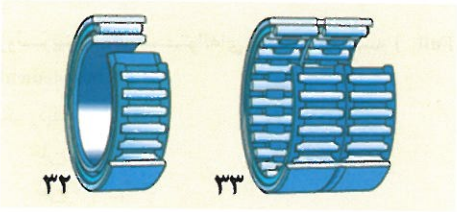
یک یا دو ردیفه

بدون رینگ داخلی (۳۰)

با رینگ داخلی

طرح اصلی باز

با آب‌بند تماسی (۳۱)

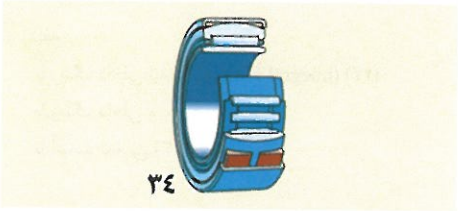


رولربیرینگ سوزنی با رینگ خارجی بدون لبه [2]

یک یا دو ردیفه

با رینگ داخلی (۳۲)

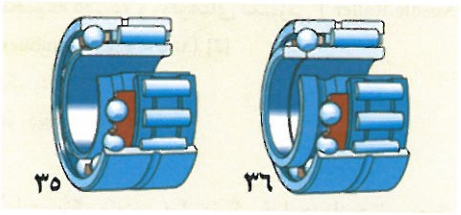
بدون رینگ داخلی (۳۳)



رولربیرینگ سوزنی خود تنظیم (Alignment Needle Roller Bearing) [2]

با رینگ داخلی

بدون رینگ داخلی (۳۴)

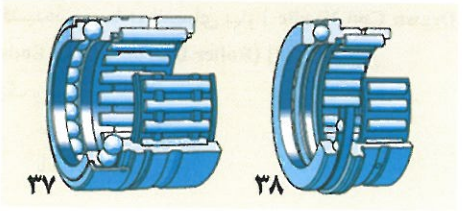


رولربیرینگ سوزنی ترکیبی (Combined Needle Rollor Bearing) [2]

رولر سوزنی/ بلبیرینگ تماس زاویه‌ای

یکطرفه (Single Direction) (۳۵)

دوطرفه (Double Direction) (۳۶)

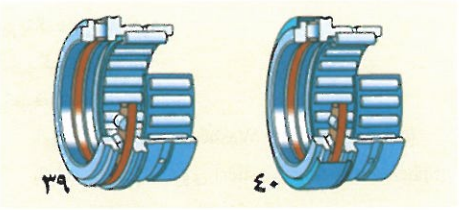


رولر سوزنی/ بلبیرینگ کف‌گرد

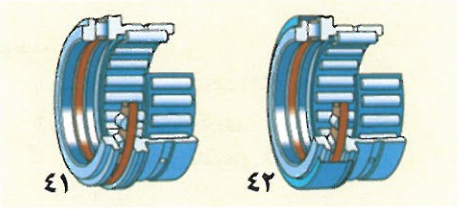
با بلبیرینگ کف‌گرد بدون قفسه (۳۷)

با مجموعه ساچمه‌های راهنما شونده با قفسه (Cage-Guided Ball Set)

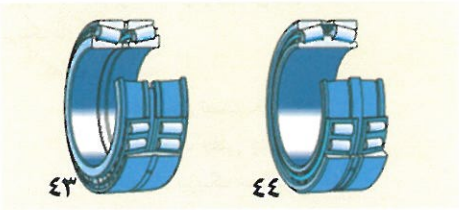
با یا بدون (۳۸) درپوش



رولر سوزنی/ رولربیرینگ استوانه‌ای کف‌گرد
بدون دربوش (۳۹)
با درپوش (۴۰)

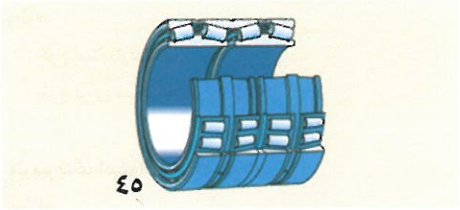


رولربیرینگ مخروطی (Taper Roller Bearing)
یک ردیفه
بیرینگ تکی (۴۱)
مجموعه دو بیرینگ جفت‌شده
جلو به جلو (Face-to-Face) (۴۲)
پشت به پشت (Back-to-Back)
پشت سر هم (Tandem)

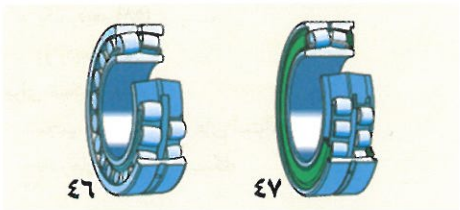


دو ردیفه
طرح TDO (پشت به پشت) (۴۳)
طرح TDI (جلو به جلو) (۴۴)

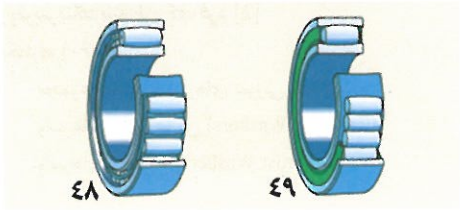
چهار ردیفه
طرح TQO (۴۵)
طرح TQI

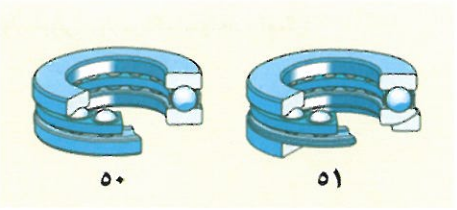


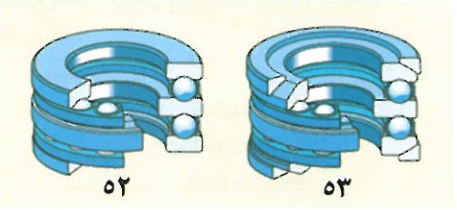
رولربیرینگ کروی (Spherical Roller Bearing)
با رینگ داخلی استوانه‌ای یا مخروطی
طرح اصلی باز (۴۶)
با آب‌بند تماسی (۴۷)

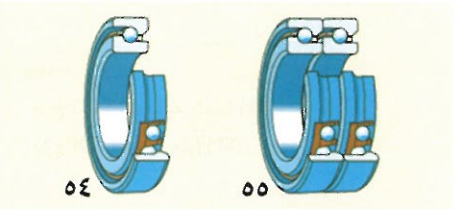


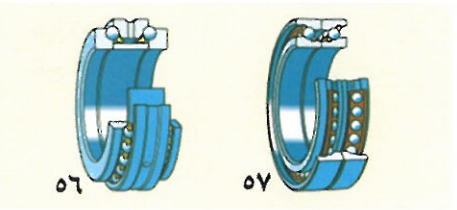
رولربیرینگ توریدال CARB
با رینگ داخلی استوانه‌ای یا مخروطی
طرح اصلی باز
با مجموعه رولرهای راهنما شونده با قفسه (۴۸)
با مجموعه رولرهای بدون قفسه
با آب‌بند تماسی (۴۹)

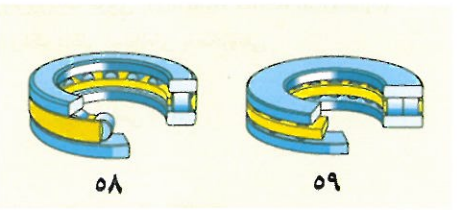


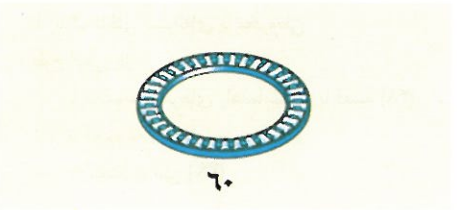












بیرینگ‌های کف‌گرد

بلبیرینگ کف‌گرد

یکطرفه

با واشر نشیمنگاه تخت (Flat Housing Washer) (۵۰)

با واشر نشیمنگاه کروی (Sphered Housing Washer)

با (۵۱) یا بدون واشر تکیه‌گاه

دوطرفه

با واشرهای نشیمنگاه تخت (۵۲)

با واشرهای نشیمنگاه کروی

با (۵۳) یا بدون واشرهای تکیه‌گاه

بلبیرینگ کف‌گرد تماس زاویه‌ای [1]

بیرینگ‌های دقیق

یکطرفه

طرح اصلی برای نصب تکی (۵۴)

طرح برای نصب جفتی چند منظوره

مجموعه چند بیرینگ جفت‌شده (۵۵)

دوطرفه

طرح استاندارد (۵۶)

طرح برای سرعت‌های بالا (۵۷)

رولربیرینگ استوانه‌ای کف‌گرد

یکطرفه

یک ردیفه (۵۸)

دو ردیفه (۵۹)

اجزای تشکیل‌دهنده

مجموعه قفسه و رولرهای استوانه‌ای کف‌گرد

واشرهای شفت و نشیمنگاه

رولربیرینگ سوزنی کف‌گرد [2]

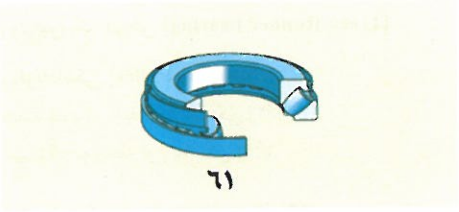
یکطرفه (۶۰)

مجموعه قفسه و رولرهای سوزنی کف‌گرد

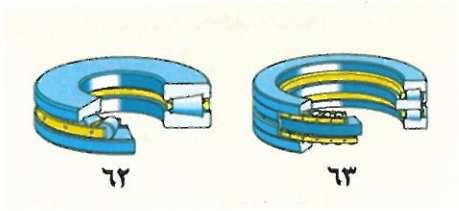
واشرهای مسیر غلتش (Raceway Washers)

واشرهای کف‌گرد (Thrust Washers)

رولربیرینگ کروی کف‌گرد
یکطرفه (۶۱)

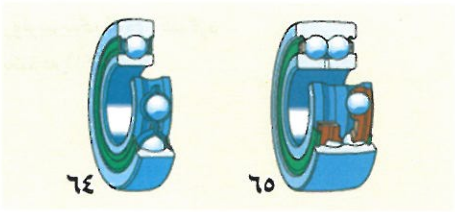


رولربیرینگ مخروطی کف‌گرد
یکطرفه
با یا بدون (۶۲) درپوش
بیرینگ‌های Screw Down[1]
دوطرفه (۶۳)



---

۱. بیرینگ‌های فوق در صنایع نورد برای تنظیم غلتک‌های نورد بکار می‌روند. مترجم

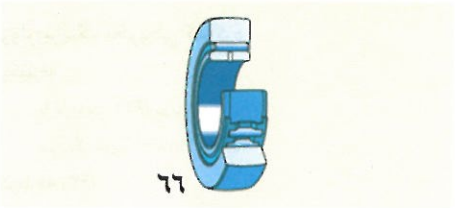


رولربیرینگ چرخی (Track Runner Bearing)

رولربادامکی (Cam Roller)

بلبیرینگ یک ردیفه نوع بادامکی (۶۴)

بلبیرینگ دو ردیفه نوع بادامکی (۶۵)



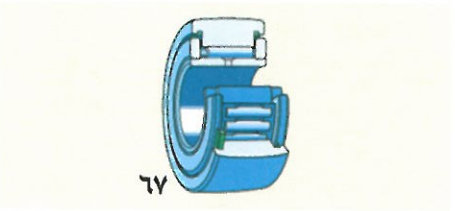
رولر پشتیبان (Support Roller) [2]

بدون راهنمای محوری (Axial Guidance)

با یا بدون آب‌بند تماسی

بدون رینگ داخلی

با رینگ داخلی (۶۶)

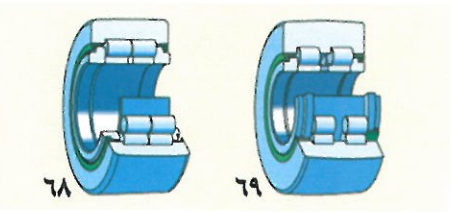


با راهنمای محوری به وسیله واشرهای کف‌گرد

با یا بدون آب‌بند تماسی

با مجموعه رولرهای سوزنی راهنما شونده با قفسه (۶۷)

با مجموعه رولرهای سوزنی بدون قفسه



با راهنمای محوری به وسیله رولرهای استوانه‌ای

با آب‌بند شیاردار (Labyrinth Seal) (۶۸)

با آب‌بند تماسی (۶۹)

با آب‌بند نوع Lamellar

بادامک پیرو (Cam Follower) [2]

با راهنمای محوری به وسیله صفحه کف‌گرد (Thrust Plate)

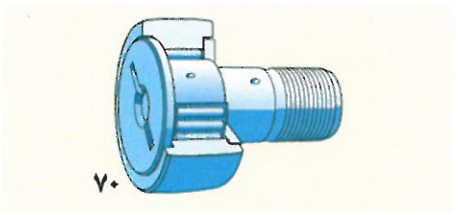
با یا بدون آب‌بند تماسی

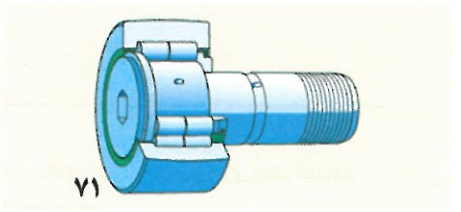
با نشیمنگاه هم‌مرکز (Concentric Seating) (۷۰)

با حلقه نشیمنگاه خارج از مرکز (Eccentric Collar Seating)

با مجموعه رولرهای سوزنی راهنما شونده با قفسه (۷۰)

با مجموعه رولرهای سوزنی بدون قفسه





با راهنمای محوری به وسیله رولرهای استوانه‌ای

با آب‌بند شیاردار (۷۱)

با آب‌بند تماسی

با نشیمنگاه هم‌مرکز (۷۱)

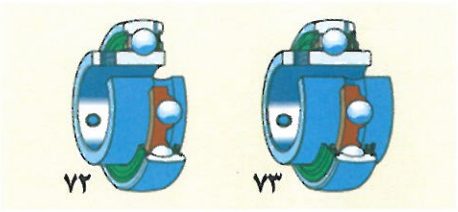
با حلقه نشیمنگاه خارج از مرکز

Y - بیرینگ‌ها [3]

با پیچ مغزی (Grub Screw)

با رینگ داخلی بیرون‌زده از یک طرف (۷۲)

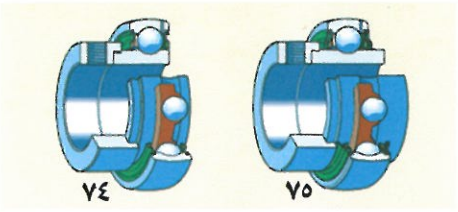
با رینگ داخلی بیرون‌زده از دو طرف (۷۳)



با رینگ قفل‌کن خارج از مرکز (Eccentric Locking Collar)

با رینگ داخلی بیرون‌زده از یک طرف (۷۴)

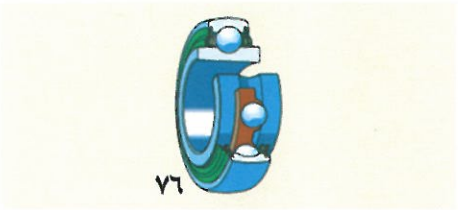
با رینگ داخلی بیرون‌زده از دو طرف (۷۵)



با رینگ داخلی مخروطی

رینگ داخلی بیرون‌زده از دو طرف (۷۶)

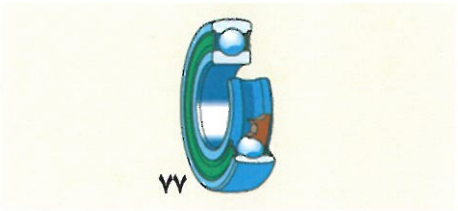
برای نصب به کمک غلاف واسطه (Adapter Sleeve)



با رینگ داخلی استاندارد

برای قفل شدن با انطباق تداخلی بر روی

شفت (۷۷)



با رینگ داخلی شش ضلعی (Hexagonal Bore) (۷۸)

با رینگ داخلی چهار ضلعی

مراجع:

[1] SKF catalogue "High-Precision Bearings".

[2] SKF catalogue "Needle Roller Bearings".

[3] SKF catalogue "Y-Bearings and Y-Bearing Units".

فصل دوم

انتخاب نوع بیرینگ

فضای موجود ۲۷
بارها ۲۹
مقدار بار ۲۹
جهت بار ۲۹
عدم همراستایی ۳۲
دقت ۳۲
سرعت ۳۴
حرکت بی‌سر و صدا ۳۴
سفتی ۳۴
جابجایی محوری ۳۵
نصب و بیرون آوردن بیرینگ ۳۶
رینگ داخلی استوانه‌ای ۳۶
رینگ داخلی مخروطی ۳۶
بیرینگ‌های آب‌بندی شده ۳۷
ماتریس انواع بیرینگ‌ها ـ طرح‌ها و مشخصه‌ها ۳۸

هر نوع بیرینگ بر اساس طرح خود مشخصه‌ها و خواصی دارد که آن را کم و بیش برای یک کاربرد مناسب می‌کند. برای مثال، بلبیرینگ‌های شیار عمیق می‌توانند بارهای شعاعی و محوری متوسط را تحمل کنند. اصطکاک در این بیرینگ‌ها کم بوده و امکان تولید آنها با دقت زیاد و در طرح‌های کم سر و صدا وجود دارد. بنابراین این بیرینگ‌ها در الکترو موتورهای الکتریکی کوچک و متوسط به طور وسیع استفاده می‌شوند.

رولربیرینگ‌های کروی و توریدال می‌توانند بارهای سنگین را تحمل کنند و همچنین خود تنظیم می‌باشند. (خود را با عدم همراستایی بین شفت و نشیمنگاه تنظیم می‌کنند) این خواص آنها برای کاربرد در صنایع سنگین در جایی که بار سنگین، تغییر شکل شفت و عدم همراستایی وجود دارد، مناسب می‌کند.

در بیشتر موارد چندین عامل باید در نظر گرفته‌شده و نسبت به یکدیگر مقایسه شوند. لذا امکان ارائه یک قانون عمومی وجود ندارد. اطلاعات ارائه‌شده در این بخش مهم‌ترین فاکتورهایی هستند که باید در انتخاب یک بیرینگ استاندارد در نظر گرفته شوند، که عبارتند از،

- فضای موجود
- بارها
- عدم همراستایی (Misalignment)
- دقت
- سرعت
- حرکت بی‌سر و صدا
- سفتی (Stiffness)
- جابجایی محوری
- نصب و بیرون آوردن بیرینگ
- بیرینگ‌های آب‌بندی شده

خلاصه‌ای از انواع بیرینگ‌های استاندارد، طرح و مشخصهٔ آنها و مناسب بودن آنها برای شرایط و کاربردهای مختلف در ماتریس صفحات ۳۸ و ۳۹ آورده شده است. جزئیات کامل هر نوع بیرینگ خاص به همراه مشخصه‌ها و طرح‌های موجود آن در بخش مربوط به آن بیرینگ آمده است. بیرینگ‌هایی که در ماتریس آورده نشده‌اند، عموماً برای چند کاربرد شناخته‌شده خاص بکار می‌روند.

ماتریس یک تقسیم‌بندی نسبتاً سطحی از بیرینگ‌ها را نشان می‌دهد. به علت محدودیت علائم در ماتریس نمی‌توان اختلاف دقیق بین بیرینگ‌ها را نشان داد. همچنین بعضی خواص فقط به طرح بیرینگ بستگی ندارند. برای مثال سفتی در یک چیدمان شامل بیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یا مخروطی به پیش بار و سرعت نیز بستگی دارد و سرعت خود بستگی به دقت بیرینگ و دیگر اجزای و طراحی قفسه دارد. جدای از محدودیت‌های آن، ماتریس صفحات ۳۸ و ۳۹ را می‌توان برای انتخاب نوع بیرینگ بکار برد. البته لازم به ذکر است که هزینه کل چیدمان بیرینگ‌ها و مسائل مربوط به انبارداری نیز در انتخاب نهایی تأثیرگذار می‌باشند.

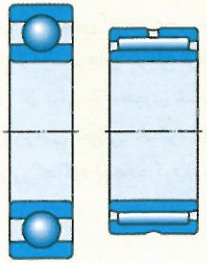
پارامترهای مهم در طراحی چیدمان بیرینگ‌ها نظیر ظرفیت حمل بار و عمر، اصطکاک، سرعت‌های مجاز، لقی داخلی بیرینگ یا پیش بار، روانکاری و آب‌بندی در بخش‌های دیگر به طور کامل بررسی می‌شوند.

فضای موجود

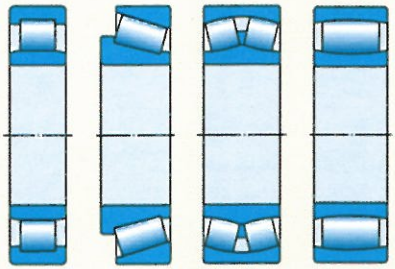
در بیشتر موارد یکی از ابعاد اصلی بیرینگ، معمولاً قطر داخلی، بر اساس طراحی ماشین (قطر شفت) از پیش تعیین شده است.

برای شفت‌ها با قطر کم همه انواع بلبیرینگ‌ها را می‌توان استفاده کرد، ولی بیشترین کاربرد را بلبیرینگ‌های شیار عمیق دارند. رولربیرینگ‌های سوزنی نیز برای این منظور مناسب هستند (شکل ۱). برای شفت‌ها با قطر بزرگ، رولربیرینگ‌های استوانه‌ای، مخروطی، کروی و توریدال بکار می‌روند. همچنین بلبیرینگ‌های شیار عمیق نیز در این موارد کاربرد دارند (شکل ۲). وقتی محدودیت شعاعی وجود دارد باید از بیرینگ‌ها با مقطع کوچک و یا سری‌های قطر ۸ و ۹ استفاده کرد. به علاوه مجموعه قفسه و رولرهای سوزنی، رولربیرینگ سوزنی با رینگ خارجی از جنس ورق کشیده‌شده و رولربیرینگ سوزنی با یا بدون رینگ داخلی (شکل ۳) [1] بسیار مناسب می‌باشند. همچنین بعضی از سری‌های بلبیرینگ‌های شیار عمیق و تماس زاویه، رولربیرینگ‌های استوانه‌ای، مخروطی، کروی و توریدال نیز بکار می‌روند.

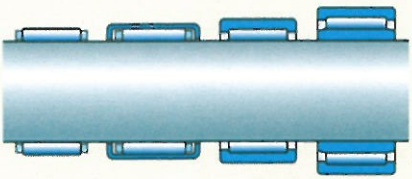
شکل ۱



شکل ۲

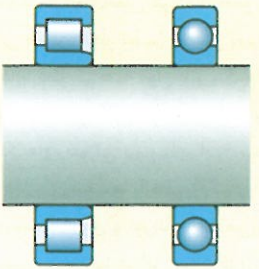


شکل ۳

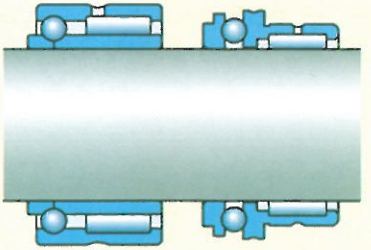


وقتی محدودیت محوری وجود دارد سری‌های خاصی از رولربیرینگ‌های استوانه‌ای و بلبیرینگ‌های شیار عمیق برای تحمل بار محوری و ترکیبی استفاده می‌شوند (شکل ۴). همچنین از انواع رولربیرینگ‌های سوزنی ترکیبی نیز می‌توان استفاده کرد (شکل ۵). برای بار محوری خالص، می‌توان از مجموعه قفسه و رولرهای سوزنی کف‌گرد (با یا بدون واشرها) و رولربیرینگ سوزنی کف‌گرد استفاده کرد (شکل ۶).

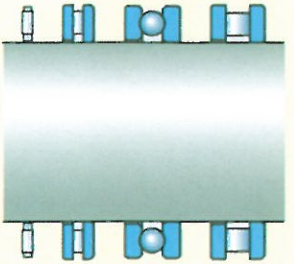
شکل ٤



شکل ٥



شکل ٦

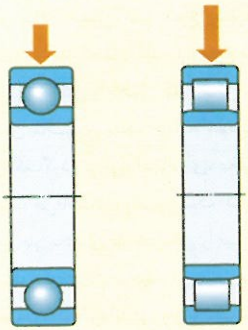


بارها

مقدار بار

مقدار بار یکی از فاکتورهای تعیین‌کننده ابعاد بیرینگ است. عموماً، رولربیرینگ‌ها توانایی حمل بار بیشتری نسبت به بلبیرینگ‌ها با ابعاد مشابه دارند (شکل ۷). همچنین بیرینگ‌های بدون قفسه (تعداد ساچمه‌ها یا رولرهای بیشتر) توانایی حمل بار بیشتری نسبت به بیرینگ‌های قفسه‌دار مشابه، دارند. بلبیرینگ‌ها عموماً برای بارهای کم و متوسط بکار می‌روند. برای بارهای سنگین و شفت‌های قطور، رولربیرینگ‌ها انتخاب مناسب‌تری می‌باشند.

شکل ۷

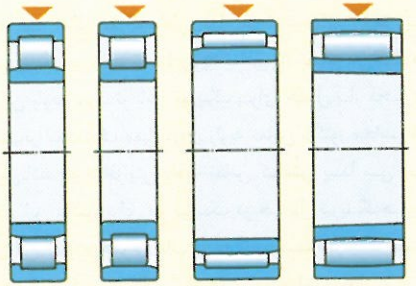


جهت بار

بار شعاعی

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای طرح NU و N، رولربیرینگ سوزنی و رولربیرینگ توریدال فقط می‌توانند بار شعاعی خالص را تحمل کنند (شکل ۸). انواع دیگر بیرینگ‌های شعاعی علاوه بر بار شعاعی توانایی حمل بار محوری را نیز دارند. (به بخش « بارهای ترکیبی » مراجعه کنید).

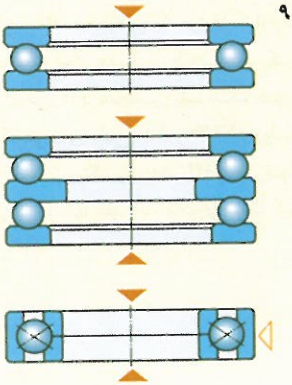
شکل ۸



بار محوری

بلبیرینگ کف‌گرد و بلبیرینگ چهار نقطه تماس (شکل ۹) برای تحمل بارهای محوری خالص کم تا متوسط مناسب می‌باشند. بلبیرینگ کف‌گرد یکطرفه فقط بار محوری را در یک جهت تحمل می‌کند. برای تحمل بار محوری در دو جهت نیاز به بلبیرینگ کف‌گرد دوطرفه است.

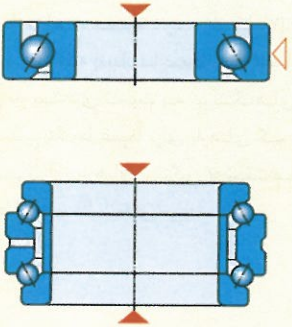
شکل ۹



بلبیرینگ تماس زاویه‌ای کف‌گرد می‌تواند بار محوری متوسط را در سرعت‌های بالا تحمل کند. نوع یکطرفه می‌تواند همزمان بار شعاعی را نیز تحمل کند ولی نوع دوطرفه فقط می‌تواند بار محوری خالص را تحمل کند (شکل ۱۰).

برای بارهای محوری یک جهته متوسط و سنگین رولربیرینگ‌های کف‌گرد سوزنی، استوانه‌ای، مخروطی و کروی (شکل ۱۱) مناسب می‌باشند. رولربیرینگ کروی کف‌گرد می‌تواند علاوه بر بار محوری بار شعاعی را نیز تحمل کند. برای بارهای سنگین محوری با جهت متغیر می‌توان از دو رولربیرینگ استوانه‌ای کف‌گرد یا دو رولربیرینگ کروی کف‌گرد که در کنار هم قرار می‌گیرند، استفاده کرد.

شکل ۱۰

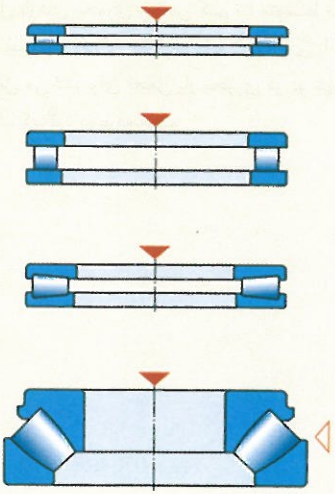


بارهای ترکیبی

بار ترکیبی از یک بار محوری به همراه یک بار شعاعی تشکیل شده است که به طور همزمان عمل می‌کنند. توانایی حمل بار محوری یک بیرینگ توسط زاویه تماس α تعیین می‌شود. هر چه این زاویه بزرگ‌تر باشد بیرینگ برای حمل بار محوری مناسب‌تر است. یک معیار برای زاویه تماس فاکتور محاسباتی Y می‌باشد که با افزایش زاویه تماس کاهش پیدا می‌کند. مقادیر این فاکتور برای هر بیرینگ در جداول بیرینگ‌ها بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده است. ظرفیت حمل بار محوری یک بلبیرینگ شیار عمیق به طراحی داخلی و لقی داخلی آن بستگی دارد (بخش « بلبیرینگ‌های شیار عمیق » صفحه ۲۶۵ را ببنید).

برای بارهای ترکیبی، بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه، دو ردیفه و رولربیرینگ مخروطی یک ردیفه کاربرد زیادی دارند، ولی بلبیرینگ شیار عمیق و رولربیرینگ کروی نیز مناسب هستند (شکل ۱۲). همچنین بلبیرینگ خود تنظیم، رولربیرینگ استوانه‌ای طرح NJ و NUP و رولربیرینگ استوانه‌ای طرح NU با رینگ زاویه‌دار HJ را می‌توان برای بارهای ترکیبی که در آنها مقدار بار محوری نسبتاً کم است، بکار برد (شکل ۱۳).

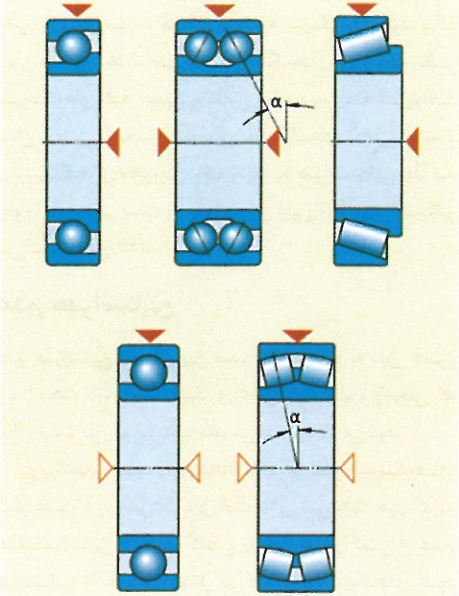
شکل ۱۱



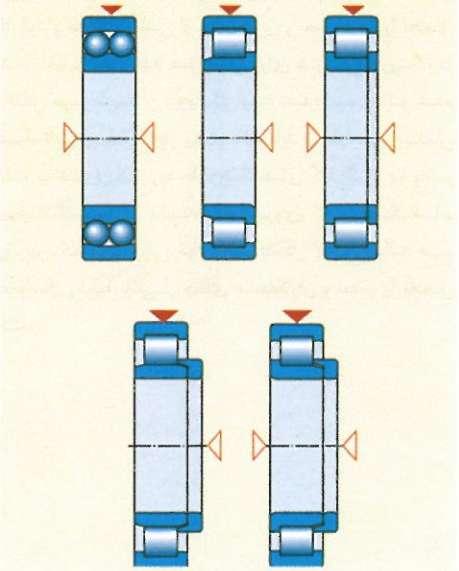
بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه، رولربیرینگ مخروطی، رولربیرینگ استوانه‌ای طرح NJ، رولربیرینگ استوانه‌ای طرح NU به همراه رینگ زاویه‌دار HJ و رولربیرینگ کروی کف‌گرد بار محوری را فقط در یک جهت تحمل می‌کنند. و برای بار محوری دو جهته باید به همراه یک بیرینگ دیگر بکار برده شوند. به همین علت، بلبیرینگ‌های یک ردیفه تماس زاویه‌ای در طرح چند منظوره برای نصب جفتی موجود می‌باشند، همچنین رولربیرینگ‌های مخروطی را نیز می‌توان به صورت جفتی استفاده کرد (به بخش « بلبیرینگ‌های تماس زاویه یک ردیفه » در صفحه ۳۰۵ و بخش « رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه جفت‌شده » در صفحه ۴۰۱ مراجعه کنید).

وقتی مؤلفه بار محوری یک بار ترکیبی بزرگ باشد، ممکن است که از یک بیرینگ مجزا برای حمل بار محوری استفاده شود و بیرینگ دیگر بار شعاعی را تحمل کند. علاوه بر بیرینگ‌های کف‌گرد بعضی بیرینگ‌های شعاعی نظیر بلبیرینگ شیار عمیق یا بلبیرینگ چهار نقطه تماس برای این منظور مناسب می‌باشند (شکل ۱۴). برای اطمینان از این که این بیرینگ تحت بار شعاعی قرار نمی‌گیرد، رینگ خارجی آن باید با لقی شعاعی در نشیمنگاه نصب شود.

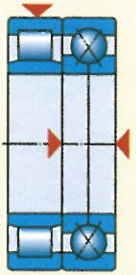
شکل ۱۲



شکل ۱۳



شکل ۱۴



بار خمشی (Moment Load)

وقتی باری به صورت خارج از مرکز به بیرینگ وارد شود، یک ممان خمشی ایجاد می‌کند. بیرینگ‌های دو ردیفه نظیر بلبیرینگ‌های شیار عمیق و تماس زاویه دو ردیفه می‌توانند ممان خمشی را تحمل کنند ولی بلبیرینگ‌های تماس زاویه و رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه به صورت جفتی جلو به جلو یا طرح بهتر پشت به پشت، برای این منظور مناسب‌تر می‌باشند (شکل ۱۵).

عدم همراستایی

عدم همراستایی زاویه‌ای بین شفت و نشیمنگاه به دلیل خمش شفت تحت بار، عدم ماشینکاری دقیق نشیمنگاه و یا وقتی که طول شفت بین دو بیرینگ بلند می‌باشد، ایجاد می‌شود.

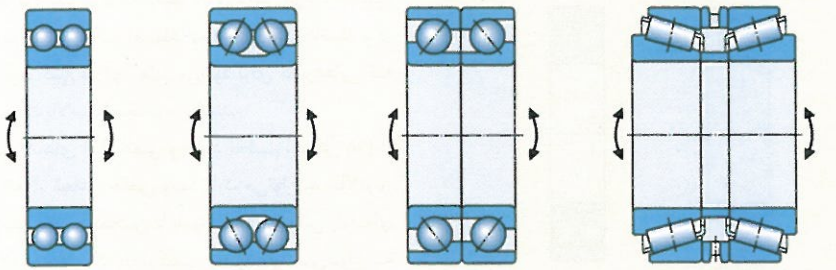
بیرینگ‌های صلب (Rigid Bearings) نظیر بلبیرینگ‌های شیار عمیق و رولربیرینگ‌های استوانه‌ای نمی‌توانند هیچ گونه عدم همراستایی را تحمل کنند و یا فقط مقدار کمی از عدم همراستایی را تحت بار تحمل می‌کنند. ولی بیرینگ‌های خود تنظیم نظیر بلبیرینگ خود تنظیم، رولربیرینگ کروی، رولربیرینگ توریدال و رولربیرینگ کروی کف‌گرد (شکل ۱۶) می‌توانند عدم همراستایی ناشی از بارهای وارده در حین کارکرد و خطاهای ناشی از ماشینکاری و نصب اولیه را تحمل کنند. مقادیر مجاز عدم همراستایی برای هر نوع بیرینگ در بخش مربوط به آن بیرینگ آورده شده است. اگر عدم همراستایی از مقدار مجاز بیشتر باشد باید در طراحی چیدمان دقت بیشتری بکار رود. بلبیرینگ‌های کف‌گرد با واشر نشیمنگاه و واشر تکیه‌گاه کروی، Y- بیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌های سوزنی خود تنظیم (شکل ۱۷) می‌توانند عدم همراستایی اولیه ناشی از خطای ماشینکاری و نصب را تحمل کنند.

دقت

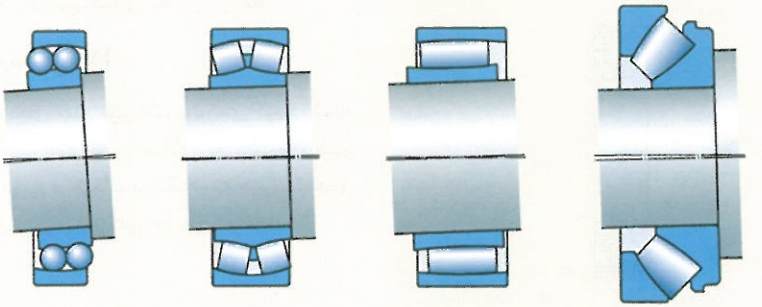
برای چیدمان‌هایی که نیاز به دقت دورانی بالا دارند، نظیر چیدمان بیرینگ‌های محور کارگیر ماشین‌های ابزار (Spindle) و یا کاربردهایی که سرعت در آنها زیاد است به بیرینگ‌هایی با دقت‌های بالاتر از دقت نرمال نیاز است.

در بخش مربوط به هر بیرینگ کلاس تلرانس‌های مربوطه آورده شده است. برای اطلاعات بیشتر در رابطه با تلرانس‌های بیرینگ‌های دقیق به مرجع [2] مراجعه کنید.

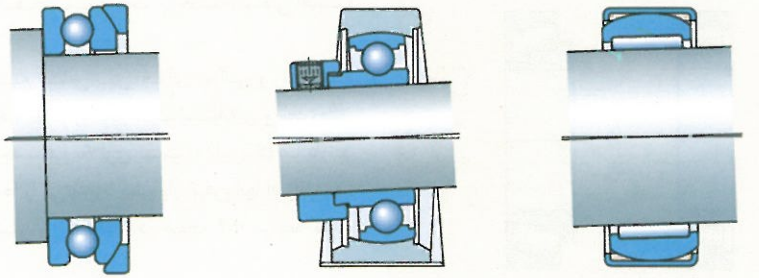
شکل ۱۵



شکل ۱۶



شکل ۱۷



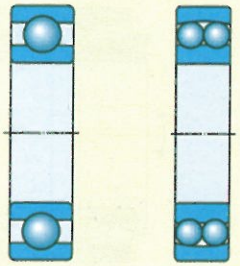
سرعت

سرعت کارکرد یک بیرینگ توسط دمای مجاز کارکرد محدود می‌شود. بیرینگ‌هایی که اصطکاک داخلی کم داشته و در نتیجه حرارت کمی در آنها تولید می‌شود برای کاربردهایی که در آنها سرعت بالاست، مناسب می‌باشند.

با بلبیرینگ‌های شیار عمیق و خود تنظیم (شکل ۱۸) در شرایطی که بار شعاعی خالص وجود دارد، می‌توان به بالاترین سرعت دست یافت، همچنین با بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای (شکل ۱۹) در حالتی که بار ترکیبی وجود دارد می‌توان به بالاترین حد سرعت دست یافت. این موضوع بخصوص در رابطه با بلبیرینگ‌های تماس زاویه دقیق یا بلبیرینگ‌های شیار عمیق با ساچمه‌های سرامیکی صحت دارد.

بیرینگ‌های کف‌گرد، به علت طرح خاص خود نمی‌توانند در سرعت‌های بالا نظیر بیرینگ‌های شعاعی کار کنند.

شکل ۱۸



حرکت بی‌سر و صدا

در بعضی کاربردهای معین نظیر الکتروموتورهای کوچک لوازم خانگی یا تجهیزات اداری سر و صدای ایجادشده در حین کارکرد عامل مهمی در انتخاب بیرینگ است. بلبیرینگ‌های شیار عمیق خاصی برای این کاربردها تولید می‌شوند.

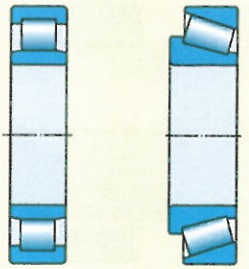
شکل ۱۹

سفتی

سفتی یک بیرینگ بر اساس تغییر شکل الاستیک آن تحت بارهای وارده مشخص می‌شود. معمولاً این تغییر شکل‌ها کوچک و قابل صرفنظر کردن می‌باشند. در بعضی موارد خاص نظیر چیدمان بیرینگ‌های محور کارگیر ماشین‌های ابزار یا چیدمان بیرینگ‌های پنیون یک چرخنده، سفتی اهمیت زیادی دارد.

به علت نوع تماس بین اجزای دورانی و رینگ‌ها، رولربیرینگ‌ها نظیر رولربیرینگ استوانه‌ای و مخروطی (شکل ۲۰) درجه سفتی بالاتری نسبت به بلبیرینگ‌ها دارند. سفتی بیرینگ‌ها را می‌توان با پیش بار کردن آنها افزایش داد (به بخش « پیش بار بیرینگ » در صفحه ۱۹۴ مراجعه کنید).

شکل ۲۰



جابجایی محوری

شفت و دیگر اجزای دورانی ماشین معمولاً توسط یک بیرینگ ثابت (Locating Bearing) و یک بیرینگ شناور (Non-Locating Bearing) مهار می‌شوند (به بخش « چیدمان بیرینگ‌ها » در صفحه ۱۴۸ مراجعه کنید).

بیرینگ ثابت شفت را در دو جهت محوری ثابت می‌کند. بیرینگ‌های مناسب برای این موقعیت، بیرینگ‌هایی هستند که توانایی تحمل بار ترکیبی را دارند، همچنین بیرینگ‌هایی که توانایی جابجایی محوری داشته و به همراه یک بیرینگ دیگر بکار می‌روند (یک بیرینگ برای تحمل بار شعاعی و دیگری برای حمل بار محوری بکار می‌رود)، نیز مناسب می‌باشند. (به ماتریس صفحات ۳۸ و ۳۹ مراجعه کنید).

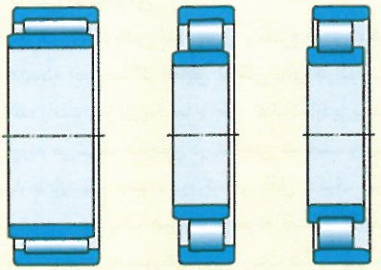
بیرینگ شناور به شفت اجازه حرکت محوری را می‌دهد و در نتیجه از ایجاد بار اضافی ناشی از انبساط حرارتی شفت جلوگیری می‌کند. مناسب‌ترین بیرینگ‌ها برای موقعیت شناور رولربیرینگ سوزنی و رولربیرینگ استوانه‌ای طرح NU و N (شکل ۲۱) می‌باشند. طرح NJ رولربیرینگ‌های استوانه‌ای و بعضی از طرح‌های بدون قفسه رولربیرینگ‌های استوانه را نیز می‌توان بکار برد.

در کاربردهایی که جابجایی محوری نسبتاً بزرگ است و همچنین عدم همراستایی وجود دارد رولربیرینگ توریدال CARB مناسب‌ترین انتخاب برای موقعیت بیرینگ شناور می‌باشد (شکل ۲۲).

در تمامی این بیرینگ‌ها حرکت محوری شفت نسبت به نشیمنگاه در داخل بیرینگ انجام می‌شود. مقادیر مجاز جابجایی محوری در جداول مربوط به بیرینگ‌ها آورده شده است.

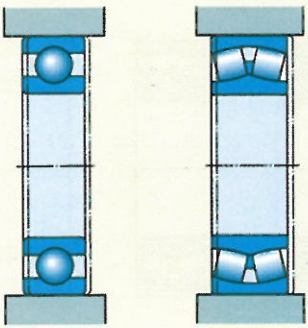
اگر از بیرینگ تفکیک‌ناپذیر (Non-Separable) نظیر بلبیرینگ شیار عمیق یا رولربیرینگ کروی در موقعیت شناور استفاده شود (شکل ۲۳)، یکی از رینگ‌های بیرینگ باید انطباق لق (Loose Fit) داشته باشد (به بخش « موقعیت شعاعی بیرینگ‌ها » در صفحه ۱۵۲ مراجعه کنید).

شکل ۲۱



شکل ۲۲

شکل ۲۳



نصب و بیرون آوردن

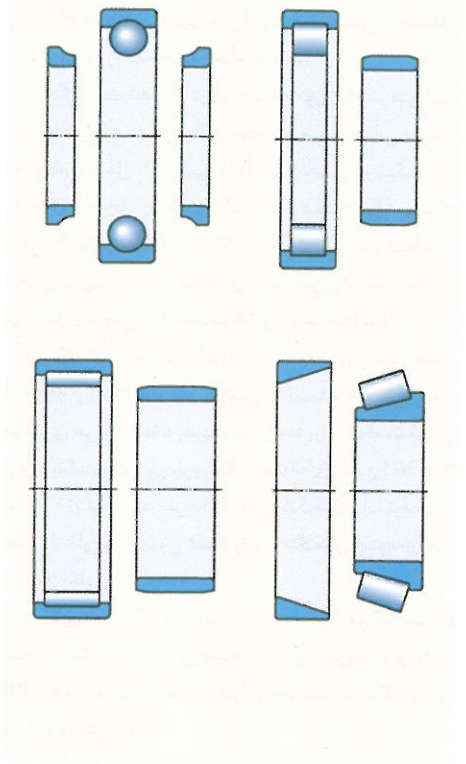
رینگ داخلی استوانه‌ای

بیرینگ‌ها با رینگ داخلی استوانه‌ای و طرح قابل تفکیک (Separable)، خصوصاً اگر انطباق تداخلی برای هر دو رینگ لازم باشد، راحت‌تر از بیرینگ‌ها با طرح تفکیک‌ناپذیر نصب و بیرون آورده می‌شوند. همچنین در شرایطی که نصب و بیرون آوردن بارها باید تکرار شود، بیرینگ‌های قابل تفکیک ترجیح داده می‌شوند، زیرا رینگ همراه با مجموعه قفسه و ساچمه‌ها یا رولرها را می‌توان به صورت مجزا از رینگ دیگر نصب کرد. بیرینگ‌ها با طرح قابل تفکیک شامل بیرینگ‌های چهار نقطه تماس، رولربیرینگ‌های استوانه‌ای، سوزنی و مخروطی (شکل ۲۴) و همچنین بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌های کف‌گرد است.

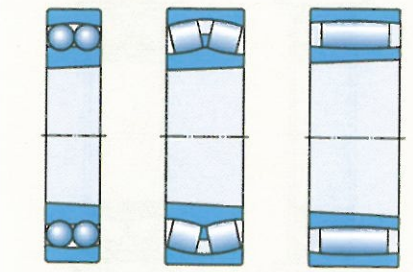
رینگ داخلی مخروطی

بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی (شکل ۲۵) را می‌توان به آسانی بر روی شفت مخروطی یا شفت استوانه‌ای به کمک یک غلاف واسطه یا غلاف بیرون کشیدنی (Withdrawal Sleeve) (شکل ۲۶)، نصب کرد.

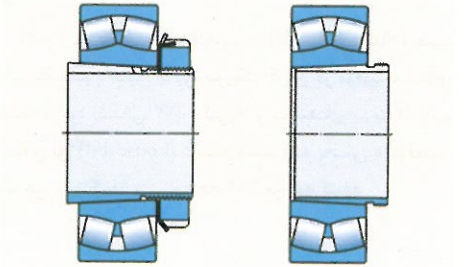
شکل ۲۴



شکل ۲۵



شکل ۲۶



بیرینگ‌های آب‌بندی شده

انتخاب آب‌بند برای کارکرد صحیح بیرینگ بسیار حیاتی می‌باشد.
بیرینگ‌های آب‌بندی شده در طرح‌های زیر تولید می‌شوند.

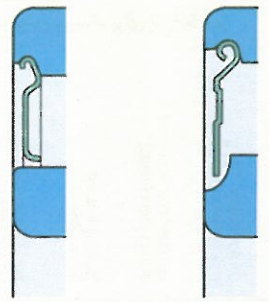
- حفاظ فلزی (شکل ۲۷)
- آب‌بند کم اصطکاک (Low-Friction Seal) (شکل ۲۸)
- آب‌بند تماسی (Contact Seal) (شکل ۲۹)

این بیرینگ‌ها از نظر اقتصادی و صرفه‌جویی در فضا بسیاری از مشکلات را حل می‌کنند. بیرینگ‌های زیر در محدوده وسیعی از ابعاد به صورت آب‌بند شده تولید می‌شوند.

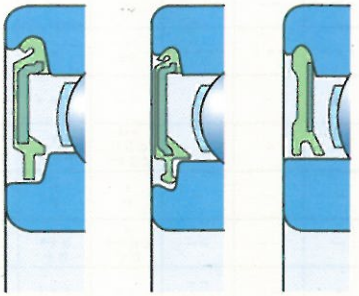
- بلبیرینگ‌های شیار عمیق
- بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای
- بلبیرینگ‌های خود تنظیم
- رولربیرینگ‌های استوانه‌ای
- رولربیرینگ‌های سوزنی
- رولربیرینگ‌های کروی
- رولربیرینگ‌های توریدال CARB
- رولرهای بادامکی
- Y- بیرینگ‌ها و مجموعه Y- بیرینگ‌ها

کلیه بیرینگ‌های آب‌بندی شده در طرفین از گریسی با کیفیت و مقدار مناسب پر شده‌اند.

شکل ۲۷



شکل ۲۸

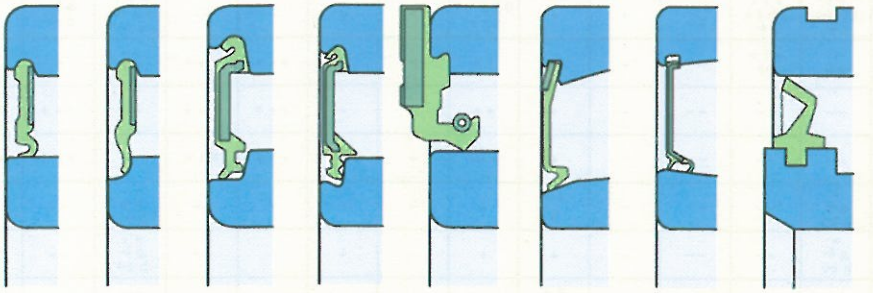


مراجع:

[1] SKF Catalogue "Needle Roller Bearings".

[2] SKF Catalogue "High-Precision Bearings".

شکل ۲۹



مشخصه ها

مناسب بودن بیرینگ برای شرایط زیر

axial displacement within bearing	non-locating bearing arrangements	locating bearing arrangements	compensation for errors of alignment (initial)	compensation for misalignment in operation	low friction	quiet running	high stiffness	high running accuracy	high speed	moment load	combined load	purely axial load	purely radial load
−−	+	++ ↔	−	−	+++	+++	+	a +++ b +	a +++ b +	a − b +	+ ↔	+ ↔	+
−−	−−	++ ←	−	−	a +++ b +	a ++ b +	+	a +++ b ++	a ++ b +	−	++ ←	← a + b ++	a + b ++
−−	+	++ ↔	−−	−−	+	+	+	++	+	+	++ ↔	+ ↔	++
−−	−	++ ↔	−−	−−	+	+	+	+	++	+	+ ↔	++ ↔	−
−−	+	+ ↔	+++	+++	+++	++	−	++	+++	−−	−	−	+
++	+ ++	−	−	−	++	++	++	++	++	−−	−−	−−	++
+ ++	+ ab ←	+ ab ← cd ↔	−	−	++	+	++	++	++	−−	+ ab ← cd ↔	−−	++
+ ++	+ ab ←	+ ab ← cd ↔	−	−	++	−	−	+	−	−−	+ ←	−	+++
+ ++	+ a ↔ b ←	+ cd ↔ b ←	−−	−−	−−	−	−	+	−	+	+ cd ↔ b ←	−	+++
+++	+++	−−	c ++ −−	−−	+	+	++	+ a ++	+	−−	−−	−−	++
+++	+++	−−	−−	−−	+	+	++	+	+	−−	−−	−−	++
−−	−−	+ ←	−	−−	−	+	++	+	+	−	+ ←	c + ++ ←	+
−−	−−	+ ++ ←	−	−	+	+	++	+	+	−	+ ++ ←	+ ++ ←	++
−−	ab − c −−	+ ++ a ↔ b ↔ c ←	−−	−	+	+	ab + ++ c ++	+	+	ab + c −	+ ++ a ↔ b ↔ c ←	+ ++ a ↔ b ↔ c ←	+++
−−	+	++ ↔	+++	+++	+	+	++	+	+	−−	+ ++ ↔	+ ↔	+++
−−	+++	−−	+++	+++	+	+	++	+	+	−−	−−	−−	+++
−−	+++	−−	+++	+++	−	+	+++	+	−	−−	−−	−−	+++
−−	−−	++ a ← b ↔	−−	−	+	−	+	++ a	−	−−	−−	+ a ← b ↔	−−
−−	−−	++ a ← b ↔	++	−	+	−	+	+	−	−−	−−	+ a ← b ↔	−−
−−	−−	++ ←	−−	−−	−	−	++	a + b ++	−	−−	−−	++ ←	−−
−−	−−	+++ ←	+++	+++	+	−	++	+	−	−−	+ ←	+++ ←	−−

این ماتریس فقط یک راهنمایی کلی ارائه می دهد.انتخاب مناسب باید بر اساس اطلاعات فصول بعدی و اطلاعات مربوط به هر بیرینگ در بخش دوم انجام گیرد.
در جدول زیر طرحهای مختلف از یک بیرینگ با حروف انگلیسی کوچک متمایز شده اند.

علایم

+ + +	عالی
+ +	خوب
+	متوسط
–	ضعیف
– –	نامناسب
←	یکطرفه
↔	دو طرفه

انواع بیرینگها	انواع بیرینگها – طرحها و مشخصه ها				
	tapered bore	shields or seals	self-aligning	non-seperable	separable
Deep groove ball bearings		a			
Angular contact ball bearings, single row					
matched single row, double row		b		a, b	c
four-point contact					
Self-aligning ball bearings					
Cylindrical roller bearings, with cage					
full complement, single row				a	b
full complement, double row		d			
Needle roller bearings, with steel rings		a			
assemblies/drawn cups		b, c			
combined bearings		b, c			
Taper roller bearings					
matched single row					
Spherical roller bearings					
CARB toroidal roller bearings, with cage					
full complement					
Thrust ball bearings					
with sphered housing washer					
Needle roller thrust bearings Cylindrical roller thrust bearings					
Spherical roller thrust bearings					

فصل سوم

انتخاب ابعاد بیرینگ

روش نظام‌مند و قابلیت اطمینان بیرینگ ۴۲
ظرفیت‌های حمل بار و عمر ۴۳
بارهای دینامیکی وارده بر بیرینگ و عمر ۴۳
بارهای استاتیکی وارده بر بیرینگ ۴۳
انتخاب ابعاد بیرینگ با استفاده از معادلات عمر ۴۴
عمر اسمی بیرینگ ۴۴
عمر اسمی SKF ۴۴
ضریب تصحیح a_{SKF} ۴۵
محاسبه ضریب تصحیح a_{SKF} ۵۰
شرایط روانکاری ـ نسبت لزجت κ ۵۱
مثال محاسباتی ۵۲
ملاحظات مربوط به افزودنی‌های EP ۵۳
ضریب η_C برای درجه آلودگی ۵۴
طبقه‌بندی آلودگی ISO و نرخ فیلتر کردن ۵۵
تعیین مقدار η_C وقتی که درجهٔ آلودگی مشخص است ۵۶
یک حالت خاص ـ ضریب تصحیح a_{23} ۶۰
محاسبه عمر در شرایط کارکرد متغیر ۶۲
تأثیر دمای کارکرد ۶۳
عمر اسمی مورد نیاز ۶۳
بیرینگ تحت بارهای دینامیکی ۶۵
محاسبه بارهای دینامیکی وارده بر بیرینگ ۶۵
بار معادل دینامیکی وارده بر بیرینگ ۶۶
بار حداقل مورد نیاز ۶۷
تعیین ابعاد بیرینگ با استفاده از ظرفیت حمل بار استاتیکی بیرینگ ۶۸
بار معادل استاتیکی وارده بر بیرینگ ۶۸
ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی مورد نیاز ۶۹
بررسی ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی ۶۹
مثال‌های محاسباتی ۷۰
ابزارهای محاسباتی ۷۴

ابعاد بیرینگ‌ها در یک کاربرد بر اساس ظرفیت حمل بار آنها نسبت به بارهای وارده و ملاحظات مربوط به عمر و قابلیت اطمینان انتخاب می‌شوند. مقادیر مربوط به ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی (Basic Dynamic Load Rating) C و ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی (Basic Static Load Rating) C_0 در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند. ظرفیت حمل بار دینامیکی و استاتیکی باید مستقل از یکدیگر بررسی شوند. در بررسی بارهای دینامیکی باید طیف بار (Load Spectrum) دینامیکی وارد بر بیرینگ در نظر گرفته شود. این طیف بار باید شامل بارهای سنگین که به صورت ناگهانی و به ندرت وارد می‌شوند، نیز باشد. بار استاتیکی تنها شامل بارهای وارده بر بیرینگ در حال سکون یا دوران با سرعت کم ($n<10$ r/min) نمی‌باشد بلکه باید برای بارهای شوک (بار زیاد در زمان کوتاه) نیز ضریب اطمینان استاتیکی بررسی شود.

روش نظام‌مند و قابلیت اطمینان بیرینگ

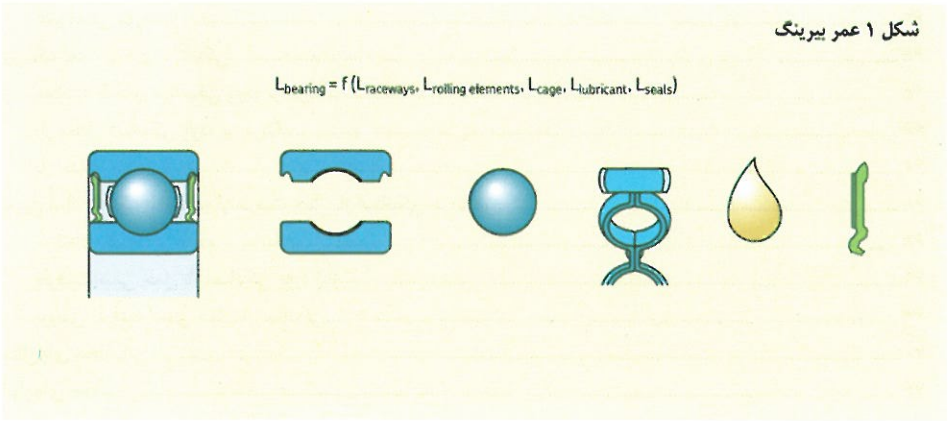
در معادلات عمر، تنش‌های ناشی از بارهای خارجی به همراه تنش‌های ناشی از توپوگرافی سطح (Surface Topography)، روانکاری و سینماتیک سطوح تماس غلتشی، در نظر گرفته می‌شوند. تأثیر این تنش ترکیبی بر عمر بیرینگ باعث پیش‌بینی دقیق‌تر عمر کارکرد بیرینگ در هر کاربرد می‌شود.

توضیح جزئیات کامل تئوری به علت پیچیدگی خارج از حدود این کتاب است. بنابراین یک روش ساده‌شده در بخش « عمر اسمی SKF » ارائه می‌شود. این روش به استفاده‌کننده کمک می‌کند که از تمام عمر پتانسیل بیرینگ بهره برده و کاهش ابعادی (Downsizing) در طرح‌های جدید را تضمین می‌کند. همچنین تأثیر روانکاری و آلودگی بر عمر بیرینگ را بخوبی نشان می‌دهد.

مکانیزم غالب در خرابی بیرینگ‌های غلتشی عموماً خستگی (Fatigue) سطوح تماس می‌باشد. بنابراین معیاری بر اساس خستگی سطوح غلتش برای تعیین ابعاد یک بیرینگ در هر کابرد خاص کافی است. استانداردهای بین‌المللی نظیر ISO 281 بر اساس خستگی سطوح غلتش می‌باشند. با این وجود باید یادآوری کرد که یک بیرینگ را می‌توان به صورت سیستمی در نظر گرفت که در آن عمر هر یک از اجزای نظیر قفسه، روانکار و آب‌بند، در صورت وجود (شکل ۱)، تأثیر برابری داشته و حتی در بعضی موارد اهمیت بیشتری دارند. در تئوری، عمر بهینه وقتی به دست می‌آید که عمر کلیهٔ اجزای بیرینگ یکسان باشد.

به بیان دیگر اگر عمر دیگر اجزای سیستم حداقل به اندازهٔ عمر محاسبه‌شده بیرینگ باشد، عمر واقعی با عمر محاسبه‌شده یکسان خواهد بود. اجزای دیگر سیستم شامل قفسه، آب‌بند و روانکار است. در عمل خستگی عامل اصلی خرابی بیرینگ می‌باشد.

شکل ۱ عمر بیرینگ



ظرفیت‌های حمل بار و عمر

بارهای دینامیکی وارده بر بیرینگ و عمر

ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی، C در محاسبات بیرینگ‌های تحت تنش دینامیکی و یا به عبارت دیگر بیرینگ‌های دورانی تحت بار، بکار می‌رود و بنابر تعریف عبارت است از باری که عمر اسمی معادل 1 000 000 دور را به دست می‌دهد. (مطابق استاندارد ISO 281:1990) مقدار و جهت بار ثابت فرض‌شده و برای بیرینگ‌های شعاعی بار خالص شعاعی و برای بیرینگ‌های کف‌گرد بار خالص محوری و مرکزی، در نظر گرفته می‌شود.

ظرفیت‌های اسمی حمل بار دینامیکی بیرینگ‌ها مطابق با روش ارائه‌شده در استاندارد ISO 281:1990 تعیین می‌شود. مقادیر آورده‌شده در جداول برای فولاد بیرینگ کروم‌دار، عملیات حرارتی‌شده به منظور دستیابی به حداقل سختی 58 HRC و کارکرد تحت شرایط طبیعی صادق می‌باشند.

عمر یک بیرینگ غلتشی عبارت است از،

- تعداد دوران‌ها یا
- تعداد ساعات کارکرد در یک سرعت خاص

که بیرینگ تحمل می‌کند قبل از این که اولین نشانه خستگی (پوسته شدن Flaking / Spalling) بر روی یکی از رینگ‌ها یا اجزای غلتنده ایجاد شود.

تجربه عملی نشان می‌دهد که دو بیرینگ ظاهراً مشابه تحت شرایط کارکرد یکسان عمرهای متفاوتی دارند. بنابراین به تعریف دقیق‌تری از عمر برای محاسبه ابعاد بیرینگ نیاز است. تمام اطلاعات موجود در رابطه با ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی بر اساس (عمر L_{10}) می‌باشد که 90٪ از یک گروه بزرگ از بیرینگ‌های مشابه، به آن می‌رسند و یا از آن فراتر می‌روند.

انواع دیگر عمر بیرینگ نیز تعریف می‌شوند، نظیر عمر سرویس (Service Life)، که بیانگر عمر واقعی بیرینگ در شرایط کارکرد واقعی، قبل از خرابی بیرینگ است. توجه شود که عمر هر بیرینگ را فقط می‌توان از نظر آماری پیش‌بینی کرد. محاسبات فقط عمر یک گروه از بیرینگ‌ها را بر اساس درجهٔ قابلیت اطمینان خاص نظیر 90٪ نشان می‌دهند. همچنین خرابی در حین کارکرد واقعی معمولاً به علت خستگی نبوده و دلایل دیگری نظیر آلودگی، سایش، عدم همراستایی و خوردگی عامل خرابی می‌باشند. در بعضی موارد نیز قفسه، روانکار یا آب‌بند قبل از اجزای دیگر بیرینگ خراب می‌شوند.

در مواردی از عمر مشخصه (Specification Life) نیز استفاده نیز می‌شود. این عمر توسط یک سازمان، بر اساس بار و سرعت فرضی تعیین‌شده توسط همان سازمان محاسبه می‌شود. که عموماً عمر L_{10} مورد نیازی (Requisite L_{10}) است که بر اساس تجربیات به دست آمده از کاربردهای مشابه تعیین می‌شود.

بارهای استاتیکی وارده بر بیرینگ

ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی C_0 در موارد زیر در محاسبات بکار می‌رود.

- دوران در سرعت‌های کم ($n<10$ r/min)
- حرکات نوسانی آرام
- بیرینگ ساکن ولی تحت بار برای مدت طولانی

همچنین محاسبه ضریب اطمینان برای بارهایی که در زمان کوتاه عمل می‌کنند نظیر شوک‌ها و بارهای حداکثر، در بیرینگ‌های در حال دوران (تحت تنش دینامیکی) یا بیرینگ‌های ساکن اهمیت زیادی دارد.

ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی مطابق با استاندارد ISO 76:1987 معادل با تنش سطحی در مرکز جزء غلتنده/ سطح غلتش تحت بیشترین بار، به شرح زیر می‌باشد.

- 4600 Mpa برای بلبیرینگ‌های خود تنظیم،
- 4200 Mpa برای بلبیرینگ‌های دیگر،
- 4000 Mpa برای کلیه رولربیرینگ‌ها.

این تنش باعث تغییر شکل دائمی به اندازه تقریبی 0.0001 قطر جزء غلتنده بر روی آن جزء یا سطح غلتش می‌شود. برای بیرینگ‌های شعاعی، بار شعاعی خالص و برای بیرینگ‌های کف گرد، بار محوری خالص که در مرکز عمل می‌کند، در نظر گرفته می‌شود.

بارهای استاتیکی وارده بر بیرینگ با محاسبه ضریب اطمینان استاتیکی، که در زیر تعریف شده است، بررسی می‌شوند.

که در آن، $s_0 = C_0 / P_0$

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN

P_0 = بار معادل استاتیکی وارده بر بیرینگ، kN

s_0 = ظریب اطمینان استاتیکی

در محاسبات بار استاتیکی معادل بیرینگ باید حداکثر بار وارده در نظر گرفته شود. اطلاعات بیشتر در رابطه با مقادیر ضریب اطمینان و محاسبه آن در بخش « تعیین ابعاد بیرینگ با استفاده از ظرفیت حمل بار استاتیکی بیرینگ » در صفحه ۶۸ آورده شده است.

انتخاب ابعاد بیرینگ با استفاده از معادلات عمر

عمر اسمی بیرینگ

عمر اسمی یک بیرینگ طبق استاندارد ISO 281:1990 از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

اگر سرعت ثابت باشد ترجیحاً عمر بر اساس ساعت کارکرد از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10}$$

که در آن

L_{10} = عمر اسمی (در قابلیت اطمینان 90%)، میلیون دور

L_{10h} = عمر اسمی (در قابلیت اطمینان 90%)، ساعت کارکرد

C = ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی، kN

P = بار معادل دینامیکی وارده بر بیرینگ، kN

n = سرعت دوران، r/min

p = توان در معادله عمر

= 3 برای بلبیرینگ‌ها

= 10/3 برای رولربیرینگ‌ها

عمر اسمی SKF

برای بیرینگ‌ها با کیفیت امروزی عمر اسمی به طور قابل ملاحظه‌ای با عمر واقعی متفاوت می‌باشد. عمر واقعی برای یک کاربرد خاص به عوامل گوناگونی نظیر روانکاری، درجهٔ آلودگی، عدم همراستایی، نصب صحیح و شرایط محیطی بستگی دارد.

به همین علت در استاندارد ISO 281:1990/Amd 2: 2000 یک معادلهٔ عمر اصلاح‌شده به عمر اسمی اضافه شد. در این روش از ضرایب تصحیح برای در نظر گرفتن شرایط روانکاری، آلودگی و حد خستگی بیرینگ استفاده می‌شود.

همچنین استاندارد ISO 281:1990/Amd 2:2000 به سازندگان بیرینگ اجازه می‌دهد که روش مناسب برای محاسبه ضرایب تصحیح را بر اساس شرایط کارکرد، توصیه نمایند. در ضریب تصحیح عمر اسمی SKF، a_{SKF}، مفهوم حد خستگی P_u مشابه با محاسبات دیگر اجزای ماشین، بکار رفته است. مقادیر حد خستگی برای هر بیرینگ در جداول آورده شده است. به علاوه ضریب تصحیح عمر اسمی SKF، a_{SKF}، دربرگیرنده شرایط روانکاری (نسبت لزجت κ) و فاکتور η_C برای آلودگی می‌باشد، که مشخص‌کننده شرایط کارکرد هستند.

معادله عمر اسمی SKF مطابق با ISO 281:1990/ Amd 2:2000 به شکل زیر است.

$$L_{nm} = a_1 a_{SKF} L_{10} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

اگر سرعت ثابت باشد. عمر را می‌توان بر اساس ساعت کارکرد از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$L_{nmh} = \frac{10^6}{60n} L_{nm}$$

که در آن

L_{nm} = عمر اسمی SKF (در قابلیت اطمینان n%-100)[1]، میلیون دور

L_{nmh} = عمر اسمی SKF (در قابلیت اطمینان n%-100)[1]، ساعت کارکرد

L_{10} = عمر اسمی (در قابلیت اطمینان 90%)، میلیون دور

a_1 = ضریب تصحیح عمر برای قابلیت اطمینان (جدول ۱)

a_{SKF} = ضریب تصحیح عمر SKF (نمودارهای ۱ تا ۴)

C = ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی، kN

P = بار معادل دینامیکی وارده بر بیرینگ، kN

n = سرعت دوران، r/min

p = توان در معادله عمر

= 3 برای بلبیرینگ‌ها

= 10/3 برای رولربیرینگ‌ها

---

۱. ضریب n نشان‌دهنده احتمال خرابی بیرینگ می‌باشد که از کم کردن قابلیت اطمینان مورد نیاز از 100 محاسبه می‌شود.

در مواردی بهتر است که عمر برینگ بر اساس واحدهایی به غیر از میلیون دور یا ساعت بیان شود. برای مثال عمر بیرینگ محور (Axle Bearing) که در وسایل نقلیه جاده‌ای و ریلی به کار می‌رود، عموماً بر حسب کیلومتر طی‌شده بیان می‌شود. برای سادگی در تبدیل عمر بیرینگ به واحدهای مختلف می‌توان از ضرایب تبدیل جدول ۲ در صفحه ۵۰ استفاده کرد.

ضریب تصحیح a_{SKF}

همان طور که گفته شد این ضریب نشان‌دهنده رابطه بین نسبت بار حدی خستگی (P_u/P)، شرایط روانکاری (نسبت لزجت κ) و درجه آلودگی در بیرینگ (η_C) است. مقادیر ضریب a_{SKF} را می‌توان از چهار نمودار زیر که بستگی به نوع بیرینگ دارد به عنوان تابعی از $\eta_c(P_u/P)$ برای بیرینگ‌های استاندارد و کلاس SKF اکسپلورر و مقادیر متفاوت نسبت لزجت κ، به دست آورد.

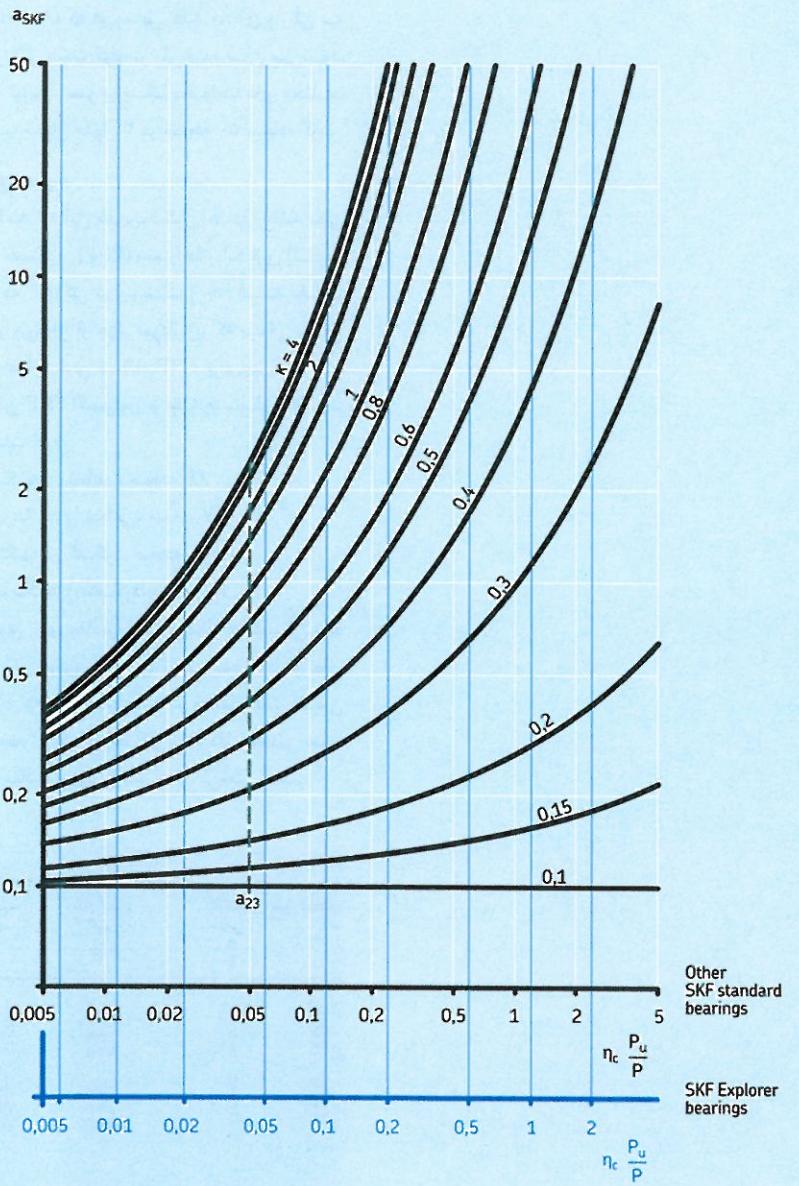
نمودار ۱: بلبیرینگ‌های شعاعی، صفحه ۴۶
نمودار ۲: رولربیرینگ‌های شعاعی، صفحه ۴۷
نمودار ۳: بلبیرینگ‌های کف‌گرد، صفحه ۴۸
نمودار ۴: رولربیرینگ‌های کف‌گرد، صفحه ۴۹

نمودارهای فوق برای مقادیر نمونه و ضرایب اطمینان حد خستگی مانند دیگر اجزای مکانیکی، تعیین شده‌اند. با در نظر گرفتن ساده سازی‌های به کار رفته در معادله عمر اسمی SKF، حتی در صورتی که شرایط کارکرد با دقت تعیین شده باشد، استفاده از مقادیر a_{SKF} بیشتر از 50 بی‌معنی است.

جدول ۱مقادیر ضریب تصحیح a_1

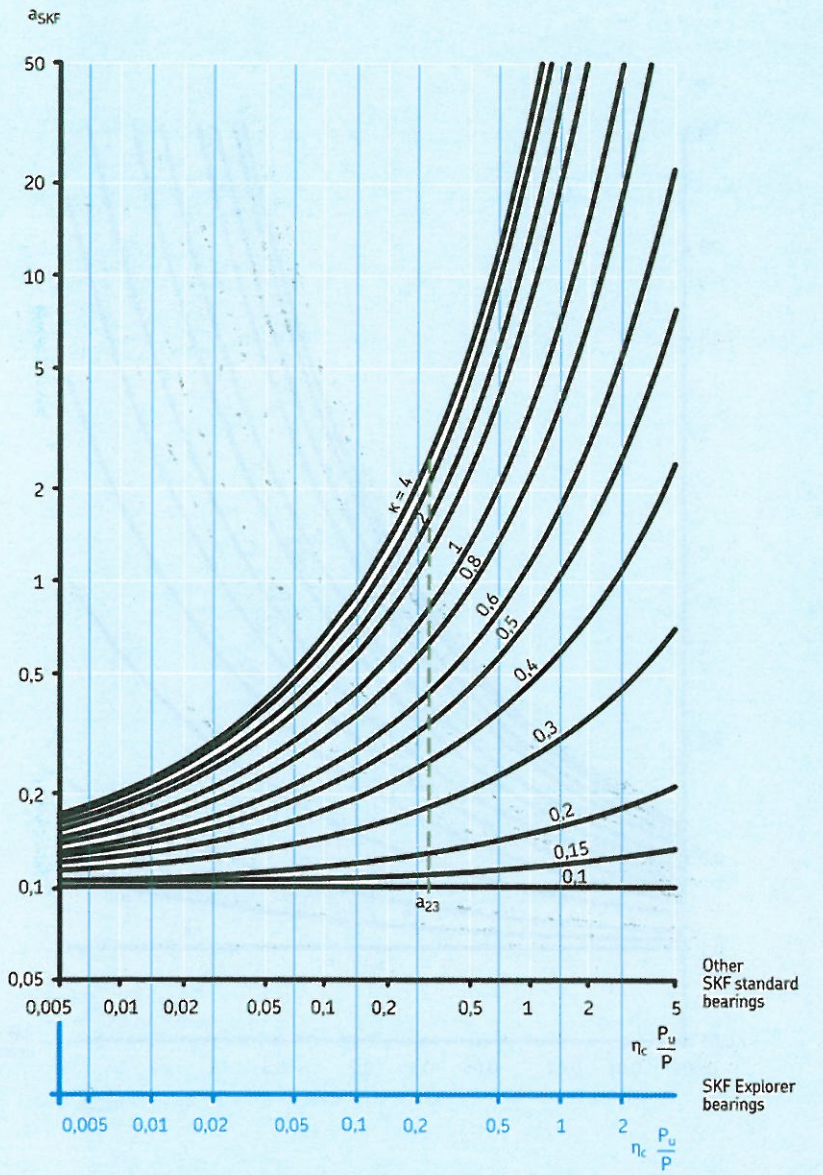
قابلیت اطمینان %	احتمال خرابی n %	عمر اسمی SKF L_{nm}	ضریب a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,62
96	4	L_{4m}	0,53
97	3	L_{3m}	0,44
98	2	L_{2m}	0,33
99	1	L_{1m}	0,21

نمودار ۱ ضریب a_{SKF} برای بلبیرینگهای شعاعی



اگر $\kappa > 4$ باشد، از $\kappa = 4$ استفاده کنید.
وقتی مقدار $\eta_c (P_u/P)$ بسمت صفر میل می کند، ضریب a_{SKF} برای تمام مقادیر κ بسمت **0.1** میل می کند.
خط چین نشان دهنده موقعیت ضریب سابق a_{23} (κ) می باشد که در آن $a_{SKF} = a_{23}$ است.

نمودار ۲ ضریب a_{SKF} برای رولر بیرینگهای شعاعی

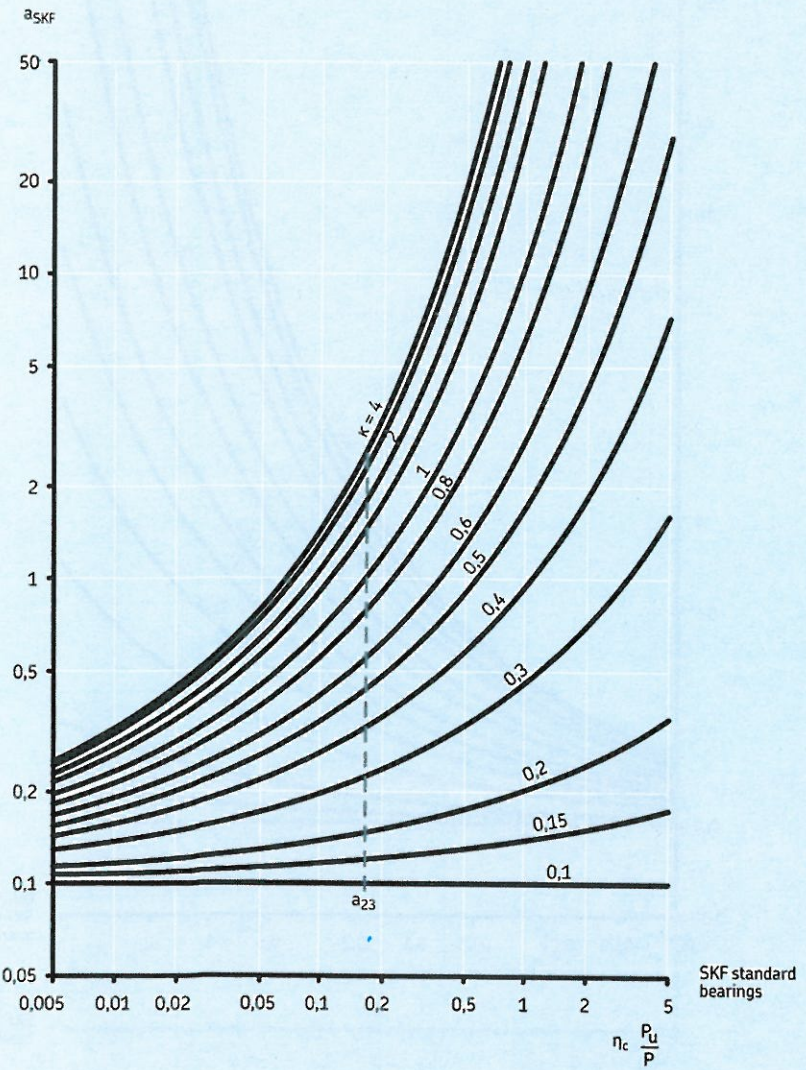


اگر $\kappa > 4$ باشد، از $\kappa = 4$ استفاده کنید.

وقتی مقدار $\eta_c (P_u/P)$ بسمت صفر میل می کند، ضریب a_{SKF} برای تمام مقادیر κ بسمت **0.1** میل می کند.

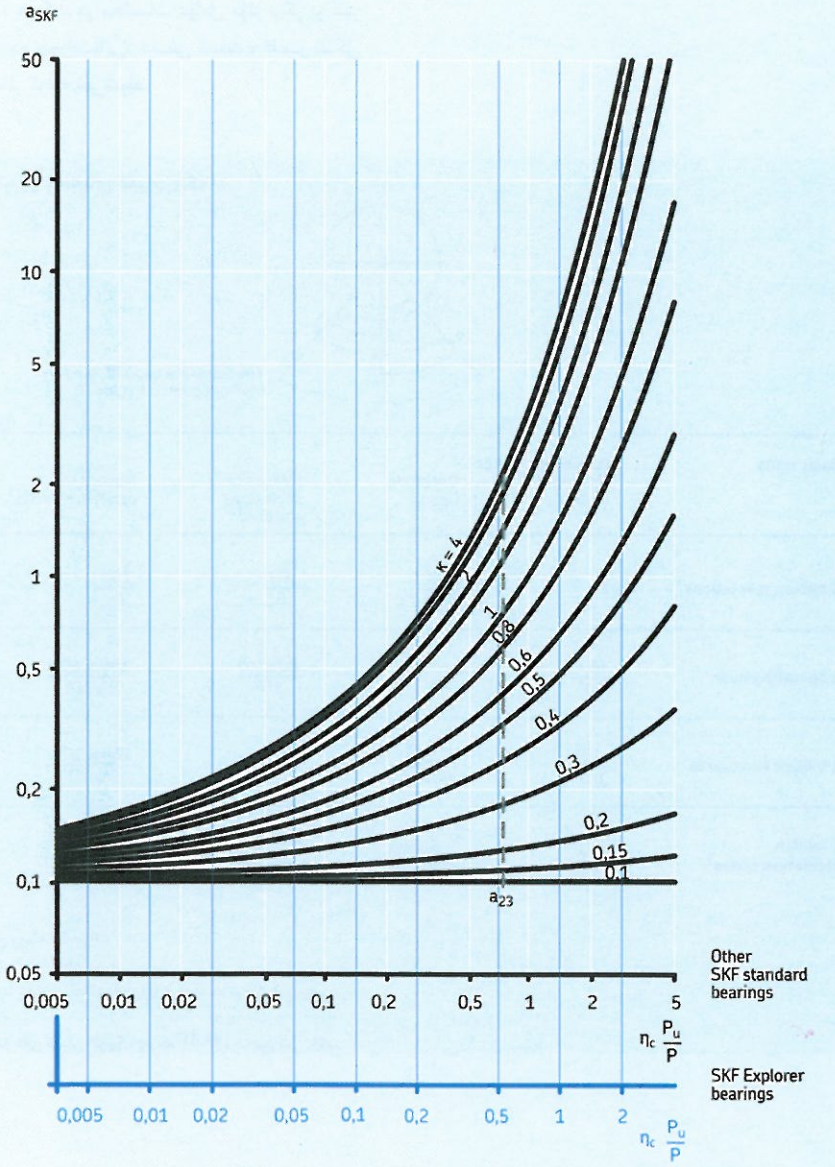
خط چین نشان دهنده موقعیت ضریب سابق $a_{23}(\kappa)$ می باشد که در آن $a_{SKF} = a_{23}$ است.

نمودار ۳ ضریب a_{SKF} برای بلبیرینگهای کف گرد



اگر $\kappa > 4$ باشد، از $\kappa = 4$ استفاده کنید.
وقتی مقدار $\eta_c (P_u/P)$ بسمت صفر میل می کند، ضریب a_{SKF} برای تمام مقادیر κ بسمت **0.1** میل می کند.
خط چین نشان دهنده موقعیت ضریب سابق $a_{23} (\kappa)$ می باشد که در آن $a_{SKF} = a_{23}$ است.

نمودار ٤ ضریب a_{SKF} برای رولربیرینگهای کف گرد

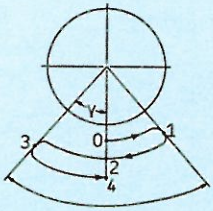


اگر $\kappa > 4$ باشد، از $\kappa = 4$ استفاده کنید.
وقتی مقدار $\eta_c (P_u/P)$ بسمت صفر میل می کند، ضریب a_{SKF} برای تمام مقادیر κ بسمت **0.1** میل می کند.
خط چین نشان دهنده موقعیت ضریب سابق a_{23} (κ) می باشد که در آن $a_{SKF} = a_{23}$ است.

محاسبه ضریب تصحیح a_{SKF}

کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده محاسبه ضریب a_{SKF} را ساده می‌کند. در محاسبات عوامل مؤثر دیگر بر عمر بیرینگ نظیر عدم همراستایی، خمش شفت و تغییر شکل نشیمنگاه در نظر گرفته نمی‌شوند.

جدول ۲ تبدیل واحدهای عمر بیرینگ



The complete oscillation = 4 γ, i.e. from point 0 to point 4

Basic units	Conversion factor Millions of revolutions	Operating hours	Millions of kilometres travelled	Millions of oscillation cycles[1]
1 million revolutions	1	$\frac{10^6}{60\,n}$	$\frac{\pi D}{10^3}$	$\frac{180}{2\gamma}$
1 operating hour	$\frac{60\,n}{10^6}$	1	$\frac{60\,n\,\pi D}{10^9}$	$\frac{180\times 60\,n}{2\gamma\,10^6}$
1 million kilometres	$\frac{10^3}{\pi D}$	$\frac{10^9}{60\,n\,\pi D}$	1	$\frac{180\times 10^3}{2\gamma\,\pi D}$
1 million oscillation cycles[1]	$\frac{2\gamma}{180}$	$\frac{2\gamma\,10^6}{180\times 60\,n}$	$\frac{2\gamma\,\pi D}{180\times 10^3}$	1

D = قطر چرخ وسیله نقلیه، m
n = سرعت دورانی، r/min
γ = دامنه نوسان (زاویه حداکثر انحراف از موقعیت مرکزی)، درجه

1) برای دامنه های نوسان کوچک (درجه $\gamma<10$) صحیح نمی باشد.

شرایط روانکاری ـ نسبت لزجت κ

اثر روانکار با توجه به درجه جداسازی سطوح غلتشی تعیین می‌شود. به منظور تشکیل فیلم روانکاری مورد نیاز، لازم است که روانکار لزجت حداقلی را در دمای کارکرد داشته باشد. شرایط روانکار با نسبت لزجت κ تعیین می‌شود که نسبت لزجت واقعی ν به لزجت اسمی (Rated Viscosity) برای روانکاری بهینه ν_1، است. هر دو مقدار در دمای کارکرد بیرینگ اندازه‌گیری می‌شوند. (به بخش « انتخاب روغن‌های روانکار » در صفحه ۲۴۰ مراجعه کنید)

$$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1}$$

که در آن

κ = نسبت لزجت

ν = لزجت واقعی در دمای کارکرد، mm^2/s

ν_1 = لزجت اسمی، به قطر متوسط و سرعت دورانی بستگی دارد، mm^2/s

به منظور تشکیل فیلم روانکاری کامل بین سطوح غلتش لازم است که روانکار لزجت حداقلی در دمای کارکرد داشته باشد، که به آن لزجت اسمی گفته می‌شود و از نمودار ۵ صفحه ۵۲، بر اساس قطر متوسط بیرینگ $d_m = 0.5(d + D)$ برحسب mm و سرعت دورانی n، برحسب r/min، تعیین می‌شود. نمودار فوق بر اساس یافته‌های جدید در رابطه با روانکاری بیرینگ‌های غلتشی اصلاح شده است.

وقتی دمای کارکرد قابل محاسبه باشد یا از تجربیات قبلی مشخص است، می‌توان با استفاده از نمودار ۶ صفحه ۵۳، لزجت را در دمای استاندارد 40 °C تعیین نمود و یا محاسبه کرد. این نمودار برای اندیس لزجت (Viscosity Index) 95 (معیاری می‌باشد که تعیین‌کننده میزان تغییرات لزجت با دماست.) صادق می‌باشد. در جدول ۳ لیست گریدهای لزجت مطابق استاندارد ISO 3448:1992 آورده شده‌اند، در این جدول محدوده لزجت برای هر کلاس در دمای 40 °C نشان داده شده است. بعضی بیرینگ‌های خاص مانند رولربیرینگ کروی، مخروطی و کروی کف‌گرد، به طور طبیعی دمای کارکرد بیشتری نسبت به انواع دیگر بیرینگ‌ها نظیر بلبیرینگ شیار عمیق و رولربیرینگ استوانه‌ای در شرایط کارکرد مشابه دارند.

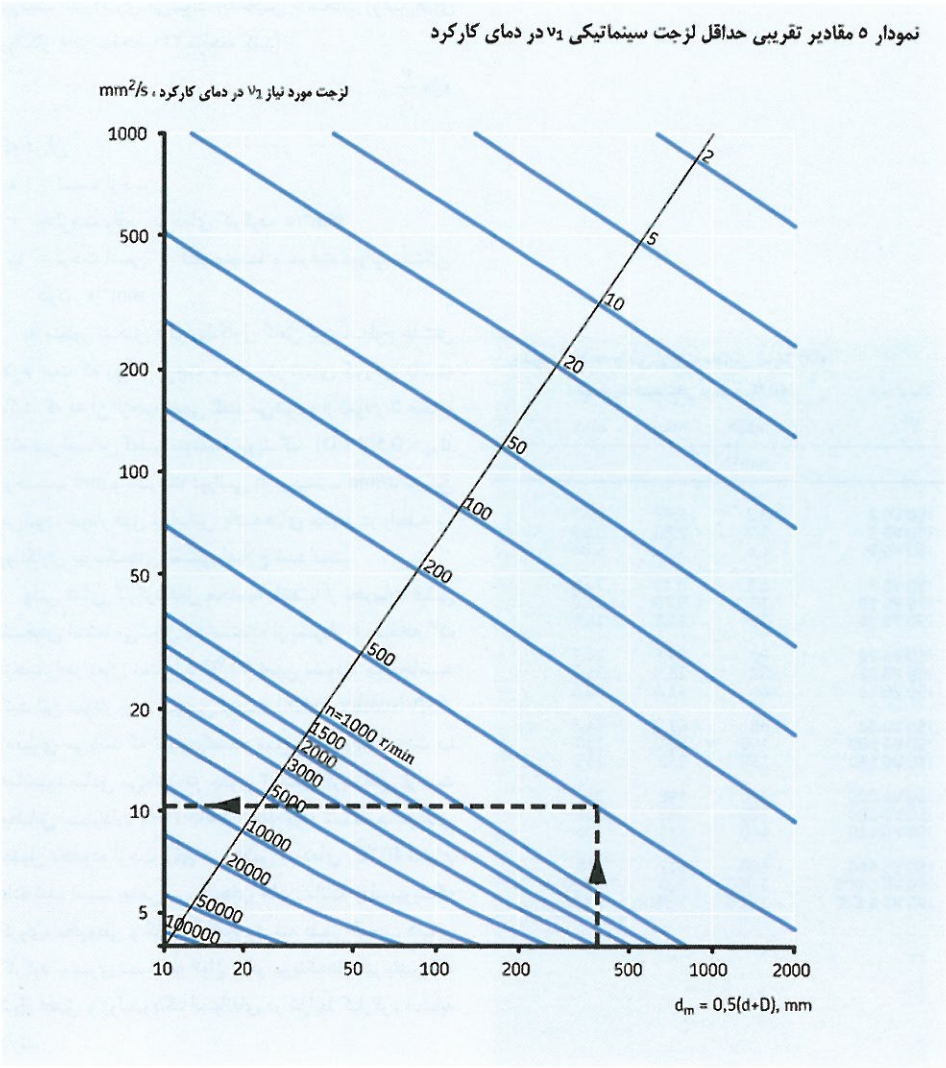
جدول ۳ طبقه بندی لزجت مطابق ISO 3448

گرید لزجت	حدود لزجت سینماتیکی در دمای 40 °C		
	mean	min	max
–	mm^2/s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

مثال محاسباتی

بیرینگی با قطر داخلی $d = 340$ mm و قطر خارجی $D = 420$ mm در سرعت $n = 500$ r/min کار می‌کند. از آن جایی که $d_m = 0.5(d + D) = 380$ mm است، از نمودار ۵، حداقل لزجت اسمی ν_1 تقریباً $11\ mm^2/s$ به دست می‌آید. در نمودار ۶ با فرض دمای کارکرد $70\ ^oC$ مشخص می‌شود که به روانکاری مطابق با کلاس ISO VG 32 نیاز است که لزجت واقعی ν حداقل $32\ mm^2/s$ را در دمای مرجع $40\ ^oC$ داشته باشد.

نمودار ۵ مقادیر تقریبی حداقل لزجت سینماتیکی ν_1 در دمای کارکرد

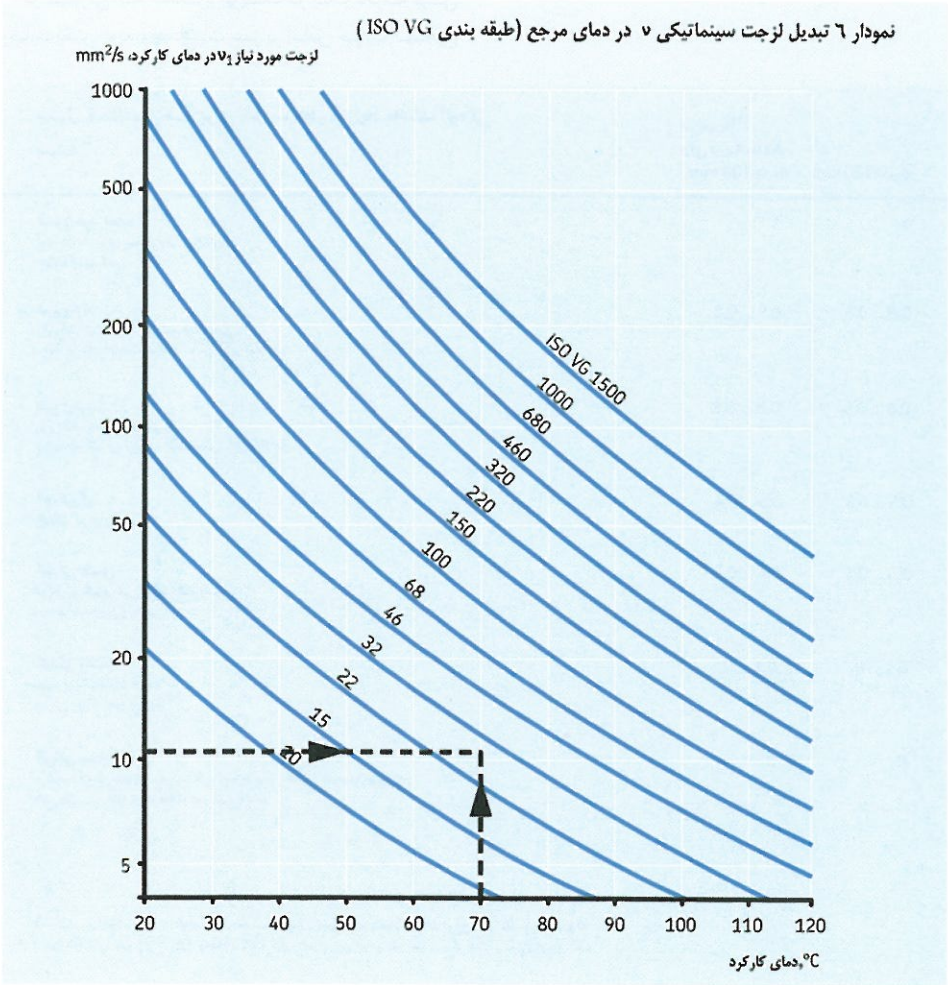


ملاحظات مربوط به افزودنی‌های EP (Exterem Pressure)

ثابت شده است که بعضی از افزودنی‌های EP در روانکار باعث افزایش عمر بیرینگ در مواردی که روانکاری ضعیف است، می‌شوند. اگر $\kappa < 1$ و ضریب مربوط به درجه آلودگی $\eta_C \geq 0.2$ باشد، (مطابق استاندارد DIN ISO 281 (Addendum1: 2003)، مقدار $\kappa = 1$ را می‌توان در محاسبات بکار برد به شرطی که روانکار محتوی افزودنی‌های EP باشد، که تأثیر مثبت آنها ثابت شده است. در این شرایط ضریب a_{SKF} باید ≥ 3 باشد ولی از a_{SKF} برای روانکار بدون افزودنی کم‌تر نباشد.

برای محدوده‌های دیگر، ضریب a_{SKF} بر اساس مقدار واقعی κ تعیین می‌شود. در شرایط آلودگی شدید، $\eta_C < 0.2$، تأثیر مثبت افزودنی‌های EP باید در آزمایش ثابت شود. برای اطلاعات بیشتر به فصل « روانکاری » در صفحه ۲۱۷ مراجعه کنید.

نمودار ٦ تبدیل لزجت سینماتیکی ν در دمای مرجع (طبقه بندی ISO VG)



ضریب η_C برای درجه آلودگی

این ضریب اثر آلودگی روانکار را در محاسبات عمر بیرینگ نشان می‌دهد. اثر آلودگی بر خستگی بیرینگ به عوامل زیادی نظیر ابعاد بیرینگ، ضخامت نسبی فیلم روانکاری، ابعاد و توزیع ذرات جامد آلوده‌کننده و نوع آلودگی (نرم، سفت و ...) بستگی دارد. اثر این پارامترها بر عمر بیرینگ بسیار پیچیده می‌باشد و اثر بعضی از آنها غیرقابل اندازه‌گیری است. بنابراین تعیین مقادیر دقیق η_C که به طور کلی صحیح باشند، امکان‌پذیر نیست. در جدول ۴ مقادیر راهنما برای η_C آورده شده‌اند.

در صورتی که عملکرد بیرینگ در یک تجربه قبلی رضایت‌بخش بوده و محاسبات عمر بر اساس ضریب تصحیح قبلی a_{23} انجام شده باشد مقدار ضمنی η_C را می‌توان از a_{SKF} معادل a_{23} تعیین نمود. برای این منظور به بخش « یک حالت خاص ـ ضریب تصحیح a_{23} » در صفحه ۶۰ مراجعه کنید.

توجه شود که روش فوق فقط یک مقدار تقریبی از ضریب η_C را در یک کاربرد خاص، به دست می‌دهد. یک روش دیگر برای به دست آوردن ضریب η_C در یک کاربرد مشخص، اندازه‌گیری میزان آلودگی روانکار و تعیین ضریب η_C بر مبنای آن می‌باشد.

جدول ٤ مقادیر راهنما برای ضریب η_C در شرایط مختلف آلودگی

شرایط	ضریب η_C[1] برای بیرینگ با قطر $d_m \geq 100$ mm	ضریب η_C[1] برای بیرینگ با قطر $d_m < 100$ mm
تمیزی فوق العاده ابعاد ذرات از مرتبه ضخامت فیلم روانکاری شرایط آزمایشگاهی	1	1
تمیزی زیاد روغن فیلتر شده توسط فیلتر فوق العاده دقیق شرایط بیرینگها آب بند شده (نوع تماسی) برای تمام عمر	0,9 ... 0,8	0,8 ... 0,6
تمیزی نرمال روغن فیلتر شده توسط فیلتر دقیق شرایط بیرینگها آب بند شده (حفاظ فلزی) برای تمام عمر	0,8 ... 0,6	0,6 ... 0,5
آلودگی کم آلودگی کم در روانکار	0,6 ... 0,4	0,5 ... 0,3
آلودگی طبیعی شرایط بیرینگهای بدون آب بند، فیلتر خشن و وجود ذرات سایشی و خارجی	0,4 ... 0,2	0,3 ... 0,1
آلودگی شدید محیط بیرینگ بشدت آلوده و چیدمان بیرینگ بدون آب بند کافی	0,1 ... 0	0,1 ... 0
آلودگی بسیار شدید در شرایط آلودگی شدید، ضریب η_C خارج از حدود بوده و کاهش عمر بسیار بیشتر از مقدار پیش بینی شده توسط معادله عمر L_{nm} است	0	0

۱- مقیاس η_C فقط برای ذرات آلوده کننده جامد است. آلودگی ناشی از آب و دیگر سیالات در این جا در نظر گرفته نشده اند. در شرایط آلودگی شدید ($\eta_C = 0$)، وجود آب باعث خرابی زودرس می شود و عمر مفید بیرینگ کمتر از عمر اسمی آن است.

طبقه‌بندی آلودگی ISO و نرخ فیلتر کردن

روش استاندارد برای طبقه‌بندی درجهٔ آلودگی در سیستم‌های روانکاری در استاندارد ISO 4406: 1999 توصیف شده است. در این روش طبقه‌بندی نتایج شمارش ذرات جامد به یک کد با استفاده از عدد معیار (Scale Number) تبدیل می‌شود. (جدول ۵ و نمودار ۷)

یک روش برای تعیین درجهٔ آلودگی روغن شمارش میکروسکوپی است. در این روش شمارش از دو عدد معیار مرتبط با ذرات $\geq 5\mu m$ و $\geq 15\mu m$ استفاده می‌شود. در روش دیگر از شمارنده‌های اتوماتیک ذرات استفاده می‌شود و در این روش از سه عدد معیار مرتبط به ذرات $\geq 4\mu m$، $\geq 6\mu m$ و $\geq 14\mu m$ استفاده می‌شود.

جدول ۵ طبقه بندی ISO- تعیین عدد معیار

عدد معیار	تعداد ذرات در هر میلی لیتر روغن	
	تا و شامل	بیشتر از
> 28		2 500 000
28	2 500 000	1 300 000
27	1 300 000	640 000
26	640 000	320 000
25	320 000	160 000
24	160 000	80 000
23	80 000	40 000
22	40 000	20 000
21	20 000	10 000
20	10 000	5 000
19	5 000	2 500
18	2 500	1 300
17	1 300	640
16	640	320
15	320	160
14	160	80
13	80	40
12	40	20
11	20	10
10	10	5
9	5	2,5
8	2,5	1,3
7	1,3	0,64
6	0,64	0,32
5	0,32	0,16
4	0,16	0,08
3	0,08	0,04
2	0,04	0,02
1	0,02	0,01
0	0,01	0,00

۱۵/۱۲/- (الف) و 22/18/13 (ب) که در نمودار ۷ صفحه ۵۷ نشان داده شده‌اند، مثال‌های نمونه‌ای از طبقه‌بندی درجهٔ آلودگی در روغن روانکار مطابق روش‌های فوق می‌باشند.

مثال الف نشان می‌دهد که روغن بین 160 تا 320 ذره $\geq 5\mu m$ و بین 20 تا 40 ذره $\geq 15\mu m$ در هر میلی‌لیتر دارد. البته این روش در صورتی مناسب است که روغن روانکار به صورت پیوسته فیلتر شود و وجود این سیستم فیلتراسیون بستگی به یافتن حالت بهینه بین افزایش هزینه و افزایش عمر کارکرد بیرینگ دارد.

نرخ فیلتر معیاری برای نشان دادن راندمان فیلتر است. راندمان فیلتر بر اساس نرخ فیلتر یا ضریب کاهش β (Reduction Factor) که به اندازهٔ ذرات بستگی دارد، تعریف می‌شود. هر چه مقدار β بیشتر باشد، راندمان فیلتر برای اندازه خاصی از ذرات بیشتر است. بنابراین هم β و هم اندازهٔ ذرات باید در نظر گرفته شوند. نرخ فیلتر β به تعداد ذرات قبل و بعد از فیلتر بستگی دارد و به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\beta_X = \frac{n_1}{n_2}$$

که در آن

β_X = نرخ فیلتر برای ذرات به اندازه x

x = اندازه ذرات، µm

n_1 = تعداد ذرات در بالادست فیلتر (قبل از فیلتر) در واحد حجم (100 ml) که از اندازهٔ x بزرگ‌تر هستند.

n_2 = تعداد ذرات در پایین‌دست فیلتر (بعد از فیلتر) در واحد حجم (100 ml) که از اندازهٔ x بزرگ‌تر هستند.

توجه:

نرخ فیلتر β فقط به یک اندازهٔ خاص ذرات بستگی دارد که به صورت پانویس مانند β_3، β_6 و β_{12} نشان داده می‌شود. برای مثال نرخ فیلتر « $\beta_6 = 75$ » یعنی فقط یک ذره از 75 ذره بزرگ‌تر یا مساوی $6\mu m$ از فیلتر عبور می‌کند. بنابراین هر دو مقدار β و اندازهٔ ذرات باید در نظر گرفته شوند.

تعیین مقدار η_C وقتی که درجهٔ آلودگی مشخص است

در روانکاری با روغن وقتی که درجهٔ آلودگی از روش شمارش میکروسکوپی یا از یک شمارندهٔ اتوماتیک ذرات مطابق با استاندارد ISO 4406:1999 و یا به طور غیرمستقیم از طریق نرخ فیلتر که برای سیستم‌های بسته بکار می‌رود، مشخص است، می‌توان ضریب η_C را برای درجه آلودگی تعیین کرد. توجه شود که ضریب η_C را نمی‌توان فقط بر اساس آلودگی روغن اندازه گرفت این ضریب شدیداً به شرایط روانکاری مانند κ و ابعاد بیرینگ بستگی دارد. یک روش ساده‌شده مطابق با استاندارد DIN ISO 281 Addendum 4:2003 در این جا برای به دست آوردن η_C ارائه می‌شود که با استفاده از کد آلودگی روغن (یا نرخ فیلتر)، ضریب η_C بر اساس قطر متوسط $d_m = 0.5(d + D)$ mm، و نسبت لزجت κ به دست می‌آید. (نمودارهای ۸ و ۹ صفحه ۵۸)

نمودارهای ۸ و ۹ مقادیر نمونه ضریب η_C را برای روانکاری با روغن در سیکل بسته با درجات مختلف فیلتر و کدهای آلودگی روغن به دست می‌دهند. ضرایب آلودگی مشابه را می‌توان در کاربردهایی که شامل حمام روغن (Oil Bath) بوده و هیچ افزایش آشکاری در ذرات آلوده‌کننده دیده نمی‌شود، بکار برد. از طرف دیگر اگر تعداد ذرات در یک حمام روغن به طور پیوسته به علت سایش یا ورود آلودگی افزایش یابد این افزایش باید در انتخاب ضریب η_C برای سیستم حمام روغن فوق مطابق با استاندارد DIN ISO 281 Addendum 4:2003 در محاسبات وارد شود.

برای روانکاری با گریس، ضریب η_C را می‌توان به روش مشابه محاسبه نمود هر چند که تعیین میزان آلودگی مشکل بوده و بنابراین یک روش کیفی ساده بکار برده می‌شود.

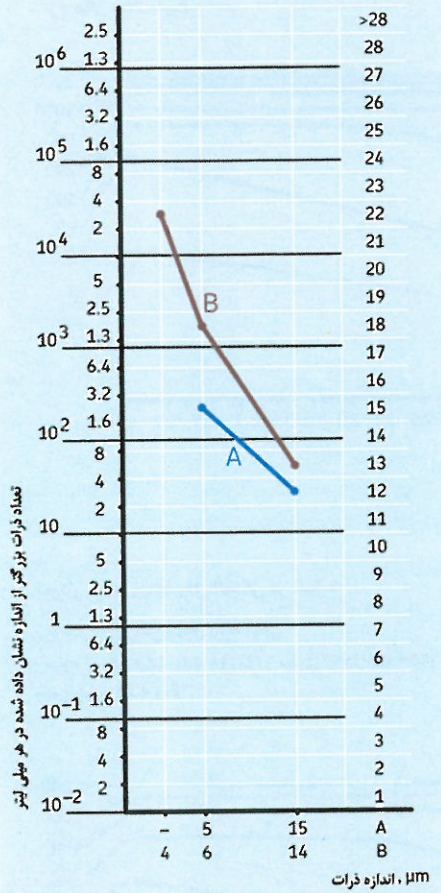
نمودارهای ۱۰ و ۱۱ صفحه ۵۹ مقادیر نمونه ضریب η_C را برای روانکاری با گریس در شرایط کارکرد فوق‌العاده تمیز و تمیزی نرمال نشان می‌دهند.

برای دیگر درجات آلودگی در سیکل بسته روغن، حمام روغن و روانکاری با گریس به استاندارد DIN ISO 281 Addendum 4:2003 مراجعه کنید.

اهمیت اثر آلودگی بر عمر خستگی با مثالی شرح داده می‌شود. چند بلبیرینگ شیار عمیق 6305 با و بدون آب‌بند در محیط به شدت آلوده (یک جعبه دنده که شامل تعداد زیادی ذرات سایشی می‌باشد) آزمایش‌شده و هیچ گونه خرابی در بیرینگ آب‌بند شده دیده نشد. آزمایش به علت دلایل عملی متوقف شد و در زمان توقف بیرینگ آب‌بند شده ۳۰ برابر بیرینگ بدون آب‌بند کار کرده بود. عمر بیرینگ بدون آب‌بند 0.1 عمر محاسبه‌شده L_{10} می‌باشد که معادل ضریب $\eta_C = 0$ در جدول ۴ صفحه ۵۴ است.

نمودارهای ۱ تا ۴ که از صفحه ۴۶ به بعد آمده‌اند، اهمیت تمیزی روانکاری را با کاهش ناگهانی ضریب a_{SKF} وقتی که ضریب η_C کاهش پیدا می‌کند، نشان می‌دهند. استفاده از بیرینگ آب‌بند شده یک روش خوب و اقتصادی برای افزایش تمیزی در بیرینگ است.

نمودار ۷ طبقه بندی ISO و مثالهایی از شمارش ذرات

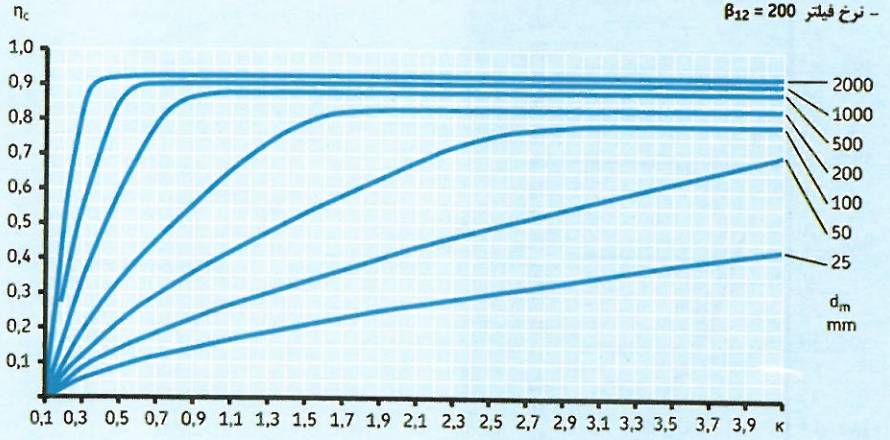


A = شمارش میکروسکوپی ذرات (12/15/-)

B = شمارش اتوماتیک ذرات (13/18/22)

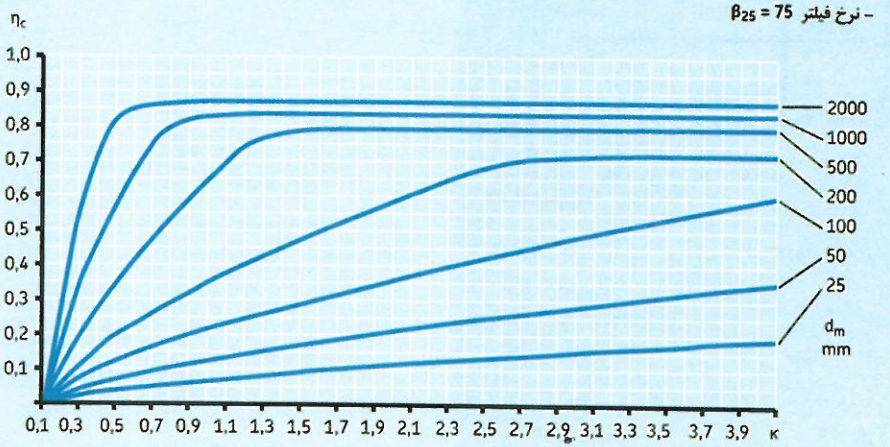
نمودار ۸ ضریب η_c برای آلودگی در شرایط

- روانکاری به روش سیکل بسته روغن
- درجه آلودگی ذرات جامد 15/12/– مطابق ISO 4406:1999
- نرخ فیلتر $\beta_{12} = 200$

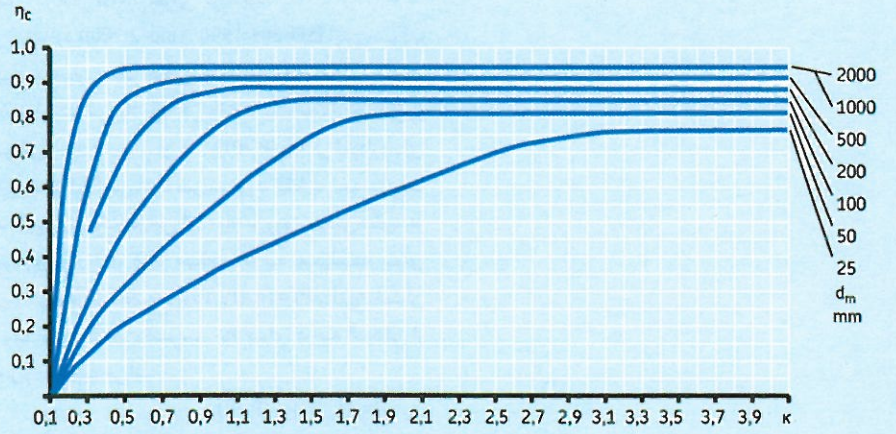


نمودار ۹ ضریب η_c برای آلودگی در شرایط

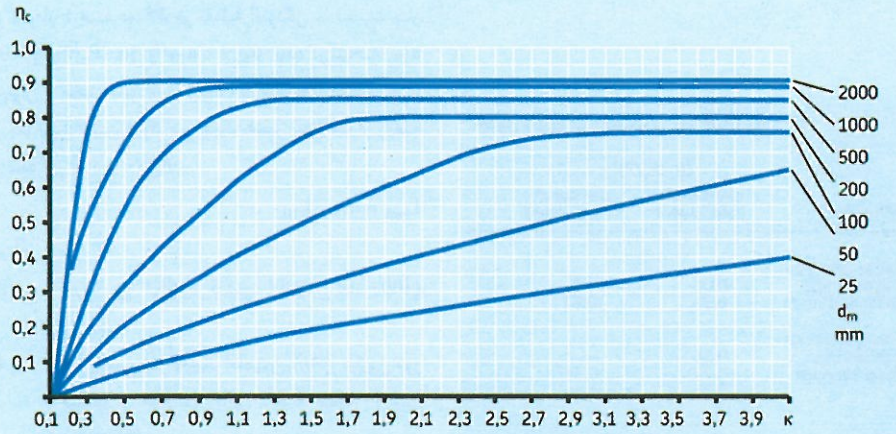
- روانکاری به روش سیکل بسته روغن
- درجه آلودگی ذرات جامد 17/14/ – مطابق ISO 4406:1999
- نرخ فیلتر $\beta_{25} = 75$



نمودار ۱۰ ضریب آلودگی η_c برای روانکاری با گریس، شرایط فوق العاده تمیز



نمودار ۱۱ ضریب آلودگی η_c برای روانکاری با گریس، شرایط تمیزی نرمال



یک حالت خاص ـ ضریب تصحیح a_{23}

در روش قبلی SKF عمر اسمی با استفاده از ضریب a_{23} برای فولاد بیرینگ و روانکاری تصحیح می‌شد. SKF این ضریب را در سال ۱۹۷۵ معرفی کرده بود.

در استاندارد ISO 281:1990/Amd 2:2000 این ضریب تصحیح به عنوان حالت خاصی از ضریب تصحیح عمر a_{SKF} ذکر شده است. ضریب a_{23} در حقیقت یک مقدار خاصی از « آلودگی ــ نسبت بار » $[\eta_c(P_u/P)]_{23}$ در نمودارهای تصحیح عمر SKF می‌باشد. ضریب a_{23} فقط به نسبت لزجت κ بستگی دارد. یک مقیاس از a_{23} بر روی منحنی‌های κ در نمودارهای ۱ تا ۴، که از صفحه ۴۶ به بعد آمده، برای ضریب a_{SKF} در نقطه $\eta_c(P_u/P) = [\eta_c(P_u/P)]_{23}$ نشان داده شده است. بنابراین ضریب η_C برای درجه آلودگی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\eta_c = [\eta_c(P_u/P)]_{23}/(P_u/P)$$

محلی که $\eta_c(P_u/P) = [\eta_c(P_u/P)]_{23}$ است با خط چین بر روی نمودارهای فوق نشان داده شده است. همچنین این مقادیر در جدول ۶ برای بیرینگ‌های استاندارد SKF و بیرینگ‌های SKF اکسپلورر آورده شده‌اند. به عنوان مثال برای بلبیرینگ‌های استاندارد مقدار η_C برابر است با

$$\eta_c = \frac{0.05}{P_u/P}$$

در نمودار ۱ صفحه ۴۶، در نقطهٔ آلودگی ــ نسبت بار، $[\eta_c(P_u/P)]_{23} = 0.05$ و $a_{SKF} = a_{23}$ بوده در نتیجه a_{23} را می‌توان از محور عمودی (a_{SKF}) با استفاده از مقادیر κ بر روی خط چین تعیین نمود. در نهایت عمر بیرینگ از رابطهٔ ساده شده زیر به دست می‌آید.

$$L_{nm} = a_1 a_{23} L_{10}$$

که در آن

L_{nm} = عمر اسمی SKF (در قابلیت اطمینان $(100 - n)\%$)، میلیون دور

L_{10} = عمر اسمی (در قابلیت اطمینان 90%)، میلیون دور

a_1 = ضریب تصحیح عمر برای قابلیت اطمینان (جدول ۱ صفحه ۴۵)

a_{23} = ضریب تصحیح برای فولاد بیرینگ و روانکار، وقتی $\eta_c(P_u/P) = [\eta_c(P_u/P)]_{23}$ (نمودارهای ۱ تا ۴، از صفحه ۴۶ به بعد)

جدول ۶ آلودگی- نسبت بار $[\eta_c (P_u/P)]_{23}$

نوع بیرینگ	نسبت $[\eta_c (P_u/P)]_{23}$ برای بیرینگهای استاندارد SKF	برای بیرینگهای SKF اکسپلورر
Radial bearings		
Ball bearings	0,05	0,04
Roller bearings	0,32	0,23
Thrust bearings		
Ball bearings	0,16	–
Roller bearings	0,79	0,56

استفاده از ضریب تصحیح a_{23} در عمل به معنی استفاده از $\eta_c(P_u/P) = [\eta_c(P_u/P)]_{23}$ است. اگر مقدار واقعی $\eta_c(P_u/P)$ کم‌تر یا بیشتر از مقدار $[\eta_c(P_u/P)]_{23}$ باشد عمر بیرینگ کم‌تر یا بیشتر از مقدار واقعی تخمین‌زده می‌شود. به عبارت دیگر در کاربردهایی که بار زیاد و آلودگی بالاست یا کاربردهای که بار سبک و شرایط تمیز است ضریب a_{23} معیار درستی به دست نمی‌دهد.

برای بیرینگ‌های استاندارد در شرایط بار C/P حدود 5 درجه آلودگی برای $a_{SKF} = a_{23}$ نیاز به ضریب η_C حدود 0.4 تا 0.5 دارد. اگر تمیزی واقعی کم‌تر از مقدار طبیعی مربوط به ضریب a_{23} باشد، عمر بیرینگ بیشتر از مقدار واقعی محاسبه می‌شود. لذا توصیه می‌شود که از روش a_{SKF} در محاسبه عمر بیرینگ استفاده شود.

مطابقت بین ضریب a_{23} و a_{SKF} در کاربردهایی لازم می‌باشد که طراحی بر اساس ضریب a_{23} انجام‌شده و نیاز به تبدیل آن به روش کلی‌تر a_{SKF} است. در حقیقت کلیه کاربردهایی که در آنها محاسبات بر اساس ضریب a_{23} انجام شده و در عمل رضایت‌بخش می‌باشند را می‌توان به سادگی به ضریب a_{SKF} معادل تبدیل نمود.

در عمل این تبدیل به معنی تعیین ضریب η_C بر اساس مقادیر « آلودگی ـ نسبت بار » در جدول ۶ می‌باشد. ضریب η_C که از این روش به دست می‌آید نشان‌دهنده مقدار تقریبی‌ضریب η_C واقعی می‌باشد. این مقدار تخمینی اولیه را می‌توان بر اساس نرخ تمیزی روغن که در بخش « تعیین η_C وقتی که درجهٔ آلودگی معلوم است » در صفحه ۵۶ آمده، بهینه نمود. همچنین به محاسبات مثال ۲ در صفحه ۷۰ مراجعه نمایید.

محاسبه عمر در شرایط کارکرد متغیر

در کاربردهایی که در آنها بار وارده به بیرینگ از نظر اندازه و جهت متغیر است عمر بیرینگ را نمی‌توان مستقیماً محاسبه نمود و لازم است که بار معادل مربوط به شرایط متغیر محاسبه شود. بار متغیر می‌تواند با تغییرات سرعت، دما، شرایط روانکاری و درجهٔ آلودگی همراه باشد، با پیچیده شدن شرایط، انجام محاسبات مربوطه مشکل می‌شود.

بنابراین در شرایط بارهای متغیر لازم است که طیف بار به تعداد محدودی بارگذاری ساده تقسیم شود (نمودار ۱۲). در شرایط تغییرات پیوسته بار، طیف بار به یک هیستوگرام از بلوک‌های ثابت بار تبدیل می‌شود که هر کدام از آنها مشخص‌کننده در صدی از شرایط کارکرد می‌باشد. توجه شود که بارهای سنگین و متوسط عمر بیرینگ را سریع‌تر از بارهای سبک مصرف می‌کنند. بنابراین در نظر گرفتن بارهای شوک و حداکثر در نمودار، حتی اگر زمان عمل آنها محدود به چندین دور باشد، اهمیت بسزایی دارد.

در یک محدودهٔ کارکرد، متوسط بار بیرینگ و شرایط کارکرد آن را می‌توان با یک مقدار ثابت نشان داد. همچنین تعداد ساعات یا دوران‌های مربوط به آن محدودهٔ کارکرد باید مشخص شود. بنابراین اگر N_1 تعداد دوران‌ها تحت شرایط بار P_1 باشد و N کل سیکل عمر بیرینگ باشد جزء عمر $U_1 = N_1/N$ تحت شرایط بار P_1 بوده و عمر L_{10m1} را به دست می‌دهد. تحت شرایط کارکرد متغیر عمر بیرینگ از معادله زیر به دست آورد.

$$L_{10m} = \frac{1}{\frac{U_1}{L_{10m1}} + \frac{U_2}{L_{10m2}} + \frac{U_3}{L_{10m3}} + \dots}$$

که در آن

L_{10m} = عمر اسمی SKF (در قابلیت اطمینان ٪90)، میلیون دور

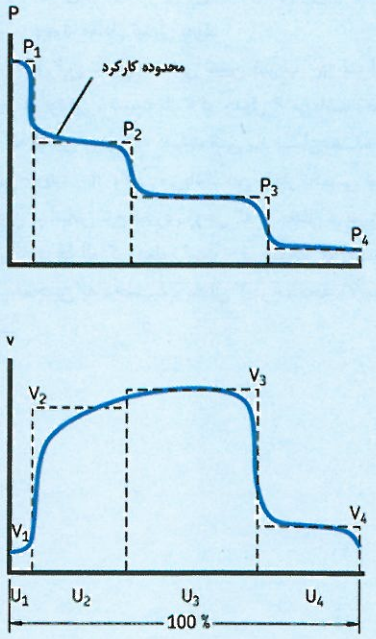
L_{10m1} ، L_{10m2} ، ... = جزء عمر اسمی SKF (در قابلیت اطمینان ٪90) تحت شرایط بار ثابت 1، 2، ...، میلیون دور

U_1 ، U_2 ،... = جزء عمر تحت شرایط 1، 2، ...

$(U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n = 1)$

استفاده از این روش محاسباتی به وجود نمودارهای بار در هر کاربرد خاص بستگی دارد. همچنین این نمودارها را می‌توان از شرایط کارکرد مشابه یا سیکل کارکرد استاندارد برای کاربرد مورد نظر به دست آورد.

نمودار ۱۲



تأثیر دمای کارکرد

ابعاد بیرینگ در حال کار به علت تبدیلات ساختاری مواد تغییر می‌کند. این تبدیلات به دما، زمان و تنش وابسته می‌باشند.

به منظور جلوگیری از این تغییرات ابعادی ناخواسته فولاد بیرینگ‌ها تحت عملیات حرارتی خاصی (پایدارسازی) قرار می‌گیرد (جدول ۷).

بیرینگ‌های استاندارد وابسته به نوع بیرینگ، از جنس فولادهای سخت شونده عمقی (Through-hardening Steels) و فولادهای سخت شونده القایی (Induction-hardening Steels) ساخته می‌شوند، که حداکثر دمای کارکرد توصیه‌شده برای آنها بین ۱۲۰ °C+ تا ۲۰۰ °C+ است. این حداکثر دمای کارکرد مستقیماً به عملیات حرارتی بستگی دارد، اطلاعات بیشتر در بخش مربوط به هر بیرینگ خاص آورده شده است.

اگر دمای کارکرد طبیعی در یک کاربرد بیشتر از حداکثر دمای توصیه شده باشد باید از بیرینگ با کلاس پایداری (Stabilization Class) بالاتر استفاده شود.

در کاربردهایی که در آنها بیرینگ به طور پیوسته در دمای بالا کار می‌کند لازم است که ظرفیت حمل بار دینامیکی نیز تصحیح[1] شود.

جدول ۷ پایداری ابعادی

کلاس پایدار سازی	پایدار شده تا
SN	120 °C
S0	150 °C
S1	200 °C
S2	250 °C
S3	300 °C
S4	350 °C

کارکرد رضایت‌بخش بیرینگ‌ها در دمای بالا همچنین به جنس آب‌بند و قفسه و این که آیا روانکار خواص خود را در دمای بالا حفظ می‌کند یا نه، بستگی دارد (به فصل « روانکاری » در صفحه ۲۱۷ و بخش « جنس بیرینگ‌ها » در صفحه ۱۲۶ مراجعه کنید).

عمر اسمی مورد نیاز

در تعیین ابعاد یک بیرینگ معمولاً عمر اسمی SKF محاسبه‌شده را با عمر مشخصه آن کاربرد خاص (در صورت وجود) مقایسه می‌کنند. عمر مورد نیاز (یا مشخصه) بستگی به نوع ماشین، زمان کارکرد و قابلیت اطمینان دارد. در صورتی که تجربهٔ قبلی وجود ندارد، می‌توان از مقادیر راهنما در جداول ۸ و ۹ صفحه ۶۴ برای تعیین عمر مشخصه استفاده کرد.

---

۱. ظرفیت حمل بار بیرینگ با افزایش دما کاهش می‌یابد. مترجم

جدول ۸ مقادیر راهنما برای عمر مشخصه در ماشین های مختلف

نوع ماشین	عمر مشخصه ساعت کارکرد
لوازم خانگی، ماشین آلات کشاورزی، تجهیزات ابزار دقیق و پزشکی	300 ... 3 000
ماشین آلاتی که برای مدت زمان کوتاه استفاده می شوند، ابزارهای الکتریکی دستی، تجهیزات جابجایی مواد در کارگاهها، ماشین آلات و تجهیزات ساختمانی	3 000 ... 8 000
ماشین هایی که برای مدت کوتاه یا بصورت متناوب استفاده می شوند و قابلیت اطمینان بالا برای آنها نیاز است، آسانسور، جرثقیل برای کالاهای بسته بندی شده (یا Slings of drums)	8 000 ... 12 000
ماشین برای ۸ ساعت کار (نه بطور کامل) در روز، گیربکس برای کاربردهای عمومی، موتورهای الکتریکی صنعتی، خرد کننده های دورانی	10 000 ... 25 000
ماشین برای ۸ ساعت کار کامل در روز، ماشین آلات چوب بری ماشین آلات صنایع مهندسی، جرثقیل جابجایی مواد، فن ها، تسمه نقاله، دستگاه های چاپ، جدا کننده ها و سانتریفیوژها	20 000 ... 30 000
ماشین آلات برای کار پیوسته در۲۴ ساعت، گیر بکس های نورد، موتورهای الکتریکی سایز متوسط، کمپرسورها، جرثقیل در معادن، پمپها ماشین آلات نساجی	40 000 ... 50 000
ماشین آلات تولید انرژی بادی شامل شفت اصلی، Yaw، جعبه دنده Pithing، بیرینگهای ژنراتور	30 000 ... 100 000
ماشین آلات آبی، کوره های دورانی، ماشین کشش کابل، پروانه کشتی های اقیانوس پیما	60 000 ... 100 000
موتورهای الکتریکی بزرگ، نیروگاه تولید انرژی، پمپ های معادن، فن های تعویض هوا در معادن، بیرینگهای شفت تونل در کشتی های اقیانوس پیما	> 100 000

جدول ۹ مقادیر راهنما برای عمر مشخصه بیرینگ جعبه محور و بیرینگهای وسایل نقلیه ریلی

نوع وسیله	عمر مشخصه میلیون کیلومتر
واگن های حمل بار مطابق مشخصات UIC بر اساس اثر پیوسته حداکثر بار محور	0,8
وسایل حمل مسافر: قطار زیر زمینی و قطارهای سبک و متوسط	1,5
واگن های جابجایی مسافر در خطوط اصلی	3
وسایل جابجایی مسافر در خطوط اصلی واحدهای دیزل و الکتریکی	3 ... 4
لوکوموتیو خط اصلی با واحدهای دیزل و الکتریکی	3 ... 5

بیرینگ تحت بارهای دینامیکی

محاسبه بارهای دینامیکی وارده بر بیرینگ

بارهای وارده بر بیرینگ را در صورتی که نیروهای خارجی (نظیر نیروهای ناشی از انتقال قدرت، نیروهای ناشی از کار انجام‌شده یا نیروهای اینرسی) مشخص باشند، می‌توان از قوانین مکانیک محاسبه نمود. در محاسبات برای سادگی شفت به صورت یک تیر صلب در نظر گرفته می‌شود که بر روی تکیه‌گاه‌های صلب و بدون خمش (Moment-free) قرار گرفته است. تغییر شکل الاستیک در بیرینگ، نشیمنگاه و بدنه ماشین و همچنین ممان‌های ایجادشده در بیرینگ، ناشی از خمش شفت، در محاسبات منظور نمی‌شوند.

این ساده سازی‌ها به منظور محاسبه فوری نیروها به کمک یک ماشین‌حساب جیبی لازم می‌باشند. روش‌های استاندارد برای محاسبه بارهای اسمی و بارهای معادل وارده بر بیرینگ نیز بر اساس این فرضیات می‌باشند.

می‌توان بارهای وارده بر بیرینگ را با استفاده از تئوری الاستیسیته بدون فرضیات بالا محاسبه کرد ولی نیاز به برنامه‌های کامپیوتری پیچیده است. در این برنامه‌ها بیرینگ‌ها، شفت و نشیمنگاه به عنوان اجزای الاستیک سیستم در نظر گرفته می‌شوند.

نیروهای خارجی که برای مثال شامل وزن شفت و دیگر اجزای آن یا وزن وسیلهٔ نقلیه و یا نیروهای اینرسی دیگر می‌باشند، از قبل مشخص بوده یا قابل محاسبه‌اند. هر چند هنگام محاسبه نیروهای کار (نیروهای نورد، نیروهای برش در ماشین‌های ابزار و ...)، نیروهای شوک و دیگر نیروهای دینامیکی نظیر نیروی ناشی از عدم بالانس، غالباً لازم است از مقادیر تخمینی بر اساس تجربیات قبلی با ماشین‌ها یا چیدمان‌های بیرینگ مشابه، استفاده نمود.

چرخدنده‌ها

در چرخدنده‌ها نیروی تئوری دنده‌ها را می‌توان بر اساس قدرت منتقل‌شده و مشخصه‌های دنده، تعیین نمود هر چند نیروهای دینامیکی دیگری در داخل چرخدنده ایجاد می‌شوند که ناشی از خود جعبه دنده و یا ورودی و خروجی جعبه دنده می‌باشند. نیروهای اضافی دینامیکی در جعبه دنده‌ها ناشی از خطای ساخت دنده‌ها و عدم بالانس دیگر اجزای دورانی نیز وجود دارند. به منظور کاهش سر و صداها چرخدنده‌ها را با دقت بالا و استانداردهای دقیق تولید می‌کنند. لذا این نیروها معمولاً ناچیز بوده و در محاسبه بیرینگ‌ها می‌توان از آنها صرفنظر نمود.

نیروهای دیگر ناشی از نوع و عملکرد ماشین‌های کوپل‌شده به جعبه دنده را با مشخص شدن شرایط کارکرد می‌توان تعیین نمود. تأثیر این نیروها بر عمر بیرینگ را می‌توان با استفاده از ضریب عملکرد که دربرگیرنده نیروهای شوک و راندمان جعبه دنده نیز می‌باشد، در محاسبات وارد نمود.

مقادیر این ضرایب برای شرایط عملکرد متفاوت، از جداول ارائه‌شده توسط سازنده جعبه دنده تعیین می‌شوند.

محرک تسمه‌ای (Belt Drive)

در سیستم‌هایی که انتقال نیرو به وسیله تسمه انجام می‌گیرد باید اثر نیروی کشش تسمه (Belt Pull) (نیروی محیطی)، که به گشتاور منتقل‌شده بستگی دارد، را در محاسبات بار بیرینگ‌ها وارد کرد.

نیروی کشش تسمه را باید در ضریبی که بستگی به نوع تسمه، پیش بار آن، کشش داخلی تسمه و دیگر نیروهای دینامیکی دارد، ضرب نمود. مقادیر این ضرایب معمولاً توسط سازنده تسمه تعیین می‌شود. در صورتی که این اطلاعات موجود نمی‌باشند می‌توان از مقادیر زیر استفاده کرد.

- تسمه دندانه‌دار = 1.1 تا 1.3
- تسمه V- شکل = 1.2 تا 2.5
- تسمه تخت (Plain Belts) =1.5 تا 4.5

مقادیر بزرگ‌تر برای فواصل کوتاه بین شفت‌ها، نیروهای شوک یا سنگین و یا وقتی کشش داخلی تسمه زیاد است، بکار می‌روند.

بار معادل دینامیکی وارده بر بیرینگ

اگر بار F محاسبه‌شده در بخش قبل از نظر مقدار و جهت ثابت بوده و برای بیرینگ‌های شعاعی، شعاعی خالص و برای بیرینگ‌های کف‌گرد، محوری خالص و مرکزی باشد، با در نظر گرفتن P = F بار مستقیماً در محاسبات عمر وارد می‌شود.

در موارد دیگر لازم است که بار معادل دینامیکی وارده بر بیرینگ محاسبه شود. این بار بنا به تعریف نیروی فرضی می‌باشد که از نظر مقدار و جهت ثابت بوده و جهت آن برای بیرینگ‌های شعاعی، شعاعی و برای بیرینگ‌های کف‌گرد، محوری و مرکزی می‌باشد و تأثیر آن بر عمر بیرینگ معادل تأثیر بارهای واقعی بر بیرینگ می‌باشد (شکل ۲).

بیرینگ‌های شعاعی غالباً تحت بار شعاعی و محوری همزمان می‌باشند. اگر بار معادل از نظر مقدار و جهت ثابت باشد بار معادل دینامیکی بیرینگ، P، از رابطهٔ عمومی زیر به دست می‌آید.

$$P = XF_r + YF_a$$

که در آن

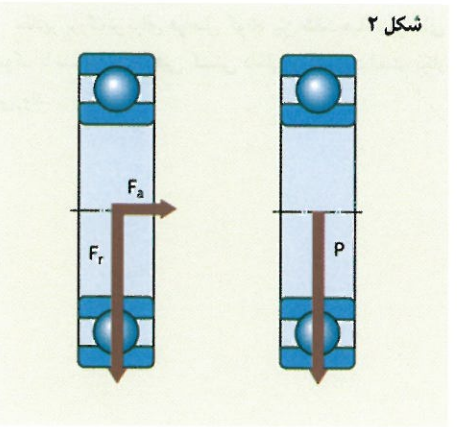
P = بار معادل دینامیکی وارده بر بیرینگ، kN

F_r = بار واقعی شعاعی، kN

F_a = بار واقعی محوری، kN

X = ضریب بار شعاعی بیرینگ

Y = ضریب بار محوری بیرینگ



شکل ۲

در بلبیرینگ‌های یک ردیفه شعاعی بار محوری در صورتی بر بار معادل دینامیکی بیرینگ P تأثیر دارد که نسبت F_a/F_r از ضریب حدی معین e بزرگ‌تر باشد. برای بیرینگ‌های دو ردیفه حتی بار محوری کم نیز تأثیرگذار است.

معادلهٔ عمومی مشابهی برای رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد که توانایی حمل بار محوری و شعاعی را دارند، صادق می‌باشد. برای بیرینگ‌های کف‌گرد که فقط بار محوری خالص را تحمل می‌کنند مانند بلبیرینگ کف‌گرد، رولربیرینگ استوانه‌ای کف‌گرد، به شرطی که بار مرکزی باشد رابطهٔ بالا به معادله زیر ساده می‌شود.

$$P = F_a$$

تمام اطلاعات و ضرایب مورد نیاز برای محاسبه بار معادل دینامیکی وارده بر بیرینگ در بخش مربوط به هر نوع بیرینگ آورده شده است.

بیرینگ تحت بار متغیر

در کاربردهای زیادی مقدار بار متغیر می‌باشد. در این شرایط باید از فرمول صفحه ۶۲ برای شرایط کارکرد متغیر در محاسبات عمر استفاده کرد.

بار متوسط در محدوده کارکرد

در هر محدوده کارکرد شرایط ممکن است با شرایط طبیعی کمی متفاوت باشد. با فرض این که شرایط کارکرد نظیر سرعت و جهت بار تقریباً ثابت بوده و مقدار بار به طور پیوسته بین یک مقدار حداقل F_{min} و یک مقدار حداکثر F_{max} تغییر کند، (نمودار ۱۳)، بار متوسط را می‌توان از معادله زیر محاسبه کرد.

$$F_m = \frac{F_{min} + 2F_{max}}{3}$$

بار دورانی

اگر مطابق نمودار ۱۴ بار وارده بر بیرینگ از یک بار F_1، که از نظر مقدار و جهت ثابت می‌باشد (وزن شفت)، و یک بار متحرک F_2 (بار ناشی از عدم بالانس اجزای متحرک) که مقدار آن ثابت است، تشکیل شده باشد، بار متوسط را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$F_m = f_m(F_1 + F_2)$$

مقادیر ضریب f_m از نمودار ۱۵ به دست می‌آید.

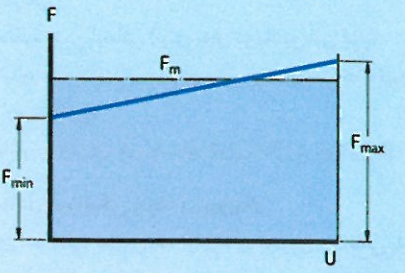
بار حداقل مورد نیاز

رابطهٔ بین عمر و بار وقتی بار بسیار سبک است نامشخص بوده و مکانیسم خرابی دیگری به غیر از خستگی در این شرایط تعیین‌کننده می‌باشد.

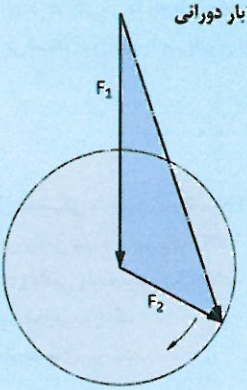
به منظور عملکرد رضایت بخش، بیرینگ‌های غلتشی باید تحت بار حداقلی باشند. به عنوان قانون کلی این بار حداقل باید 0.02C برای رولربیرینگ‌ها و 0.01C برای بلبیرینگ‌ها باشد. این بار حداقل وقتی اهمیت دارد که شتاب در بیرینگ بالا بوده و سرعت در محدودهٔ 50٪ یا بیشتر از سرعت حدی بیرینگ (Limiting Speed) که در جداول آمده است، باشد. (به بخش « سرعت‌ها و ارتعاشات » در صفحه ۹۵ مراجعه کنید.) اگر اعمال بار حداقل مورد نیاز امکان‌پذیر نیست می‌توان از بیرینگ‌های ضد سایش استفاده کرد (صفحه ۵۰۱).

توصیه‌های لازم برای محاسبه بار حداقل برای هر نوع بیرینگ در بخش مربوط به آن بیرینگ آورده شده است.

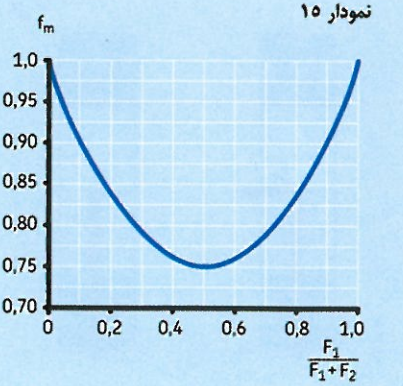
نمودار ۱۳ بار متوسط



نمودار ۱۴ بار دورانی



نمودار ۱۵



تعیین ابعاد بیرینگ با استفاده از ظرفیت حمل بار استاتیکی بیرینگ

وقتی یکی از شرایط زیر وجود داشته باشد، ابعاد بیرینگ به جای معادلهٔ عمر باید بر اساس ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی C_0 تعیین شوند.

- بیرینگ ثابت بوده و به طور پیوسته و ناپیوسته تحت بار (شوک) قرار می‌گیرد.
- بیرینگ تحت بار به آرامی نوسان می‌کند یا خود را همراستا با شفت و نشیمنگاه می‌کند.
- بیرینگ با سرعت کم ($n<10$ r/min) تحت بار دوران می‌کند و لازم است عمر کوتاهی داشته باشد (معادلهٔ عمر در این حالت برای بار معادل P مقدار ظرفیت حمل بار دینامیکی C_0 مورد نیاز کوچکی را به دست می‌دهد به طوری که بیرینگ انتخابی بر این اساس در عمل تحت بار خیلی زیادی قرار می‌گیرد).
- بیرینگ تحت دوران، علاوه بر تحمل بارهای نرمال باید بارهای شوک سنگین را نیز تحمل کند.

در تمامی موارد بالا بار مجاز بیرینگ را خستگی تعیین نکرده و تغییر شکل دائمی سطوح غلتش تحت بار، تعیین‌کننده می‌باشند. بارهای وارده بر بیرینگ ثابت یا بیرینگی که به آرامی نوسان می‌کند و بارهای شوک وارده بر بیرینگ متحرک باعث ایجاد سطوح تخت بر روی اجزای غلتنده یا فرورفتگی در سطح غلتش رینگ‌ها می‌شوند. فرورفتگی‌ها بر روی رینگ‌ها ممکن است توزیع نامنظم داشته و یا به طور منظم با فواصل مساوی با فاصله بین اجزای غلتنده ایجاد شوند. اگر بار در طی چندین دوران وارد شود فرورفتگی‌ها در کل سطوح غلتش رینگ‌ها ایجاد می‌شوند. تغییر شکل دائم در بیرینگ‌ها باعث ایجاد ارتعاش، سر و صدا و افزایش اصطکاک در بیرینگ می‌شود. همچنین ممکن است لقی داخلی افزایش یافته و انطباقات بیرینگ نیز تغییر کنند.

تأثیر تغییرات فوق بر عملکرد بیرینگ‌ها بستگی به شرایط و نیازهای یک کاربرد خاص دارد. بنابراین اگر یکی از شرایط زیر مورد نیاز است باید با انتخاب یک بیرینگ با ظرفیت حمل بار استاتیکی بالا از تغییر شکل دائم در بیرینگ جلوگیری کرده و یا این تغییر شکل‌ها را در محدوده قابل قبولی نگه داشت.

- قابلیت اطمینان بالا
- عملکرد بدون سر و صدا (برای مثال در موتورهای الکتریکی)
- عملکرد بدون ارتعاش (برای مثال در ماشین‌های ابزار)
- گشتاور اصطکاک ثابت (برای مثال در تجهیزات اندازه‌گیری و آزمایشگاهی)
- گشتاور راه‌اندازی کم تحت بار (برای مثال در جرثقیل‌ها)

بار معادل استاتیکی وارده بر بیرینگ

بارهای استاتیکی تشکیل‌شده از بارهای محوری و شعاعی باید به یک بار معادل استاتیکی تبدیل شوند. این بار معادل فرضی (که برای بیرینگ‌ها شعاعی به صورت شعاعی و برای بیرینگ‌های کف‌گرد به صورت محوری وارد می‌شود) باری است که باعث ایجاد حداکثر بار مشابه با بارهای واقعی در جزء غلتنده بیرینگ می‌شود. این بار را می‌توان از معادله زیر محاسبه نمود:

$$P_0 = X_0F_r + Y_0F_a$$

که در آن

P_0 = بار معادل استاتیکی وارده بر بیرینگ، kN

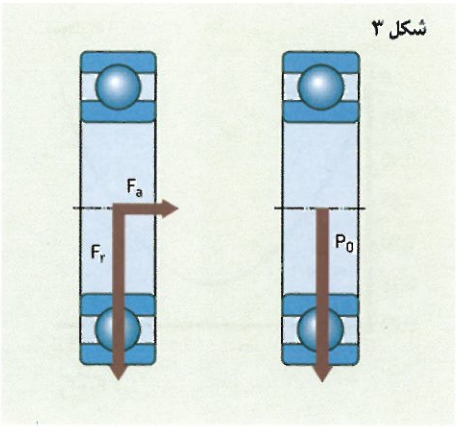
F_r = بار شعاعی واقعی وارده بر بیرینگ، kN

F_a = بار محوری واقعی وارده بر بیرینگ، kN

X_0 = ضریب بار شعاعی بیرینگ

Y_0 = ضریب بار محوری بیرینگ

شکل ۳



توجه:

در محاسبه P_0 باید مؤلفه‌های شعاعی و محوری (شکل ۳) حداکثر باری که ممکن است ایجاد شود در نظر گرفته شوند. اگر جهت بار استاتیکی متغیر باشد باید مؤلفه‌های باری را در معادله فوق وارد کرد که بیشترین مقدار بار معادل P_0 را به دست می‌دهند.

اطلاعات و داده‌های لازم برای محاسبه بار معادل استاتیکی برای هر نوع بیرینگ در بخش مربوط به آن بیرینگ آورده شده است.

ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی مورد نیاز

در تعیین ابعاد بیرینگ بر اساس ظرفیت حمل بار استاتیکی از یک ضریب اطمینان s_0 که ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی C_0 را به بار معادل استاتیکی P_0 مرتبط می‌کند، استفاده‌شده و ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی مورد نیاز محاسبه می‌شود.

ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی C_0 مورد نیاز را می‌توان از معادله زیر محاسبه کرد.

$$C_0 = s_0 P_0$$

که در آن

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN

P_0 = بار معادل استاتیکی وارده بر بیرینگ، kN

s_0 = ضریب اطمینان استاتیکی

مقادیر راهنما برای ضریب اطمینان استاتیکی s_0 بر اساس تجربیات قبلی برای بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها مختلف در جدول ۱۰ آورده شده‌اند. در دمای بالا ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی کاهش می‌یابد.

بررسی ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی

برای بیرینگ تحت بار دینامیکی، توصیه می‌شود که ظرفیت حمل بار استاتیکی، وقتی بار معادل استاتیکی P_0 معلوم می‌باشد، از رابطه زیر بررسی شود.

$$s_0 = C_0/P_0$$

اگر مقدار s_0 از مقدار توصیه‌شده (جدول ۱۰) کم‌تر باشد، باید یک بیرینگ با ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی بیشتر انتخاب شود.

جدول ۱۰ مقادیر راهنما برای ضریب اطمینان استاتیکی s_0

Type of operation	Rotating bearing Requirements regarding quiet running unimportant		normal		high		Non-rotating bearing	
	Ball bearings	Roller bearings	Ball bearings	Roller bearings	Ball bearings	Roller bearings	Ball bearings	Roller bearings
Smooth, vibration-free	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Pronounced shock loads[1)]	≥ 1,5	≥ 2,5	≥ 1,5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

برای رولر بیرینگهای کروی کف کرد توصیه می شود که از $s_0 \geq 4$ استفاده کنید.

۱) وقتی میزان بار شوک نامعین است حداکثر مقادیر s_0 در جداول باید استفاده شود. در صورتیکه بار شوک دقیقاً مشخص است مقادیر کمتر s_0 را می توان بکار برد.

مثال‌های محاسباتی

مثال ۱

یک بلبیرینگ SKF اکسپلورر 6309 شیار عمیق با سرعت 3000 r/min تحت بار ثابت شعاعی $F_r = 10kN$ کار می‌کند. روانکاری با روغن انجام می‌شود و روغن دارای لزجت سینماتیکی $\nu = 20\ mm^2/s$ در دمای کارکرد است. قابلیت اطمینان مورد نیاز ٪ 90 بوده و شرایط کارکرد بسیار تمیز است. عمر اسمی SKF را محاسبه کنید؟

الف) عمر اسمی برای قابلیت اطمینان ٪ 90 از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$L_{10} = (\frac{C}{P})^3$$

از جداول بیرینگ‌ها بر روی لوح فشرده برای بیرینگ 6309، C=55.3 kN است. از آن جایی که بار ثابت و شعاعی خالص می‌باشد، $P = F_r = 10\ kN$ (به بخش بار معادل دینامیکی وارده بر بیرینگ در صفحه ۶۶ مراجعه کنید)

میلیون دور $L_{10} = (55.3/10)^3 = 169$

یا بر حسب ساعت کارکرد

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10} = \frac{1000000}{60 \times 3000} \times 169$$

ساعت کارکرد 940 =

ب) عمر اسمی SKF در قابلیت اطمینان ٪90 از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$L_{10m} = a_1 a_{SKF} L_{10}$$

- از آن جایی که قابلیت اطمینان ٪ 90 مورد نیاز است باید عمر L_{10m} را محاسبه کرد. لذا $a_1 = 1$ است (جدول ۱، صفحه ۴۵)
- از جداول بیرینگ‌ها بر روی لوح فشرده برای بیرینگ 6309
$$d_m = 0.5(d + D) = 0.5(45 + 100) = 72.5\ mm$$
- از نمودار ۵۲ صفحه، لزجت مورد نیاز برای روانکار در دمای کارکرد و سرعت 3000 r/min، $\nu_1 = 8.15\ mm^2/s$ به دست می‌آید. بنابراین $\kappa = \nu/\nu_1 = 20/8.15 = 2.45$
- مجدداً از جداول بیرینگ‌ها بر روی لوح فشرده $P_u = 134\ kN$ و $P_u/P = 1.34/10 = 0.134$ است. برای شرایط بسیار تمیز $\eta_c = 0.8$، $\eta_c(P_u/P) = 0.107$ است. با $\kappa = 2.45$ و با استفاده از نمودار ۱ (برای کلاس اکسپلورر)، صفحه ۴۶، مقدار $a_{SKF} = 8$ به دست می‌آید. بنابراین عمر اسمی SKF،

میلیون دور $L_{10m} = 1 \times 8 \times 169 = 1352$

یا برحسب ساعت کارکرد

$$L_{10mh} = \frac{10^6}{60n} L_{10m}$$

$$L_{10mh} = 1000000/(60 \times 3000) \times 1352$$

ساعت کارکرد 7512 =

مثال ۲

بلبیرینگ شیار عمیق 6309 کلاس اکسپلورر، در مثال قبل، مربوط به کاربردی می‌باشد که سال‌های قبل با استفاده از ضریب تصحیح a_{23} محاسبه شده است. محاسبات در عمل کاملاً رضایت‌بخش بوده ولی لازم است که محاسبات عمر این بلبیرینگ بر اساس ضریب تصحیح a_{23} و ضریب a_{SKF} مجدداً محاسبه شود. ($a_{SKF} = a_{23}$) همچنین ضریب η_c برای درجه آلودگی برای این کاربرد در شرایط $a_{SKF} = a_{23}$ مورد نیاز می‌باشد.

- برای $\kappa = 2.45$ از نمودار ۱ صفحه ۴۶ مقدار a_{SKF} بر روی خط a_{23} تقریباً برابر 1.8 است. با توجه به این که محاسبات با a_{23} در عمل کاملاً رضایت‌بخش بود، $a_{SKF} = a_{23}$ و بنابراین

$$L_{10mh} = a_{23} L_{10h} = a_{SKF} L_{10h}$$

و

ساعت کارکرد $L_{10mh} = 1.8 \times 940 = 1690$

- ضریب η_c برای این حالت، مطابق با جدول ۶ صفحه ۶۰ و بلبیرینگ 6309 کلاس اکسپلورر با $P_u/P = 0.134$، از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\eta_c = [\eta_c(P_u/P)]_{23}/(P_u/P) = 0.04/0.134 = 0.3$$

مثال ۳

کاربردی نیاز به بررسی مجدد دارد. یک بلبیرینگ شیار عمیق کلاس اکسپلورر 6309-2RS1 که آب‌بندی شده و محتوی گریس است، در شرایط مشابه با مثال قبل ($\kappa = 2.45$) کار می‌کند. شرایط آلودگی در این کاربرد باید بررسی شود تا در صورت امکان هزینه‌ها کاهش یابند. عمر مورد نیاز برای این کاربرد 3000 ساعت می‌باشد.

- با در نظر گرفتن شرایط بلبیرینگ آب‌بند و محتوی گریس از جدول ۴ صفحه ۵۴، مقدار $\eta_c = 0.8$ به دست می‌آید. با $P_u/P = 0.134$، $\eta_c(P_u/P) = 0.107$ و $\kappa = 2.45$ از نمودار ۱ صفحه ۴۶، برای بلبیرینگ کلاس اکسپلورر $a_{SKF} = 8$ است. و

ساعت کارکرد $L_{10mh} = 8 \times 940 = 7520$

- برای کاهش هزینه در صورت امکان باید از بیرینگ 6309-2Z استفاده کرد. برای این بلبیرینگ درجه آلودگی از جدول ۴ صفحه ۵۴، ضریب $\eta_c = 0.5$ را به دست دهد. با $P_u/P = 0.134$، $\eta_c(P_u/P) = 0.067$ و $\kappa = 2.45$ از نمودار ۱ صفحه ۴۶ برای بیرینگ‌های کلاس اکسپورر $a_{SKF} = 3.5$ می‌باشد و

ساعت کارکرد $L_{10mh} = 3.5 \times 940 = 3290$

نتیجه‌گیری: در صورت امکان، در این کاربرد می‌توان بلبیرینگ آب‌بند شده را با بلبیرینگ با حفاظ فلزی جایگزین کرد و هزینه‌ها را کاهش داد.

توجه شود که در این کاربرد محاسبه عمر بر اساس a_{23} امکان بررسی بالا را به دست نمی‌دهد. همچنین با محاسبات فوق نمی‌توان شرایط عمر مورد نیاز را تأمین کرد، (مثال ۲، محاسبه عمر بر اساس ضریب تصحیح a_{23} مقدار 1690 ساعت را به دست می‌دهد که بسیار کم‌تر از عمر مورد نیاز است)

مثال ۴

بلبیرینگ شیار عمیق 6309 کلاس اکسپلورر در مثال ۱ مربوط به کاربردی است که سال‌های قبل با استفاده از ضریب تصحیح a_{23} محاسبه شده است. ولی در عمل از خرابی زود هنگام بلبیرینگ شکایت شده است. لازم است که طراحی مجدداً بررسی‌شده و در صورت امکان قابلیت اطمینان افزایش یابد.

- ابتدا عمر، بر اساس ضریب تصحیح a_{23} محاسبه می‌شود. با $\kappa = 2.45$ از نمودار ۱ صفحه ۴۶، مقدار $a_{23} = 1.8$ بر روی محور a_{SKF} به دست می‌آید و

$$L_{10mh} = a_{23} \times L_{10h} = 1.8 \times 940$$

ساعت کارکرد $= 1690$

- ضریب η_c، مطابق با محاسبات فوق و جدول ۶ صفحه ۶۰ و برای $P_u/P = 0.134$،

$$\eta_c = [\eta_c(P_u/P)]_{23}/(P_u/P) = 0.04/0.134 = 0.3$$

- شمارش میکروسکوپی نمونه روغن در کاربرد بالا درجه آلودگی 17/14/– را مطابق ISO 4406:1999 نشان می‌دهد. آلودگی اصلی مربوط به ذرات سایشی در سیستم می‌باشد. مطابق جدول ۴ صفحه ۵۴ این آلودگی را می‌توان آلودگی طبیعی طبقه‌بندی کرد و ضریب $\eta_c = 0.2$ را در محاسبات در نظر گرفت با $P_u/P = 0.134$، $\eta_c(P_u/P) = 0.0268$ و $\kappa = 2.45$ از نمودار ۱ صفحه ۴۶، $a_{SKF} = 1.2$ به دست می‌آید و

ساعت کارکرد $L_{10mh} = 1.2 \times 940 = 1130$

- با استفاده از بیرینگ 6309-2RS1 کلاس اکسپلورر که دارای آب‌بند تماسی می‌باشد درجه آلودگی را می‌توان کاهش داده و به درجه تمیزی زیاد مطابق جدول ۴ صفحه ۵۴ رسید. در این حالت $\eta_C = 0.8$ و با $P_u/P = 0.134$، $\eta_c(P_u/P) = 0.107$ و $\kappa = 2.45$ از نمودار ۱ صفحه ۴۶ ضریب $a_{SKF} = 8$ به دست می‌آید و

ساعت کارکرد $L_{10mh} = 8 \times 940 = 7520$

نتیجه‌گیری: آلودگی این سیستم به طور ضمنی از محاسبات قبلی بر اساس ضریب a_{23}، ضریب $\eta_c = 0.3$ را به دست می‌دهد که از آلودگی طبیعی در سیستم‌های انتقال قدرت صنعتی که در آنها $\eta_c = 0.2$ بیشتر می‌باشد. به همین علت بیرینگ قبل از رسیدن به عمر محاسبه‌شده خراب می‌شود. با استفاده از بیرینگ 6309-2RS1 کلاس SKF اکسپلورر که دارای آب‌بند تماسی است قابلیت اطمینان به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و مشکلات حل می‌شود.

مثال ۵

دوره کارکرد یک بیرینگ آب‌بند شده کروی 24026-2CS2/VT143 کلاس اکسپلورر، که در تجهیزات انتقال مواد در یک کارخانه فولاد بکار می‌رود مطابق شرایط جدول صفحه ۷۲ می‌باشد.

بار استاتیکی در این کاربرد دقیقاً محاسبه‌شده و اینرسی بار هنگام بارگذاری و شوک‌های ناشی از سقوط اتفاقی بار، در این محاسبات در نظر گرفته شده‌اند.

شرایط تحمل بار دینامیکی و استاتیکی این بیرینگ با در نظر گرفتن عمر مورد نیاز 60000 ساعت کارکرد و حداقل ضریب اطمینان استاتیکی 1.5، لازم است، بررسی شوند.

- از جداول بیرینگ‌ها

ضرایب حمل بار اسمی:

$P_u = 81.5$ kN ، $C_0 = 815$ kN ، $C = 540$ kN

ابعاد:

d=130 mm ،D=200 mm

بنابراین

$d_m = 0.5(130 + 200) = 165$ mm

گریس موجود در بیرینگ از نوع EP با روغن پایه معدنی و صابون لیتیمی، کلاس غلظت NLGI 2، دمای مجاز کارکرد بین -20 °C تا +110 °C و لزجت روغن پایه در 40 °C و 100 °C به ترتیب 200 mm^2/s و 16 mm^2/s است.

- مقادیر زیر محاسبه یا مشخص بوده و در جدول آورده شده‌اند.

1. ν_1 = لزجت نسبی، mm^2/s (از نمودار ۵ صفحه ۵۲) با داشتن d_m و سرعت به دست می‌آید.
2. ν = لزجت واقعی، mm^2/s (نمودار ۶ صفحه ۵۳) با داشتن لزجت روانکار در دمای 40 °C و دمای کارکرد به دست می‌آید.
3. κ = نسبت لزجت، نسبت (ν/ν_1)
4. η_c = ضریب درجه آلودگی، (از جدول ۴ در صفحه ۵۴) برای بیرینگ آب‌بند شده (تمیزی زیاد) $\eta_c = 0.8$ است.

مثال ۱/۵ شرایط کارکرد

بار معادل استاتیکی	دما	سرعت	جزء زمان	بار معادل دینامیکی	محدوده کارکرد
kN	°C	r/min	–	kN	–
500	50	50	0,05	200	1
500	65	300	0,40	125	2
500	65	400	0,45	75	3
500	60	200	0,10	50	4

۵. L_{10h} = عمر اسمی از معادله صفحه ۴۴ با داشتن C، P و n قابل محاسبه می‌باشد.

۶. a_{SKF} = از نمودار ۲ در صفحه ۴۷ به دست می‌آید. با داشتن η_c ، P_u ، κ و با استفاده از نمودار مربوط به کلاس اکسپلورر تعیین می‌شود.

$L_{10mh1,2,...}$ = عمر اسمی SKF مطابق با معادله صفحه ۴۴ با داشتن a_{SKF} و L_{10h} قابل محاسبه است.

۸. L_{10mh} = عمر اسمی SKF مطابق با معادله صفحه ۶۲ با داشتن L_{10mh1} ، L_{10mh2} ، ... و U_1 ، U_2 ، ... قابل محاسبه است.

عمر اسمی SKF برابر 84300 ساعت می‌باشد که از عمر مورد نیاز بیشتر است. بنابراین ضریب تحمل بار دینامیکی درست انتخاب شده است.

حال ضریب اطمینان استاتیکی را محاسبه می‌کنیم.

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{815}{500} = 1.63$$

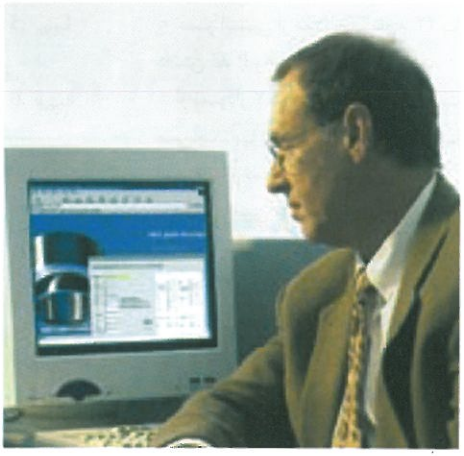
$$s_0 = 1.63 > s_{0\ req}$$

پس ظرفیت تحمل بار استاتیکی نیز درست انتخاب شده است. چون بارهای استاتیکی دقیق محاسبه شده‌اند اختلاف ناچیز ضریب اطمینان استاتیکی با مقدار مورد نیاز مشکلی ایجاد نمی‌کند.

مثال ۵/۲ مقادیر محاسباتی

محدوده کارکرد	بار معادل دینامیکی	لزجت مورد نیاز ν_1	لزجت کارکرد ν	κ [1]	η_c	عمر اسمی L_{10h}	a_{SKF}	عمر اسمی SKF L_{10mh}	جزء زمان	کل عمر اسمی SKF L_{10mh}
–	kN	mm^2/s	mm^2/s	–	–	h	–	h	–	h
1	200	120	120	1	0,8	9 136	1,2	11 050	0,05	84 300
2	125	25	60	2,3	0,8	7 295	7,8	57 260	0,40	
3	75	20	60	3	0,8	30 030	43	1 318 000	0,45	
4	50	36	75	2	0,8	232 040	50	11 600 000	0,10	

۱) گریس با افزودنیهای EP



ابزارهای محاسباتی

کاتالوگ مهندسی SKF ابزار ساده‌ای برای انتخاب و محاسبات بیرینگ‌ها می‌باشد که بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده است.

این برنامه امکان جستجو بر اساس ابعاد یا شماره فنی را به کاربر می‌دهد. همچنین محاسبات ساده چیدمان بیرینگ‌ها را می‌توان به کمک آن انجام داد. معادلات استفاده شده در محاسبات بر اساس معادلات این کتاب می‌باشند.

این برنامه همچنین امکان تولید نقشه CAD را برای بیرینگ‌های موجود در کاتالوگ را داشته که می‌توان آنها را در نقشه‌های طراحی وارد نمود.

فصل چهارم

اصطکاک

محاسبه تقریبی ممان اصطکاکی ۷۶
محاسبه دقیق‌تر ممان اصطکاکی ۷۶
روش جدید SKF برای محاسبه ممان اصطکاکی ۷۷
ممان اصطکاکی غلتشی ۷۸
ممان اصطکاکی لغزشی ۷۸
ممان اصطکاکی آب‌بندها ۷۸
دیگر عوامل مؤثر بر ممان اصطکاکی بیرینگ‌ها ۸۴
ضریب کاهش ناشی از گرمای برش روانکار در ورودی به سطح تماس ۸۵
ضریب کاهش ناشی از جایگزینی سینماتیکی روانکار ۸۶
تلفات مقاومت روانکار در روانکاری به روش حمام روغن ۸۶
روانکاری ترکیبی در سرعت‌ها و لزجت‌های کم ۸۸
تأثیر لقی و عدم همراستایی بر اصطکاک ۸۹
تأثیر میزان گریس بر اصطکاک ۹۰
رفتار اصطکاکی بیرینگ‌های مختلط ۹۰
گشتاور راه‌اندازی ۹۱
تلفات توان و دمای بیرینگ ۹۱
مثال‌های محاسباتی ۹۲

اصطکاک در بیرینگ‌های غلتشی به علت تأثیر آن در گرمای ایجادشده و در نتیجه دمای کارکرد، عامل تعیین‌کننده‌ای می‌باشد.

اصطکاک در بیرینگ‌های غلتشی به بار و عوامل دیگری بستگی دارد که مهم‌ترین آنها نوع و ابعاد بیرینگ، سرعت کارکرد، خواص روانکار و مقدار روانکار می‌باشند.

مقاومت کل در برابر دوران در یک بیرینگ از اصطکاک غلتشی و لغزشی در محل‌های تماس غلتشی (Rolling Contacts)، نواحی تماس بین اجزای غلتنده و قفسه، به همراه تماس در سطوح راهنمای (Guiding Surface) اجزای غلتنده و قفسه، اصطکاک در روانکار و اصطکاک لغزشی آب‌بندهای تماسی (در بیرینگ‌ها با آب‌بند تماسی) تشکیل شده است.

محاسبه تقریبی ممان اصطکاکی

در شرایط خاص زیر

- بار بیرینگ P=0.1C
- روانکاری مناسب و
- شرایط کارکرد طبیعی

ممان اصطکاکی را می‌توان با استفاده از ضریب اصطکاک ثابت μ از معادله زیر با دقت کافی محاسبه نمود.

$$M = 0.5\mu Pd$$

که در آن

M = ممان اصطکاک، Nmm

μ = ضریب اصطکاک بیرینگ (جدول ۱)

P = بار معادل دینامیکی بیرینگ، N

d = قطر داخلی بیرینگ، mm

محاسبه دقیق‌تر ممان اصطکاکی

یک روش برای محاسبه ممان اصطکاکی در بیرینگ‌های غلتشی، محاسبه مجموع دو جزء ممان اصطکاکی، مستقل از بار M_0 و وابسته به بار M_1 است. به عبارت دیگر،

$$M = M_0 + M_1$$

روش فوق در سال‌های اخیر کاربرد داشته است. ولی یک روش دقیق‌تر، محاسبه بر اساس منابع ایجاد اصطکاک و نه وابستگی یا عدم وابستگی آنها به بار، است. در حقیقت M_0 دربرگیرنده اصطکاک ناشی از منابع خارجی به همراه جزء هیدرودینامیک (Hydrodynamic) اصطکاک غلتشی (که دارای جزء وابسته بار نیز است) می‌باشد.

جدول ۱ ضریب اصطکاک ثابت μبرای بیرینگهای بدون آب بند

نوع بیرینگ	ضریب اصطکاک μ
Deep groove ball bearings	0,0015
Angular contact ball bearings	
– single row	0,0020
– double row	0,0024
– four-point contact	0,0024
Self-aligning ball bearings	0,0010
Cylindrical roller bearings	
– with cage, when $F_a \approx 0$	0,0011
– full complement, when $F_a \approx 0$	0,0020
Taper roller bearings	0,0018
Spherical roller bearings	0,0018
CARB toroidal roller bearings	0,0016
Thrust ball bearings	0,0013
Cylindrical roller thrust bearings	0,0050
Spherical roller thrust bearings	0,0018

به منظور محاسبه دقیق ممان اصطکاکی در بیرینگ‌های غلتشی، چهار منبع مختلف باید در نظر گرفته شوند.

$$M = M_{rr} + M_{sl} + M_{seal} + M_{drag}$$

که در آن

M = ممان اصطکاکی کل، Nmm

M_{rr} = ممان اصطکاکی غلتشی، Nmm

M_{sl} = ممان اصطکاکی لغزشی، Nmm

M_{seal} = ممان اصطکاکی آب‌بندها، Nmm

M_{drag} = ممان اصطکاکی ناشی از تلفات مقاومت، تلاطم (Churning)، پاشیدن (Splashing) و ... روانکار

در این روش منابع اصطکاک در هر تماس ایجادشده در بیرینگ‌ها تعیین و در نهایت با هم جمع می‌شوند. علاوه بر تأثیر آب‌بندها، منابع اضافی خارجی تولید اصطکاک را می‌توان اضافه کرد تا ممان اصطکاکی کل را محاسبه نمود. از آن جایی که در این مدل هر تماس (سطوح غلتشی و لبه‌ها) به دقت بررسی می‌شود، تغییرات در طراحی و بهبود طراحی بیرینگ‌های در محاسبات نشان داده‌شده و به سادگی قابل توسعه می‌باشد.

در بخش‌های بعدی این روش جدید برای محاسبه ممان اصطکاکی شرح داده می‌شود. در ابتدا محاسبات ساده ممان اصطکاک غلتشی، لغزشی و ممان اصطکاک آب‌بندها آورده شده است و در بخش‌های بعدی اثر ارتفاع روغن در بیرینگ، کمبود روانکار در سرعت‌های زیاد، گرمای ناشی از برش روانکاری در ورودی به سطح تماس و روانکاری ترکیبی توضیح داده می‌شوند.

روش جدید SKF برای محاسبه ممان اصطکاکی

در روش جدید SKF، ممان اصطکاکی در بیرینگ‌ها با دقت بیشتری از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$M = M_{rr} + M_{sl} + M_{seal} + M_{drag}$$

روش جدید SKF بر اساس مدل‌های محاسباتی پیشرفته توسعه داده‌شده و در شرایط کاربردی زیر از دقت کافی برخوردار است.

- روانکاری با گریس و روش‌های معمول روانکاری با روغن نظیر حمام روغن، مخلوط هوا و روغن (Oil-spot) و جت روغن (Oil Jet).
- برای بیرینگ‌های جفت‌شده ممان اصطکاکی باید برای هر بیرینگ جداگانه محاسبه‌شده و در نهایت با یکدیگر جمع شوند. بار شعاعی به طور مساوی بین دو بیرینگ تقسیم می‌شود و بار محوری با توجه به نوع چیدمان بین بیرینگ‌ها تقسیم می‌شود.
- بار بیرینگ مساوی یا بیشتر از مقدار بار حداقل توصیه شده است.
- بار از نظر مقدار و جهت ثابت است.
- لقی طبیعی در حین کارکرد.

فرمول‌های ارائه‌شده در بخش‌های بعدی منجر به محاسبات پیچیده می‌شوند. لذا توصیه می‌شود به منظور جلوگیری از خطا در محاسبات به بخش محاسبات بر روی لوح فشرده همراه کتاب مراجعه شود.

ممان اصطکاکی غلتشی

ممان اصطکاک غلتشی از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$M_{rr} = G_{rr}(\nu n)^{0.6}$$

که در آن

M_{rr} = ممان اصطکاکی غلتشی، Nmm

G_{rr} = متغیر وابسته به

- نوع بیرینگ
- قطر متوسط بیرینگ، $d_m = 0.5(d + D)$ ، mm
- بار شعاعی F_r ، N
- بار محوری F_a ، N

n = سرعت دورانی، r/min

ν = لزجت سینماتیکی روانکار در دمای کارکرد، mm^2/s (در روانکاری با گریس لزجت روغن پایه)

مقادیر G_{rr} از فرمول‌های جدول ۲ صفحه ۷۹ و ثابت هندسی R که در جدول ۳ صفحه ۸۰ آمده است، محاسبه می‌شوند. هر دو نیروی F_r و F_a همیشه مثبت در نظر گرفته می‌شوند.

ممان اصطکاکی لغزشی

ممان اصطکاکی لغزشی از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$M_{sl} = G_{sl}\mu_{sl}$$

که در آن

M_{sl} = ممان اصطکاکی لغزشی، Nmm

G_{sl} = متغیر وابسته به

- نوع بیرینگ
- قطر متوسط بیرینگ، $d_m = 0.5(d + D)$ ، mm
- بار شعاعی F_r ، N
- بار محوری F_a ، N

μ_{sl} = ضریب اصطکاک لغزشی،که در شرایط فیلم کامل روانکاری $\kappa > 2$ ، محاسبه می‌شود.

0.05 برای روانکاری با روغن‌های معدنی (Mineral Oil)

0.04 برای روانکاری با روغن‌های مصنوعی (Synthetic Oil)

0.1 برای روانکاری با روغن‌های جعبه دنده یا روغن‌های مورد استفاده در سیستم‌های انتقال قدرت برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای و مخروطی از مقادیر زیر استفاده کنید.

0.02 برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای

0.002 برای رولربیرینگ‌های مخروطی

مقادیر G_{sl} از معادلات جدول ۲ صفحه ۷۹ و ثابت هندسی s که در جدول ۳ صفحه ۸۰ آمده است، محاسبه می‌شوند.

ممان اصطکاکی آب‌بندها

وقتی بیرینگ دارای آب‌بند تماسی است تلفات اصطکاک ناشی از آب‌بند ممکن است از تلفات اصطکاک در داخل بیرینگ بیشتر باشد. ممان اصطکاکی آب‌بندها برای بیرینگی که از هر دو طرف آب‌بندی شده است از معادله تجربی زیر محاسبه می‌شود.

$$M_{seal} = K_{S1}d_S^{\beta} + K_{S2}$$

که در آن

M_{seal} = ممان اصطکاکی آب‌بندها، Nmm

K_{S1} = ضریب وابسته به نوع بیرینگ

K_{S2} = ضریب وابسته به نوع بیرینگ و آب‌بند

d_S = قطر سطح مقابل لبه آب‌بند (جدول ۴، صفحه ۸۴)

β = توان وابسته به نوع آب‌بند و بیرینگ

مقادیر ثابت‌های K_{S1}، K_{S2} و توان β در جدول ۴ صفحه ۸۴ آورده شده‌اند.

M_{seal} ممان اصطکاکی ناشی از دو آب‌بند می‌باشد. در صورتی که فقط یک آب‌بند وجود داشته باشد ممان ایجاد شده 0.5 M_{seal} است.

برای آب‌بند نوع RSL در بلبیرینگ‌های شیار عمیق با قطر خارجی بزرگ‌تر mm 25 باید بدون توجه به وجود یک یا دو آب‌بند از M_{seal} در محاسبات استفاده کرد.

جدول ۲ الف متغیرهای هندسی و وابسته به بار برای ممان اصطکاکی غلتشی و لغزشی- بیرینگهای شعاعی

نوع بیرینگ	متغیراصطکاک غلتشی G_{rr}	متغیر اصطکاک لغزشی G_{sl}
Deep groove ball bearings	when $F_a = 0$ $G_{rr} = R_1\, d_m^{1,96}\, F_r^{0,54}$ when $F_a > 0$ $G_{rr} = R_1\, d_m^{1,96} \left(F_r + \frac{R_2}{\sin \alpha_F} F_a \right)^{0,54}$ $\alpha_F = 24{,}6\, (F_a/C_0)^{0,24}$, degrees	when $F_a = 0$ $G_{sl} = S_1\, d_m^{-0,26}\, F_r^{5/3}$ when $F_a > 0$ $G_{sl} = S_1\, d_m^{-0,145} \left(F_r^5 + \frac{S_2\, d_m^{1,5}}{\sin \alpha_F} F_a^4 \right)^{1/3}$
Angular contact ball bearings[1]	$G_{rr} = R_1\, d_m^{1,97} \left[F_r + F_g + R_2\, F_a \right]^{0,54}$ $F_g = R_3\, d_m^4\, n^2$	$G_{sl} = S_1\, d_m^{0,26} \left[(F_r + F_g)^{4/3} + S_2\, F_a^{4/3} \right]$ $F_g = S_3\, d_m^4\, n^2$
Four-point contact ball bearings	$G_{rr} = R_1\, d_m^{1,97} \left[F_r + F_g + R_2\, F_a \right]^{0,54}$ $F_g = R_3\, d_m^4\, n^2$	$G_{sl} = S_1\, d_m^{0,26} \left[(F_r + F_g)^{4/3} + S_2\, F_a^{4/3} \right]$ $F_g = S_3\, d_m^4\, n^2$
Self-aligning ball bearings	$G_{rr} = R_1\, d_m^2 \left[F_r + F_g + R_2\, F_a \right]^{0,54}$ $F_g = R_3\, d_m^{3,5}\, n^2$	$G_{sl} = S_1\, d_m^{-0,12} \left[(F_r + F_g)^{4/3} + S_2\, F_a^{4/3} \right]$ $F_g = S_3\, d_m^{3,5}\, n^2$
Cylindrical roller bearings	$G_{rr} = R_1\, d_m^{2,41}\, F_r^{0,31}$	$G_{sl} = S_1\, d_m^{0,9}\, F_a + S_2\, d_m\, F_r$
Taper roller bearings[1] برای ضریب بار محوری Y بیرینگهای یک ردیفه به جداول بیرینگها مراجعه کنید	$G_{rr} = R_1\, d_m^{2,38} \left(F_r + R_2\, Y\, F_a \right)^{0,31}$	$G_{sl} = S_1\, d_m^{0,82} \left(F_r + S_2\, Y\, F_a \right)$
Spherical roller bearings	$G_{rr.e} = R_1\, d_m^{1,85} \left(F_r + R_2\, F_a \right)^{0,54}$ $G_{rr.l} = R_3\, d_m^{2,3} \left(F_r + R_4\, F_a \right)^{0,31}$ when $G_{rr.e} < G_{rr.l}$ $G_{rr} = G_{rr.e}$ otherwise $G_{rr} = G_{rr.l}$	$G_{sl.e} = S_1\, d_m^{0,25} \left(F_r^4 + S_2\, F_a^4 \right)^{1/3}$ $G_{sl.l} = S_3\, d_m^{0,94} \left(F_r^3 + S_4\, F_a^3 \right)^{1/3}$ when $G_{sl.e} < G_{sl.l}$ $G_{sl} = G_{sl.e}$ otherwise $G_{sl} = G_{sl.l}$
CARB toroidal roller bearings	when $F_r < \left(R_2^{1,85}\, d_m^{0,78} / R_1^{1,85} \right)^{2,35}$ $G_{rr.e} = R_1\, d_m^{1,97}\, F_r^{0,54}$ otherwise $G_{rr.l} = R_2\, d_m^{2,37}\, F_r^{0,31}$	when $F_r < \left(S_2\, d_m^{1,24} / S_1 \right)^{1,5}$ $G_{sl.e} = S_1\, d_m^{-0,19}\, F_r^{5/3}$ otherwise $G_{sl.l} = S_2\, d_m^{1,05}\, F_r$

۱) فقط بار محوری خارجی در محاسبه F_a باید در نظر گرفته شود.

جدول ۲ ب متغیرهای هندسی و وابسته به بار برای ممان اصطکاک لغزشی و غلتشی - بیرینگهای کف گرد

نوع بیرینگ	متغیر اصطکاک غلتشی G_{rr}	متغیر اصطکاک لغزشی G_{sl}
Thrust ball bearings	$G_{rr} = R_1\, d_m^{1,83}\, F_a^{0,54}$	$G_{sl} = S_1\, d_m^{0,05}\, F_a^{4/3}$
Cylindrical roller thrust bearings	$G_{rr} = R_1\, d_m^{2,38}\, F_a^{0,31}$	$G_{sl} = S_1\, d_m^{0,62}\, F_a$
Spherical roller thrust bearings	$G_{rr,e} = R_1\, d_m^{1,96} (F_r + R_2\, F_a)^{0,54}$ $G_{rr,i} = R_3\, d_m^{2,39} (F_r + R_4\, F_a)^{0,31}$ when $G_{rr,e} < G_{rr,i}$ $G_{rr} = G_{rr,e}$ otherwise $G_{rr} = G_{rr,i}$	$G_{sl,e} = S_1\, d_m^{-0,35} (F_r^{5/3} + S_2\, F_a^{5/3})$ $G_{sl,i} = S_3\, d_m^{0,89} (F_r + F_a)$ when $G_{sl,e} < G_{sl,i}$ $G_{sr} = G_{sl,e}$ otherwise $G_{sr} = G_{sl,i}$ $G_f = S_4\, d_m^{0,76} (F_r + S_5\, F_a)$ $G_{sl} = G_{sr} + \frac{G_f}{e^{10^{-6}(nz)^{1,4}\, d_m}}$

جدول ۳ ثابتهای هندسی برای ممان اصطکاکی غلتشی و لغزشی

نوع بیرینگ	ثابت های هندسی برای ممان اصطکاکی غلتشی			ثابت های هندسی برای ممان اصطکاکی لغزشی		
	R_1	R_2	R_3	S_1	S_2	S_3
Deep groove ball bearings	جدول ۳ الف را ببینید			جدول ۳ الف را ببینید		
Angular contact ball bearings						
– single row	$5,03 \times 10^{-7}$	1,97	$1,90 \times 10^{-12}$	$1,30 \times 10^{-2}$	0,68	$1,91 \times 10^{-12}$
– double row	$6,34 \times 10^{-7}$	1,41	$7,83 \times 10^{-13}$	$7,56 \times 10^{-3}$	1,21	$7,83 \times 10^{-13}$
– four-point contact	$4,78 \times 10^{-7}$	2,42	$1,40 \times 10^{-12}$	$1,20 \times 10^{-2}$	0,9	$1,40 \times 10^{-12}$
Self-aligning ball bearings	جدول ۳ ب را ببینید			جدول ۳ ب را ببینید		
Cylindrical roller bearings	جدول ۳ ج را ببینید			جدول ۳ ج را ببینید		
Taper roller bearings	جدول ۳ د را ببینید			جدول ۳ د را ببینید		
Spherical roller bearings	جدول ۳ ه را ببینید			جدول ۳ ه را ببینید		
CARB toroidal roller bearings	جدول ۳ و را ببینید			جدول ۳ و را ببینید		
Thrust ball bearings	$1,03 \times 10^{-6}$			$1,6 \times 10^{-2}$		
Cylindrical roller thrust bearings	$2,25 \times 10^{-6}$			0,154		
Spherical roller thrust bearings	جدول ۳ ز را ببینید			جدول ۳ ز را ببینید		

جدول ۳الف ثابتهای هندسی برای ممان اصطکاکی لغزشی و غلتشی، بلبیرینگها شیار عمیق

سریهای بیرینگ	ثابت های هندسی برای ممان اصطکاکی غلتشی R_1	R_2	ممان اصطکاکی لغزشی S_1	S_2
2, 3	$4,4 \times 10^{-7}$	1,7	$2,00 \times 10^{-3}$	100
42, 43	$5,4 \times 10^{-7}$	0,96	$3,00 \times 10^{-3}$	40
60, 630	$4,1 \times 10^{-7}$	1,7	$3,73 \times 10^{-3}$	14,6
62, 622	$3,9 \times 10^{-7}$	1,7	$3,23 \times 10^{-3}$	36,5
63, 623	$3,7 \times 10^{-7}$	1,7	$2,84 \times 10^{-3}$	92,8
64	$3,6 \times 10^{-7}$	1,7	$2,43 \times 10^{-3}$	198
160, 161	$4,3 \times 10^{-7}$	1,7	$4,63 \times 10^{-3}$	4,25
617, 618, 628, 637, 638	$4,7 \times 10^{-7}$	1,7	$6,50 \times 10^{-3}$	0,78
619, 639	$4,3 \times 10^{-7}$	1,7	$4,75 \times 10^{-3}$	3,6

جدول ۳ب ثابتهای هندسی برای ممان اصطکاکی لغزشی و غلتشی، بلبیرینگها خود تنظیم

سریهای بیرینگ	ثابت های هندسی برای ممان اصطکاکی غلتشی R_1	R_2	R_3	ممان اصطکاکی لغزشی S_1	S_2	S_3
12	$3,25 \times 10^{-7}$	6,51	$2,43 \times 10^{-12}$	$4,36 \times 10^{-3}$	9,33	$2,43 \times 10^{-12}$
13	$3,11 \times 10^{-7}$	5,76	$3,52 \times 10^{-12}$	$5,76 \times 10^{-3}$	8,03	$3,52 \times 10^{-12}$
22	$3,13 \times 10^{-7}$	5,54	$3,12 \times 10^{-12}$	$5,84 \times 10^{-3}$	6,60	$3,12 \times 10^{-12}$
23	$3,11 \times 10^{-7}$	3,87	$5,41 \times 10^{-12}$	0,01	4,35	$5,41 \times 10^{-12}$
112	$3,25 \times 10^{-7}$	6,16	$2,48 \times 10^{-12}$	$4,33 \times 10^{-3}$	8,44	$2,48 \times 10^{-12}$
130	$2,39 \times 10^{-7}$	5,81	$1,10 \times 10^{-12}$	$7,25 \times 10^{-3}$	7,98	$1,10 \times 10^{-12}$
139	$2,44 \times 10^{-7}$	7,96	$5,63 \times 10^{-13}$	$4,51 \times 10^{-3}$	12,11	$5,63 \times 10^{-13}$

جدول ۳ج ثابتهای هندسی برای ممان اصطکاکی لغزشی و غلتشی، رولر بیرینگهای استوانه ای

سریهای بیرینگ	ثابت های هندسی برای ممان اصطکاکی غلتشی S_1	ممان اصطکاکی لغزشی S_2	S_3
بیرینگهای با قفسه در طرحهای N, NU, NJ یا NUP			
2, 3	$1,09 \times 10^{-6}$	0,16	0,0015
4	$1,00 \times 10^{-6}$	0,16	0,0015
10	$1,12 \times 10^{-6}$	0,17	0,0015
12, 20	$1,23 \times 10^{-6}$	0,16	0,0015
22	$1,40 \times 10^{-6}$	0,16	0,0015
23	$1,48 \times 10^{-6}$	0,16	0,0015
بیرینگهای بدون قفسه در طرحهای NCF, NJG, NNCL, NNCF, NNC یا NNF			
تمام سریها	$2,13 \times 10^{-6}$	0,16	0,0015

جدول ۳د ثابتهای هندسی برای ممان اصطکاکی لغزشی و غلتشی، رولر بیرینگهای مخروطی

سریهای بیرینگ	ثابت های هندسی برای ممانهای اصطکاکی غلتشی		ممانهای اصطکاکی لغزشی	
	R_1	R_2	S_1	S_2
302	$1{,}76 \times 10^{-6}$	10,9	0,017	2
303	$1{,}69 \times 10^{-6}$	10,9	0,017	2
313 (X)	$1{,}84 \times 10^{-6}$	10,9	0,048	2
320 X	$2{,}38 \times 10^{-6}$	10,9	0,014	2
322	$2{,}27 \times 10^{-6}$	10,9	0,018	2
322 B	$2{,}38 \times 10^{-6}$	10,9	0,026	2
323	$2{,}38 \times 10^{-6}$	10,9	0,019	2
323 B	$2{,}79 \times 10^{-6}$	10,9	0,030	2
329	$2{,}31 \times 10^{-6}$	10,9	0,009	2
330	$2{,}71 \times 10^{-6}$	11,3	0,010	2
331	$2{,}71 \times 10^{-6}$	10,9	0,015	2
332	$2{,}71 \times 10^{-6}$	10,9	0,018	2
LL	$1{,}72 \times 10^{-6}$	10,9	0,0057	2
L	$2{,}19 \times 10^{-6}$	10,9	0,0093	2
LM	$2{,}25 \times 10^{-6}$	10,9	0,011	2
M	$2{,}48 \times 10^{-6}$	10,9	0,015	2
HM	$2{,}60 \times 10^{-6}$	10,9	0,020	2
H	$2{,}66 \times 10^{-6}$	10,9	0,025	2
HH	$2{,}51 \times 10^{-6}$	10,9	0,027	2
All other	$2{,}31 \times 10^{-6}$	10,9	0,019	2

جدول ۳ه ثابتهای هندسی برای ممان اصطکاکی لغزشی و غلتشی، رولر بیرینگهای کروی

سریهای بیرینگ	ثابت های هندسی برای ممانهای اصطکاکی غلتشی				ممانهای اصطکاکی لغزشی			
	R_1	R_2	R_3	R_4	S_1	S_2	S_3	S_4
213 E, 222 E	$1{,}6 \times 10^{-6}$	5,84	$2{,}81 \times 10^{-6}$	5,8	$3{,}62 \times 10^{-3}$	508	$8{,}8 \times 10^{-3}$	117
222	$2{,}0 \times 10^{-6}$	5,54	$2{,}92 \times 10^{-6}$	5,5	$5{,}10 \times 10^{-3}$	414	$9{,}7 \times 10^{-3}$	100
223	$1{,}7 \times 10^{-6}$	4,1	$3{,}13 \times 10^{-6}$	4,05	$6{,}92 \times 10^{-3}$	124	$1{,}7 \times 10^{-2}$	41
223 E	$1{,}6 \times 10^{-6}$	4,1	$3{,}14 \times 10^{-6}$	4,05	$6{,}23 \times 10^{-3}$	124	$1{,}7 \times 10^{-2}$	41
230	$2{,}4 \times 10^{-6}$	6,44	$3{,}76 \times 10^{-6}$	6,4	$4{,}13 \times 10^{-3}$	755	$1{,}1 \times 10^{-2}$	160
231	$2{,}4 \times 10^{-6}$	4,7	$4{,}04 \times 10^{-6}$	4,72	$6{,}70 \times 10^{-3}$	231	$1{,}7 \times 10^{-2}$	65
232	$2{,}3 \times 10^{-6}$	4,1	$4{,}00 \times 10^{-6}$	4,05	$8{,}66 \times 10^{-3}$	126	$2{,}1 \times 10^{-2}$	41
238	$3{,}1 \times 10^{-6}$	12,1	$3{,}82 \times 10^{-6}$	12	$1{,}74 \times 10^{-3}$	9 495	$5{,}9 \times 10^{-3}$	1 057
239	$2{,}7 \times 10^{-6}$	8,53	$3{,}87 \times 10^{-6}$	8,47	$2{,}77 \times 10^{-3}$	2 330	$8{,}5 \times 10^{-3}$	371
240	$2{,}9 \times 10^{-6}$	4,87	$4{,}78 \times 10^{-6}$	4,84	$6{,}95 \times 10^{-3}$	240	$2{,}1 \times 10^{-2}$	68
241	$2{,}6 \times 10^{-6}$	3,8	$4{,}79 \times 10^{-6}$	3,7	$1{,}00 \times 10^{-2}$	86,7	$2{,}9 \times 10^{-2}$	31
248	$3{,}8 \times 10^{-6}$	9,4	$5{,}09 \times 10^{-6}$	9,3	$2{,}80 \times 10^{-3}$	3 415	$1{,}2 \times 10^{-2}$	486
249	$3{,}0 \times 10^{-6}$	6,67	$5{,}09 \times 10^{-6}$	6,62	$3{,}90 \times 10^{-3}$	887	$1{,}7 \times 10^{-2}$	180

جدول ۳و ثابتهای هندسی برای ممان اصطکاکی لغزشی و غلتشی، رولر بیرینگهای توریدال CARB

سریهای بیرینگ	ثابت های هندسی برای ممانهای اصطکاکی غلتشی		ممانهای اصطکاکی لغزشی	
	R_1	R_2	S_1	S_2
C 22	$1{,}17 \times 10^{-6}$	$2{,}08 \times 10^{-6}$	$1{,}32 \times 10^{-3}$	$0{,}8 \times 10^{-2}$
C 23	$1{,}20 \times 10^{-6}$	$2{,}28 \times 10^{-6}$	$1{,}24 \times 10^{-3}$	$0{,}9 \times 10^{-2}$
C 30	$1{,}40 \times 10^{-6}$	$2{,}59 \times 10^{-6}$	$1{,}58 \times 10^{-3}$	$1{,}0 \times 10^{-2}$
C 31	$1{,}37 \times 10^{-6}$	$2{,}77 \times 10^{-6}$	$1{,}30 \times 10^{-3}$	$1{,}1 \times 10^{-2}$
C 32	$1{,}33 \times 10^{-6}$	$2{,}63 \times 10^{-6}$	$1{,}31 \times 10^{-3}$	$1{,}1 \times 10^{-2}$
C 39	$1{,}45 \times 10^{-6}$	$2{,}55 \times 10^{-6}$	$1{,}84 \times 10^{-3}$	$1{,}0 \times 10^{-2}$
C 40	$1{,}53 \times 10^{-6}$	$3{,}15 \times 10^{-6}$	$1{,}50 \times 10^{-3}$	$1{,}3 \times 10^{-2}$
C 41	$1{,}49 \times 10^{-6}$	$3{,}11 \times 10^{-6}$	$1{,}32 \times 10^{-3}$	$1{,}3 \times 10^{-2}$
C 49	$1{,}49 \times 10^{-6}$	$3{,}24 \times 10^{-6}$	$1{,}39 \times 10^{-3}$	$1{,}5 \times 10^{-2}$
C 59	$1{,}77 \times 10^{-6}$	$3{,}81 \times 10^{-6}$	$1{,}80 \times 10^{-3}$	$1{,}8 \times 10^{-2}$
C 60	$1{,}83 \times 10^{-6}$	$5{,}22 \times 10^{-6}$	$1{,}17 \times 10^{-3}$	$2{,}8 \times 10^{-2}$
C 69	$1{,}85 \times 10^{-6}$	$4{,}53 \times 10^{-6}$	$1{,}61 \times 10^{-3}$	$2{,}3 \times 10^{-2}$

جدول ۳ز ثابتهای هندسی برای ممان اصطکاکی لغزشی و غلتشی، رولر بیرینگهای کروی کف گرد

سریهای بیرینگ	ثابت های هندسی برای ممان اصطکاکی غلتشی				ممان اصطکاکی لغزشی				
	R_1	R_2	R_3	R_4	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
292	$1{,}32 \times 10^{-6}$	1,57	$1{,}97 \times 10^{-6}$	3,21	$4{,}53 \times 10^{-3}$	0,26	0,02	0,1	0,6
292 E	$1{,}32 \times 10^{-6}$	1,65	$2{,}09 \times 10^{-6}$	2,92	$5{,}98 \times 10^{-3}$	0,23	0,03	0,17	0,56
293	$1{,}39 \times 10^{-6}$	1,66	$1{,}96 \times 10^{-6}$	3,23	$5{,}52 \times 10^{-3}$	0,25	0,02	0,1	0,6
293 E	$1{,}16 \times 10^{-6}$	1,64	$2{,}00 \times 10^{-6}$	3,04	$4{,}26 \times 10^{-3}$	0,23	0,025	0,15	0,58
294 E	$1{,}25 \times 10^{-6}$	1,67	$2{,}15 \times 10^{-6}$	2,86	$6{,}42 \times 10^{-3}$	0,21	0,04	0,2	0,54

جدول ٤ ممان اصطکاکی آب بندها: محاسبه ثابتها و توان

نوع آب بند نوع بیرینگ	قطر خارجی بیرینگ D بیشتر از	 تا و شامل	ثابتها و توان β	 K_{S1}	 K_{S2}	قطر سطح مقابل آب بند d_s [1]
RSL seals						
Deep groove ball bearings		25	0	0	0	d_2
	25	52	2,25	0,0018	0	d_2
RZ seals						
Deep groove ball bearings		175	0	0	0	d_1
RSH seals						
Deep groove ball bearings		52	2,25	0,028	2	d_2
RS1 seals						
Deep groove ball bearings		62	2,25	0,023	2	d_1, d_2
	62	80	2,25	0,018	20	d_1, d_2
	80	100	2,25	0,018	15	d_1, d_2
	100		2,25	0,018	0	d_1, d_2
Angular contact ball bearings	30	120	2	0,014	10	d_1
Self-aligning ball bearings	30	125	2	0,014	10	d_2
LS seals						
Cylindrical roller bearings	42	360	2	0,032	50	E
CS, CS2 and CS5 seals						
Spherical roller bearings	62	300	2	0,057	50	d_2
CARB toroidal roller bearings	42	340	2	0,057	50	d_2

۱) علائم اختصاری در جداول بیرینگها آورده شده اند

دیگر عوامل مؤثر بر ممان اصطکاکی بیرینگ‌ها

به منظور بررسی دقیق رفتار واقعی بیرینگ و یا در صورتی که محاسبات دقیق‌تر لازم باشد، روش جدید SKF می‌تواند عوامل مؤثر دیگر را در معادلات وارد کند. این عوامل مؤثر عبارتند از،

- گرمای ناشی از برش روانکار در ورودی به سطح تماس
- اثرات ناشی از جایگزینی روانکار در روانکاری به روش مخلوط هوا و روغن، جت روغن، گریس و حمام روغن با سطح روغن کم
- تلفات مقاومت روانکار در روانکاری به روش حمام روغن
- روانکاری ترکیبی در سرعت‌ها و یا لزجت‌های کم

با در نظر گرفتن این عوامل اضافی، معادله نهایی برای محاسبه ممان اصطکاکی در یک بیرینگ به صورت زیر می‌باشد.

$$M = \varphi_{ish}\varphi_{rs}M_{rr} + M_{sl} + M_{seal} + M_{drag}$$

که در آن

M = ممان اصطکاکی کل، Nmm

$$M_{rr} = G_{rr}(\nu n)^{0.6}$$

$$M_{sl} = G_{sl}\mu_{sl}$$

$$M_{seal} = K_{S1}d_s^{\beta} + K_{S2}$$

M_{drag} = ممان اصطکاک ناشی از تلفات مقاومت، تلاطم، پاشیدن، ... روانکار، Nmm

φ_{ish} = ضریب کاهش ناشی از برش روانکار در ورودی به سطح تماس

φ_{rs} = ضریب کاهش ناشی از جایگزینی روانکار

ضرایب کاهش φ_{ish} و φ_{rs} در روش جدید SKF به منظور در نظر گرفتن اثرات ناشی از برش روانکار و جایگزینی روانکار در سرعت‌های بالا، بر ممان اصطکاکی غلتشی در نظر گرفته شده‌اند. ضریب اصطکاک لغزشی μ_{sl} در سرعت‌ها و یا لزجت‌های کم افزایش می‌یابد تا اثرات رژیم روانکاری ترکیبی را در بر گیرد.

ضریب کاهش ناشی از گرمای برش روانکار در ورودی به سطح تماس

وقتی روانکار به اندازه کافی در بیرینگ موجود باشد تمامی آن نمی‌تواند وارد محل‌های تماس غلتشی شود. فقط مقدار کمی از روانکار وارد محل تماس‌شده و تشکیل فیلم روانکاری را می‌دهد. بنابراین مقداری از روانکار در نزدیکی محل تماس پس زده می‌شود و ایجاد یک جریان برگشتی می‌کند (شکل ۱). این جریان برگشتی باعث برش روانکارشده و ایجاد حرارتی می‌کند که لزجت روانکار را کاهش‌داده و در نتیجه ضخامت فیلم روانکاری کاهش می‌یابد. این کاهش ضخامت فیلم روانکار مؤلفه اصطکاک غلتشی را کاهش می‌دهد.

برای اثر شرح داده‌شده در بالا ضریب کاهش حرارت ناشی از برش روانکار را می‌توان از رابطه تقریبی زیر محاسبه کرد.

$$\varphi_{ish} = \frac{1}{1+1.84\times10^{-9}(nd_m)^{1.25}\nu^{0.64}}$$

که در آن

φ_{ish} = ضریب کاهش ناشی از برش روانکار

n = سرعت دورانی، r/min

d_m = قطر متوسط بیرینگ، mm

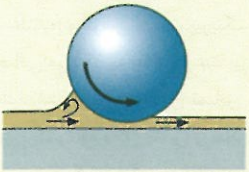
= $0.5(d+D)$، mm

ν = لزجت سینماتیکی روانکار در دمای کارکرد، mm^2/s (در روانکاری با گریس، لزجت روغن پایه)

مقادیر ضریب φ_{ish} را می‌توان از نمودار ۱، برحسب پارامتر ترکیبی $(nd_m)^{1.28}\nu^{0.64}$ به دست آورد.

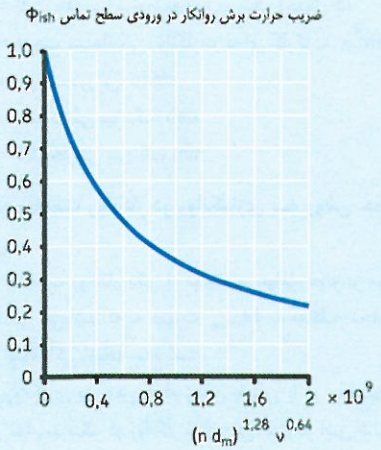
شکل ۱

جریان برگشتی در ورودی به سطح تماس



جریان برگشتی روانکار

نمودار ۱ ضریب φ_{ish} ناشی از برش روانکار



ضریب کاهش ناشی از جایگزینی سینماتیکی روانکار

در روانکاری به روش مخلوط روغن و هوا، جت روغن، حمام روغن با ارتفاع کم روغن (ارتفاع روغن کم‌تر از مرکز پایین‌ترین جزء غلتنده) و گریس حرکت بیرینگ باعث پاشیده شدن روانکار اضافی می‌شود. به علت سرعت بیرینگ یا لزجت زیاد، روانکار پاشیده‌شده در اطراف محل تماس ممکن است زمان کافی برای برگشت به محل تماس را نداشته باشد به این پدیده جایگزینی سینماتیکی یا کمبود (Starvation) روانکار می‌گویند که باعث کاهش ضخامت فیلم روانکار و در نتیجه کاهش اصطکاک غلتشی می‌شود.

برای شرایط روانکاری شرح داده شده در بالا، ضریب کاهش را می‌توان از رابطه تقریبی زیر محاسبه کرد.

$$\varphi_{rs} = \frac{1}{e^{K_{rs}\nu n(d+D)\sqrt{\frac{K_z}{2(D-d)}}}}$$

که در آن

φ_{rs} = ضریب کاهش ناشی از جایگزینی سینماتیکی / کمبود روانکار

e = پایه لگاریتم طبیعی = 2.718

K_{rs} = ثابت جایگزینی روانکار

3×10^{-8} برای روانکاری با جت روغن و حمام روغن با ارتفاع کم روغن

6×10^{-8} برای روانکاری با گریس و مخلوط روغن و هوا

K_z = ثابت هندسی مربوط به نوع بیرینگ (جدول ۵)

ν = لزجت سینماتیکی روانکار در دمای کارکرد، mm^2/s

n = سرعت دورانی، r/min

d = قطر داخلی بیرینگ، mm

D = قطر خارجی بیرینگ، mm

تلفات مقاومت روانکار در روانکاری به روش حمام روغن

تلفات مقاومت روانکار یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ممان اصطکاکی می‌باشد که به صورت M_{drag} به معادله محاسبه ممان اصطکاکی اضافه شده است.

در روانکاری به روش حمام روغن بخشی یا در حالت‌های خاص تمام بیرینگ در روانکار شناور می‌باشد. در این شرایط اندازه و شکل هندسی مخزن روغن به همراه ارتفاع روغن بر میزان ممان اصطکاکی تأثیرگذار است. برای حمام روغن بزرگ و صرفنظر از وجود دیگر اجزای مکانیکی نزدیک به بیرینگ نظیر همزن (Agitator) روغن خارجی، چرخدنده یا بادامک، تلفات مقاومت روانکار را می‌توان به عنوان تابعی از ارتفاع روغن در مخزن از متغیر V_m که از نمودار ۲ برحسب ارتفاع روغن H (شکل ۲) و قطر متوسط بیرینگ $d_m = 0.5(D+d)$ به دست می‌آید، به طور تقریبی محاسبه کرد. نمودار ۲ را می‌توان تا سرعت‌های مرجع (Reference Speed) بکار برد. در سرعت‌های بالاتر و ارتفاع زیاد روغن، اثرات دیگری ممکن است در نتایج تأثیرگذار باشند.

جدول ۵ ثابتهای هندسی K_L و K_Z

نوع بیرینگ	ثابتهای هندسی K_Z	K_L
Deep groove ball bearings		
– single and double row	3,1	–
Angular contact ball bearings		–
– single row	4,4	–
– double row	3,1	–
– four-point contact	3,1	–
Self-aligning ball bearings	4,8	–
Cylindrical roller bearings		
– with cage	5,1	0,65
– full complement	6,2	0,7
Taper roller bearings	6	0,7
Spherical roller bearings	5,5	0,8
CARB toroidal roller bearings		
– with cage	5,3	0,8
– full complement	6	0,75
Thrust ball bearings	3,8	–
Cylindrical roller thrust bearings	4,4	0,43
Spherical roller thrust bearings	5,6	0,58[1)]

1) فقط برای بیرینگهای تکی

متغیر V_M در نمودار ۲ برای بلبیرینگ‌ها با رابطه زیر به ممان اصطکاکی تلفات مقاومت روانکار مرتبط می‌باشد.

$$M_{drag} = V_M K_{ball} d_m^{\,5} n^2$$

و برای رولربیرینگ‌ها،

$$M_{drag} = 10 V_M K_{roll} B d_m^{\,4} n^2$$

که در آن

M_{drag} = ممان اصطکاکی ناشی از تلفات مقاومت سیال، Nmm

V_M = متغیر تابع ارتفاع روغن مطابق نمودار ۲

K_{ball} = ثابت مربوط به بلبیرینگ‌ها

K_{roll} = ثابت مربوط به رولربیرینگ‌ها

d_m = قطر متوسط بیرینگ، mm

B = پهنای رینگ داخلی بیرینگ، mm

n = سرعت دورانی، r/min

مقادیر متغیر V_M از نمودار ۲، (منحنی قرمز برای بلبیرینگ‌ها و منحنی آبی برای رولربیرینگ‌ها) به دست می‌آید.

ثابت مربوط بلبیرینگ‌ها از رابطه زیر،

$$K_{ball} = \frac{i_{rw} K_Z (d+D)}{D-d} \times 10^{-12}$$

و برای رولربیرینگ‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$K_{rolll} = \frac{K_L K_Z (d+D)}{D-d} \times 10^{-12}$$

که در آن

K_{ball} = ثابت مربوط به بلبیرینگ‌ها

K_{roll} = ثابت مربوط به رولربیرینگ‌ها

i_{rw} = تعداد ردیف‌های ساچمه‌ها

k_Z = ضریب هندسی مربوط به نوع بیرینگ (جدول ۵، صفحه ۸۶)

k_L = ضریب هندسی مربوط به نوع رولربیرینگ (جدول ۵، صفحه ۸۶)

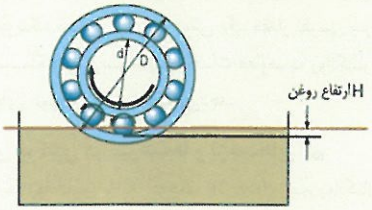
d = قطر داخلی بیرینگ، mm

D = قطر خارجی بیرینگ، mm

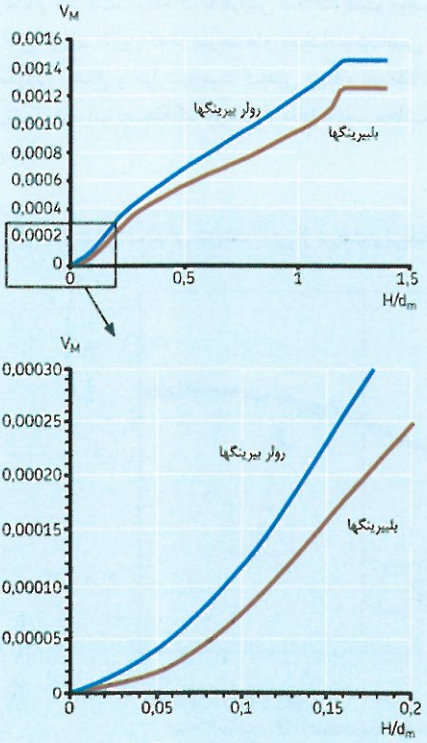
به منظور محاسبه ممان اصطکاکی ناشی از تلفات مقاومت روانکار در روش جت روغن، می‌توان از روش حمام روغن با ارتفاع روغن تا نصف قطر رولر استفاده کرده و مقدار M_{drag} به دست آمده را دو برابر کرد.

شکل ۲

ارتفاع روغن در یک حمام روغن



نمودار ۲ متغیر V_M تلفات مقاومت روانکار



برای شفت‌های عمودی می‌توان روش فوق را برای بیرینگ کاملاً شناور بکار برده سپس مقدار M_{drag} به دست آمده را در ضریبی برابر نسبت پهنا (ارتفاع) شناور بیرینگ به کل پهنا (ارتفاع) بیرینگ ضرب کرد. این روش یک مقدار تقریبی برای ممان اصطکاکی مربوط به تلفات مقاومت روانکار در چیدمان‌های عمودی را به دست می‌دهد.

روانکاری ترکیبی در سرعت‌ها و لزجت‌های کم

برای شرایط روانکاری با κ کوچک ($\kappa \leq 2$) رژیم روانکاری ترکیبی بوده و تماس فلز با فلز در بعضی نواحی ایجادشده که باعث افزایش اصطکاک می‌شود. در نمودار ۳ ممان اصطکاکی بیرینگ به عنوان تابعی از سرعت و لزجت نشان داده شده است. در حین راه‌اندازی با افزایش سرعت یا لزجت ممان اصطکاکی کاهش می‌یابد تا فیلم روانکاری تشکیل‌شده و بیرینگ وارد رژیم الاستوهیدرودینامیک EHL شود. با افزایش سرعت و یا لزجت، اصطکاک با افزایش ضخامت فیلم روغن افزایش می‌یابد تا این که در سرعت‌های زیاد اثرات ناشی از جایگزینی روانکار و حرارت باعث کاهش دوباره اصطکاک می‌شود. ضریب اصطکاک لغزشی از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$\mu_{sl} = \varphi_{bl}\mu_{bl} + (1-\varphi_{bl})\mu_{EHL}$$

که در آن

μ_{sl} = ضریب اصطکاک لغزشی

φ_{bl} = ضریب وزنی برای ضریب اصطکاک لغزشی

μ_{bl} = ضریب وابسته به افزودنی‌های موجود در روانکار، تقریباً 0.15

μ_{EHL} = ضریب اصطکاک در شرایط فیلم روانکاری کامل.

0.05 برای روانکاری با روغن معدنی

0.04 برای روانکاری با روغن مصنوعی

0.1 برای روانکاری با روغن‌های انتقال قدرت (روغن جعبه دنده)

برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یا مخروطی از مقادیر زیر استفاده کنید.

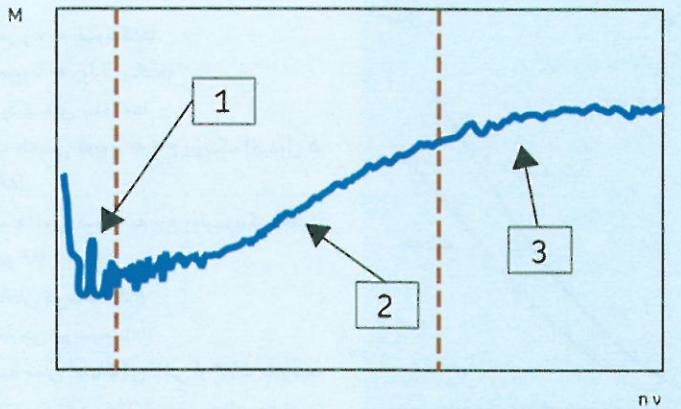
0.02 برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای

0.002 برای رولربیرینگ‌های مخروطی

ضریب وزنی برای ممان اصطکاکی لغزشی با استفاده از معادله تقریبی زیر به دست می‌آید.

$$\varphi_{bl} = \frac{1}{e^{2.6\times10^{-8}(n\nu)^{1.4}d_m}}$$

نمودار ۳ ممان اصطکاکی بیرینگ تابعی از سرعت و لزجت



منطقه ۱: روانکاری ترکیبی

منطقه ۲: روانکاری EHL (EHL Elasto-hydrodynamic)

منطقه ۳: EHL + اثرات حرارتی و کمبود روانکار

که در آن

φ_{bl} = ضریب وزنی برای ضریب اصطکاک لغزشی

e = پایه لگاریتم طبیعی = 2.718

n = سرعت کارکرد، r/min

ν = لزجت سینماتیکی روانکار در دمای کارکرد، mm^2/s (برای روانکاری با گریس لزجت روغن پایه)

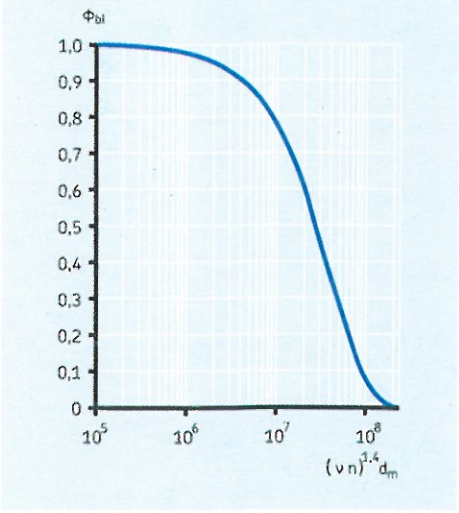
d_m = قطر متوسط بیرینگ، $0.5(D+d)$ = mm

مقادیر تقریبی ضریب وزنی φ_{bl} را می‌توان از منحنی نمودار ۴ به دست آورد.

تأثیر لقی و عدم همراستایی بر اصطکاک

تغییر لقی و یا عدم همراستایی در بیرینگ باعث تغییر ممان اصطکاکی می‌شود. روش توصیف‌شده در بالا با فرض لقی نرمال و بیرینگ همراستا شده است. اما افزایش دمای کارکرد یا افزایش سرعت باعث کاهش لقی بیرینگ و در نتیجه افزایش اصطکاک می‌شود. عدم همراستایی عموماً باعث افزایش اصطکاک می‌شود. ولی در بلبیرینگ‌های خود تنظیم، رولربیرینگ‌های کروی، رولربیرینگ‌های توریدال CARB و رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد، این افزایش اصطکاک ناشی از عدم همراستایی قابل صرفنظر کردن است.

نمودار ٤ ضریب وزنی Φ_{bl} برای ضریب اصطکاک لغزشی



تأثیر میزان گریس بر اصطکاک

در روانکاری با گریس، وقتی بیرینگ با گریس، به میزان توصیه‌شده، پر می‌شود (یا مجدداً پر می‌شود) اصطکاک ایجادشده در ساعت‌های اولیه یا روزهای اولیه کارکرد (وابسته به سرعت) بیشتر از مقدار محاسبه شده است. علت این پدیده این است که گریس برای توزیع و پر کردن فضاهای خالی بیرینگ نیاز به وقت داشته و به علاوه به اطراف پاشیده می‌شود. برای در نظر گرفتن این اثر مقدار ممان اصطکاکی اولیه را برای بیرینگ‌های سری سبک در ۲ و برای بیرینگ‌ها سری سنگین در ۴ ضرب کنید. بعد از این دوره راه‌اندازی، ممان اصطکاکی کاهش‌یافته و مشابه حالت روانکاری با روغن می‌باشد. (در بعضی موارد نیز حتی کم‌تر از مقدار محاسبه شده است). اگر میزان گریس بیشتر از میزان توصیه شده باشد اصطکاک در بیرینگ افزایش می‌یابد. برای اطلاعات بیشتر به بخش « روانکاری مجدد » در صفحه ۲۲۵ مراجعه کنید.

رفتار اصطکاکی بیرینگ‌های مختلط

به علت مدول الاستیسیته بالای سرامیک‌ها بیرینگ‌های مختلط سطح تماس کم‌تری دارند که باعث کاهش اصطکاک غلتشی و لغزشی می‌شود. به علاوه چگالی سرامیک از فولاد کم‌تر می‌باشد و در نتیجه نیروهای گریز از مرکز در بیرینگ‌ها مختلط کم‌تر است که این موضوع نیز باعث کاهش اصطکاک در سرعت‌های بالا می‌شود.

در معادلات بالا، ممان اصطکاکی برای بیرینگ‌های مختلط تماس زاویه‌ای را می‌توان با جایگزینی ثابت‌های هندسی R_3 و S_3 برای بیرینگ تمام فولادی، با $0.41R_3$ و $0.41S_3$ محاسبه نمود.

بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط در سرعت‌های بالا لازم است که به صورت محوری پیش بار شوند. در این شرایط بلبیرینگ‌های شیار عمیق مانند بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای عمل می‌کنند و بنابراین کاهش اصطکاک در سرعت‌های زیاد مشابه حالت فوق است.

گشتاور راه‌اندازی

گشتاور راه‌اندازی یک بیرینگ غلتشی بنا به تعریف ممان اصطکاکی می‌باشد که لازم است به منظور راه‌اندازی یک بیرینگ از حالت سکون بر آن غلبه شود. در شرایط دمای طبیعی محیط، 20 °C تا 30 °C، راه‌اندازی از حالت سکون و $\mu_{sl} = \mu_{bl}$، گشتاور راه‌اندازی را می‌توان با داشتن ممان اصطکاکی لغزشی و ممان اصطکاکی آب‌بندها (در صورت وجود) محاسبه کرد، بنابراین

$$M_{start} = M_{sl} + M_{seal}$$

که در آن

M_{start} = ممان اصطکاکی راه‌اندازی، Nmm

M_{sl} = ممان اصطکاکی لغزشی، Nmm

M_{seal} = ممان اصطکاکی آب‌بندها، Nmm

برای رولربیرینگ‌ها با زاویه تماس بزرگ، گشتاور راه‌اندازی خیلی بیشتر از مقدار پیش‌بینی‌شده در بالا می‌باشد، برای رولربیرینگ‌های مخروطی سری‌های 313، 322B، 323B و T7FC چهار برابر مقدار محاسبه‌شده در بالا و برای رولربیرینگ‌های کروی از ۸ برابر مقدار محاسبه‌شده بالا استفاده کنید.

تلفات توان و دمای بیرینگ

افت توان ناشی از اصطکاک در یک بیرینگ از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$N_R = 1.05 \times 10^{-4} Mn$$

که در آن

N_R = تلفات توان، W

M = ممان اصطکاکی کل، Nmm

N = سرعت دورانی، r/min

است. با داشتن نرخ خنک شدن (نرخ انتقال حرارت از بیرینگ به محیط بازای هر درجه اختلاف دمای بین بیرینگ و محیط) افزایش دمای بیرینگ را می‌توان از معادله تقریبی زیر محاسبه کرد.

$$\Delta T = N_R / W_S$$

که در آن

ΔT = افزایش دما، °C

N_R = افت توان، W

W_S = نرخ خنک شدن، W/ °C

مثال‌های محاسباتی

یک رولربیرینگ کروی 22208 E با سرعت 3500 r/min در شرایط زیر کار می‌کند.

- بار واقعی شعاعی بیرینگ، $F_r = 2990$ N
- بار واقعی محوری بیرینگ، $F_a = 100$ N
- رینگ داخلی دوران می‌کند
- دمای کاکرد 40+ °C
- روانکاری به روش حمام روغن
- ارتفاع روغن در حالت سکون H=2.5 mm بالای لبه رینگ خارجی است
- روغن‌استفاده‌شده از نوع معدنی با لزجت سینماتیکی $\nu = 68$ mm²/s در دمای 40 °C است.

ممان اصطکاکی کل را محاسبه کنید؟

۱. محاسبه متغیرهای وابسته به هندسه و بار

از جدول ۲ الف صفحه ۷۹ با قطر متوسط

$$d_m = 0.5(d + D) = 0.5(40 + 80) = 60 \text{ mm}$$

- متغیرهای اصطکاکی غلتشی

$$G_{rr.e} = R_1 d_m^{1.85}(F_r + R_2 F_a)^{0.54}$$
$$= 1.6\times10^{-6}\times60^{1.85}\times$$
$$(2990 + 5.84\times100)^{0.54}$$
$$= 0.26$$
$$G_{rr.l} = R_3 d_m^{2.3}(F_r + R_4 F_a)^{0.31}$$
$$= 2.81\times10^{-6}\times60^{2.3}\times$$
$$(2990 + 58\times100)^{0.31}$$
$$= 0.436$$

از آن جایی که $G_{rr.e} < G_{rr.l}$ است، بنابراین

$$G_{rr} = 0.26$$

- متغیرهای اصطکاک لغزشی

$$G_{sl.e} = S_1 d_m^{0.25}(F_r^4 + S_2 F_a^4)^{1/3}$$
$$= 3.62\times10^{-3}\times60^{0.25}\times$$
$$(2990^4 + 508\times100^4)^{1/3}$$
$$= 434$$

$$G_{sl.l} = S_3 d_m^{0.94}(F_r^3 + S_4 F_a^3)^{1/3}$$
$$= 8.8\times10^{-3}\times60^{0.94}\times$$
$$(2990^3 + 117\times100^3)^{1/3}$$
$$= 1236.6$$

از آن جایی که $G_{sl.e} < G_{sl.l}$ است، بنابراین

$$G_{sl} = 434$$

۲. ممان اصطکاکی غلتشی

$$M_{rr} = G_{rr}(\nu n)^{0.6} = 0.26\times(68\times3500)^{0.6}$$
$$= 437 \text{ Nmm}$$

۳. محاسبه ممان اصطکاکی لغزشی

با فرض شرایط فیلم روانکاری کامل، $\kappa > 2$،

$$M_{sl} = \mu_{sl} G_{sl} = 0.05\times434 = 21.7 \text{ Nmm}$$

۴. محاسبه ضریب کاهش ناشی از برش روانکار در ورودی سطح تماس

$$\varphi_{ish} = \frac{1}{1 + 1.84\times10^{-9}\times(n\times d_m)^{1.28}\nu^{0.64}}$$
$$= \frac{1}{1 + 1.84\times10^{-9}\times(3500\times60)^{1.28}(68)^{0.64}}$$
$$= 0.85$$

۵. محاسبه ضریب کاهش ناشی از جایگزینی سینماتیکی روانکار در روانکاری به روش‌حمام روغن

$$\varphi_{rs} = \frac{1}{e^{K_{rs}\,\nu\, n(d+D)\sqrt{\frac{K_z}{2(D-d)}}}}$$
$$= \frac{1}{2.718^{3\times10^{-8}\times68\times3500\times(40+80)\sqrt{\frac{5.5}{2\times(80-40)}}}}$$
$$= 0.8$$

۶. محاسبه تلفات مقاومت در روانکاری به روش حمام روغن

متغیر تلفات مقاومت سیال که تابعی از

$$H/d_m = 2.5/60 = 0.041$$

است، را می‌توان از نمودار ۲ صفحه ۸۷ به دست آورد. تلفات مقاومت سیال به علت $H/d_m < 0.1$ کوچک می‌باشد. ولی به هر حال می‌توان آنها را در محاسبات وارد کرد. برای رولربیرینگ‌ها متغیر V_M تقریباً برابر 0.3×10^{-4} است.

ثابت مرتبط با رولربیرینگ‌ها را می‌توان محاسبه کرد.

$$K_{roll} = \frac{K_L K_Z (d+D)}{D-d} \times 10^{-12}$$

$$= \frac{0.8 \times 5.5 \times (40+80)}{80-40} \times 10^{-12}$$

$$= 13.2 \times 10^{-12}$$

و تلفات مقاومت سیال به طور تقریبی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$M_{drag} = 10\ V_M K_{roll} B\ d_m{}^4 n^2$$

$$= 10 \times 0.3 \times 10^{-4} \times$$

$$13.2 \times 10^{-12} \times 23 \times 604^4 \times 3500^2$$

$$= 14.5\ \text{Nmm}$$

۷. محاسبه ممان کل اصطکاکی رولربیرینگ 22208 E مطابق با روش جدید SKF

$$M = \varphi_{ish} \varphi_{rs} M_{rr} + M_{drag}$$

$$= 0.85 \times 0.8 \times 437 + 21.7 + 14.5$$

$$= 334\ \text{Nmm}$$

فصل پنجم

سرعت‌ها و ارتعاشات

سرعت‌های مرجع ۹۶
تأثیر بار و لزجت روغن بر سرعت مرجع/ سرعت مجاز ۹۶
سرعت‌های بالاتر از سرعت مرجع ۱۰۲
سرعت حدی ۱۰۲
حالت‌های خاص ۱۰۲
سرعت‌های کم ۱۰۲
حرکت‌های نوسانی ۱۰۲
ارتعاشات تولیدشده در یک بیرینگ ۱۰۳
تحریک ناشی از تغییر تعداد اجزای غلتنده تحت بار ۱۰۳
دقت اجزای دربرگیرنده بیرینگ ۱۰۳
خرابی موضعی ۱۰۳
آلودگی‌ها ۱۰۳
تأثیر بیرینگ بر رفتار ارتعاشی کل یک سیستم ۱۰۳

بیرینگ‌های غلتشی دارای یک سرعت کارکرد حدی می‌باشند. معمولاً دمای کارکرد روانکار یا جنس اجزای بیرینگ این حد را تعیین می‌کند.

سرعتی که در حد دمای کارکرد می‌توان به آن دست یافت به گرمای اصطکاکی ایجادشده در بیرینگ (به علاوه گرمای ناشی از منابع خارجی) و مقدار گرمایی که از بیرینگ به خارج منتقل می‌شود، بستگی دارد.

نوع و اندازه بیرینگ، طرح داخلی، بار، روانکاری و شرایط خنک شدن به همراه طرح قفسه، دقت و لقی داخلی نقش تعیین‌کننده در ظرفیت سرعت بیرینگ دارند.

در جداول بیرینگ‌ها معمولاً دو سرعت ذکر شده است. سرعت مرجع (حرارتی) و سرعت حدی (سینماتیکی)، که مقادیر هر یک از این سرعت‌ها به معیارهای مربوطه بستگی دارد.

سرعت‌های مرجع

سرعت‌های مرجع (حرارتی) که در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند. سرعت مجاز کارکرد را در شرایط بار و لزجت روانکار خاص نشان می‌دهند.

مقادیر سرعت مرجع در جداول مطابق استاندارد ISO 15312:2003 می‌باشند (بجز بلبیرینگ‌های کف‌گرد). استاندارد فوق برای روانکاری با روغن است ولی برای روانکاری با گریس نیز صادق می‌باشد.

سرعت مرجع برای یک بیرینگ، سرعتی است که در آن با شرایط کارکرد خاص بین گرمای ایجادشده در بیرینگ و گرمای خارج‌شده از طریق شفت، نشیمنگاه و روانکار تعادل برقرار است. شرایط مرجع برای رسیدن به این تعادل حرارتی مطابق استاندارد ISO 15312:2003 عبارتند از،

- افزایش دمای 50 °C بالای دمای محیط 20 °C به عبارت دیگر دمای بیرینگ 70 °C است، که بر روی رینگ خارجی ثابت یا واشر نشیمنگاه اندازه‌گیری می‌شود.
- برای بیرینگ‌های شعاعی: بار شعاعی ثابت به اندازه 5٪ ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی C_0.
- برای بیرینگ‌های کف‌گرد: بار محوری ثابت به اندازه 2٪ ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی C_0.
- بیرینگ باز (بدون آب‌بند) با لقی نرمال.

برای روانکاری با روغن:

- روانکار: روغن معدنی بدون افزودنی‌های EP با لزجت سینماتیکی (ISO VG 32) $\nu = 12\ mm^2/s$ در دمای 70 °C برای بیرینگ‌های شعاعی و لزجت سینماتیکی (ISO VG 68) $\nu = 24\ mm^2/s$ در دمای 70 °C برای رولربیرینگ‌های کف‌گرد.
- روش روانکاری: روانکاری به روش حمام روغن با ارتفاع روغن تا مرکز پایین‌ترین جزء غلتنده.

برای روانکاری با گریس

- روانکار: گریس معمولی با صابون لیتیمی و روغن پایه معدنی با لزجت 100 mm^2/s تا 200 mm^2/s در دمای 40 °C (ISO VG 150)
- مقدار گریس: تقریباً 30٪ از فضای خالی بیرینگ

در روانکاری با گریس ممکن است در ساعات اولیه راه‌اندازی دما افرایش بیشتری داشته باشد. بنابراین بیرینگ باید 10 تا 20 ساعت کار کند تا به دمای کارکرد طبیعی برسد.

در شرایط فوق، سرعت مرجع برای روانکاری با گریس و روغن یکسان می‌باشد. در شرایطی که رینگ خارجی دوران می‌کند ممکن است لازم باشد که سرعت‌های مرجع کاهش داده شوند.

برای بعضی بیرینگ‌ها، که سرعت مرجع بر اساس حرارت ایجادشده در بیرینگ تعیین نمی‌شود، در جداول فقط سرعت حدی آورده می‌شود. (برای مثال بیرینگ‌ها با آب‌بند تماسی)

تأثیر بار و لزجت روغن بر سرعت مرجع/ سرعت مجاز

وقتی بار و لزجت روانکار از مقادیر مرجع بیشتر باشند، اصطکاک افزایش یافته و بیرینگ دیگر نمی‌تواند در سرعت مرجع کار کند مگر این که افزایش دمای بیشتر، مجاز باشد. همچنین مقادیر لزجت کم‌تر اجازه عملکرد با سرعت بیشتر را می‌دهند.

تأثیر بار و لزجت سینماتیکی بر سرعت مرجع در نمودارهای زیر نشان داده شده است،

نمودار۱: برای بلبیرینگ‌های شعاعی، صفحه ۹۸
نمودار۲: برای رولربیرینگ‌های شعاعی، صفحه ۹۹
نمودار۳: برای بلبیرینگ‌های کف‌گرد، صفحه ۱۰۰
نمودار۴: برای رولربیرینگ‌های کف‌گرد، صفحه ۱۰۱

روانکاری با روغن

مقادیر ضرایب تصحیح برای روانکاری با روغن

- f_p: برای اثرات بار معادل دینامیکی P و
- f_ν: برای اثرات لزجت

از نمودارهای ۱ تا ۴ به عنوان تابعی از P/C_0 و قطر متوسط بیرینگ قابل محاسبه می‌باشند. در نمودارهای فوق

P = بار معادل بیرینگ برحسب، kN

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN

d_m = قطر متوسط بیرینگ $d_m = 0.5(d+D)$ ، mm

مقادیر لزجت در نمودارها برحسب شماره فنی ISO نظیر ISO VG 32 می‌باشند که 32 نشان‌دهنده لزجت روغن در دمای 40 °C است.

اگر دمای مرجع 70 °C ثابت در نظر گرفته شود، سرعت مجاز از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$N_{perm} = n_r f_p f_\nu$$

که در آن

N_{perm} = سرعت مجاز بیرینگ، r/min

n_r = سرعت مرجع، r/min

f_p = ضریب تصحیح برای بار P بیرینگ

f_ν = ضریب تصحیح برای لزجت روغن

روانکاری با گریس

نمودارها برای روانکاری با گریس نیز صادق می‌باشند. هر چند که سرعت‌های مرجع برای روانکاری با گریس بر اساس لزجت روغن پایه VG 150 می‌باشند اما برای محدوده لزجت ISO VG 100-ISO VG 200 نیز می‌توانند استفاده شوند. برای لزجت‌های‌دیگر، مقادیر f_ν برای لزجت روغن پایه در 40 °C، گریس انتخابی باید به f_ν برای روغن پایه ISO VG 150 تقسیم شود تا مقدار نهایی f_ν محاسبه شود.

$$n_{perm} = n_r f_p \frac{f_{\nu\ \text{actual base oil viscosity}}}{f_{\nu\ \text{base oil viscosity ISO VG150}}}$$

مثال ۱

یک بلبیرینگ شیار عمیق 6210 کلاس اکسپلورر تحت بار $P = 0.24C_0$ بوده و به روش حمام روغن روانکاری می‌شود. روانکار مورد استفاده در دمای 40 °C لزجت 68 mm^2/s دارد. سرعت مجاز برای کاربرد فوق چه قدر است؟

برای بلبیرینگ 6210: $d_m = 0.5(50+90) = 70$ mm، از نمودار ۱ صفحه ۹۸ با $d_m = 70$ mm و $P/C_0 = 0.24$ مقدار $f_p = 0.63$، $f_\nu = 0.85$ برای ISO VG 68 به دست می‌آید. سرعت مجاز برای دمای کارکرد 70 °C، n_{perm} از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$n_{perm} = 15000 \times 0.63 \times 0.85 = 8030 \text{ r/min}$$

مثال ۲

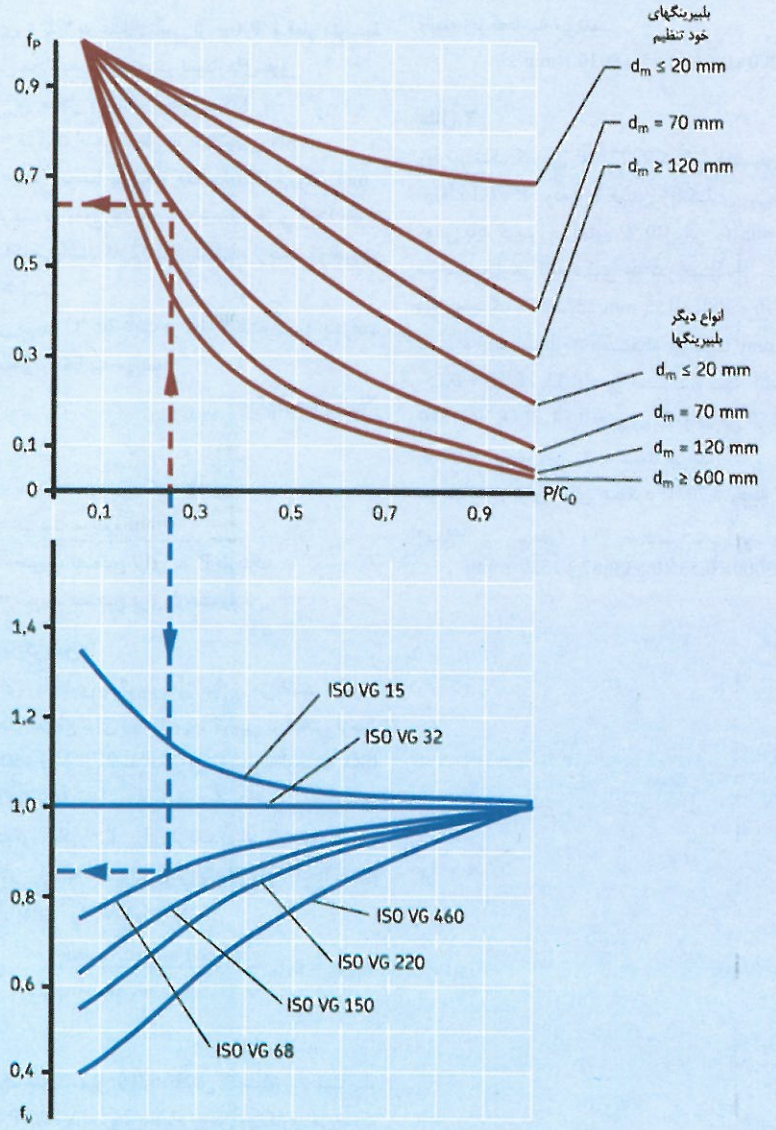
رولربیرینگ کروی E 22222 کلاس اکسپلورر تحت بار $P = 0.15\ C_0$ بوده و با گریس روانکاری می‌شود. لزجت روغن پایه گریس در دمای 40 °C برابر 220 mm^2/s است. سرعت مجاز در کاربرد فوق چه قدر است؟

برای بیرینگ E 22222: $d_m = 0.5(110+200) = 155$ mm، بوده از نمودار ۲، صفحه ۹۹ با $d_m = 155$ mm، $P/C_0 = 0.15$، $f_p = 0.53$ است. و با $P/C_0 = 0.15$ و ISO VG 220، $f_{\nu\ \text{actual}} = 0.83$ و برای ISO VG 150، $f_{\nu\ \text{ISO VG150}} = 0.87$ به دست می‌آید.

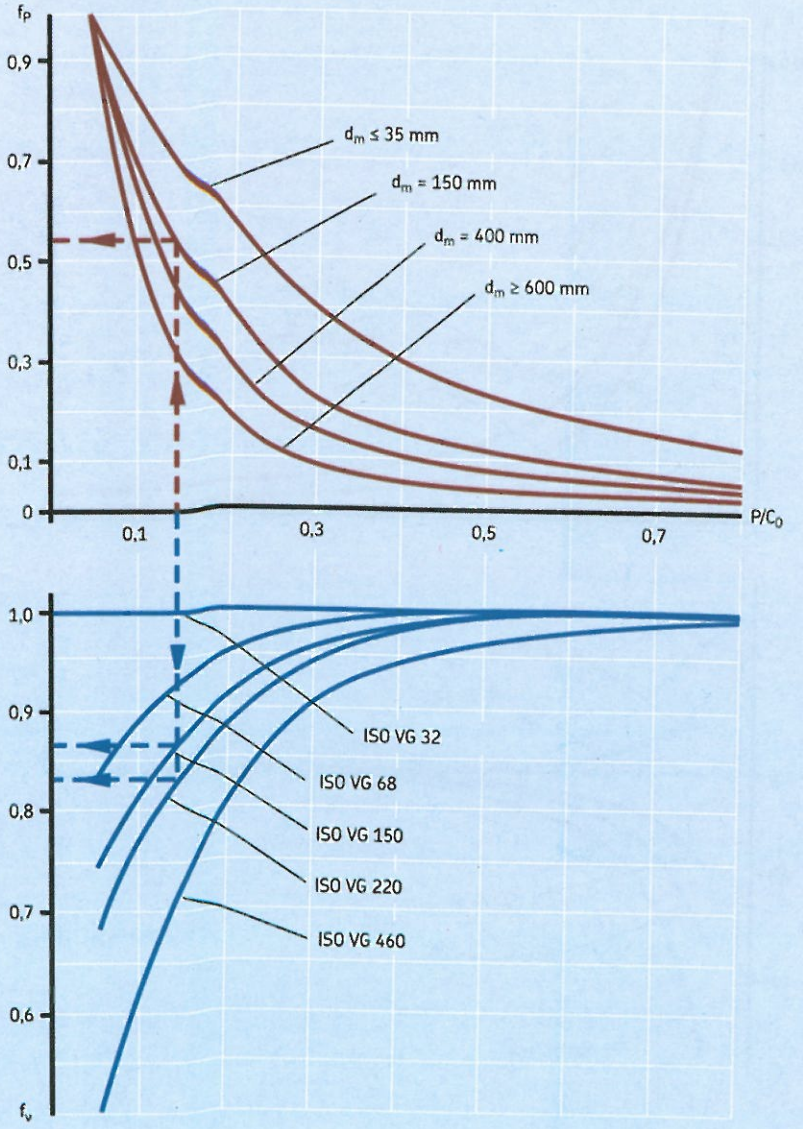
سرعت مجاز برای دمای عملکرد 70 °C از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$n_{perm} = 3000 \times 0.53 \times 0.83/0.87 = 1520 \text{ r/min} .$$

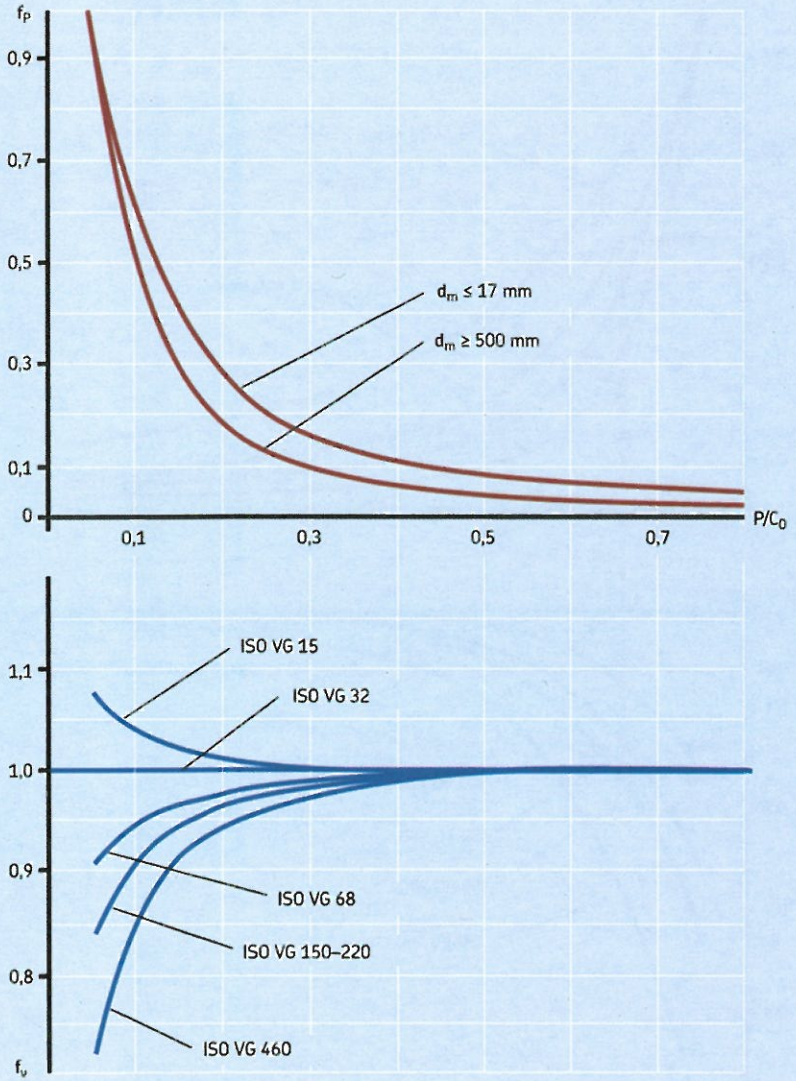
نمودار ۱ ضرایب تصحیح f_P و f_v برای بلبیرینگهای شعاعی



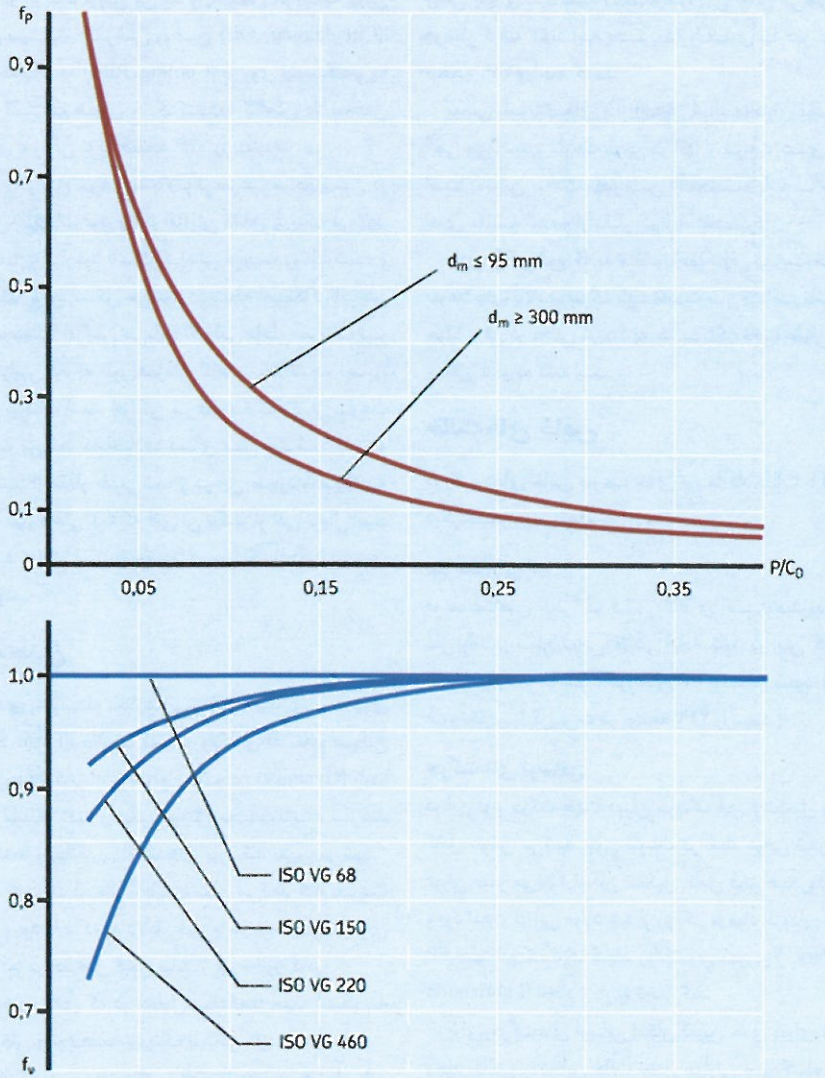
نمودار ۲ ضرایب تصحیح f_P و f_v برای رولر بیرینگهای شعاعی



نمودار ۳ ضرایب تصحیح f_P و f_v برای بلبیرینگهای کف گرد



نمودار ٤ ضرایب تصحیح f_v و f_P برای رولر بیرینگهای کف گرد



سرعت‌های بالاتر از سرعت مرجع

امکان کارکرد بیرینگ در سرعت‌های بالاتر از سرعت مرجع وجود دارد به شرطی که بتوان اصطکاک را در بیرینگ به کمک سیستم روانکاری که مقادیر کم و اندازه‌گیری‌شده از روانکار را در بیرینگ تزریق می‌کند و یا انتقال حرارت به بیرون به روش سیستم چرخش روغن (Circulationg Oil)، تیغه‌های خنک‌کننده (Cooling Ribs) بر روی نشیمنگاه و یا با جریان مستقیم هوای خنک‌کننده، کاهش داد (بخش « روانکاری با روغن » در صفحه ۲۳۶ را ببینید).

هر گونه افزایش سرعت به بالاتر از سرعت مرجع بدون در نظر گرفتن تمهیدات فوق باعث افزایش دمای بیرینگ می‌شود. افزایش دمای کارکرد باعث کاهش لزجت روانکارشده و تشکیل فیلم روغن مشکل می‌شود در نتیجه اصطکاک افزایش یافته و دما مجدداً افزایش می‌یابد. اگر لقی داخلی بیرینگ نیز به علت افزایش دما به طور همزمان کاهش یابد نتیجه نهایی آن گرپیاژ بیرینگ است. افزایش سرعت به بالاتر از سرعت مرجع باعث می‌شود که اختلاف دمای بین رینگ داخلی و خارجی بیشتر از مقدار طبیعی‌شده و در این موارد معمولاً به بیرینگ با لقی داخلی C3 که لقی آن بیشتر از لقی نرمال است نیاز می‌باشد و لازم است توزیع دما در بیرینگ با دقت بیشتری بررسی شود.

سرعت حدی

سرعت حدی به وسیله معیارهایی نظیر پایداری ساختاری (Form Stability)، مقاومت قفسه، روانکاری قفسه و سطوح راهنما، نیروهای گریز از مرکز و ژیراتوری (Gyratory) وارده بر اجزای غلتنده، دقت و دیگر عوامل محدودکننده سرعت مانند آب‌بندها و روانکاری آب‌بندهای بیرینگ، تعیین می‌شود.

تجارب به دست آمده از آزمایش نشان می‌دهد که سرعت حداکثری وجود دارد که به دلایل فنی یا هزینه‌های زیاد برای نگهداری دما در حد قابل قبول نباید از آن تجاوز کرد.

سرعت‌های حدی که در جداول بیرینگ‌ها آمده است به طراحی داخلی و نوع قفسه بیرینگ بستگی دارد.

برای کارکرد در سرعت‌های بالاتر از مقادیر جدول لازم است بعضی از عوامل محدودکننده سرعت نظیر دقت‌های حرکتی، جنس قفسه و طراحی آن، روانکاری و انتقال حرارت بهبود یابند.

برای روانکاری با گریس جنبه‌های دیگری نظیر روانکاری سطوح راهنمای قفسه و مقاومت برشی گریس، (که توسط روغن پایه و غلیظ‌کننده (Thickener) آن تعیین می‌شود)، باید در نظر گرفته شوند (به بخش « روانکاری با گریس » در صفحه ۲۱۹ مراجعه کنید).

بعضی بلبیرینگ‌های باز (بدون آب‌بند) دارای اصطکاک کمی می‌باشند و سرعت مرجع در آنها از سرعت حدی بیشتر است. بنابراین سرعت مجاز پس از محاسبه باید با سرعت حدی مقایسه شده و از مقدار کم‌تر استفاده کرد.

یادآوری می‌شود که به منظور عملکرد رضایت‌بخش در سرعت‌های بالا، بیرینگ باید تحت بار حداقلی باشد که جزئیات آن در بخش مربوط به هر بیرینگ تحت عنوان « بار حداقل » آورده شده است.

حالت‌های خاص

در کاربردهای خاص سرعت حدی توسط ملاحظات با اهمیت دیگر جایگزین می‌شود.

سرعت‌های کم

در سرعت‌های خیلی کم فیلم روانکاری الاستوهیدرودینامیک نمی‌تواند در سطح تماس غلتشی ایجاد شود. در این کاربردها باید از روانکار با مواد افزودنی EP استفاده شود. (بخش « روانکاری با گریس » در صفحه ۲۱۹ را ببینید.)

حرکت‌های نوسانی

در این نوع حرکت جهت دوران بیرینگ قبل از تکمیل یک دور کامل عوض می‌شود. چون سرعت در نقطه عوض شدن جهت دوران صفر می‌باشد امکان تشکیل کامل فیلم هیدرودینامیک وجود ندارد. در این موارد باید از روانکار با مواد افزودنی مؤثر EP استفاده کرد تا فیلم روانکاری مرزی (Boundary Lubrication) ایجاد و بار را تحمل کند.

برای حرکت‌های نوسانی امکان تعیین حدی برای سرعت وجود ندارد زیرا در این حالت تعادل حرارتی تعیین‌کننده نبوده و نیروهای اینرسی اهمیت پیدا می‌کنند. با هر تغییر جهت، این خطر وجود دارد که اینرسی باعث لغزش اجزای غلتنده‌شده و

سطوح غلتشی را دچار خراشیدگی (Smear) کنند. شتاب افزاینده یا کاهنده مجاز به جرم اجزای غلتنده و قفسه، نوع و مقدار روانکار، لقی در حین کار و بار بیرینگ بستگی دارد. برای مثال در چیدمان میله اتصال‌دهنده (Connecting Rod) بیرینگ پیش بار شده با اجزای غلتنده کوچک با جرم کم استفاده می‌شود. امکان ارائه راهکارهای کلی برای این موارد وجود ندارد و لازم است هر در حالتی حرکت نوسانی به دقت بررسی شود.

ارتعاشات تولیدشده در یک بیرینگ

به طور کلی یک بیرینگ غلتشی ایجاد سر و صدا نمی‌کند. چیزی که بنام سر و صدای بیرینگ شناخته می‌شود اثرات شنیداری ارتعاشات ایجادشده به صورت مستقیم یا غیرمستقیم به وسیله بیرینگ بر سازه اطراف است. به همین علت است که مشکلات سر و صدای بیرینگ در واقع مشکلات ارتعاشی می‌باشد که مرتبط با کاربرد آن است.

تحریک ناشی از تغییر تعداد اجزای غلتنده تحت بار

وقتی بار شعاعی به یک بیرینگ وارد می‌شود تعداد اجزای غلتنده حمل‌کننده بار در حین کارکرد تغییر می‌کند. برای مثال 3-2-3-2 این پدیده موجب جابجایی در جهت بار شده که ارتعاش ناشی از آن اجتناب‌ناپذیر است. ولی می‌توان با اعمال پیش بار محوری و بارگذاری کلیه اجزای غلتنده آن را کاهش داد (برای رولربیرینگ استوانه‌ای امکان‌پذیر نیست).

دقت اجزای دربرگیرنده بیرینگ

در مواردی که بین رینگ‌های بیرینگ و نشیمنگاه یا شفت انطباق تداخلی خیلی محکم وجود دارد رینگ‌های بیرینگ شکل اجزای مجاور را به خود می‌گیرند. اگر انحراف شکلی (Form Deviations) وجود داشته باشد. باعث ایجاد ارتعاش در حین کارکرد می‌شود. بنابراین ماشینکاری شفت و نشیمنگاه مطابق با تلرانس‌های لازم اهمیت زیادی دارد (بخش « تلرانس‌های فرم استوانه‌ای » در صفحه ۱۸۲ را ببینید).

خرابی موضعی

به دلایل حمل و نقل یا نصب نادرست، بخشی از سطوح غلتش یا اجزای غلتنده ممکن است صدمه ببیند. در حین کار عبور اجزای غلتنده از روی جزء خراب ایجاد ارتعاش با فرکانس خاصی می‌کند. آنالیز فرکانسی ارتعاش می‌تواند جزء خراب را مشخص کند. این اصل در تجهیزات تشخیص وضعیت (Condition Monitoring) به منظور تشخیص خرابی بیرینگ بکار می‌رود.

برای محاسبه فرکانس‌های بیرینگ‌ها به بخش محاسبات بر روی لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کنید.

آلودگی‌ها

اگر شرایط کارکرد آلوده باشد ذرات آلوده‌کننده وارد بیرینگ‌شده و عبور اجزای غلتنده از روی آنها ایجاد ارتعاشی می‌کند که مقدار آن بستگی به مقدار، اندازه و ترکیب ذرات آلوده‌کننده دارد. در این حالت فرکانس خاصی ایجاد نشده ولی ممکن است سر و صدای قابل شنیدن تولید شود.

تأثیر بیرینگ بر رفتار ارتعاشی کل یک سیستم

در بیشتر کاربردها سفتی بیرینگ‌ها با سفتی دیگر اجزای سیستم هم مرتبه می‌باشد، بنابراین امکان کاهش ارتعاش در یک کاربرد با انتخاب صحیح بیرینگ (شامل پیش‌بار و لقی) و چیدمان، وجود دارد. سه روش برای کاهش ارتعاش پیشنهاد می‌شود.

- حذف عوامل تحریک‌کننده بحرانی در کاربرد
- میرا کردن ارتعاش جزء تحریک‌کننده بحرانی و اجزای تحت رزونانس
- تغییر سفتی سازه به منظور تغییر فرکانس بحرانی آن

فصل ششم

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد ۱۰۶
طرح عمومی ISO ۱۰۶
طرح عمومی برای بیرینگ‌های اینچی ۱۰۷
ابعاد پخ‌ها ۱۰۷
تلرانس‌ها ۱۰۸
نمادهای تلرانس‌ها ۱۰۸
تعیین سری‌های قطر ۱۰۸
جداول تلرانس‌ها ۱۰۸
حدود ابعاد پخ‌ها ۱۰۹
لقی داخلی بیرینگ‌ها ۱۲۵
جنس بیرینگ‌ها ۱۲۶
جنس رینگ‌ها و اجزای غلتنده ۱۲۶
جنس قفسه‌ها ۱۲۸
جنس آب‌بندها ۱۳۰
پوشش‌ها ۱۳۱
قفسه‌ها ۱۳۲
قفسه‌های پرسکاری‌شده ۱۳۲
قفسه‌های یکپارچه ۱۳۳
قفسه‌های نوع پینی ۱۳۴
جنس ۱۳۴
شماره‌های فنی بیرینگ‌ها ۱۳۵
شماره فنی اصلی ۱۳۶
پیشوندها و پسوندها در شماره‌های فنی ۱۳۹

ابعاد

سازندگان و استفاده‌کنندگان از بیرینگ‌های غلتشی به دلایل قیمت، کیفیت و سادگی جایگزینی فقط به اندازه‌های محدودی از بیرینگ‌ها علاقه‌مند می‌باشد. سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) طرح‌های عمومی زیر را برای ابعاد خارجی (Boundary Dimensions) بیرینگ‌ها بنا نهاده است.

- استاندارد ISO 15:1998 برای بیرینگ‌های شعاعی متریک، بجز رولربیرینگ‌های مخروطی
- استاندارد ISO 355:1977 برای رولربیرینگ‌های مخروطی متریک
- استاندارد ISO 104:2002 برای بیرینگ‌های کف‌گرد متریک

طرح عمومی ISO

طرح عمومی ISO برای ابعاد خارجی بیرینگ‌های شعاعی شامل سری‌های استانداردشده قطر خارجی برای هر قطر داخلی استاندارد می‌باشد. این سری‌های قطر (Diameter Series) عبارتند از: سری‌های 7، 8، 9، 0، 1، 2، 3 و 4 که به ترتیب افزایش قطر خارجی می‌باشند. هر سری قطر شامل سری‌های مختلف پهنا (Wide Series) می‌باشد. (سری‌های پهنا 8، 0، 1، 2، 3، 4، 5، 6 و 7 به ترتیب افزایش پهنا) سری پهنا در بیرینگ‌های شعاعی بنام سری ارتفاع (Height Series) در بیرینگ‌های کف‌گرد شناخته می‌شود. (سری‌های ارتفاع 7، 9، 1 و 2 به ترتیب افزایش ارتفاع)

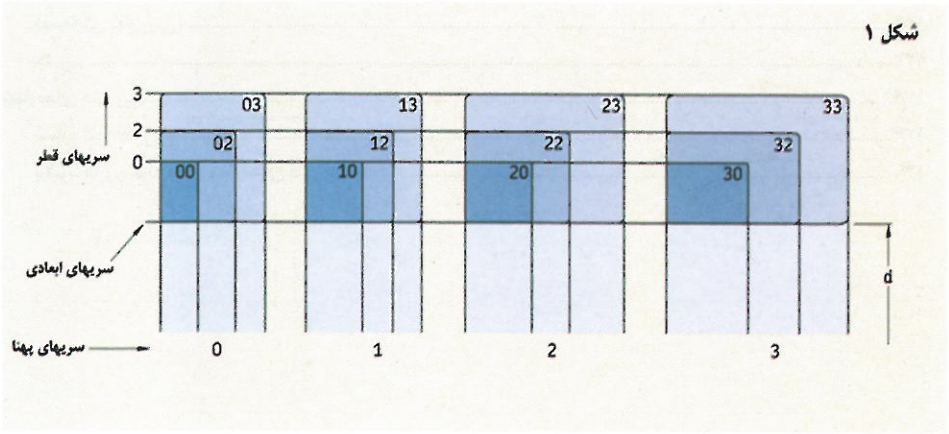
با ترکیب سری پهنا یا ارتفاع با سری‌های قطر، یکسری ابعادی (Dimension Series) از دو عدد تشکیل می‌شود که عدد اول مشخص‌کننده سری پهنا یا ارتفاع و عدد دوم سری قطر را نشان می‌دهد. (شکل ۱)

در طرح عمومی ISO برای رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه، ابعاد خارجی بر اساس یکسری معینی زاویه تماس گروه‌بندی شده‌اند که به آن سری زاویه (Angle Series) می‌گویند. (سری‌های زاویه 2، 3، 4، 5، 6 و 7) بر اساس رابطه بین قطرهای خارجی و داخلی و رابطه بین پهنای کل بیرینگ و ارتفاع سطح مقطع (Cross-sectional Height)، سری‌های قطر و پهنا نیز تعریف می‌شوند. در این جا یکسری ابعادی با ترکیب سری زاویه با یکسری قطر و یکسری پهنا به دست می‌آید (شکل ۲). این سری‌های ابعادی شامل یک عدد برای سری زاویه و دو حرف می‌باشند که حرف اول مشخص‌کننده سری قطر و حرف دوم سری پهنا را مشخص می‌کند.

بجز چند استثناء که به علت پیشرفت رولربیرینگ‌ها می‌باشد، بیرینگ‌های جنرال کاتالوگ (بر روی لوح فشرده همراه کتاب) مطابق طرح عمومی ISO بوده یا مطابق استانداردهای دیگر ISO می‌باشند. بنابراین قابلیت جایگزینی بیرینگ‌ها تضمین می‌شود. اطلاعات بیشتر در بخش ابعادی مربوط به هر بیرینگ خاص آورده شده است.

تجربه نشان داده است که نیاز اکثر کاربردها با استفاده از این بیرینگ‌ها با ابعاد استاندارد بر آورده می‌شود.

شکل ۱



طرح عمومی برای بیرینگ‌های اینچی

گروه عمده‌ای از بیرینگ‌های اینچی رولربیرینگ‌های مخروطی هستند که ابعاد این بیرینگ‌ها مطابق استاندارد AFBMA 19-1974 (ANSI B 3.19-1975) می‌باشد. استاندارد ANSI/ABMA 19.2-1994 که بعداً جایگزین استانداردهای فوق شد دیگر شامل ابعاد نمی‌باشد.

علاوه بر رولربیرینگ‌های مخروطی اینچی، بلبیرینگ و رولربیرینگ استوانه‌ای اینچی نیز موجود می‌باشند که مطابق با استاندارد بریتانیایی BS 292-2:1982 بوده ولی در جنرال کاتالوگ SKF آورده نشده‌اند. این استاندارد به علت متریک‌سازی به تدریج در حال حذف شدن می‌باشد و توصیه می‌شود که از این بیرینگ‌ها در طرح‌های جدید استفاده نشود.

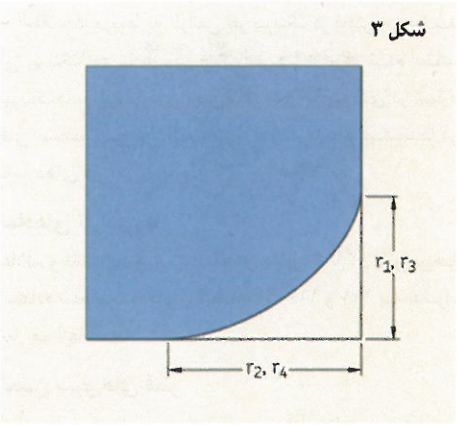
ابعاد پخ‌ها

حداقل اندازه پخ‌ها (شکل ۳) در جهت شعاعی (r_1 , r_3) و در جهت محوری (r_2 , r_4) در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند. این مقادیر مطابق طرح‌های عمومی می‌باشند که در استانداردهای زیر آمدند.

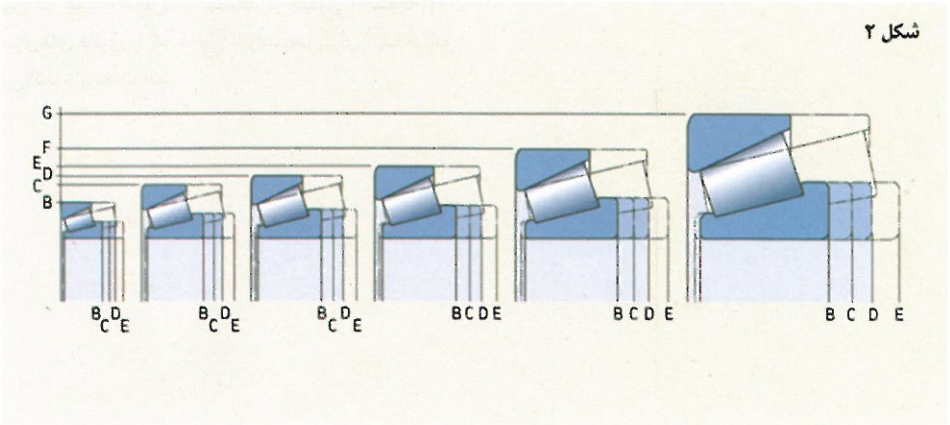
- استانداردهای ISO 12043:1995، ISO 15:1998 و ISO 12044:1995 برای رولربیرینگ‌های شعاعی،
- استاندارد ISO 355:1977 برای رولربیرینگ‌های مخروطی،
- استاندارد ISO 104:2002 برای رولربیرینگ‌های کف‌گرد.

مقادیر حداکثر حدود پخ‌ها، که هنگام تعیین ابعاد شعاع گوشه‌های (Fillet Radii) شفت و نشیمنگاه مهم می‌باشند، مطابق استاندارد ISO 582:1995 بوده و در بخش تلرانس‌ها در صفحه ۱۰۸ آورده شده است.

شکل ۳



شکل ۲



تلرانس‌ها

ابعاد و دقت‌های حرکتی (Running Accuracy) بیرینگ‌های غلتشی استاندارد شده‌اند. علاوه بر تلرانس‌های نرمال، استاندارد ISO شامل تلرانس‌های دقیق‌تر نظیر،

- تلرانس کلاس 6 مطابق با تلرانس کلاس SKF P6
- تلرانس کلاس 5 مطابق با تلرانس کلاس SKF P5

نیز می‌باشد. برای کاربردهای خاص نظیر محور کارگیر ماشین‌های ابزار بیرینگ‌ها با تلرانس‌های دقیق‌تر نظیر کلاس‌های P4، P4A، PA9A، SP و UP تولید می‌شوند. [1]

اطلاعات مربوط به تلرانس هر بیرینگ در بخش مربوط به آن بیرینگ تحت عنوان « تلرانس‌ها » آورده شده است. بیرینگ‌ها با تلرانس‌های دقیق‌تر از نرمال با پسوندی در شماره فنی مشخص می‌شوند (به بخش « پسوندها و پیشوندها در شماره‌های فنی » در صفحه ۱۳۹ مراجعه کنید).

نمادهای تلرانس‌ها

علائم و نمادهای تلرانس‌ها که در جداول ۳ تا ۱۲ تلرانس‌ها استفاده شده‌اند، در جدول ۱ صفحات ۱۱۰ و ۱۱۱ به همراه تعاریف آنها آمده است.

تعیین سری‌های قطر

از آن جایی که تلرانس‌های تغییرات قطر داخلی و خارجی V_{dp} و V_{DP} در جداول بیرینگ‌های غلتشی متریک (بجز رولربیرینگ‌های مخروطی) برای تمام سری‌های قطر صادق نمی‌باشند و همچنین تعیین سری قطر با توجه به شماره فنی بیرینگ همیشه امکان‌پذیر نیست، در جدول ۲ صفحه ۱۱۲ سری‌های قطری را که جداول تلرانس‌ها برای آنها صادق می‌باشند، آورده شده‌اند.

جداول تلرانس‌ها

تلرانس‌های آورده شده در جداول به شرح زیر می‌باشند.

جدول ۳: تلرانس‌های نرمال برای بیرینگ‌های شعاعی، بجز رولربیرینگ‌های مخروطی

جدول ۴: تلرانس‌های کلاس P6 برای بیرینگ‌های شعاعی، بجز رولربیرینگ‌های مخروطی

جدول ۵: تلرانس‌های کلاس P5 برای بیرینگ‌های شعاعی، بجز رولربیرینگ‌های مخروطی

جدول ۶: تلرانس‌های کلاس نرمال و CL7C برای رولربیرینگ‌های مخروطی متریک

جدول ۷: تلرانس‌های کلاس CLN برای رولربیرینگ‌های مخروطی متریک

جدول ۸: تلرانس‌های کلاس P5 برای رولربیرینگ‌های مخروطی متریک

جدول ۹: تلرانس‌های رولربیرینگ‌های مخروطی اینچی

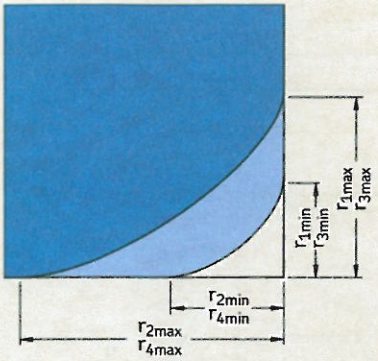
جدول ۱۰:تلرانس‌های بیرینگ‌های کف‌گرد

جدول ۱۱:تلرانس‌های کلاس نرمال، P6 و P5 برای رینگ داخلی مخروطی، مخروط 1:12

جدول ۱۲:تلرانس‌های نرمال برای رینگ داخلی مخروطی، مخروط 1:30

جداول مطابق استانداردهای ISO 199:1997، ISO 492:2002 و ANSI/ABMA std 19.2:1994 می‌باشند.

شکل ٤



حدود ابعاد پخ‌ها

به منظور جلوگیری از اندازه‌گذاری غلط شعاع گوشه‌های اجزای دربرگیرنده بیرینگ و ساده‌سازی محاسبات محل رینگ نگهدارنده (Retaining Ring)، مقادیر حداکثر حدود پخ‌ها برحسب ابعاد حداقل حدود (در جداول بیرینگ‌ها)، در جداول زیر آورده شده‌اند. (شکل ۴)

جدول ۱۳:حدود ابعاد پخ‌ها برای بیرینگ‌های شعاعی و کف‌گرد متریک، بجز رولربیرینگ مخروطی

جدول ۱۴:حدود ابعاد پخ‌ها برای رولربیرینگ‌های مخروطی متریک

جدول ۱۵:حدود ابعاد پخ‌ها برای رولربیرینگ‌های مخروطی اینچی

جداول فوق از صفحه ۱۲۳ به بعد آورده شده‌اند. این حدود برای بیرینگ‌های متریک مطابق استاندارد ISO 582:1995 و برای رولربیرینگ‌ها مخروطی اینچی مطابق استاندارد ANSI/ABMA 19.2:1994 می‌باشد، که تفاوت‌های کلی با بیرینگ‌های متریک دارند.

علائم و نمادهای استفاده‌شده در جداول ۱۳ تا ۱۵ به همراه تعاریف آنها در جداول صفحات ۱۱۰ و ۱۱۱ آورده شده‌اند.

مثال:

حداکثر شعاع (r_{1max}) برای پخ‌های بلبیرینگ شیار عمیق 6211 چه مقدار می‌باشد؟ از جداول بیرینگ‌ها بر روی لوح فشرده $r_{1min} = 1.5$ mm ، $d=55$ mm به دست می‌آیند. از جدول ۱۳ صفحه ۱۲۳ با $r_{smin} = 1.5$ mm و d کم‌تر از 120 mm مقدار $r_{1max} = 2.3$ mm را به دست می‌دهد.

جدول ۱ علائم اختصاری تلرانسها

علامت تلرانس	تعریف
	قطر داخلی
d	Nominal bore diameter
d_s	Single bore diameter
d_{mp}	1. Mean bore diameter; arithmetical mean of the largest and smallest single bore diameters in one plane 2. Mean diameter at the small end of a tapered bore; arithmetical mean of the largest and smallest single diameters
Δ_{ds}	Deviation of a single bore diameter from the nominal ($\Delta_{ds} = d_s - d$)
Δ_{dmp}	Deviation of the mean bore diameter from the nominal ($\Delta_{dmp} = d_{mp} - d$)
V_{dp}	Bore diameter variation; difference between the largest and smallest single bore diameters in one plane
V_{dmp}	Mean bore diameter variation; difference between the largest and smallest mean bore diameter
d_1	Nominal diameter at theoretical large end of a tapered bore
d_{1mp}	Mean diameter at theoretical large end of tapered bore; arithmetical mean of the largest and smallest single bore diameters
Δ_{d1mp}	Deviation of the mean bore diameter at the theoretical large end of a tapered bore from the nominal ($\Delta_{d1mp} = d_{1mp} - d_1$)
	قطر خارجی
D	Nominal outside diameter
D_s	Single outside diameter
D_{mp}	Mean outside diameter; arithmetical mean of the largest and smallest single outside diameters in one plane
Δ_{Ds}	Deviation of a single outside diameter from the nominal ($\Delta_{Ds} = D_s - D$)
Δ_{Dmp}	Deviation of the mean outside diameter from the nominal ($\Delta_{Dmp} = D_{mp} - D$)
V_{Dp}	Outside diameter variation; difference between the largest and smallest single outside diameters in one plane
V_{Dmp}	Mean outside diameter variation; difference between the largest and smallest mean outside diameter
	حدود پخ ها
r_s	Single chamfer dimension
$r_{s\,min}$	Smallest single chamfer dimension of r_s, r_1, r_2, r_3, r_4 ...
r_1, r_3	Radial direction chamfer dimensions
r_2, r_4	Axial direction chamfer dimensions

ادامه جدول ۱ علائم اختصاری تلرانسها

علامت تلرانس	تعریف
	پهنا یا ارتفاع
B, C	Nominal width of inner ring and outer ring, respectively
B_s, C_s	Single width of inner ring and outer ring, respectively
B_{1s}, C_{1s}	Single width of inner ring and outer ring, respectively, of a bearing specifically manufactured for paired mounting
Δ_{Bs}, Δ_{Cs}	Deviation of single inner ring width or single outer ring width from the nominal ($\Delta_{Bs} = B_s - B$; $\Delta_{Cs} = C_s - C$; $\Delta_{B1s} = B_{1s} - B_1$; $\Delta_{C1s} = C_{1s} - C_1$)
V_{Bs}, V_{Cs}	Ring width variation; difference between the largest and smallest single widths of inner ring and of outer ring, respectively
T	1. Nominal width (abutment width) of taper roller bearing; distance between inner ring (cone) back face and outer ring (cup) back face 2. Nominal height (H) of single direction thrust bearing (except spherical roller thrust bearing, see T_4)
T_1	1. Nominal width of taper roller bearing, cone assembled with master cup 2. Nominal height (H_1) of single direction thrust ball bearing with seating washer
T_2	1. Nominal width of taper roller bearing, cup assembled with master cone 2. Nominal height (H) of double direction thrust bearing
T_3	Nominal height (H_1) of double direction thrust ball bearing with seating washers
T_4	Nominal height (H) of spherical roller thrust bearing
Δ_{Ts}	1. Deviation of effective single width of taper roller bearing from the nominal 2. Deviation of height of single direction thrust bearing from the nominal (except spherical roller thrust bearing, see Δ_{T4s})
Δ_{T1s}	1. Deviation of effective single width of cone from the nominal 2. Deviation of height of single direction thrust ball bearing with seating washer from the nominal
Δ_{T2s}	1. Deviation of effective single width of cup from the nominal 2. Deviation of height of double direction thrust bearing from the nominal
Δ_{T3s}	Deviation of height of double direction thrust ball bearing with seating washers from the nominal
Δ_{T4s}	Deviation of height of spherical roller thrust bearing from the nominal
	دقت های حرکتی
K_{ia}, K_{ea}	Radial runout of inner ring and outer ring, respectively of assembled bearing
S_d	Side face runout with reference to bore (of inner ring)
S_D	Outside inclination variation; variation in inclination of outside cylindrical surface to outer ring side face
S_{ia}, S_{ea}	axial runout of inner ring and outer ring, respectively of assembled bearing
S_i, S_e	Thickness variation, measured from middle of raceway to back (seating) face of shaft washer and of housing washer, respectively (axial runout)

جدول ۲ سریهای قطر (بیرینگهای شعاعی)

نوع بیرینگ	سریهای قطر ISO		
	7, 8, 9	0, 1	2, 3, 4
Deep groove ball bearings[1]	617, 618, 619 627, 628 637, 638, 639	60 160, 161 630	2, 3 42, 43 62, 63, 64, 622, 623
Angular contact ball bearings			32, 33 72, 73 QJ 2, QJ 3
Self-aligning ball bearings[2]	139	10, 130	12, 13, 112 22, 23
Cylindrical roller bearings		NU 10, 20 NJ 10	NU 2, 3, 4, 12, 22, 23 NJ 2, 3, 4, 22, 23 NUP 2, 3, 22, 23 N 2, 3
Full complement cylindrical roller bearings	NCF 18, 19, 28, 29 NNC 48, 49 NNCF 48, 49 NNCL 48, 49	NCF 30 NNF 50 NNCF 50	NCF 22 NJG 23
Spherical roller bearings	238, 239 248, 249	230, 231 240, 241	222, 232 213, 223
CARB toroidal roller bearings	C 39, 49, 59, 69	C 30, 31 C 40, 41	C 22, 23 C 32

۱) بیرینگهای 604، 607، 608 و609 به سری قطر0 تعلق دارند.
بیرینگهای 623، 624، 625، 626، 627، 628 و629 به سری قطر2 تعلق دارند.
بیرینگهای 634، 635 و638 به سری قطر3 تعلق دارند.
۲) بیرینگ 108 به سری قطر 0 تعلق دارد.
بیرینگهای 126، 127 و129 به سری قطر2 تعلق دارند.
بیرینگ 135 به سری قطر3 تعلق دارد.

جدول ۳ تلرانسهای نرمال برای بیرینگهای شعاعی بجز رولر بیرینگهای مخروطی

رینگ داخلی

d		Δ_{dmp} [1]		V_{dp} سریهای قطر			V_{dmp}	Δ_{Bs}		Δ_{B1s}		V_{Bs}	K_{ia}
بیشتر از	تا و شامل	high	low	7, 8, 9 max	0, 1 max	2, 3, 4 max	max	high	low	high	low	max	max
mm		µm		µm			µm	µm		µm		µm	µm
–	2,5	0	–8	10	8	6	6	0	–40	–	–	12	10
2,5	10	0	–8	10	8	6	6	0	–120	0	–250	15	10
10	18	0	–8	10	8	6	6	0	–120	0	–250	20	10
18	30	0	–10	13	10	8	8	0	–120	0	–250	20	13
30	50	0	–12	15	12	9	9	0	–120	0	–250	20	15
50	80	0	–15	19	19	11	11	0	–150	0	–380	25	20
80	120	0	–20	25	25	15	15	0	–200	0	–380	25	25
120	180	0	–25	31	31	19	19	0	–250	0	–500	30	30
180	250	0	–30	38	38	23	23	0	–300	0	–500	30	40
250	315	0	–35	44	44	26	26	0	–350	0	–500	35	50
315	400	0	–40	50	50	30	30	0	–400	0	–630	40	60
400	500	0	–45	56	56	34	34	0	–450	0	–630	50	65
500	630	0	–50	63	63	38	38	0	–500	0	–800	60	70
630	800	0	–75	–	–	–	–	0	–750	–	–	70	80
800	1 000	0	–100	–	–	–	–	0	–1 000	–	–	80	90
1 000	1 250	0	–125	–	–	–	–	0	–1 250	–	–	100	100
1 250	1 600	0	–160	–	–	–	–	0	–1 600	–	–	120	120
1 600	2 000	0	–200	–	–	–	–	0	–2 000	–	–	140	140

۱) تلرانس های رینگ داخلی مخروطی در جداول ۱۱ و۱۲در صفحات ۱۲۱ و ۱۲۲ آورده شده اند.

رینگ خارجی

D		Δ_{Dmp}		V_{Dp} [1] سریهای قطر			بیرینگهای [2]	V_{Dmp} [1]	Δ_{Cs}, Δ_{C1s}, V_{Cs}	K_{ea}
بیشتر از	تا و شامل	high	low	7, 8, 9 max	0, 1 max	2, 3, 4 max	آب بند max	max		max
mm		µm		µm				µm		µm
2,5	18	0	–8	10	8	6	10	6		15
18	30	0	–9	12	9	7	12	7		15
30	50	0	–11	14	11	8	16	8	مقادیر برابر	20
50	80	0	–13	16	13	10	20	10	مقادیر رینگ	25
80	120	0	–15	19	19	11	26	11	داخلی بیرینگ	35
120	150	0	–18	23	23	14	30	14	مشابه می باشند	40
150	180	0	–25	31	31	19	38	19		45
180	250	0	–30	38	38	23	–	23		50
250	315	0	–35	44	44	26	–	26		60
315	400	0	–40	50	50	30	–	30		70
400	500	0	–45	56	56	34	–	34		80
500	630	0	–50	63	63	38	–	38		100
630	800	0	–75	94	94	55	–	55		120
800	1 000	0	–100	125	125	75	–	75		140
1 000	1 250	0	–125	–	–	–	–	–		160
1 250	1 600	0	–160	–	–	–	–	–		190
1 600	2 000	0	–200	–	–	–	–	–		220
2 000	2 500	0	–250	–	–	–	–	–		250

۱) قبل از نصب بیرینگ و بعد از برداشتن خار فنری داخلی یا خارجی (در صورت استفاده) صحیح می باشند.
۲) فقط برای بیرینگها در سریهای قطر2 ، 3 و 4 صحیح می باشند.

جدول ٤ تلرانسهای کلاس P6 برای بیرینگهای شعاعی بجز رولر بیرینگهای مخروطی

رینگ داخلی

d		Δ_{dmp} [1]		V_{dp} سریهای قطر			V_{dmp}	Δ_{Bs}		Δ_{B1s}		V_{Bs}	K_{ia}
بیشتر از	تا و شامل	high	low	7, 8, 9 max	0, 1 max	2, 3, 4 max	max	high	low	high	low	max	max
mm		µm		µm			µm	µm		µm		µm	µm
–	2,5	0	–7	9	7	5	5	0	–40	–	–	12	5
2,5	10	0	–7	9	7	5	5	0	–120	0	–250	15	6
10	18	0	–7	9	7	5	5	0	–120	0	–250	20	7
18	30	0	–8	10	8	6	6	0	–120	0	–250	20	8
30	50	0	–10	13	10	8	8	0	–120	0	–250	20	10
50	80	0	–12	15	15	9	9	0	–150	0	–380	25	10
80	120	0	–15	19	19	11	11	0	–200	0	–380	25	13
120	180	0	–18	23	23	14	14	0	–250	0	–500	30	18
180	250	0	–22	28	28	17	17	0	–300	0	–500	30	20
250	315	0	–25	31	31	19	19	0	–350	0	–500	35	25
315	400	0	–30	38	38	23	23	0	–400	0	–630	40	30
400	500	0	–35	44	44	26	26	0	–450	0	–630	45	35
500	630	0	–40	50	50	30	30	0	–500	0	–800	50	40
630	800	0	–50	–	–	–	–	0	–750	–	–	55	45
800	1 000	0	–60	–	–	–	–	0	–1 000	–	–	60	50
1 000	1 250	0	–75	–	–	–	–	0	–1 250	–	–	70	60
1 250	1 600	0	–90	–	–	–	–	0	–1 600	–	–	70	70
1 600	2 000	0	–115	–	–	–	–	0	–2 000	–	–	80	80

۱) تلرانس های رینگ داخلی مخروطی در جدول ۱۱ صفحه ۱۲۱ آورده شده اند.

رینگ خارجی

D		Δ_{Dmp}		V_D سریهای قطر			بیرینگهای آب بند [2]	V_{Dmp} [1]	$\Delta_{Cs}, \Delta_{C1s}, V_{Cs}$	K_{ea}
بیشتر از	تا وشامل	high	low	7, 8, 9 max	0, 1 max	2, 3, 4 max	max	max		max
mm		µm		µm				µm		µm
2,5	18	0	–7	9	7	5	9	5	مقادیر برابر	8
18	30	0	–8	10	8	6	10	6	مقادیر رینگ	9
30	50	0	–9	11	9	7	13	7	داخلی بیرینگ	10
50	80	0	–11	14	11	8	16	8	مشابه می باشند.	13
80	120	0	–13	16	16	10	20	10		18
120	150	0	–15	19	19	11	25	11		20
150	180	0	–18	23	23	14	30	14		23
180	250	0	–20	25	25	15	–	15		25
250	315	0	–25	31	31	19	–	19		30
315	400	0	–28	35	35	21	–	21		35
400	500	0	–33	41	41	25	–	25		40
500	630	0	–38	48	48	29	–	29		50
630	800	0	–45	56	56	34	–	34		60
800	1 000	0	–60	75	75	45	–	45		75
1 000	1 250	0	–75	–	–	–	–	–		85
1 250	1 600	0	–90	–	–	–	–	–		100
1 600	2 000	0	–115	–	–	–	–	–		100
2 000	2 500	0	–135	–	–	–	–	–		120

۱) قبل از نصب بیرینگ و بعد از برداشتن خار فنری داخلی یا خارجی (در صورت استفاده) صحیح می باشند.
۲) فقط برای بیرینگها در سری های قطر 4، 3، 2، 1 و 0 صحیح می باشند.

جدول ۵ تلرانسهای کلاس P5 برای بیرینگهای شعاعی بجز رولر بیرینگهای مخروطی

رینگ داخلی

d		Δ_{dmp}		V_{dp} سریهای قطر 7, 8, 9	V_{dp} سریهای قطر 0, 1, 2, 3, 4	V_{dmp}	Δ_{Bs}		Δ_{B1s}		V_{Bs}	K_{ia}	S_d	S_{ia} [1]
بیشتر از	تا و شامل	high	low	max	max	max	high	low	high	low	max	max	max	max
mm		μm		μm		μm	μm		μm		μm	μm	μm	μm
–	2,5	0	−5	5	4	3	0	−40	0	−250	5	4	7	7
2,5	10	0	−5	5	4	3	0	−40	0	−250	5	4	7	7
10	18	0	−5	5	4	3	0	−80	0	−250	5	4	7	7
18	30	0	−6	6	5	3	0	−120	0	−250	5	4	8	8
30	50	0	−8	8	6	4	0	−120	0	−250	5	5	8	8
50	80	0	−9	9	7	5	0	−150	0	−250	6	5	8	8
80	120	0	−10	10	8	5	0	−200	0	−380	7	6	9	9
120	180	0	−13	13	10	7	0	−250	0	−380	8	8	10	10
180	250	0	−15	15	12	8	0	−300	0	−500	10	10	11	13
250	315	0	−18	18	14	9	0	−350	0	−500	13	13	13	15
315	400	0	−23	23	18	1	0	−400	0	−630	15	15	15	20
400	500	0	−28	28	21	1	0	−450	0	−630	18	17	18	23
500	630	0	−35	35	26	1	0	−500	0	−800	20	19	20	25
630	800	0	−45	–	–	–	0	−750	–	–	26	22	26	30
800	1 000	0	−60	–	–	–	0	−1 000	–	–	32	26	32	30
1 000	1 250	0	−75	–	–	–	0	−1 250	–	–	38	30	38	30
1 250	1 600	0	−90	–	–	–	0	−1 600	–	–	45	35	45	30
1 600	2 000	0	−115	–	–	–	0	−2 000	–	–	55	40	55	30

۱) فقط برای بلبرینگهای شیار عمیق و تماس زاویه ای

رینگ خارجی

D		Δ_{Dmp}		V_{Dp} [1] سریهای قطر 7,8,9	V_{Dp} [1] سریهای قطر 0,1,2,3,4	V_{DMp}	Δ_{Cs}, Δ_{C1s}	V_{Cs}	K_{ea}	S_D	S_{ea} [2]
بیشتر از	تا و شامل	high	low	max	max	max		max	max	max	max
mm		μm		μm		μm		μm	μm	μm	μm
2,5	18	0	−5	5	4	3	مقادیر برابر	5	5	8	8
18	30	0	−6	6	5	3	مقادیر رینگ	5	6	8	8
30	50	0	−7	7	5	4	داخلی بیرینگ	5	7	8	8
50	80	0	−9	9	7	5	مشابه می باشند.	6	8	8	10
80	120	0	−10	10	8	5		8	10	9	11
120	150	0	−11	11	8	6		8	11	10	13
150	180	0	−13	13	10	7		8	13	10	14
180	250	0	−15	15	11	8		10	15	11	15
250	315	0	−18	18	14	9		11	18	13	18
315	400	0	−20	20	15	10		13	20	13	20
400	500	0	−23	23	17	12		15	23	15	23
500	630	0	−28	28	21	14		18	25	18	25
630	800	0	−35	35	26	18		20	30	20	30
800	1 000	0	−50	50	29	25		25	35	25	35
1 000	1 250	0	−63	–	–	–		30	40	30	45
1 250	1 600	0	−80	–	–	–		35	45	35	55
1 600	2 000	0	−100	–	–	–		38	55	40	55
2 000	2 500	0	−125	–	–	–		45	65	50	55

۱) برای بیرینگها با آب بند یا حفاظ فلزی کاربرد ندارد.
۲) فقط برای بلبیرینگهای شیار عمیق و تماس زاویه ای.

جدول ٦ تلرانسهای نرمال وکلاس CL7C برای رولر بیرینگهای مخروطی متریک

رینگ داخلی، پهنای بیرینگ و پهنای رینگ

d		Δ_{dmp}		V_{dp}	V_{dmp}	Δ_{Bs}		K_{ia} کلاس تلرانس		Δ_{Ts}		Δ_{T1s}		Δ_{T2s}	
بیشتر از	تا وشامل	high	low	max	max	high	low	Normal max	CL7C max	high	low	high	low	high	low
mm		µm		µm	µm	µm		µm		µm		µm		µm	
10	**18**	0	−12	12	9	0	−120	15	7	+200	0	+100	0	+100	0
18	**30**	0	−12	12	9	0	−120	18	8	+200	0	+100	0	+100	0
30	**50**	0	−12	12	9	0	−120	20	10	+200	0	+100	0	+100	0
50	**80**	0	−15	15	11	0	−150	25	10	+200	0	+100	0	+100	0
80	**120**	0	−20	20	15	0	−200	30	13	+200	−200	+100	−100	+100	−100
120	**180**	0	−25	25	19	0	−250	35	–	+350	−250	+150	−150	+200	−100
180	**250**	0	−30	30	23	0	−300	50	–	+350	−250	+150	−150	+200	−100
250	**315**	0	−35	35	26	0	−350	60	–	+350	−250	+150	−150	+200	−100
315	**400**	0	−40	40	30	0	−400	70	–	+400	−400	+200	−200	+200	−200

رینگ خارجی

D		Δ_{Dmp}		V_{Dp}	V_{Dmp}	Δ_{Cs}	K_{ea} کلاس تلرانس	
بیشتر از	تا و شامل	high	low	max	max		Normal max	CL7C max
mm		µm		µm	µm		µm	
18	**30**	0	−12	12	9	مقادیر برابر	18	9
30	**50**	0	−14	14	11	مقادیر رینگ	20	10
50	**80**	0	−16	16	12	داخلی بیرینگ	25	13
80	**120**	0	−18	18	14	مشابه می باشند.	35	18
120	**150**	0	−20	20	15		40	20
150	**180**	0	−25	25	19		45	23
180	**250**	0	−30	30	23		50	–
250	**315**	0	−35	35	26		60	–
315	**400**	0	−40	40	30		70	–
400	**500**	0	−45	45	34		80	–
500	**630**	0	−50	50	38		100	–
630	**800**	0	−75	75	55		120	–

جدول ۷ تلرانسهای کلاس CLN برای رولر بیرینگهای مخروطی متریک

رینگ داخلی، پهنای بیرینگ و پهنای رینگ

d		Δ_{dmp}		V_{dp}	V_{dmp}	Δ_{Bs}		Δ_{Cs}		K_{ia}	Δ_{Ts}		Δ_{T1s}		Δ_{T2s}	
بیشتر از	تا و شامل	high	low	max	max	high	low	high	low	max	high	low	high	low	high	low
mm		µm		µm	µm	µm		µm		µm	µm		µm		µm	
10	18	0	−12	12	9	0	−50	0	−100	15	+100	0	+50	0	+50	0
18	30	0	−12	12	9	0	−50	0	−100	18	+100	0	+50	0	+50	0
30	50	0	−12	12	9	0	−50	0	−100	20	+100	0	+50	0	+50	0
50	80	0	−15	15	11	0	−50	0	−100	25	+100	0	+50	0	+50	0
80	120	0	−20	20	15	0	−50	0	−100	30	+100	0	+50	0	+50	0
120	180	0	−25	25	19	0	−50	0	−100	35	+150	0	+50	0	+100	0
180	250	0	−30	30	23	0	−50	0	−100	50	+150	0	+50	0	+100	0
250	315	0	−35	35	26	0	−50	0	−100	60	+200	0	+100	0	+100	0
315	400	0	−40	40	30	0	−50	0	−100	70	+200	0	+100	0	+100	0

رینگ خارجی

D		Δ_{Dmp}		V_{Dp}	V_{Dmp}	K_{ea}
بیشتر از	تا و شامل	high	low	max	max	max
mm		µm		µm	µm	µm
18	30	0	−12	12	9	18
30	50	0	−14	14	11	20
50	80	0	−16	16	12	25
80	120	0	−18	18	14	35
120	150	0	−20	20	15	40
150	180	0	−25	25	19	45
180	250	0	−30	30	23	50
250	315	0	−35	35	26	60
315	400	0	−40	40	30	70
400	500	0	−45	45	34	80
500	630	0	−50	50	38	100

جدول ۸ تلرانسهای کلاس P5 برای رولر بیرینگهای مخروطی متریک

رینگ داخلی و پهنای بیرینگ

d		Δ_{dmp}		V_{dp}	V_{dmp}	Δ_{Bs}		K_{ia}	S_d	Δ_{Ts}	
بیشتر از	تا و شامل	high	low	max	max	high	low	max	max	high	low
mm		µm		µm	µm	µm		µm	µm	µm	
10	18	0	−7	5	5	0	−200	5	7	+200	−200
18	30	0	−8	6	5	0	−200	5	8	+200	−200
30	50	0	−10	8	5	0	−240	6	8	+200	−200
50	80	0	−12	9	6	0	−300	7	8	+200	−200
80	120	0	−15	11	8	0	−400	8	9	+200	−200
120	180	0	−18	14	9	0	−500	11	10	+350	−250
180	250	0	−22	17	11	0	−600	13	11	+350	−250
250	315	0	−25	19	13	0	−700	16	13	+350	−250
315	400	0	−30	23	15	0	−800	19	15	+400	−400

رینگ خارجی

D		Δ_{Dmp}		V_{Dp}	V_{Dmp}	Δ_{Cs}	K_{ea}	S_D
بیشتر از	تا و شامل	high	low	max	max		max	max
mm		µm		µm	µm		µm	µm
18	30	0	−8	6	5	مقادیر برابر	6	8
30	50	0	−9	7	5	مقادیر رینگ	7	8
50	80	0	−11	8	6	داخلی بیرینگ	8	8
80	120	0	−13	10	7	مشابه می باشند.	10	9
120	150	0	−15	11	8		11	10
150	180	0	−18	14	9		13	10
180	250	0	−20	15	10		15	11
250	315	0	−25	19	13		18	13
315	400	0	−28	22	14		20	13
400	500	0	−33	25	17		23	15
500	630	0	−38	29	19		25	18

جدول ۹ تلرانسهای رولر بیرینگهای مخروطی اینچی

رینگ داخلی

d		Δ_{ds}			
		کلاس تلرانس			
		Normal, CL2		CL3, CL0	
بیشتر از	تا و شامل	high	low	high	low
mm		µm			
–	76,2	+13	0	+13	0
76,2	101,6	+25	0	+13	0
101,6	266,7	+25	0	+13	0
266,7	304,8	+25	0	+13	0
304,8	609,6	+51	0	+25	0
609,6	914,4	+76	0	+38	0

رینگ خارجی

D		Δ_{Ds}				K_{ia}, K_{ea}, S_{ia}, S_{ea}			
		کلاس تلرانس				کلاس تلرانس			
		Normal, CL2		CL3, CL0		Normal	CL2	CL3	CL0
بیشتر از	تا و شامل	high	low	high	low	max	max	max	max
mm		µm				µm			
–	304,8	+25	0	+13	0	51	38	8	4
304,8	609,6	+51	0	+25	0	51	38	18	9
609,6	914,4	+76	0	+38	0	76	51	51	26
914,4	1 219,2	+102	0	+51	0	76	–	76	38
1 219,2	–	+127	0	+76	0	76	–	76	–

پهنای بیرینگ یک ردیفه

d		D		Δ_{Ts}					
				کلاس تلرانس					
				Normal		CL2		CL3, CL0	
بیشتر از	تا و شامل	بیشتر از	تا و شامل	high	low	high	low	high	low
mm		mm		µm					
–	101,6	–	–	+203	0	+203	0	+203	–203
101,6	266,7	–	–	+356	–254	+203	0	+203	–203
266,7	304,8	–	–	+356	–254	+203	0	+203	–203
304,8	609,6	–	508	+381	–381	+381	–381	+203	–203
304,8	609,6	508	–	+381	–381	+381	–381	+381	–381
609,6	–	–	–	+381	–381	–	–	+381	–381

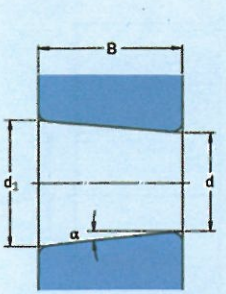
جدول ۱۰ تلرانسهای بیرینگهای کف گرد

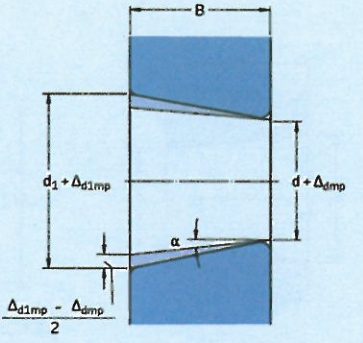
قطر نامی d, D		کلاس تلرانس Normal, P6, P5		واشر شفت				واشر نشیمنگاه			
		Δ_{dmp}		V_{dp}	کلاس تلرانس Normal S_i[1]	P6 S_i[1]	P5 S_i[1]	کلاس تلرانس Normal, P6, P5 Δ_{Dmp}		V_{Dp}	S_e
بیشتر از	تا و شامل	high	low	max	max	max	max	high	low	max	max
mm		µm		µm	µm	µm	µm	µm		µm	
–	18	0	–8	6	10	5	3	0	–11	8	مقادیر برابر
18	30	0	–10	8	10	5	3	0	–13	10	مقادیر واشر
30	50	0	–12	9	10	6	3	0	–16	12	شفت بیرینگ
50	80	0	–15	11	10	7	4	0	–19	14	مشابه می باشند.
80	120	0	–20	15	15	8	4	0	–22	17	
120	180	0	–25	19	15	9	5	0	–25	19	
180	250	0	–30	23	20	10	5	0	–30	23	
250	315	0	–35	26	25	13	7	0	–35	26	
315	400	0	–40	30	30	15	7	0	–40	30	
400	500	0	–45	34	30	18	9	0	–45	34	
500	630	0	–50	38	35	21	11	0	–50	38	
630	800	0	–75	–	40	25	13	0	–75	55	
800	1 000	0	–100	–	45	30	15	0	–100	75	
1 000	1 250	0	–125	–	50	35	18	0	–125	–	
1 250	1 600	0	–160	–	60	40	21	0	–160	–	
1 600	2 000	–	–	–	–	–	–	0	–200	–	
2 000	2 500	–	–	–	–	–	–	0	–250	–	

۱) برای رولر بیرینگهای کف گرد کروی کاربرد ندارند.

ارتفاع بیرینگ d		کلاس تلرانس نرمال، P6, P5 Δ_{Ts}		Δ_{T1s}		Δ_{T2s}		Δ_{T3s}		Δ_{T4s} ISO		SKF		SKF Explorer	
بیشتر از	تا و شامل	high	low	high	low	high	low	high	low	high	low	high	low	high	low
mm		µm		µm		µm		µm		µm					
–	30	+20	–250	+100	–250	+150	–400	+300	–400	–	–	–	–	–	–
30	50	+20	–250	+100	–250	+150	–400	+300	–400	–	–	–	–	–	–
50	80	+20	–300	+100	–300	+150	–500	+300	–500	+20	–300	0	–125	0	–100
80	120	+25	–300	+150	–300	+200	–500	+400	–500	+25	–300	0	–150	0	–100
120	180	+25	–400	+150	–400	+200	–600	+400	–600	+25	–400	0	–175	0	–125
180	250	+30	–400	+150	–400	+250	–600	+500	–600	+30	–400	0	–200	0	–125
250	315	+40	–400	–	–	–	–	–	–	+40	–400	0	–225	0	–150
315	400	+40	–500	–	–	–	–	–	–	+40	–500	0	–300	0	–200
400	500	+50	–500	–	–	–	–	–	–	+50	–500	0	–420	–	–
500	630	+60	–600	–	–	–	–	–	–	+60	–600	0	–500	–	–
630	800	+70	–750	–	–	–	–	–	–	+70	–750	0	–630	–	–
800	1 000	+80	–1 000	–	–	–	–	–	–	+80	–1 000	0	–800	–	–
1 000	1 250	–	–	–	–	–	–	–	–	+100	–1 400	0	–1 000	–	–
1 250	1 600	–	–	–	–	–	–	–	–	+120	–1 600	0	–1 200	–	–

جدول ۱۱ تلرانسهای نرمال، P6و P5برای رینگ داخلی مخروطی 1:12





d_1 قطر بزرگ تئوری

$$d_1 = d + \frac{1}{12} \times B$$

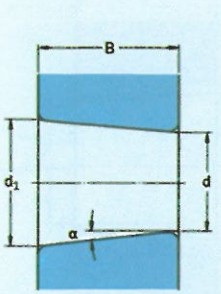
نصف زاویه مخروط 1:12

$$\alpha = 2° 23' 9{,}4''$$

قطر داخلی		کلاس تلرانس Normal, P6					کلاس تلرانس P5				
d		Δ_{dmp}		V_{dp}[1]	$\Delta_{d1mp} - \Delta_{dmp}$		Δ_{dmp}		V_{dp}[1]	$\Delta_{d1mp} - \Delta_{dmp}$	
بیشتر از	تا و شامل	high	low	max	high	low	high	low	max	high	low
mm		µm		µm	µm		µm		µm	µm	
18	30	+21	0	13	+21	0	+13	0	13	+13	0
30	50	+25	0	15	+25	0	+16	0	15	+16	0
50	80	+30	0	19	+30	0	+19	0	19	+19	0
80	120	+35	0	25	+35	0	+22	0	22	+22	0
120	180	+40	0	31	+40	0	+25	0	25	+25	0
180	250	+46	0	38	+46	0	+29	0	29	+29	0
250	315	+52	0	44	+52	0	+32	0	32	+32	0
315	400	+57	0	50	+57	0	+36	0	36	+36	0
400	500	+63	0	56	+63	0	+40	0	–	+40	0
500	630	+70	0	70	+70	0	+44	0	–	+44	0
630	800	+80	0	–	+80	0	+50	0	–	+50	0
800	1 000	+90	0	–	+90	0	+56	0	–	+56	0
1 000	1 250	+105	0	–	+105	0	+66	0	–	+66	0
1 250	1 600	+125	0	–	+125	0	+78	0	–	+78	0
1 600	2 000	+150	0	–	+150	0	+92	0	–	+92	0

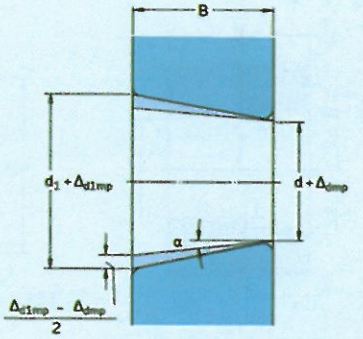
۱) برای هر صفحه شعاعی از قطر داخلی صادق است.

جدول ۱۲ تلرانسهای نرمال برای رینگ داخلی مخروطی 1:30



نصف زاویه مخروط 1:30

$\alpha = 0° 57' 17{,}4''$



d_1 قطر بزرگ تئوری

$d_1 = d + \frac{1}{30} \times B$

قطر داخلی d		تلرانس نرمال Δ_{dmp}		V_{dp} [1]	$\Delta_{d1mp} - \Delta_{dmp}$	
بیشتر از	تا و شامل	high	low	max	high	low
mm		μm		μm	μm	
–	80	+15	0	19	+30	0
80	120	+20	0	22	+35	0
120	180	+25	0	40	+40	0
180	250	+30	0	46	+46	0
250	315	+35	0	52	+52	0
315	400	+40	0	57	+57	0
400	500	+45	0	63	+63	0
500	630	+50	0	70	+70	0
630	800	+75	0	–	+100	0
800	1 000	+100	0	–	+100	0
1 000	1 250	+125	0	–	+115	0
1 250	1 600	+160	0	–	+125	0
1 600	2 000	+200	0	–	+150	0

۱) برای هر صفحه شعاعی از قطر داخلی صادق است.

جدول ۱۳حدود ابعاد پخ برای بیرینگهای شعاعی و کف گرد متریک بجز رولر بیرینگهای مخروطی

حداقل ابعاد یک پخ	قطر داخلی بیرینگ		حداکثر ابعاد پخ بیرینگهای شعاعی		بیرینگهای کف گرد
$r_{s\,min}$	d بیشتر از	تا و شامل	$r_{1,3}$ max	$r_{2,4}$ max	$r_{1,2,3,4}$ max
mm	mm		mm		
0,05	–	–	0,1	0,2	0,1
0,08	–	–	0,16	0,3	0,16
0,1	–	–	0,2	0,4	0,2
0,15	–	–	0,3	0,6	0,3
0,2	–	–	0,5	0,8	0,5
0,3	–	40	0,6	1	0,8
	40	–	0,8	1	0,8
0,6	–	40	1	2	1,5
	40	–	1,3	2	1,5
1	–	50	1,5	3	2,2
	50	–	1,9	3	2,2
1,1	–	120	2	3,5	2,7
	120	–	2,5	4	2,7
1,5	–	120	2,3	4	3,5
	120	–	3	5	3,5
2	–	80	3	4,5	4
	80	220	3,5	5	4
	220	–	3,8	6	4
2,1	–	280	4	6,5	4,5
	280	–	4,5	7	4,5
2,5	–	100	3,8	6	–
	100	280	4,5	6	–
	280	–	5	7	–
3	–	280	5	8	5,5
	280	–	5,5	8	5,5
4	–	–	6,5	9	6,5
5	–	–	8	10	8
6	–	–	10	13	10
7,5	–	–	12,5	17	12,5
9,5	–	–	15	19	15
12	–	–	18	24	18

جدول ۱۴حدود ابعاد پخ برای رولر بیرینگهای مخروطی متریک

حداقل ابعاد یک پخ	قطر داخلی/قطرخارجی بیرینگ		حداکثر ابعاد پخ	
$r_{s\,min}$	d, D بیشتر از	تا و شامل	$r_{1,3}$ max	$r_{2,4}$ max
mm	mm		mm	
0,3	–	40	0,7	1,4
	40	–	0,9	1,6
0,6	–	40	1,1	1,7
	40	–	1,3	2
1	–	50	1,6	2,5
	50	–	1,9	3
1,5	–	120	2,3	3
	120	250	2,8	3,5
	250	–	3,5	4
2	–	120	2,8	4
	120	250	3,5	4,5
	250	–	4	5
2,5	–	120	3,5	5
	120	250	4	5,5
	250	–	4,5	6
3	–	120	4	5,5
	120	250	4,5	6,5
	250	400	5	7
	400	–	5,5	7,5
4	–	120	5	7
	120	250	5,5	7,5
	250	400	6	8
	400	–	6,5	8,5
5	–	180	6,5	8
	180	–	7,5	9
6	–	180	7,5	10
	180	–	9	11

جدول ۱۵ حدود ابعاد پخ ها برای رولر بیرینگهای مخروطی اینچی

حداقل ابعاد یک پخ		قطر داخلی		حداکثر ابعاد پخ		قطر خارجی		حداکثر ابعاد پخ	
$r_{s\,min}$ بیشتر از	تا و شامل	d بیشتر از	تا و شامل	r_1 max	r_2 max	D بیشتر از	تا و شامل	r_3 max	r_4 max
mm		mm		mm		mm		mm	
0,6	1,4		101,6	$r_{1\,min}+0,5$	$r_{2\,min}+1,3$		168,3	$r_{3\,min}+0,6$	$r_{4\,min}+1,2$
		101,6	254	$r_{1\,min}+0,6$	$r_{2\,min}+1,8$	168,3	266,7	$r_{3\,min}+0,8$	$r_{4\,min}+1,4$
		254		$r_{1\,min}+0,9$	$r_{2\,min}+2$	266,7	355,6	$r_{3\,min}+1,7$	$r_{4\,min}+1,7$
						355,6		$r_{3\,min}+0,9$	$r_{4\,min}+2$
1,4	2,5		101,6	$r_{1\,min}+0,5$	$r_{2\,min}+1,3$		168,3	$r_{3\,min}+0,6$	$r_{4\,min}+1,2$
		101,6	254	$r_{1\,min}+0,6$	$r_{2\,min}+1,8$	168,3	266,7	$r_{3\,min}+0,8$	$r_{4\,min}+1,4$
		254		$r_{1\,min}+2$	$r_{2\,min}+3$	266,7	355,6	$r_{3\,min}+1,7$	$r_{4\,min}+1,7$
						355,6		$r_{3\,min}+2$	$r_{4\,min}+3$
2,5	4,0		101,6	$r_{1\,min}+0,5$	$r_{2\,min}+1,3$		168,3	$r_{3\,min}+0,6$	$r_{4\,min}+1,2$
		101,6	254	$r_{1\,min}+0,6$	$r_{2\,min}+1,8$	168,3	266,7	$r_{3\,min}+0,8$	$r_{4\,min}+1,4$
		254	400	$r_{1\,min}+2$	$r_{2\,min}+4$	266,7	355,6	$r_{3\,min}+1,7$	$r_{4\,min}+1,7$
		400		$r_{1\,min}+2,5$	$r_{2\,min}+4,5$	355,6	400	$r_{3\,min}+2$	$r_{4\,min}+4$
						400		$r_{3\,min}+2,5$	$r_{4\,min}+4,5$
4,0	5,0		101,6	$r_{1\,min}+0,5$	$r_{2\,min}+1,3$		168,3	$r_{3\,min}+0,6$	$r_{4\,min}+1,2$
		101,6	254	$r_{1\,min}+0,6$	$r_{2\,min}+1,8$	168,3	266,7	$r_{3\,min}+0,8$	$r_{4\,min}+1,4$
		254		$r_{1\,min}+2,5$	$r_{2\,min}+4$	266,7	355,6	$r_{3\,min}+1,7$	$r_{4\,min}+1,7$
						355,6		$r_{3\,min}+2,5$	$r_{4\,min}+4$
5,0	6,0		101,6	$r_{1\,min}+0,5$	$r_{2\,min}+1,3$		168,3	$r_{3\,min}+0,6$	$r_{4\,min}+1,2$
		101,6	254	$r_{1\,min}+0,6$	$r_{2\,min}+1,8$	168,3	266,7	$r_{3\,min}+0,8$	$r_{4\,min}+1,4$
		254		$r_{1\,min}+3$	$r_{2\,min}+5$	266,7	355,6	$r_{3\,min}+1,7$	$r_{4\,min}+1,7$
						355,6		$r_{3\,min}+3$	$r_{4\,min}+5$
6,0	7,5		101,6	$r_{1\,min}+0,5$	$r_{2\,min}+1,3$		168,3	$r_{3\,min}+0,6$	$r_{4\,min}+1,2$
		101,6	254	$r_{1\,min}+0,6$	$r_{2\,min}+1,8$	168,3	266,7	$r_{3\,min}+0,8$	$r_{4\,min}+1,4$
		254		$r_{1\,min}+4,5$	$r_{2\,min}+6,5$	266,7	355,6	$r_{3\,min}+1,7$	$r_{4\,min}+1,7$
						355,6		$r_{3\,min}+4,5$	$r_{4\,min}+6,5$
7,5	9,5		101,6	$r_{1\,min}+0,5$	$r_{2\,min}+1,3$		168,3	$r_{3\,min}+0,6$	$r_{4\,min}+1,2$
		101,6	254	$r_{1\,min}+0,6$	$r_{2\,min}+1,8$	168,3	266,7	$r_{3\,min}+0,8$	$r_{4\,min}+1,4$
		254		$r_{1\,min}+6,5$	$r_{2\,min}+9,5$	266,7	355,6	$r_{3\,min}+1,7$	$r_{4\,min}+1,7$
						355,6		$r_{3\,min}+6,5$	$r_{4\,min}+9,5$
9,5	12		101,6	$r_{1\,min}+0,5$	$r_{2\,min}+1,3$		168,3	$r_{3\,min}+0,6$	$r_{4\,min}+1,2$
		101,6	254	$r_{1\,min}+0,6$	$r_{2\,min}+1,8$	168,3	266,7	$r_{3\,min}+0,8$	$r_{4\,min}+1,4$
		254		$r_{1\,min}+8$	$r_{2\,min}+11$	266,7	355,6	$r_{3\,min}+1,7$	$r_{4\,min}+1,7$
						355,6		$r_{3\,min}+8$	$r_{4\,min}+11$

لقی داخلی بیرینگ‌ها

لقی داخلی بیرینگ (شکل ۵) بنا به تعریف کل فاصله‌ای است که یک رینگ نسبت به رینگ دیگر در جهت شعاعی (لقی شعاعی) یا در جهت محوری (لقی محوری) می‌تواند حرکت کند.

بین لقی داخلی یک بیرینگ قبل از نصب و لقی داخلی بیرینگ نصب‌شده که به دمای کارکرد می‌رسد (لقی کارکرد) تفاوت وجود دارد. لقی داخلی قبل از نصب بیشتر از لقی در حین کارکرد می‌باشد. زیرا درجه انطباقات تداخلی رینگ‌ها متفاوت است و انبساط حرارتی رینگ‌ها و دیگر اجزای نیز متفاوت می‌باشد. بنابراین رینگ‌ها منبسط یا فشرده‌شده و لقی تغییر می‌کند.

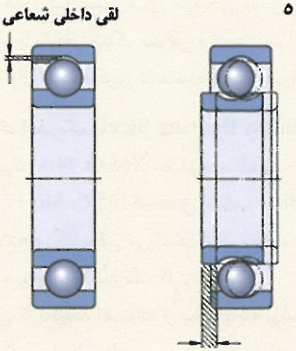
لقی شعاعی داخلی بیرینگ برای کارکرد رضایت‌بخش اهمیت زیادی دارد. به عنوان یک قانون عمومی، بلبیرینگ‌ها در حین کارکرد باید همیشه لقی داخلی صفر داشته باشند و یا کمی پیش بار شوند. از سوی دیگر رولربیرینگ‌های استوانه‌ای، کروی و توریدال CARB باید همیشه در حین کارکرد مقداری لقی باقیمانده، هر چند کم، داشته باشند. این موضوع برای رولربیرینگ‌های مخروطی نیز صحیح می‌باشد، بجز در چیدمان‌هایی که سفتی با اهمیت است، نظیر بیرینگ‌ها در چیدمان‌های پنیون، در این حالت بیرینگ باید با مقدار معینی پیش بار نصب شود (بخش « پیش بار بیرینگ‌ها »، در صفحه ۱۹۴ را ببینید).

لقی داخلی نرمال به لقی گفته می‌شود که بعد از نصب بیرینگ با تداخل توصیه‌شده و شرایط کارکرد طبیعی، لقی کارکرد مناسب را به دست می‌دهد. وقتی شرایط نصب و کارکرد با شرایط طبیعی متفاوت می‌باشد، نظیر انطباق تداخلی هر دو رینگ، افزایش دمای غیرمعمول و غیره، بیرینگ با لقی کم‌تر یا بیشتر از نرمال مورد نیاز است. در این شرایط توصیه می‌شود که لقی باقیمانده در بیرینگ را بعد از نصب بررسی کنید.

بیرینگ‌ها با لقی غیر نرمال با پسوندهای C1 تا C5 در شماره فنی خود مشخص می‌شوند (جدول۱۶).

جداول لقی انواع بیرینگ‌ها در بخش مربوط به هر بیرینگ آورده شده است. برای بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه جفتی، رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه جفتی، بلبیرینگ‌های دو ردیفه تماس زاویه‌ای و بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس مقادیر لقی محوری، که در مورد این بیرینگ‌ها اهمیت بیشتری دارد، بجای لقی شعاعی در جداول آورده شده است.

شکل ۵



جدول ۱۶پسوند های مورد استفاده برای تعیین لقی داخلی بیرینگها

پسوند	لقی داخلی
C1	کمتر از C2
C2	کمتر از نرمال
CN	لقی نرمال، فقط بهمراه یک حرف دیگربرای مشخص کردن محدوده کاهش یافته یا جابجا شده لقی بکار می رود.
C3	بیشتر از نرمال
C4	بیشتر ازC3
C5	بیشتر ازC4

جنس بیرینگ‌ها

جنس موادی که در ساخت اجزای بیرینگ‌ها بکار می‌رود در کارکرد و قابلیت اطمینان بیرینگ‌های غلتشی اهمیت زیادی دارد. برای رینگ‌های بیرینگ و اجزای غلتنده، ملاحظات خاص شامل سختی برای ظرفیت حمل بار، مقاومت به خستگی تحت شرایط تماس غلتشی و شرایط روانکار تمیز یا آلوده و پایداری ابعادی (Dimensional Stability) می‌باشند. برای قفسه این ملاحظات شامل اصطکاک، کرنش (Strain)، نیروهای اینرسی و در بعضی موارد واکنش شیمیایی روانکارهای خاص، حلال‌ها (Solvents)، خنک‌کننده‌ها (Coolants) و مبردها (Refrigerants) می‌باشند. اهمیت نسبی ملاحظات فوق می‌تواند تحت تأثیر پارامترهای عملکردی دیگر مانند خوردگی، دمای بالا، بارهای شوک و یا ترکیبی از این شرایط و دیگر شرایط قرار گیرد.

آب‌بندهای تماسی در بیرینگ‌های غلتشی اثر قابل ملاحظه‌ای بر کارکرد و قابلیت اطمینان بیرینگ دارند. لذا مواد سازنده آنها باید مقاومت عالی در مقابل اکسیداسیون، حرارت و واکنش شیمیایی داشته باشند.

برای نیازهای مختلف در کاربردهای متفاوت، از مواد مختلفی در ساخت رینگ‌ها، اجزای غلتنده، قفسه و آب‌بندها استفاده می‌شود. به علاوه در شرایطی که روانکاری کافی امکان‌پذیر نیست و یا از عبور جریان الکتریکی از بیرینگ نمی‌توان جلوگیری کرد، بیرینگ‌های با پوشش‌های خاص تولید می‌شوند.

جنس رینگ‌ها و اجزای غلتنده

فولاد بیرینگ سخت شونده عمقی

معمول‌ترین فولاد بیرینگ، فولاد سخت شونده عمقی، فولاد کربن ـ کرم می‌باشد که تقریباً 1٪ کربن و 1.5٪ کرم داشته و مطابق استاندارد ISO 683-17:1999 تولید می‌شود. امروزه فولاد کربن ـ کرم یکی از فولادهای قدیمی می‌باشد که تحقیقات وسیعی بر روی آن انجام شده است، زیرا تقاضا برای افزایش عمر سرویس بیرینگ‌ها به طور پیوسته افزایش می‌یابد. ترکیب این فولاد یک تعادل بهینه بین ساخت و خواص کارکردی آن ایجاد می‌کند. این فولاد به طور طبیعی عملیات حرارتی مارتنزیتی (Martensitic) یا بینیتی (Bainitic) شده که طی آن در محدوده 58 تا 65 HRC سخت می‌شود.

پیشرفت‌های چند سال اخیر اهمیت تمیزی فولاد را که بر کیفیت و یکنواختی فولاد مؤثر می‌باشد، را نشان داده است. کاهش اکسیژن و ناخالصی‌های غیرفلزی موجب بهبود قابل ملاحظه خواص فولاد بیرینگ‌ها شده است. فولادهای فوق در ساخت بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر بکار می‌روند.

فولاد بیرینگ سخت شونده سطحی به روش القایی

سخت کردن سطحی به روش القایی این امکان را به دست می‌دهد که سطوح غلتش را سخت کرده ولی بقیه قسمت‌ها تحت تأثیر فرآیند سخت کردن قرار نگیرند. گرید فولاد و فرآیند ساخت قبل از سخت کردن سطحی مشخص‌کننده خواص مناطقی می‌باشد که تحت تأثیر قرار نگرفته‌اند، به عبارت دیگر ترکیبی از خواص در یک جزء به دست می‌آید.

برای مثال در بیرینگ توپی فلنجی چرخ (HBU)، فلنج سخت‌نشده در مقابل خستگی سازه‌ای (Structural Fatigue) مقاوم است و سطوح غلتش سخت‌شده در برابر خستگی ناشی از تماس غلتشی (Rolling Contact Fatigue) مقاوم می‌باشند.

فولاد بیرینگ سخت شونده سطحی (Case-Hardening)

فولادهای آلیاژی کرم ـ نیکل و کرم ـ منگنز مطابق با ISO 683-17:1999 با 0.15٪ کربن از فولادهای سخت شونده سطحی می‌باشد که در ساخت بیرینگ‌های غلتشی بیشترین کاربرد را دارند.

در کاربردهایی که تنش‌های سطحی ناشی از انطباق تداخلی زیاد و یا بارهای شوک سنگین وجود دارد، استفاده از رینگ‌ها یا اجزای غلتنده کربن داده شده، توصیه می‌شود.

فولاد بیرینگ ضدزنگ (Stainless Bearing Steel)

فولادهای پرکرم X65 Cr 14 مطابق استاندارد ISO 683-17:1999 و X105 Cr Mo 17 مطابق استاندارد EN 10088-1:1995 فولادهای ضدزنگی می‌باشند که در ساخت رینگ‌ها و اجزای غلتنده بیرینگ‌ها ضدزنگ کاربرد دارند.

در بعضی کاربردها، استفاده از یک لایه پوشش ضد خوردگی جایگزین بسیار مناسبی برای فولادهای ضدزنگ است.

فولاد بیرینگ برای دمای بالا

بیرینگ‌های استاندارد ساخته‌شده از فولاد سخت شونده عمقی و فولادهای سخت‌شونده سطحی، وابسته به نوع بیرینگ، دارای حداکثر دمای کارکرد توصیه‌شده بین 120 °C+ تا 200 °C+ می‌باشند. حداکثر دمای کارکرد مستقیماً به عملیات حرارتی که در ساخت اجزای بکار رفته است، بستگی دارد.

برای دمای کارکرد تا 250 °C+، عملیات حرارتی خاص (پایدارسازی) را می‌توان بکار برد. در این حالت کاهش ظرفیت حمل بار بیرینگ باید در محاسبات در نظر گرفته شود.

برای کارکرد طولانی مدت در دماهای بالاتر از 250 °C+ باید از فولادهای پر آلیاژ نظیر 80MoCrV42-16 که مطابق ISO 683-17:1999 تولید می‌شود، استفاده کرد زیرا در این فولادها سختی و مشخصه‌های عملکردی بیرینگ حتی در دماهای بالا نیز حفظ می‌شوند.

سرامیک‌ها

سرامیک بکار رفته در ساخت رینگ‌ها و اجزای غلتنده بیرینگ‌ها عموماً از جنس سیلیکون نیترید (Silicon Nitride) می‌باشد. این سرامیک شامل ذرات بزرگ بتا نیترید ـ سیلیکون (Beta-silicon) در فاز ماتریسی شیشه است و ترکیبی از خواص دلخواه بیرینگ‌های غلتشی نظیر سختی بالا، چگالی کم، ضریب انبساط حرارتی پایین، مقاومت در برابر عبور جریان الکتریکی، ضریب دی الکتریک پایین و عدم جذب در میدان‌های مغناطیسی را دارا می‌باشد (جدول ۱۷).

جدول ۱۷ مقایسه خواص فولاد بیرینگها با سیلیکون نیترید

خواص ماده	سیلیکون نیترید گرید بیرینگ	فولاد بیرینگ
خواص مکانیکی		
چگالی (g/cm^3)	3,2	7,9
سختی	1 600 HV10	700 HV10
مدول الاستیسیته (kN/mm^2)	310	210
ضریب انبساط حرارتی ($10^{-6}/K$)	3	12
خواص الکتریکی(در 1 MHz)		
مقاومت الکتریکی	10^{12} (عایق)	$0,4 \times 10^{-6}$ (هادی)
مقاومت دی الکتریک (Ωm)	15	–
ثابت نسبی دی الکتریکی (kV/mm)	8	–

جنس قفسه‌ها

قفسه از ورق فولادی (Sheet Steel)

اکثر قفسه‌های ساخته‌شده از ورق فولادی پرسکاری‌شده از جنس ورق فولادی کم کربن، نورد گرم شده می‌باشند که مطابق استاندارد EN 10111:1998 تولید می‌شود. این قفسه‌ها وزن کمی داشته و مقاومت نسبتاً بالایی دارند. همچنین با علمیات سطحی (Surfaee Treated) می‌توان اصطکاک و سایش را در آنها را کاهش داد.

قفسه‌های پرسکاری‌شده که در بیرینگ‌های ضدزنگ استفاده می‌شوند از جنس فولاد ضدزنگ X5CrNi 18-10مطابق استاندارد EN 10088-1:1995 می‌باشند.

قفسه‌های فولادی ماشینکاری‌شده (Machined Steel)

قفسه‌های فولادی ماشینکاری‌شده از جنس فولاد ساختمانی بدون آلیاژ نوع S355GT (St 52) مطابق استاندارد EN 10 025:1990 + A:1993 ساخته می‌شوند. به منظور افزایش مقاومت سایشی و لغزشی، بعضی از قفسه‌های فولادی ماشینکاری‌شده عملیات سطحی می‌شوند.

قفسه‌های فولادی ماشینکاری‌شده در بیرینگ‌های بزرگ و یا در کاربردهای که در آنها خطر ایجاد ترک (Season Cracking) ناشی از واکنش شیمیایی در صورت استفاده از قفسه برنجی وجود دارد، استفاده می‌شوند. قفسه‌های فولادی را می‌توان تا دمای کارکرد 300+ °C استفاده کرد. این قفسه به روغن‌های معدنی و مصنوعی‌که در روانکاری بیرینگ‌ها بکار می‌روند و یا حلال‌های اورگانیک (Orgainc solvents) که برای تمیز کردن بیرینگ‌ها بکار می‌روند، حساس نمی‌باشند.

قفسه از ورق برنجی (Sheet Brass)

قفسه برنجی از ورق پرسکاری‌شده در بعضی بیرینگ‌های کوچک و متوسط بکار می‌رود. برنج استفاده‌شده برای این قفسه مطابق استاندارد EN 1652:1997 است. در کاربردهایی نظیر کمپرسورها در سیستم‌های تبرید که از آمونیم استفاده می‌شود احتمال ترک برداشتن قفسه‌ها از جنس ورق برنجی وجود دارد، لذا باید از قفسه برنجی ماشینکاری‌شده یا قفسه‌های فولادی استفاده کرد.

قفسه برنجی ماشینکاری‌شده

بیشتر قفسه‌های برنجی از برنج ریخته‌شده CW612N یا برنج کارشده (Wrought Brass) مطابق استاندارد EN 1652:1997، ماشینکاری می‌شوند. اکثر روانکارهای بیرینگ نظیر روغن‌های مصنوعی و گریس‌ها تأثیری بر این قفسه‌ها نداشته و می‌توان آنها را با حلال‌های اوگانیک معمولی نیز تمیز کرد. قفسه‌های برنجی نباید در دمای بالاتر از 250+ °C استفاده شوند.

قفسه‌های پلیمری

پلی آمید 6.6

جنس اکثر قفسه‌های تولیدشده به روش تزریق پلاستیک (Injection Moulded) پلی آمید 6.6 می‌باشد. این ماده با یا بدون الیاف شیشه تقویت‌کننده، ترکیب خوبی از خواص مقاومت و الاستیسیته را به دست می‌دهد. خواص مکانیکی مواد پلیمری نظیر مقاومت و الاستیسیته به دما بستگی داشته و در شرایط کارکرد به طور پیوسته تغییر می‌کند (که به آن پیر شدن (Ageing) می‌گویند). مهم‌ترین عوامل در پیر شدن پلیمرها دما، زمان و محیط (روانکار) می‌باشند. رابطه بین این عوامل در نمودار ۱ برای پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه نشان داده شده است. واضح است که عمر قفسه با افزایش دما و میزان مهاجم بودن روانکار کاهش می‌یابد.

بنابراین مناسب بودن قفسه‌های پلی آمید در یک کاربرد بستگی به شرایط کارکرد و عمر مورد نیاز دارد. در جدول ۱۸، طبقه‌بندی روانکارها به دو گروه مهاجم و ملایم بر اساس دمای کارکرد مجاز برای پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه آورده شده است. دمای کارکرد مجاز در جدول فوق، دمایی است که حداقل عمر پیر شدن 10000 ساعت کارکرد را برای قفسه به دست می‌دهد.

بعضی محیطها حتی از موارد جدول ۱۸ نیز مهاجم‌تر می‌باشند. مانند آمونیم که به عنوان مبرد در کمپرسورها بکار می‌رود. در این موارد قفسه‌های پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه نباید در دمای کارکرد بالاتر از 70+ °C استفاده شوند.

برای دماهای پایین نیز حدی وجود دارد که در آن پلی آمید خواص الاستیسیته خود را از دست داده و شکسته می‌شود.

به دلیل فوق قفسه‌های ساخته‌شده از پلی آمید و تقویت‌شده با الیاف شیشه نباید به طور پیوسته در دمای کم‌تر از ۴۰- °C قرار گیرند.

در جایی که نیاز به چقرمگی (Toughness) بالا می‌باشد، نظیر جعبه محور وسایل نقلیه ریلی، از پلی آمید 6.6 اصلاح‌شده و فوق چقر (Super-tough) استفاده می‌شود.

پلی آمید 4.6

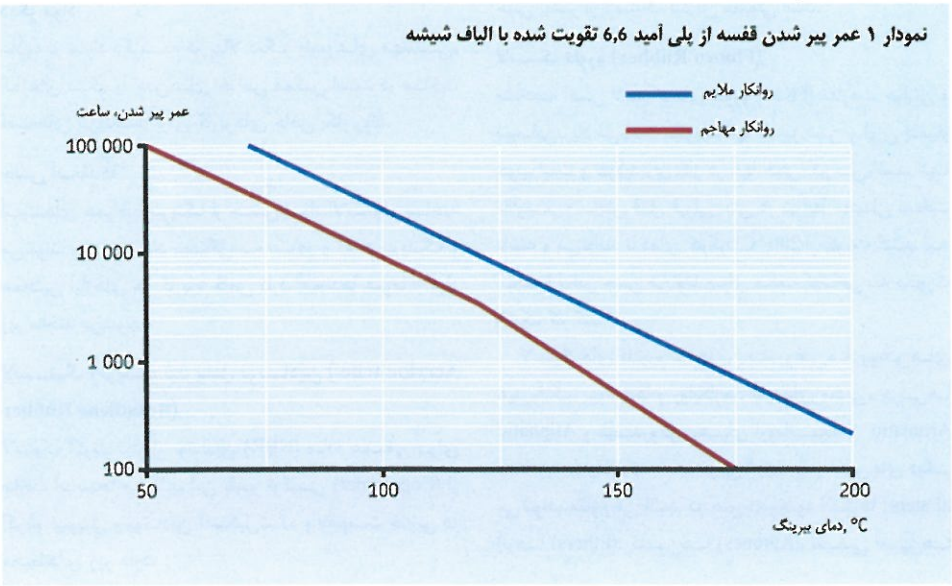
پلی آمید 4.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه برای بعضی از اندازه‌ها کوچک و متوسط رولربیرینگ توریدال CARB به عنوان قفسه استاندارد به کار می‌رود. دمای مجاز کارکرد این قفسه‌ها ۱۵ °C بالاتر از قفسه‌های پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه است.

جدول ۱۸ دمای مجاز کارکرد برای قفسه از پلی آمید 6.6 تقویت شده با الیاف شیشه در مجاورت روانکارهای مختلف

روانکار	دمای مجاز کارکرد[1]
روغنهای معدنی	
روغنها با افزودنیها EP نظیر روغنهای هیدرولیک و ماشین	120 °C
روغنها با افزودنیهای EP نظیر روغنهای گیربکس های صنعتی و اتومبیل	110 °C
روغنها با افزودنیهای EP نظیر روغنهای چرخدنده محور عقب و دیفرانسیل اتومبیل روغنهای چرخدنده هیپوید	100 °C
روغنهای مصنوعی	
پلی گلیکول، پلی آلفا الفین	120 °C
دی استر، سیلیکون	110 °C
استرفسفاته	80 °C
گریسها	
گریس لیتیمی	120 °C
گریس پلی اوره و بنتونیت	120 °C
گریس ترکیبی کلسیم	120 °C
برای گریسهای سدیم، کلسیم و دیگر انواع گریس با حداکثر دمای کارکرد کمتر از 120 °C حداکثر دمای کارکرد قفسه پلی آمید مشابه حداکثر دمای کارکرد گریس است.	

۱) اندازه گیری شده بر روی سطح خارجی رینگ خارجی

نمودار ۱ عمر پیر شدن قفسه از پلی آمید 6,6 تقویت شده با الیاف شیشه



پلی اتر اترکتون PEEK (Polyetheretherketone)

قفسه‌های PEEK تقویت‌شده با الیاف شیشه در شرایطی نظیر سرعت بالا، وجود مواد شیمیایی واکنش‌دهنده (مهاجم) و دمای بالا کاربرد دارند. خواص منحصر به فرد PEEK شامل، ترکیب عالی از مقاومت و انعطاف‌پذیری، محدوده دمای کارکرد بالا، مقاومت زیاد به سایش و مواد شیمیایی و قابلیت فرآیندپذیری (Processability) خوب می‌باشند. به علت این خواص عالی قفسه‌های PEEK به عنوان استاندارد در بعضی بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌های استوانه‌ای نظیر بیرینگ‌های مختلط و یا بیرینگ‌های دقیق بکار می‌روند. این ماده تا دمای 200 °C در حضور مواد افزودنی روغن علائم پیری را نشان نمی‌دهد، ولی حداکثر دمای مجاز در کاربردها با سرعت بالا به 150 °C محدود می‌باشد که دمای نرم شدن پلیمرها است.

قفسه‌ها از جنس رزین فنولی (Phenolic Resin)

قفسه‌ها از جنس رزین فنولی تقویت‌شده با الیاف به علت سبکی نیروهای گریز از مرکز و نیروهای ناشی از شتاب را بخوبی تحمل کرده ولی تحمل دمای کارکرد بالا را ندارند. در بیشتر موارد این قفسه‌ها به عنوان قفسه‌های استاندارد برای بلبیرینگ‌های تماس زاویه دقیق بکار می‌روند.

دیگر مواد

علاوه بر مواد ذکرشده در بالا دیگر پلیمرهای مهندسی، آلیاژهای سبک یا چدن‌های خاص ممکن است در ساخت قفسه‌های بیرینگ‌ها برای کاربردهای خاص بکار روند.

جنس آب‌بندها

آب‌بندهای همراه با بیرینگ از جنس مواد الاستومر ساخته می‌شوند. جنس مواد بستگی به سری و ابعاد بیرینگ و همچنین نیازهای هر کاربرد خاص دارد. آب‌بندها عموماً از مواد زیر ساخته می‌شوند.

لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین (Acrylonitrile-Butadiene Rubber)

لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین (NBR) ماده عمومی برای ساخت آب‌بندها می‌باشد. این پلیمر ترکیبی (Copolymer) از اکریلو نیتریل و بوتادین تشکیل‌شده و مقاومت خوبی در محیط‌های زیر دارد.

- بیشتر روغن‌های معدنی یا گریس‌ها با روغن پایه معدنی
- سوخت‌های نرمال نظیر، بنزین، گازوئیل و Light Heating Oil
- روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی و
- آب گرم

همچنین این ماده تحمل حرکت خشک (Dry Running) لبه‌های آب‌بند را برای مدت کوتاهی دارد. محدوده دمای مجاز کارکرد این ماده از 40- °C تا 100+ °C می‌باشد ولی برای مدت کوتاه می‌تواند دمای تا 120°C+ را نیز تحمل کند. در دماهای بالا این ماده سخت می‌شود.

لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین هیدروژنه (Hydrogenated Acrylointrile-Butadiene)

لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین هیدروژنه (HNBR) مقاومت به سایش بسیار خوبی نسبت به لاستیک نیتریل (Nitrile Rubber) دارد. به همین علت آب‌بندهای ساخته شده از این ماده عمر سرویس بیشتری دارند. همچنین این لاستیک مقاومت بیشتری به حرارت، پیر شدن و سخت شدن در روغن داغ یا اوزن (Ozone) دارد.

مخلوط روغن در هوا می‌تواند اثر منفی بر عمر آب‌بند داشته باشد. حد دمای کارکرد این نوع آب‌بند 150 °C+ می‌باشد که خیلی بیشتر از لاستیک نیتریل معمولی است.

لاستیک فلورو (Fluoro Rubber)

مشخصه اصلی لاستیک‌های فلورو (FKM) مقاومت حرارتی و شیمیایی زیاد می‌باشد. مقاومت آنها به پیر شدن و اوزن بسیار خوب است و نفوذپذیری گاز در آنها خیلی کم می‌باشد. آنها مقاومت به سایش قابل قبولی حتی در شرایط محیطی سخت داشته و می‌توانند تا دمای کارکرد 200 °C+ مقاومت کنند. لبه آب‌بندها از این جنس می‌تواند برای مدت کوتاهی به صورت خشک کار کند.

لاستیک‌های فلورو همچنین به روغن‌ها، روغن‌های هیدرولیک، سوخت‌ها و روانکارها، اسیدهای معدنی، چربی‌ها Aliphatic و هیدروکربن‌های آروماتیک (Aromatic Hydrocarbon)، که باعث خرابی آب‌بندها از جنس‌های دیگر می‌شوند، مقاوم می‌باشند. در صورت وجود استرها (Esters)، اترها (Ethers)، کتون‌ها (Ketones)، بعضی آمین‌ها

(Amines) و انیدریـــــد هیدروفلوریـــــد (Anhydrous Hydrofluorides) گرم نباید از لاستیک فلورو استفاده کرد.

در دمای بالاتر از ۳۰۰ °C، لاستیک‌های فلورو تولید یک بخار خطرناک می‌کند. بنابراین کار با لاستیک‌های فلورو نیاز به رعایت موارد ایمنی دارد که در مقابل است.

پلی یورتان (Polyurethane)

پلی یورتان (AU) یک ماده اورگانیک مقاوم به سایش است که خواص الاستیک خوبی دارد. استفاده از این ماده در محدوده دمای کارکرد ۲۰- °C تا ۸۰+ °C مناسب است. این ماده مقاومت خوبی در برابر گریس‌ها با روغن پایه معدنی، روغن‌های معدنی بدون یا با مقدار کمی مواد افزودنی EP، آب و مخلوط آب و روغن دارد. پلی یورتان در مقابل اسیدها، آلکالیک‌ها (بازها) یا حلال‌های قطبی (Polar Solvent) مقاوم نمی‌باشند.

پوشش‌ها

پوشش دادن یک روش مناسب برای بهینه کردن مواد و افزایش قابلیت اطمینان بیرینگ برای کاربردهای خاص می‌باشند. دو روش پوشش دادن تاکنون بکار برده شده که مزایای آنها در عمل نیز ثابت شده است.

در پوشش سطحی با نشان تجاری NoWear، یک لایه سرامیک با اصطکاک کم به روی سطوح داخلی بیرینگ قرار داده می‌شود، به طوری که در شرایط روانکاری حدی (Marginal Lubrication) برای مدت طولانی مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد. اطلاعات بیشتر در بخش « بیرینگ‌های بدون سایشNoWear » در صفحه ۵۰۱ آورده شده است.

پوشش INSOCOAT®، که بر روی سطح خارجی رینگ خارجی یا سطح داخلی رینگ داخلی قرار می‌گیرد، در برابر عبور جریان الکتریکی از بیرینگ مقاوم می‌باشد. اطلاعات بیشتر در بخش « بیرینگ‌های عایق الکتریکی INSOCOAT » در صفحه ۴۸۵ آورده شده است.

دیگر پوشش‌ها نظیر پوشش روی ــ کرم (Zinc Chromate) می‌توانند به عنوان جایگزین بیرینگ‌های ضدزنگ در محیط‌های خورنده بخصوص برای بیرینگ‌های آماده نصب بکار روند.

خطر!

موارد ایمنی در رابطه با لاستیک‌های فلورو

لاستیک‌های فلورو در دمای طبیعی تا ۲۰۰ °C پایدار و بدون خطر می‌باشند. ولی در دمای بالاتر از ۳۰۰ °C (در برابر آتش، شعله و یا مشعل برش)، لاستیک‌های فلورو تولید یک بخار خطرناک می‌کنند. تنفس این گازهای و تماس آن با چشم‌ها خطرناک می‌باشد. همچنین وقتی آب‌بند به این دمای بالا می‌رسد حتی بعد از خنک شدن نیز خطرناک بوده و نباید با پوست تماس پیدا کند. لذا هنگام کار با بیرینگ‌های آب‌بند شده با این نوع ماده که در این دمای بالا قرار گرفته‌اند، برای مثال در هنگام در آوردن بیرینگ‌ها لازم است موارد ایمنی زیر رعایت شوند.

- همیشه از لوازم ایمنی نظیر عینک ایمنی، دستکش و دستگاهای تنفسی خاص، استفاده کنید.
- باقیمانده آب‌بند را در یک پلاستیک هوابندشده (Airtight) قرار داده و بر روی آن بنویسید « ماده اچ کننده » (Material Will Etch).
- نکات ایمنی مطابق با فرم‌ها اطلاعاتی (MSDS) برای مواد گوناگون را رعایت کنید.

در صورت تماس ناخواسته با این ماده دست‌ها را با صابون و آب زیاد شسته و چشم‌ها را نیز با آب زیاد بشوید و سریعاً به دکتر مراجعه کنید.

استفاده‌کننده مسئول استفاده صحیح از محصولات در طول مدت سرویس و همچنین نابودسازی آن پس از استفاده می‌باشد.

قفسه‌ها

قفسه‌ها تأثیر بسزایی در مناسب بودن بیرینگ‌ها برای یک کاربرد دارند. دلایل استفاده از قفسه‌ها عبارتند از،

- ایجاد فاصله مناسب بین اجزای غلتنده و جلوگیری از تماس مستقیم آنها به منظور کاهش اصطکاک و در نتیجه کاهش گرمای تولیدشده در بیرینگ
- ایجاد فاصله مساوی بین اجزای غلتنده و توزیع یکنواخت آنها در محیط رینگ‌ها به منظور ایجاد توزیع بار یکنواخت و در نتیجه حرکت آرام و بدون سر و صدا
- راهنمایی اجزای غلتنده در ناحیه بدون بار به منظور بهینه‌سازی شرایط در بیرینگ و جلوگیری از خرابی ناشی از حرکت لغزشی
- نگهداری اجزای غلتنده در بیرینگ‌ها با طرح قابل تفکیک که در آنها یک رینگ بیرینگ در هنگام نصب یا در آوردن جدا می‌شود

قفسه‌ها تحت تنش‌های مکانیکی ناشی از اصطکاک، کرنش و نیروهای اینرسی می‌باشند. همچنین ممکن است تحت واکنش شیمیایی ناشی از بعضی روانکارها، افزودنی‌های روانکارها، حلال‌های اورگانیک و یا خنک‌کننده‌ها قرار گرفته و بعضی از آنها در شرایط پیر شدن قرار می‌گیرند. بنابراین طراحی و جنس تأثیر مهمی در کارکرد آنها و در قابلیت اطمینان بیرینگ دارد. به همین علت انواع مختلف قفسه‌ها با جنس‌های مختلف برای بیرینگ‌های گوناگون تولید می‌شوند.

در بخش مربوط به هر بیرینگ خاص اطلاعات مربوط به قفسه استاندارد هر بیرینگ و قفسه‌های جایگزین آنها آورده شده‌اند.

به طور کلی قفسه‌های بیرینگ‌های به سه گروه پرسکاری‌شده، یکپارچه (Solid) و پین‌شده (Pin-Type) تقسیم می‌شوند.

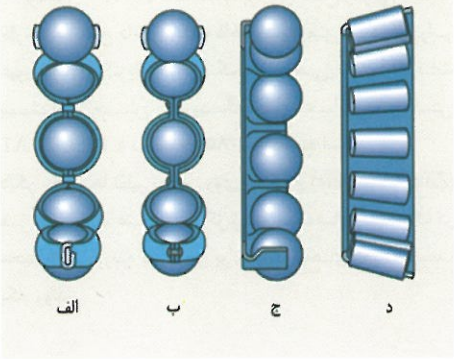
قفسه‌های پرسکاری‌شده

قفسه‌های پرسکاری‌شده از جنس ورق فولادی و در موارد خاص از ورق برنجی ساخته می‌شوند (شکل ۶). وابسته به نوع بیرینگ قفسه‌های پرسی در طرح‌های زیر تولید می‌شوند.

- قفسه‌های فولادی یا برنجی نوع نواری (Ribbon) (الف)
- قفسه‌های فولادی پرچ‌شده (Riveted) (ب)
- قفسه‌های فولادی یا برنجی نوع Snap (ج)
- قفسه‌های فولادی نوع پنجره‌ای (Window Type) فوق‌العاده قوی (د)

مزایای قفسه‌های پرسکاری‌شده وزن کم و فضایی خالی باقیمانده زیاد در بیرینگ می‌باشند که ورود روانکار به داخل بیرینگ را آسان می‌کند.

شکل ٦

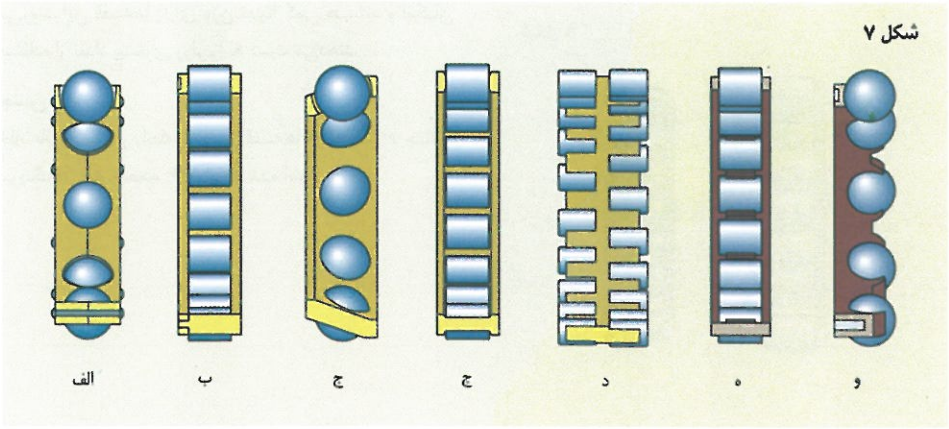


قفسه‌های یکپارچه

قفسه‌های یکپارچه از جنس برنج، فولاد، آلیاژهای سبک، پلیمر یا رزین فنولی تقویت‌شده با الیاف (شکل ۷) ساخته می‌شوند. وابسته به نوع بیرینگ قفسه‌های یکپارچه در طرح‌های زیر تولید می‌شوند:

- قفسه ماشینکاری‌شده دو تکه پرچ‌شده (Two-Piece Machined Riveted) (الف)
- قفسه ماشینکاری‌شده دو تکه به همراه پرچ‌های سرخود (Two-Piece Machined Cage with Integral Riverts) (ب)
- قفسه ماشینکاری‌شده نوع پنجره‌ای یک تکه (ج)
- قفسه ماشینکاری‌شده نوع چنگکی دوبل (Double Pronged Machined) (د)
- قفسه پنجره‌ای پلیمری ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک (ه)
- قفسه نوع Snap از جنس پلیمر و ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک (و)
- قفسه ماشینکاری‌شده یک تکه از جنس رزین فنولی تقویت‌شده با الیاف

شکل ۷



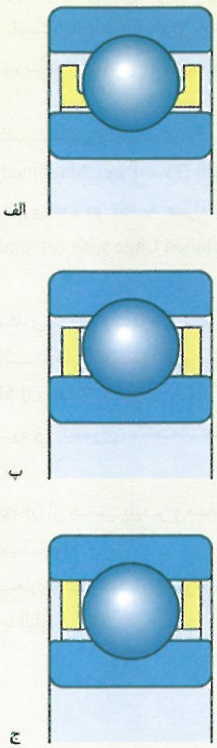
قفسه‌ها از جنس فلز ماشینکاری‌شده معمولاً سرعت کارکرد بالاتری داشته و وقتی حرکت‌های اضافه علاوه بر غلتش خالص وجود داشته باشد و همچنین در شرایطی نظیر وجود شتاب بالا، بکار برده می‌شوند. در این شرایط باید از روغن برای روانکاری استفاده کرد و تمهیدات لازم را برای این که روانکار کافی در سطوح راهنما قفسه و داخل بیرینگ وجود داشته باشد، بکار برده شوند. قفسه‌های ماشینکاری‌شده می‌توانند نسبت به (شکل ۸)،

- اجزای غلتنده (الف)
- پیشانی رینگ داخلی (ب)
- پیشانی رینگ خارجی (ج)

مرکز شده و در جهت شعاعی هدایت، شوند.

مشخصه قفسه‌های یکپارچه پلیمری، ترکیبی مناسب از مقاومت و الاستیسیته است. خواص لغزشی خوب پلیمر بر روی سطوح فولادی روانکاری‌شده و صافی سطوح قفسه که در تماس با اجزای غلتنده می‌باشند باعث ایجاد اصطکاک کمی‌شده و در نتیجه گرمای تولیدشده و سایش در بیرینگ حداقل می‌باشد. چگالی کم پلیمر به معنی کم بودن اینرسی قفسه است. خواص حرکتی خوب قفسه‌های پلیمری در شرایط کمبود روانکار اجازه ادامه حرکت را به بیرینگ داده بدون این که باعث گرمیاژ و یا خرابی ثانویه‌ای در بیرینگ شود.

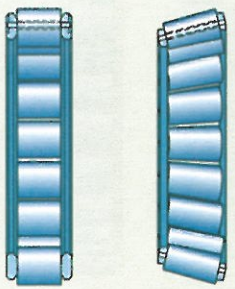
شکل ۸



قفسه‌های نوع پینی

قفسه‌های فولادی نوع پینی نیاز به رولرهای (شکل ۹) سوراخ شده داشته و فقط برای بیرینگ‌ها با رولرهای بزرگ بکار می‌روند. این قفسه‌ها دارای وزن نسبتاً کمی هستند و امکان استفاده از تعداد بیشتری رولر را به دست می‌دهند.

شکل ۹



جنس

اطلاعات کامل در رابطه با جنس قفسه‌ها در بخش « جنس بیرینگ‌ها » در صفحه ۱۲۶ آورده شده است.

شماره‌های فنی بیرینگ‌ها

شماره فنی بیرینگ‌های غلتشی شامل ترکیبی از اعداد و یا حروف است که معنی آن در نگاه اول واضح نمی‌باشد. بنابراین در این بخش سیستم شماره فنی بیرینگ‌ها شرح داده می‌شود و معانی شماره‌های فنی اضافی معمول (پسوندها و پیشوندها) نیز توضیح داده می‌شوند. به منظور جلوگیری از اشتباه، شماره‌های فنی بیرینگ‌های خاص نظیر رولربیرینگ‌های سوزنی [2]، Y- بیرینگ‌ها [3] و بیرینگ‌های دقیق [1] در این جا توضیح داده نمی‌شوند. همچنین شماره‌های فنی بیرینگ‌های خیلی خاص نظیر بیرینگ‌ها با مقطع باریک / ثابت، بیرینگ‌ها Slewing [4] یا بیرینگ‌های خطی (Linear Motion) [5] نیز در این بخش آورده نمی‌شوند. زیرا شماره فنی آنها به طور قابل ملاحظه با سیستم توضیح داده شده در زیر متفاوت است.

شماره‌های فنی بیرینگ‌ها به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: شماره فنی برای بیرینگ‌های استاندارد و شماره فنی برای بیرینگ‌های خاص. بیرینگ‌های استاندارد به طور طبیعی دارای ابعاد استاندارد شده می‌باشند. در حالی که بیرینگ‌های خاص دارای ابعادی مطابق با نیاز کاربرد خاص می‌باشند. این بیرینگ‌های با شماره نقشه مربوطه مشخص می‌شوند و در این جا جزئیات آنها آورده نشده است.

شماره فنی کامل ممکن است شامل یک شماره اصلی با یا بدون پسوند و پیشوند (نمودار ۲) باشد. شماره فنی کامل بیرینگ یعنی شماره اصلی به همراه پسوندها و پیشوندها بر روی جعبه بیرینگ به صورت کامل ذکر می‌شود. ولی شماره فنی حک‌شده بر روی بیرینگ ممکن است بنا به علت دلایل ساخت، کامل نباشد.

شماره فنی اصلی بیرینگ مشخص‌کننده،

- نوع،
- طراحی اصلی و
- ابعاد خارجی استاندارد بیرینگ

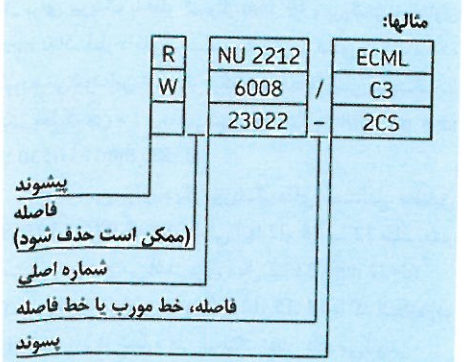
است. پسوندها و پیشوندها مشخص‌کننده،

- اجزای بیرینگ و یا
- طرح و مشخصات متفاوت با طرح اصلی بیرینگ

می‌باشند. وقتی تعداد زیادی پسوند وجود داشته باشد آنها مطابق با ترتیب خاصی قرار می‌گیرند (نمودار ۴، صفحه ۱۳۸).

لیست پسوندها و پیشوندها که در انتهای این بخش آمده‌اند کامل نمی‌باشند ولی شامل پیشوندها و پسوندهایی که بیشترین کاربرد را دارند، می‌باشد.

نمودار ۲ سیستم شماره فنی بیرینگها



شماره فنی اصلی

همه بیرینگ‌های استاندارد دارای یک شماره فنی اصلی می‌باشند که معمولاً شامل 3 ، 4 یا 5 رقم و یا ترکیبی از حروف و ارقام است.

طرح استاندارد این سیستم شماره‌گذاری که تقریباً برای همه بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها بکار می‌رود در نمودار ۳ به صورت شماتیک نشان داده شده است.

اعداد و ترکیب اعداد و حروف در شماره فنی بیرینگ‌ها موارد زیر را مشخص می‌کند.

- رقم اول یا حرف اول یا ترکیب حروف مشخص‌کننده نوع بیرینگ است. (نمودار ۳)
- دو رقم بعدی مشخص‌کننده سری ابعادی ISO می‌باشند. رقم اول مشخص‌کننده سری پهنا یا ارتفاع (بعد B، T یا H) و رقم دوم مشخص‌کننده سری قطر خارجی (بعد D) است.
- دو رقم آخر شماره فنی مشخص‌کننده کد اندازه بیرینگ می‌باشند. و وقتی در عدد 5 ضرب شود قطر داخلی بیرینگ برحسب mm به دست می‌آید.

اما هیچ قانونی بدون استثناء نیست. مهم‌ترین استثناها در شماره فنی بیرینگ‌ها در زیر آورده شده‌اند.

۱ـ در چند حالت خاص رقم مربوط به نوع بیرینگ و یا رقم اول در سری ابعاد بیرینگ حذف می‌شود. این ارقام در نمودار ۳ در داخل پرانتز نشان داده شده‌اند.

۲ـ برای بیرینگ با قطر کم‌تر از 10 mm و بزرگ‌تر یا مساوی 500 mm، قطر داخلی برحسب میلی‌متر به صورت کد نشده آورده می‌شود. این اندازه از دیگر شماره‌های فنی بیرینگ با یک خط کسری « / » جدا می‌شود. برای مثال 618/8 (d=8 mm) یا 511/530 (d=530 mm).

این موضوع برای دیگر بیرینگ‌های استاندار مطابق ISO 15:1998 که قطر داخلی آنها 22، 28 یا 32 میلی‌متر است نیز صحیح می‌باشد. برای مثال 62/22 (d=22 mm)

۳ـ بیرینگ‌ها با قطر داخلی 10، 12، 15، 17 با کد اندازه (دو رقم آخر) زیر در شماره فنی بیرینگ نشان داده می‌شوند.

00=10 mm

01=12 mm

02=15 mm

03=17 mm

۴ـ برای بعضی بیرینگ‌های کوچک با قطر کم‌تر 10 mm نظیر بلبیرینگ‌های شیار عمیق و خود تنظیم قطر بیرینگ برحسب میلی‌متر در انتهای شماره فنی آورده می‌شود و از بقیه شماره‌ها با خط کسری « / » جدا نمی‌شود. برای مثال 629 (d=9 mm).

۵ـ قطر داخلی که متفاوت از استاندارد می‌باشد به صورت کد نشده برحسب میلی‌متر یا دقت سه رقم اعشار در شماره فنی بیرینگ بعد از خط کسری « / » آورده می‌شود. نظیر 6202/15.875 (d=15.875 mm=5/8 in).

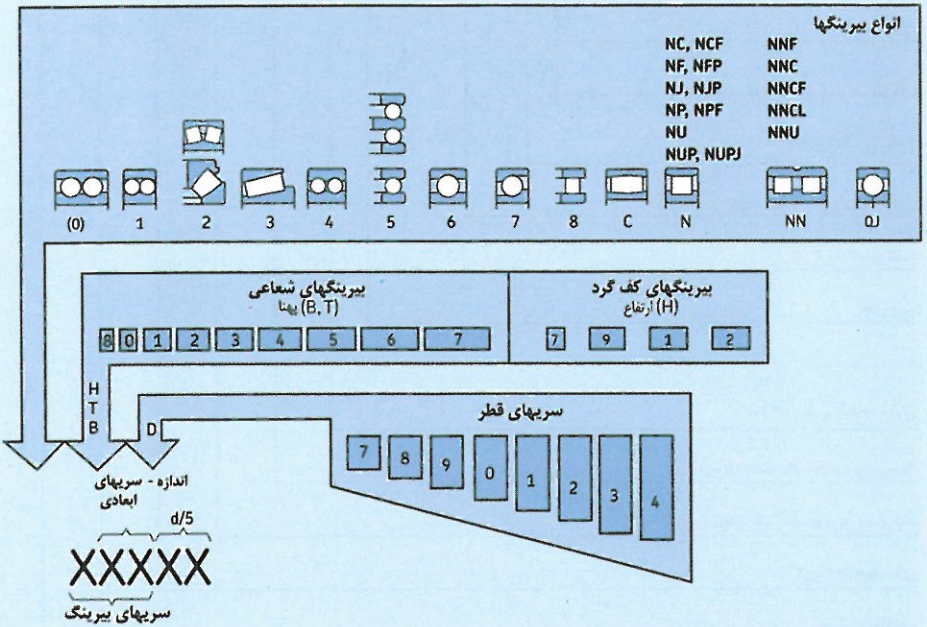
سری‌های شماره فنی

هر بیرینگ استاندارد در یکسری ابعادی قرار می‌گیرد که توسط شماره فنی آن بدون بخش مربوط به اندازه قطر داخلی مشخص می‌شود. سری‌های شماره فنی معمولاً شامل پسوندها A، B، C، D یا E و یا ترکیبی از این حروف نظیر CA نیز است. این پسوندها برای مشخص کردن طرح داخلی متفاوت با طرح اصلی نظیر زاویه تماس و ... بکار برده می‌شوند.

سری‌های شماره فنی که بیشترین کاربرد را دارند در نمودار ۳ در بالای شکل شماتیک هر بیرینگ آورده شده‌اند. اعداد داخل پرانتز از سری‌های شماره فنی حذف می‌شوند.

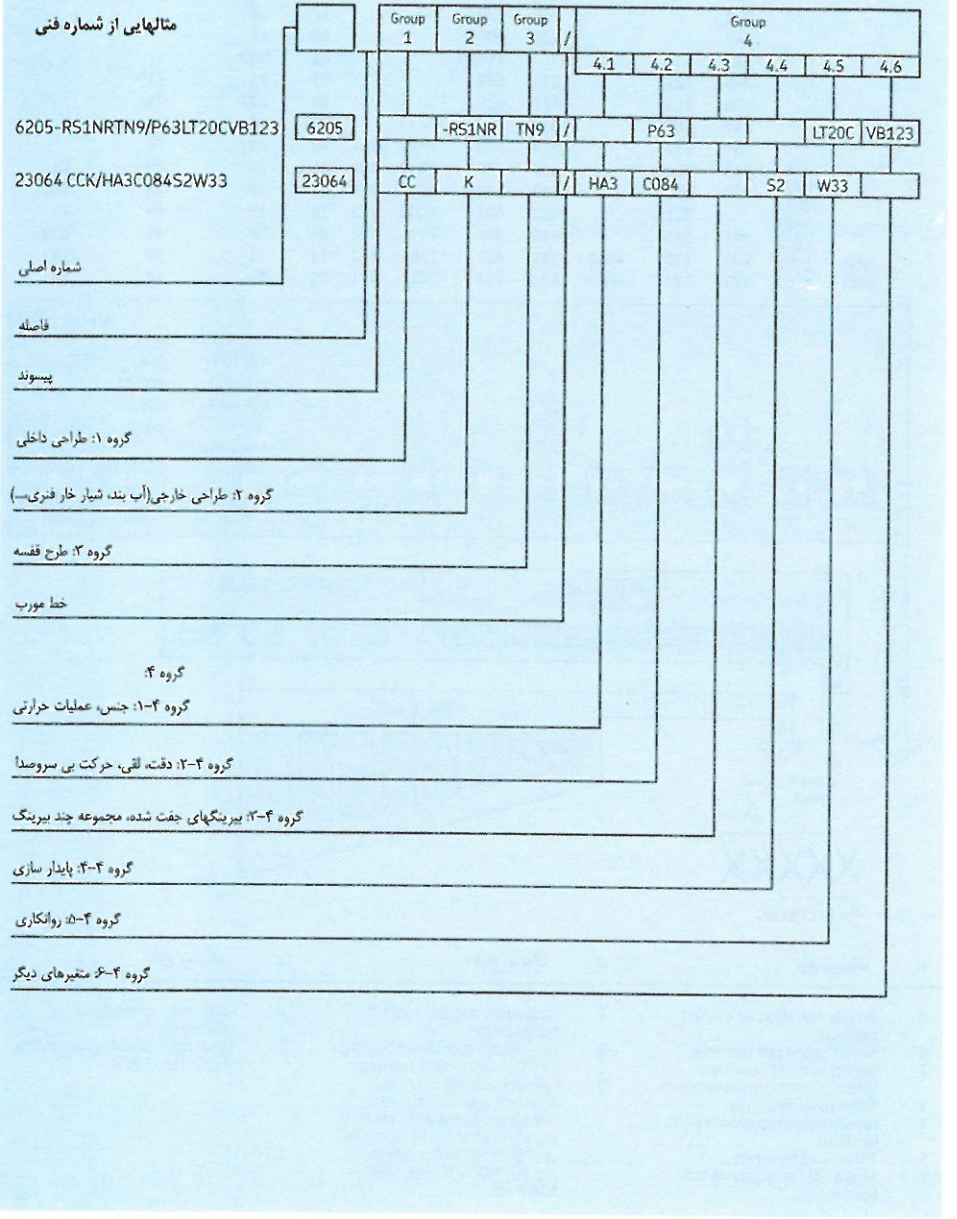
نمودار ۳ سیستم شماره فنی برای بلبیرینگها و رولربیرینگهای استاندارد متریک

سریهای بیرینگ												
					544	623				(0)4		
		223			524	6(0)3				33		
		213			543	622				23		
		232			523	6(0)2			23	(0)3		
		222			542	630			32	22		
		241			522	6(1)0			22	12		
		231				16(0)0			41	(0)2		
		240	323		534	639			31	31	41	
		230	313		514	619			60	30	31	
		249	303		533	609			50	20	60	
		239	332		513	638	7(0)4	814	40	10	50	
	139	248	322		532	628	7(0)3	894	30	39	40	23
	130	238	302		512	618	7(0)2	874	69	29	30	(0)3
	(1)23		331		511	608	7(1)0	813	59	19	69	12
	1(0)3											
	(1)22	294	330		510	637	719	893	49	38	49	(0)2
(0)33	1(0)2	293	320	4(2)3	591	627	718	812	39	28	39	10
(0)32	1(1)0	292	329	4(2)2	590	617	708	811	29	18	48	19



کد	نوع بیرینگ
0	Double row angular contact ball bearings
1	Self-aligning ball bearings
2	Spherical roller bearings, spherical roller thrust bearings
3	Taper roller bearings
4	Double row deep groove ball bearings
5	Thrust ball bearings
6	Single row deep groove ball bearings
7	Single row angular contact ball bearings
8	Cylindrical roller thrust bearings
C	CARB toroidal roller bearings
N	Cylindrical roller bearings. A second and sometimes a third letter are used to identify the number of the rows or the configuration of the flanges, e.g. NJ, NU, NUP, NN, NNU, NNCF etc.
QJ	Four-point contact ball bearings
T	Taper roller bearings according to ISO 355-1977

نمودار ٤ سیستم شماره فنی برای پسوندها



پیشوندها و پسوندها در شماره‌های فنی

پیشوندها

پیشوندها برای مشخص کردن اجزای یک بیرینگ بکار می‌روند و معمولاً بعد از آن شماره فنی کامل آورده می‌شود و یا برای جلوگیری از اشتباه بین شماره‌های فنی مختلف بکار می‌روند. برای مثال پیشوندها در مقابل شماره فنی رولربیرینگ‌های مخروطی اینچی مطابق با استاندارد ANSI/ABMA شماره 19 بکار می‌روند.

GS واشر نشیمنگاه در رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد

K مجموعه رولرها و قفسه در رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد

K- رینگ داخلی با مجموعه رولرها و قفسه (Cone) یا رینگ خارجی (Cup) یک رولربیرینگ مخروطی اینچی متعلق به سری‌های استاندارد ABMA

L رینگ داخلی یا خارجی قابل تفکیک از یک بیرینگ تفکیک‌پذیر

R رینگ داخلی یا خارجی به همراه مجموعه رولرها و قفسه از یک بیرینگ تفکیک‌پذیر

W بلبیرینگ شیار عمیق ضدزنگ

WS واشر شفت در رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد

ZE بیرینگ به همراه سیستم نصب سنسوری (SensorMount®)

پسوندها

پسوندها جهت مشخص کردن طرح‌ها یا گونه‌هایی که به طریقی از طرح اصلی متفاوت هستند، بکار می‌روند. پسوندها به چندین گروه تقسیم می‌شوند و وقتی بیش از یک پسوند لازم باشد باید مطابق طرح نشان داده شده در نمودار ۴ صفحه ۱۳۸ مرتب شوند.

پسوندهایی که بیشترین کاربرد را دارند در زیر شرح داده می‌شوند. توجه شود که همه گونه‌های شرح داده شده موجود نمی‌باشند.

A انحراف یا اصلاح نسبت به طرح داخلی استاندارد بدون تغییر در ابعاد خارجی، به عنوان یک قانون کلی معنی آن بستگی به نوع بیرینگ یا سری‌های بیرینگ دارد. مثال‌ها

4210 A: بلبیرینگ شیار عمیق دو ردیفه بدون شیار جازنی ساچمه

3220 A: بلبیرینگ تماس زاویه‌ای دو ردیفه بدون شیار جازنی ساچمه

AC بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه با زاویه تماس 25°

ADA شیار خار فنری اصلاح‌شده در رینگ خارجی، دو تکه رینگ داخلی به کمک یک رینگ نگهدارنده یکپارچه می‌شوند

B انحراف یا اصلاح نسبت به طرح داخلی استاندارد بدون تغییر در ابعاد خارجی، به عنوان یک قانون کلی معنی آن بستگی به سری‌های بیرینگ خاص دارد.

مثال‌ها

7224 B: بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه با زاویه تماس 40°

32210 B: رولربیرینگ مخروطی با زاویه تماس بزرگ (تند)

Bxx(x) به همراه دو یا سه عدد مشخص‌کننده گونه‌های متفاوت با طرح استاندارد می‌باشد که با استفاده از پسوندهای عمومی نمی‌توان آن را نشان داد. مثال

B20: تلرانس پهنای کاهش‌یافته

C انحراف یا اصلاح نسبت به طرح داخلی استاندارد بدون تغییر در ابعاد خارجی، به عنوان یک قانون کلی معنی آن بستگی به سری‌های بیرینگ خاص دارد. مثال‌ها
C 21306: رولربیرینگ کروی با رینگ داخلی بدون لبه، رولرهای متقارن، رینگ راهنمای شناور و قفسه نوع پنجره‌ای از جنس فولاد پرسکاری‌شده

CA ۱. رولر بیرینگ کروی با طرح C اما با لبه‌های نگه دارنده بر روی رینگ داخلی و قفسه ماشینکاری‌شده
۲. بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه برای نصب به صورت جفتی. دو بلبیرینگ که به صورت پشت به پشت و یا جلو به جلو قرار می‌گیرند و دارای لقی محوری کم‌تر از نرمال (CB) می‌باشد.

CAC رولربیرینگ کروی با طرح CA اما با تقویت هدایت رولرها (Enhanced Roller Guidance)

CB ۱. بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه برای نصب به صورت جفتی. دو بلبیرینگ که به صورت پشت به پشت و یا جلو به جلو قرار می‌گیرند دارای لقی محوری نرمال قبل از نصب می‌باشند.
۲. لقی محوری کنترل‌شده در بلبیرینگ تماس زاویه‌ای دو ردیفه

CC ۱. رولربیرینگ کروی طرح C با تقویت هدایت رولرها
۲. بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه برای نصب جفتی. دو بلبیرینگ که به صورت پشت به پشت و یا جلو به جلو قرار می‌گیرند دارای لقی محوری بیشتر از نرمال (CB) می‌باشد.

CLN رولربیرینگ مخروطی با تلرانس مطابق با کلاس 6X، استاندارد ISO

CL0 رولربیرینگ مخروطی اینچی با تلرانس مطابق با کلاس 0 استاندارد ANSI/ABMA شماره 19.2:1994

CL00 رولربیرینگ مخروطی اینچی با تلرانس مطابق با کلاس 00 استاندارد ANSI/ABMA شماره 19.2:1994

CL3 رولربیرینگ مخروطی اینچی با تلرانس مطابق با کلاس 3 استاندارد و ANS/ABMA شماره 19.2:1994

CL7C رولربیرینگ مخروطی با رفتار اصطکاکی خاص و دقت حرکتی بالا

CN لقی داخلی نرمال، معمولاً با حروف اضافی دیگر برای نشان دادن محدوده لقی کاهش‌یافته یا جابجا شده بکار می‌رود. مثال‌ها

CNH نیمه بالایی محدوده لقی نرمال
CLN نیمه پایینی محدوده لقی نرمال
CNM دو ربع میانی محدوده لقی نرمال
CNP نیمه بالایی محدوده لقی نرمال و نیمه پایینی محدوده لقی C3

حروف H، M، L و P همچنین با کلاس‌های لقی C2، C3، C4 و C5 نیز استفاده می‌شوند.

CV رولربیرینگ استوانه بدون قفسه با طرح داخلی اصلاح‌شده

CS آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در یک طرف بیرینگ

2CS آب‌بندهای تماسی نوع CS در دو طرف بیرینگ

CS2 آب‌بند تماسی از جنس لاستیک فلورو (FKM) تقویت‌شده با ورق فولادی در یک طرف بیرینگ

2CS2 آب‌بند تماسی نوع CS2 در دو طرف بیرینگ

CS5 آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین هیدروژنه (HNBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در یک طرف بیرینگ

2CS5 آب‌بند تماسی نوع CS5 در دو طرف بیرینگ

C1 لقی داخلی بیرینگ کم‌تر از C2

C2 لقی داخلی بیرینگ کم‌تر از نرمال (CN)

C3 لقی داخلی بیرینگ بیشتر از نرمال (CN)

C4 لقی داخلی بیرینگ بیشتر از C3

C5 لقی داخلی بیرینگ بیشتر C4

C02 تلرانس کاهش‌یافته بیشتر برای دقت‌های حرکتی رینگ داخلی یک بیرینگ کامل

C04 تلرانس کاهش‌یافته بیشتر برای دقت‌های حرکتی رینگ خارجی یک بیرینگ‌کامل

C08 C02+C04

C083 C02+C04+C3

C10 تلرانس کاهش‌یافته برای قطرهای داخلی و خارجی

D انحراف یا اصلاح نسبت به طرح داخلی استاندارد بدون تغییر در ابعاد خارجی، به عنوان یک قانون کلی معنی آن بستگی به سری‌های بیرینگ خاص دارد برای مثال:

D 3310: بلبیرینگ تماس زاویه‌ای دو ردیفه با رینگ داخلی دو تکه

DA شیار خار فنری اصلاح‌شده بر روی رینگ خارجی، دو تکه رینگ داخلی به وسیله یک رینگ نگهدارنده یکپارچه می‌شوند

DB دو بلبیرینگ شیار عمیق یک ردیفه (۱)، بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه (۲) یا رولربیرینگ یک ردیفه مخروطی که برای نصب پشت به پشت جفت شده‌اند. حروف بعد از DB تعیین‌کننده مقدار لقی یا پیش بار در بیرینگ‌های جفت‌شده قبل از نصب می‌باشند.

A پیش بار کم (۲)

B پیش بار متوسط (۲)

C پیش بار زیاد (۲)

AC لقی محوری کم‌تر از نرمال (CB) (۲ و ۱)

CB لقی محوری نرمال (۲ و ۱)

CC لقی محوری بزرگ‌تر از نرمال (CB) (۲ و ۱)

C لقی محوری خاص برحسب μm

GA پیش بار کم (۱)

GB پیش بار متوسط (۱)

G پیش بار خاص برحسب daN

برای رولربیرینگ‌های مخروطی جفت‌شده طراحی و چیدمان رینگ‌های میانی بین رینگ‌های داخلی یا خارجی با دو رقم که بین DB و حروف بالا قرار می‌گیرد تعیین می‌شود.

DF دو بلبیرینگ شیار عمیق یک ردیفه، بلبیرینگ تماس زاویه یک ردیفه یا رولربیرینگ مخروطی یک ردیفه که به صورت جلو به جلو جفت شده‌اند. حروف بعد از DF در بخش DB تعریف شده‌اند

DT دو بلبیرینگ شیار عمیق یک ردیفه، بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه و یا رولربیرینگ مخروطی یک ردیفه که به صورت پشت سر هم جفت شده‌اند. برای رولربیرینگ مخروطی جفت‌شده طراحی و چیدمان رینگ‌های میانی بین رینگ‌های داخل یا خارجی با دو عدد که بعد از DT قرار می‌گیرند تعیین می‌شوند.

E انحراف یا اصلاح نسبت به طرح داخلی استاندارد بدون تغییر در ابعاد خارجی، به عنوان یک قانون کلی معنی آن بستگی به سری‌های بیرینگ خاص دارد. معمولاً مشخص‌کننده اجزای غلتنده تقویت‌شده می‌باشد مثال‌ها،

BE 7212: بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه با زاویه تماس °40 و طرح داخلی بهینه‌شده

EC رولربیرینگ استوانه‌ای یک ردیفه با طرح داخلی بهینه‌شده و تماس بین انتهای رولرها و لبه اصلاح‌شده

ECA رولربیرینگ کروی طرح CA با رولرهای تقویت‌شده

ECAC رولربیرینگ کروی طرح CAC با رولرهای تقویت‌شده

F قفسه فولادی ماشینکاری‌شده یا ریخته‌شده از چدن خاص و مرکزشده بر روی اجزای غلتنده. طرح‌ها و جنس‌های متفاوت با یک عدد بعد از F مشخص می‌شوند، نظیر F1

FA قفسه فولادی ماشینکاری‌شده یا ریخته‌شده از چدن خاص که نسبت به رینگ خارجی مرکز شده است.

FB قفسه فولادی ماشینکاری‌شده یا ریخته‌شده از چدن خاص که نسبت به رینگ داخلی مرکز شده است.

G بلبیرینگ تماس زاویه یک ردیفه برای نصب جفتی. بلبیرینگ‌هایی که به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو جفت می‌شوند دارای لقی محوری معینی قبل از نصب می‌باشند

G.. بیرینگ پر شده با گریس، حروف بعدی مشخص‌کننده محدوده دمای کارکرد گریس و حرف سوم مشخص‌کننده نوع گریس است.
معنی حرف دوم به شرح زیر است.
E گریس EP
F گریس سازگار با صنایع غذایی (Food Compatible)
H,J گریس برای دما بالا، برای مثال از -20 °C تا +130 °C
L گریس برای دما پایین، برای مثال از -50°C تا +80 °C
M گریس برای دما متوسط، برای مثال از -40 °C تا +110 °C
W,X گریس برای دما پایین و بالا، برای مثال از -40 °C تا +140 °C
یک رقم بعد از سه حرف کد گریس، نشان‌دهنده مقدار گریس متفاوت با مقدار استاندارد می‌باشد. ارقام 1، 2 و 3 مقدار کم‌تر از استاندارد و ارقام 4 تا 9 مقدار گریس بیشتر از استاندارد را نشان می‌دهد. مثال‌ها:
GEA: گریس EP پر شده با مقدار استاندارد
GLB2: گریس برای دما پایین 15٪ تا 25٪ بیرینگ پر شده است.

GA بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه برای نصب به صورت جفتی. دو بلبیرینگ که به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو نصب شده‌اند دارای پیش بار کم قبل از نصب می‌باشند

GB بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه برای نصب به صورت جفتی. دو بلبیرینگ که به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو نصب شده‌اند دارای پیش بار متوسط قبل از نصب می‌باشند

GC بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه برای نصب به صورت جفتی. دو بلبیرینگ که به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو نصب شده‌اند دارای پیش بار زیاد قبل از نصب می‌باشد

GJN بلبیرینگ پر شده از گریس با پایه پلی اوره (Polyurea) با غلظت 2 مطابق معیار NLGI برای دمای -30 °C تا +150 °C (میزان گریس در حد نرمال)

CXN بلبیرینگ پر شده از گریس با پایه پلی اوره با غلظت 2 مطابق معیار NLGI برای دمای -40 °C تا +150 °C (میزان گریس در حد نرمال)

H قفسه نوع Snap سخت‌شده از جنس فولاد پرسکاری‌شده

HA بیرینگ یا اجزای بیرینگ که سختی سطحی شده‌اند. برای جزئیات بیشتر بعد از HA عددی به معنی زیر آورده می‌شود
0 بیرینگ کامل
1 رینگ داخلی و خارجی
2 رینگ خارجی
3 رینگ داخلی
4 رینگ داخلی، خارجی و اجزای غلتنده
5 اجزای غلتنده
6 رینگ خارجی و اجزای غلتنده
7 رینگ داخلی و اجزای غلتنده

HB بیرینگ یا اجزای بیرینگ که سختی باینیتی شده‌اند. برای جزئیات بیشتر بعد از HB عددی آورده می‌شود که معانی آن در بخش HA شرح داده شده‌اند

HC بیرینگ یا اجزای بیرینگ از جنس سرامیک. برای جزئیات بیشتر بعد از HC عددی آورده می‌شود که معانی آن در بخش HA شرح داده شده‌اند

HE بیرینگ یا اجزای بیرینگ از فولاد ریخته‌شده در خلاء (Vacuum Remelted Steel). برای جزئیات بیشتر بعد از HE عددی آورده می‌شود که معانی آن در بخش HA شرح داده شده‌اند

HM بیرینگ یا اجزای بیرینگ که سختی ماتنزیتی شده‌اند. برای جزئیات بیشتر بعد از HM عددی آورده می‌شود که معانی آن در بخش HA شرح داده شده‌اند

HN بیرینگ یا اجزای بیرینگ که عملیات حرارتی سطحی خاص شده‌اند. برای جزئیات بیشتر بعد از

HN عددی آورده می‌شود که معانی آن در بخش HA شرح داده شده‌اند

HT گریس برای کارکرد در دمای بالا برای مثال از ۲۰- °C تا ۱۳۰+ °C و دو رقم بعد از آن مشخص‌کننده گریس واقعی می‌باشند. گریس‌های متفاوت از گریس استاندارد برای این محدوده دما با دو رقم بعد از HT مشخص می‌شوند. مقدار گریس متفاوت از مقدار استاندارد با یک حرف یا ترکیب حرف/ عدد بعد از HT xx مشخص می‌شود.

A میزان گریس کم‌تر از استاندارد

B میزان گریس بیشتر از استاندارد

C میزان گریس بیشتر از ۷۰٪

F1 میزان گریس کم‌تر از استاندارد

F7 میزان گریس بیشتر از استاندارد

F9 میزان گریس بیشتر از ۷۰٪

مثال‌ها: HTB، HT22 یا HT24B

HV بیرینگ یا اجزای بیرینگ از فولاد ضدزنگ قابل سخت شدن. برای جزئیات بیشتر بعد از HV عددی آورده می‌شود که معانی آن در بخش HA شرح داده شده‌اند

J قفسه فولادی سخت‌شده، پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به اجزای غلتنده. طرح‌های متفاوت با یک عدد بعد از J مشخص می‌شوند. برای مثال J1

JR قفسه از دو واشر تخت سخت‌نشده از ورق فولادی که به یک دیگر پرچ شده‌اند

K رینگ داخلی مخروطی، مخروط 1:12

K30 رینگ داخلی مخروطی، مخروط 1:30

LHT گریس برای دماهای کم یا زیاد (برای مثال از ۴۰- °C تا ۱۴۰ °C+) دو عدد پس از LHT نوع گریس را مشخص می‌کند. یک حرف یا ترکیب حرف/ عدد بعد از LHT مشخص‌کننده درجه پر کردن متفاوت از استاندارد می‌باشد که معانی آن در بخش HT آورده شده است، برای مثال LHT23، LHT23C و LHT23F7

LS آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) یا پلی اوره (AU) در یک طرف بیرینگ با یا بدون ورق تقویت‌کننده فولادی

2LS آب‌بند نوع تماسی LS در دو طرف بیرینگ

LT گریس برای دمای پایین (برای مثال از ۵۰- °C تا ۸۰+ °C) LT و دو عدد پس از آن مشخص‌کننده گریس واقعی می‌باشند. گریس‌های متفاوت با گریس استاندارد برای این محدوده دما با حروف و ترکیب حرف و عدد که در بخش HT شرح داده شده‌اند، مشخص می‌شوند. مثال‌ها، LT، LT10 و LTF1

L4B رینگ‌های بیرینگ با پوشش سطحی خاص

L5B اجزای غلتنده با پوشش سطحی خاص

L5DA بیرینگ NoWear® با اجزای غلتنده پوشش داده شده

L7DA بیرینگ NoWear® با اجزای غلتنده و سطوح غلتش رینگ‌های داخلی و خارجی پوشش داده شده

M قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به اجزای غلتنده. طرح یا جنس متفاوت با عدد یا حرفی متفاوت با پس از M مشخص می‌شود. مثال M2، MC

MA قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی

MB قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ داخلی

ML قفسه برنجی نوع پنجره‌ای یکپارچه و مرکزشده نسبت به رینگ داخلی یا خارجی

MP قفسه برنجی نوع پنجره‌ای یکپارچه پرچ‌شده یا برقوشده (Reamed)، مرکزشده نسبت به رینگ داخلی یا خارجی

MR قفسه نوع پنجره‌ای یکپارچه ماشینکاری‌شده از جنس برنجی، مرکزشده نسبت به اجزای غلتنده

MT گریس برای دمای متوسط (برای مثال از ۳۰- °C تا ۱۱۰+ °C) دو عدد پس از MT مشخص‌کننده نوع گریس می‌باشد. حرف یا ترکیب حروف/ عدد که در بخش HT آورده شده است میزان پر شدن متفاوت

	با استاندارد را نشان می‌دهد مثال‌ها: MT33، MT37F9یا MT47
N	شیار خار فنری بر روی رینگ خارجی
NR	شیار خار فنری بر روی رینگ خارجی به همراه خار فنری
N1	یک شیار (Notch) برای ثابت کردن بیرینگ در پیشانی رینگ خارجی یا واشر نشیمنگاه
N2	دو شیار برای ثابت کردن بیرینگ در پیشانی رینگ خارجی یا واشر نشیمنگاه در فاصله 180° از همدیگر
P	قفسه پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه که با روش تزریق پلاستیک ساخته‌شده و نسبت به اجزای غلتنده مرکز شده است
PH	قفسه از جنس پلی اتراترکتون (PEEK) تقویت‌شده با الیاف شیشه که به روش تزریق پلاستیک ساخته شده و نسبت به اجزای غلتنده مرکز شده است
PHA	قفسه از جنس پلی اتراترکتون (PEEK) که به روش تزریق پلاستیک ساخته‌شده و نسبت به رینگ خارجی مرکز شده است.
PHAS	قفسه از جنس پلی اترترکتون (PEEK) تقویت‌شده با الیاف شیشه که به روش تزریق پلاستیک ساخته‌شده و نسبت به رینگ خارجی مرکز شده است به همراه شیار روانکاری در سطوح راهنما
P4	دقت‌های ابعادی و حرکتی مطابق با کلاس تلرانس ISO 4
P5	دقت‌های ابعادی و حرکتی مطابق با کلاس تلرانس ISO 5
P6	دقت‌های ابعادی و حرکتی مطابق با کلاس تلرانس ISO 6
P62	P6+C2
P63	P6+C3
Q	هندسه داخلی و صافی سطوح بهینه‌شده (رولربیرینگ مخروطی)
R	۱ـ رینگ خارجی با فلنج خارجی ۲ـ سطح حرکتی قوسی (بیرینگ‌های چرخی)

RS	آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین (NBR) در یک طرف بیرینگ با یا بدون ورق فولادی تقویت‌کننده
2RS	آب‌بند نوع RS در دو طرف بیرینگ
RS1	آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین (NBR) در یک طرف بیرینگ با ورق تقویت‌کننده فولادی
2RS1	آب‌بند نوع RS1 در دو طرف بیرینگ
RS1Z	آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلو نیتریل بودتادین (NBR) با ورق فولادی تقویت‌کننده در یک طرف بیرینگ به همراه حفاظ فلزی در طرف دیگر بیرینگ
RS2	آب‌بند تماسی از جنس لاستیک فلورو (FKM) با ورق تقویت‌کننده فولادی در یک طرف بیرینگ
2RS2	آب‌بند نوع RS2 در دو طرف بیرینگ
RSH	آب‌بند تماسی از جنس اکریلو نیتریل بوتادین (NBR) با ورق فولادی تقویت‌کننده در یک طرف بیرینگ
2RSH	آب‌بند نوع RSH در دو طرف بیرینگ
RSL	آب تماسی با اصطکاک کم از جنس اکریلو نیتریل بوتادین (NBR) با ورق فولادی تقویت‌کننده در یک طرف بیرینگ
2RSL	آب‌بند نوع RSL در دو طرف بیرینگ
RZ	آب‌بند کم اصطکاک از جنس اکریلو نیتریل بوتادین (NBR) در یک طرف بیرینگ با ورق تقویت‌کننده فولادی
2RZ	آب‌بند نوع RZ در دو طرف بیرینگ
S0	رینگ‌های بیرینگ یا واشرهایی که برای استفاده تا دمای 150 °C+ پایداری ابعادی شده‌اند
S1	رینگ‌های بیرینگ یا واشرهایی که برای استفاده تا دمای 200 °C+ پایداری ابعادی شده‌اند
S2	رینگ‌های بیرینگ یا واشرهایی که برای استفاده تا دمای 250 °C+ پایداری ابعادی شده‌اند
S3	رینگ‌های بیرینگ یا واشرهایی که برای استفاده تا دمای 300 °C+ پایداری ابعادی شده‌اند

S4 رینگ‌های بیرینگ یا واشرهایی که برای استفاده تا دمای 350 °C+ پایداری ابعادی شده‌اند

T قفسه نوع پنجره‌ای ماشینکاری‌شده از رزین فنولی تقویت‌شده با الیاف، مرکزشده نسبت به اجزای غلتنده

TB قفسه نوع پنجره‌ای از رزین فنولی، مرکزشده نسبت به رینگ داخلی

TH قفسه نوع Snap از رزین فنولی تقویت‌شده با الیاف و مرکزشده نسبت به اجزای غلتنده

TN قفسه پلی آمید 6.6 ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک، مرکزشده نسبت به اجزای غلتنده

TNH قفسه از جنس پلی اتراترکتون (PEEK) تقویت‌شده با الیاف شیشه، ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک و مرکزشده نسبت به اجزای غلتنده

TNHA قفسه از جنس پلی اتراترکتون (PEEK) تقویت‌شده با الیاف شیشه، ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک و مرکز شده نسبت به رینگ خارجی

TN9 قفسه از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه، ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک و مرکزشده نسبت به اجزای غلتنده

U به همراه یک عدد مشخص‌کننده رینگ داخلی (Cone) یا خارجی (Cup) یک رولربیرینگ مخروطی با تلرانس پهنای کاهش‌یافته می‌باشد. مثال‌ها،

U2: تلرانس پهنا 0.05/0 mm+

U4: تلرانس پهنا 0.10/0 mm

V بیرینگ بدون قفسه

V... به همراه یک حرف دیگر و سه یا چهار عدد مشخص‌کننده یک گروه بیرینگ با طرح متفاوت از استاندارد می‌باشند که توسط پسوندهای استاندارد مشخص نمی‌شوند. مثال‌ها،

VA بیرینگ‌ها برای یک کاربرد خاص

VB بیرینگ‌ها با ابعاد خارجی متفاوت

VE انحرافات داخلی یا خارجی

VL بیرینگ‌ها با پوشش

VQ کیفیت یا تلرانس متفاوت با استاندارد

VS لقی یا پیش بار

VT روانکاری

VU دیگر کاربرد خاص

VA201 بیرینگ برای کاربردهای دما بالا نظیر چرخ واگن کوره‌ها

VA208 بیرینگ برای کاربردهای دما بالا

VA216 بیرینگ برای کاربردهای دما بالا

VA228 بیرینگ برای کاربردهای دما بالا

VA301 بیرینگ برای موتورهای کشنده وسایل نقلیه ریلی (Traction Motors)

VA305 بیرینگ برای موتورهای کشنده وسایل نقلیه ریلی به همراه روش‌های بازرسی خاص

VA3091 بیرینگ برای موتورهای کشنده وسایل نقلیه ریلی با سطح خارجی پوشش داده‌شده با اکسیدآلومینیوم با مقامت الکتریکی تا 1000 VDC

VA380 بیرینگ برای محور وسایل نقلیه ریلی مطابق استاندارد EN 12080:1998

VA350 بیرینگ برای محور وسایل نقلیه ریلی

VA405 بیرینگ برای کاربردهای ارتعاشی

VA406 بیرینگ برای کاربردهای ارتعاشی با پوشش خاص PTFE در سطح داخلی رینگ داخلی

VC025 بیرینگ با اجزای عملیات حرارتی‌شده برای کاربرد در محیط‌های به شدت آلوده

VE240 بیرینگ CARB اصلاح‌شده برای جابجایی محوری بیشتر

VE447 واشر شفت با سه سوراخ رزوه‌شده با فاصله مساوی در یک طرف برای اتصال قلاب جرثقیل

VE552 رینگ خارجی با سه سوراخ رزوه‌شده با فاصله مساوی بر روی دو طرف پیشانی برای اتصال قلاب جرثقیل

VE553 مشابه VE552

VE632 واشر نشیمنگاه با سه سوراخ رزوه‌شده با فاصله مساوی در یک طرف برای اتصال قلاب جرثقیل

VH رولربیرینگ استوانه‌ای بدون قفسه با مجموعه رولرهای خود نگهدارنده (Self-retaining)

VL0241 پوشش اکسید آلومینیوم در سطح خارجی رینگ خارجی، مقاوم به عبور جریان الکتریکی تا 1000 VDC

VL2071 پوشش اکسید آلومینیوم در سطح داخلی رینگ داخلی، مقاوم به عبور جریان الکتریکی تا 1000 VDC

VQ015 رینگ داخلی با سطح غلتشی منحنی جهت افزایش عدم همراستایی مجاز

VQ424 دقت حرکتی بهتر از C08

VT143 گریس EP با غلیظ‌کننده لیتیمی و غلظت ۲ مطابق معیار NLGI برای محدوده دمایی از °C 20- تا °C 110+ (میزان گریس در حد نرمال)

VT378 گریس سازگار با مواد غذایی با غلیظ‌کننده آلومینیومی و غلظت ۲ مطابق معیار NLGI برای محدوده دمایی از °C 25- تا °C 120+ (میزان گریس در حد نرمال)

W بدون شیار و سوراخ روانکاری در رینگ خارجی

WT بیرینگ پر شده از گریس برای دمای بالا و پایین (برای مثال از °C 40- تا °C 160+) WT و دو رقم بعد از آن مشخص‌کننده گریس واقعی می‌باشند
گریس‌های متفاوت از گریس استاندارد برای این محدوده دما با مشخصه‌هایی که در بخش HT شرح داده شده، مشخص می‌شوند. مثال‌ها، WT و WTF1

W20 سه سوراخ روانکاری در رینگ خارجی

W26 شش سوراخ روانکاری در رینگ داخلی

W33 شیار و سه سوراخ روانکاری بر روی رینگ خارجی

W33X شیار محیطی و شش سوراخ در رینگ خارجی

W513 شش سوراخ روانکاری روی رینگ داخلی، شیار و سه سوراخ روانکاری بر روی رینگ خارجی

W64 بیرینگ با روغن جامد

W77 W33 با سوراخ‌های پر شده

X ۱ـ ابعاد خارجی تغییر کرده تا مطابق استاندارد ISO شوند
۲ـ سطح حرکت استوانه‌ای (برای بیرینگ چرخی)

Y قفسه برنجی پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به اجزای غلتنده. طراحی یا جنس متفاوت با یک عدد بعد از Y نشان داده می‌شود برای مثال Y1

Z حفاظ فلزی از جنس ورق فولادی پرسکاری‌شده در یک طرف بیرینگ

2Z حفاظ فلزی Z در دو طرف بیرینگ

مراجع:

[1] SKF catalogue "High-Precision Beaning".
[2] SKF catalogue "Needle Roller Bearings".
[3] SKF catalogue "Y-Bearing and Beaning Units".
[4] SKF catalogue "Slewing Rings Bearings".
[5] SKF catalogue "Linear Motion Bearings".

فصل هفتم

کاربرد بیرینگ‌ها

چیدمان بیرینگ‌ها ۱۴۸
چیدمان بیرینگ‌های ثابت و شناور ۱۴۸
چیدمان بیرینگ قابل تنظیم ۱۵۰
چیدمان بیرینگ شناور ۱۵۰
موقعیت شعاعی بیرینگ‌ها ۱۵۲
انتخاب انطباق ۱۵۲
انطباقات توصیه‌شده ۱۵۵
جداول انطباقات توصیه‌شده ۱۵۶
جداول تلرانس‌ها ۱۶۰
انطباق برای شفت توخالی (Hollow Shaft) ۱۶۰
دقت‌های ابعادی، فرم و حرکتی شفت و نشیمنگاه بیرینگ و پله‌ها ۱۸۲
صافی سطوح محل استقرار بیرینگ‌ها ۱۸۶
سطوح غلتش بر روی شفت یا نشیمنگاه ۱۸۶
موقعیت محوری بیرینگ‌ها ۱۸۷
روش‌های ثابت کردن محوری بیرینگ‌ها ۱۸۷
ابعاد پله‌ها و گوشه‌ها ۱۹۰
طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ ۱۹۲
پیش بار بیرینگ‌ها ۱۹۴
انواع پیش بار ۱۹۵
اثر پیش بار بیرینگ ۱۹۶
تعیین نیروی پیش بار ۱۹۶
روش‌های تنظیم ۲۰۰
پیش بار گذاری به کمک فنر ۲۰۴
حفظ پیش بار صحیح ۲۰۴
بیرینگ‌ها برای چیدمان‌های پیش بار شده ۲۰۵
چیدمان آب‌بندها ۲۰۶
انواع آب‌بندها ۲۰۶
انتخاب نوع آب‌بندها ۲۰۷
بیرینگ‌های آب‌بندی شده ۲۰۹
آب‌بندهای خارجی ۲۱۱

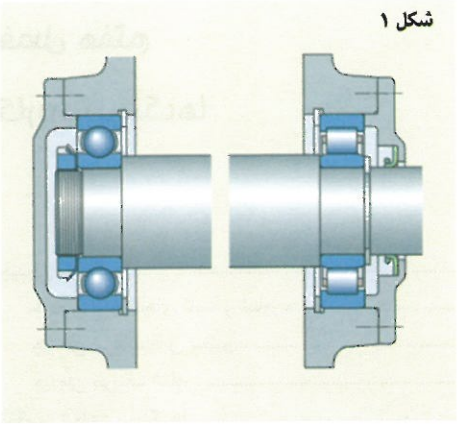
چیدمان بیرینگ‌ها

چیدمان بیرینگ‌ها در یک جزء دورانی ماشین نظیر شفت عموماً نیاز به دو بیرینگ جهت نگه داشتن و ثابت کردن محوری و شعاعی اجزای دورانی نسبت به پوسته ثابت ماشین دارد. وابسته به نوع کاربرد، بار، دقت حرکتی مورد نیاز و هزینه‌ها، چیدمان بیرینگ‌ها ممکن است به صورت‌های زیر باشد.

- چیدمان بیرینگ‌های ثابت و شناور
- چیدمان بیرینگ قابل تنظیم، یا
- چیدمان بیرینگ شناور

چیدمان‌های شامل یک بیرینگ که بار محوری، شعاعی و ممان را تحمل می‌کنند نظیر اتصالات مفصلی (Articulated Joint) در این کتاب مورد بحث قرار نمی‌گیرند.

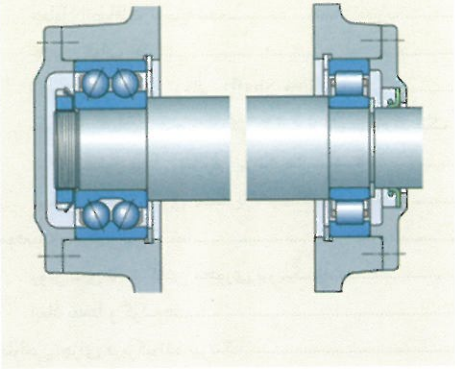
شکل ۱



چیدمان بیرینگ‌های ثابت و شناور

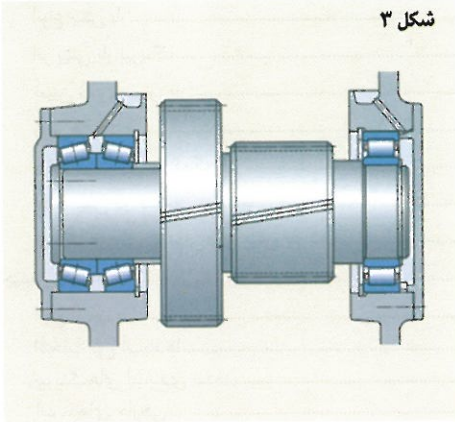
بیرینگ ثابت در یک انتهای شفت علاوه بر تحمل وزن شفت، شفت را در جهت محوری از دو طرف ثابت نگه می‌دارد. بنابراین این بیرینگ باید در محل خود بر روی شفت و نشیمنگاه ثابت شود. بیرینگ‌های مناسب برای این موقعیت شامل بیرینگ‌های شعاعی است که می‌توانند بار ترکیبی را تحمل کنند، نظیر بلبیرینگ شیار عمیق، بلبیرینگ تماس زاویه‌ای دو ردیفه یا یک ردیفه جفت‌شده، بلبیرینگ خود تنظیم، رولربیرینگ کروی و رولربیرینگ مخروطی جفت‌شده. ترکیب یک بیرینگ شعاعی که می‌تواند فقط بار شعاعی را تحمل کند، نظیر رولربیرینگ استوانه‌ای با یک رینگ بدون لبه، با یک بلبیرینگ شیار عمیق، بلبیرینگ چهار نقطه تماس و یا یک بیرینگ کف‌گرد دوطرفه نیز می‌تواند برای موقعیت ثابت بکار برده شود. در این شرایط بیرینگ دوم که شفت را در جهت محوری از دو طرف ثابت می‌کند، باید با انطباق لق در نشیمنگاه نصب شود.

شکل ۲



بیرینگ شناور یا غیر ثابت در انتهای دیگر شفت فقط وزن شفت را حمل می‌کند. همچنین این بیرینگ باید اجازه حرکت محوری را به شفت بدهد تا در صورتی که بر اثر انبساط حرارتی طول شفت تغییر کرد، تنش‌های ناخواسته اضافی در

شکل ۳



بیرینگ‌ها ایجاد نشود. جابجایی محوری می‌تواند برای رولربیرینگ‌های سوزنی، رولربیرینگ‌های استوانه‌ای در طرح‌های N و NU و رولربیرینگ‌های توریدال CARB در داخل بیرینگ، و یا بین یکی از رینگ‌های بیرینگ و نشیمنگاه آن، (ترجیحاً بین رینگ خارجی و نشیمنگاه آن) انجام پذیرد. از ترکیب‌های مرسوم برای چیدمان بیرینگ‌های ثابت/ شناور، ترکیب‌هایی که بیشترین کاربرد را دارند در زیر شرح داده شده‌اند.

برای چیدمان‌ها با سفتی زیاد، در شرایطی که جابجایی محوری بدون اصطکاک لازم باشد ترکیب‌های زیر ممکن است استفاده شوند.

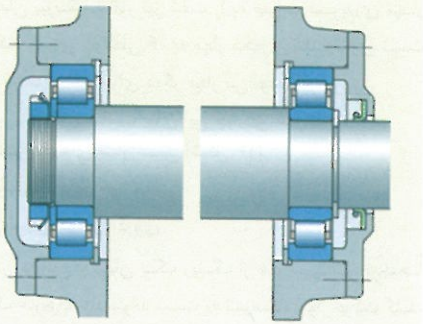
- بلبیرینگ شیار عمیق/ رولربیرینگ استوانه‌ای (شکل ۱)
- بلبیرینگ تماس زاویه‌ای دو ردیفه/ رولربیرینگ استوانه‌ای (شکل ۲)
- رولربیرینگ مخروطی یک ردیفه جفت‌شده/ رولربیرینگ استوانه‌ای (شکل ۳)
- رولربیرینگ استوانه‌ای طرح NUP/ رولربیرینگ استوانه‌ای طرح NU (شکل ۴) یا
- رولربیرینگ استوانه‌ای طرح NU و بلبیرینگ چهار نقطه تماس / رولربیرینگ استوانه‌ای (شکل ۵)

برای ترکیب‌های بالا، عدم همراستایی شفت باید حداقل باشد. اگر این امر امکان‌پذیر نیست توصیه می‌شود که از ترکیب‌های خود تنظیم زیر استفاده شود تا اجازه عدم همراستایی را به شفت بدهد.

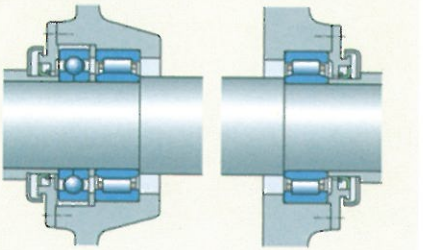
- بلبیرینگ خود تنظیم/ رولربیرینگ توریدال CARB یا
- رولربیرینگ کروی/ رولربیرینگ توریدال CARB (شکل ۶)

قابلیت این چیدمان‌ها در تحمل عدم همراستایی زاویه‌ای و جابجایی محوری، از ایجاد نیروهای محوری داخلی در بیرینگ‌ها جلوگیری می‌کند.

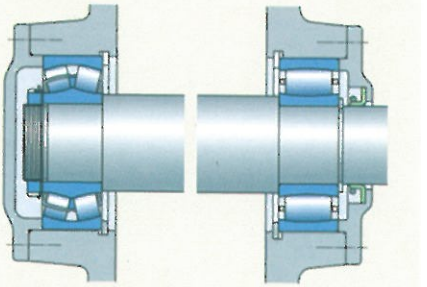
شکل ٤



شکل ٥



شکل ٦



برای چیدمان‌ها با رینگ داخلی تحت بار دورانی (Rotating Inner Ring Load) که تغییر طول شفت باید بین بیرینگ و نشیمنگاه آن جبران شود، جابجایی محوری باید بین رینگ خارجی و نشیمنگاه انجام گیرد. ترکیب‌های معمول در این حالت عبارتند از،

- بلبیرینگ شیار عمیق/ بلبیرینگ شیار عمیق (شکل ۷)
- بلبیرینگ خود تنظیم یا رولربیرینگ کروی/ بلبیرینگ خود تنظیم یا رولربیرینگ کروی (شکل ۸)
- بلبیرینگ یک ردیفه تماس زاویه‌ای جفت‌شده/ بلبیرینگ شیار عمیق (شکل ۹)

چیدمان بیرینگ قابل تنظیم

در چیدمان بیرینگ قابل تنظیم شفت به صورت محوری از یک جهت توسط یک بیرینگ و از جهت مقابل توسط بیرینگ دیگر مهار می‌شود. این چیدمان به عنوان مهار ضربدری (Cross Located) نیز شناخته می‌شود و معمولاً برای شفت‌های کوتاه استفاده می‌شود. بیرینگ‌های مناسب برای این چیدمان شامل کلیه بیرینگ‌های شعاعی که بار محوری را حداقل در یک جهت تحمل می‌کنند، می‌باشند. نظیر

- بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای (شکل ۱۰)
- رولربیرینگ‌های مخروطی (شکل ۱۱)

در بعضی موارد که از بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یا رولربیرینگ مخروطی یک ردیفه در چیدمان ضربدری استفاده می‌شوند، ممکن است پیش بار لازم باشد (صفحه ۱۹۴).

چیدمان بیرینگ شناور

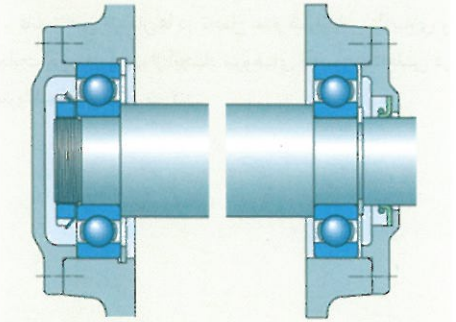
چیدمان بیرینگ شناور نیز شفت را به صورت ضربدری مهار می‌کند و برای شرایطی که به مهار محوری شفت نیازی نیست و یا شفت توسط اجزای دیگر مهار می‌شود، بکار می‌رود.

بیرینگ‌های مناسب برای این چیدمان عبارتند از،

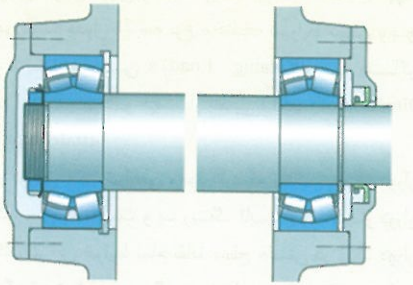
- بلبیرینگ‌های شیار عمیق (شکل ۱۲)
- بلبیرینگ‌های خود تنظیم
- رولربیرینگ‌های کروی

در این نوع چیدمان یک رینگ از هر بیرینگ، ترجیحاً رینگ خارجی، باید بتواند نسبت به نشیمنگاه خود حرکت کند. یک چیدمان شناور را همچنین می‌توان با دو رولربیرینگ طرح NJ، با تنظیم رینگ داخلی، به دست آورد. (شکل ۱۳). در این حالت حرکت محوری در داخل بیرینگ انجام می‌شود.

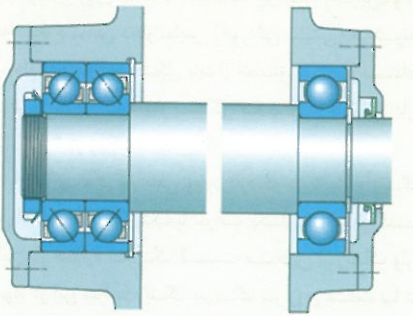
شکل ۷



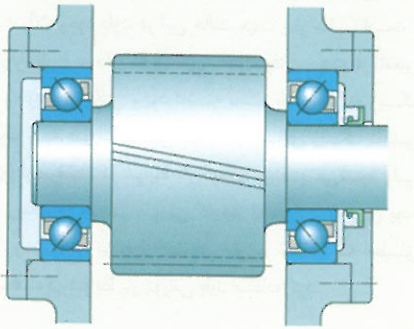
شکل ۸



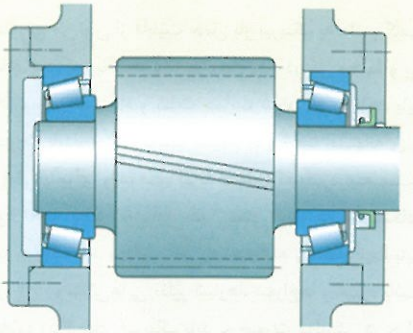
شکل ۹



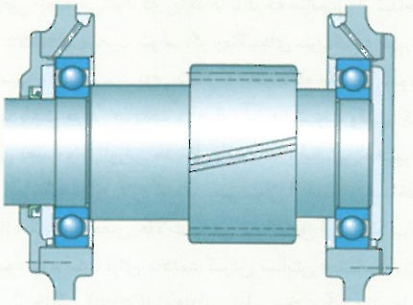
شکل ۱۰



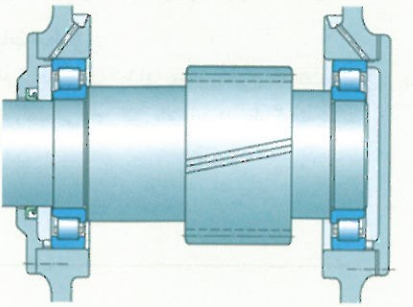
شکل ۱۱



شکل ۱۲



شکل ۱۳



موقعیت شعاعی بیرینگ‌ها

در صورتی می‌توان از قابلیت حمل بار بیرینگ به طور کامل استفاده کرد که رینگ‌ها و یا واشرهای آن در کل محیط و پهنا کاملاً توسط نشیمنگاه و شفت حمایت شوند. این حمایت باید به صورت پایدار بوده و توسط نشیمنگاه و شفت استوانه‌ای یا مخروطی یا برای واشرهای بیرینگ‌های کف‌گرد، به وسیله سطوح تخت ایجاد شود. این بدین معنی است که نشیمنگاه و شفت بیرینگ باید با دقت کافی ساخته‌شده و سطح آنها باید عاری از ناپیوستگی‌هایی نظیر شیارها، سوراخ‌ها و غیره باشد. به علاوه رینگ‌های بیرینگ باید به صورت مطمئن در جای خود محکم‌شده تا از چرخش آنها در داخل یا بر روی نشیمنگاه و شفت، تحت بار جلوگیری شود.

به طور کلی موقعیت شعاعی مناسب و حمایت کافی در شرایطی ایجاد می‌شود که رینگ‌ها با درجه مناسبی از تداخل (Interference) نصب شوند. اگر رینگ‌های بیرینگ به صورت نامناسب یا نادرست بر روی شفت و نشیمنگاه محکم شوند، عموماً باعث خرابی بیرینگ و اجزای آن می‌شوند. وقتی که راحتی نصب و در آوردن مد نظر باشد و یا جابجایی محوری برای بیرینگ شناور لازم است، نمی‌توان از انطباق تداخلی استفاده کرد. در بعضی حالات خاص که انطباق لق بکار برده می‌شود لازم است برای محدود کردن سایش اجتناب‌ناپذیر ناشی از خزش[1] (Creep) تمهیداتی نظیر سخت کردن سطوح شفت، نشیمنگاه و پله‌ها، روانکاری سطوح تماس به کمک شیارهای مخصوص، روانکاری و خارج کردن ذرات سایشی و یا ایجاد شیار در سطوح جانبی بیرینگ برای نصب خار یا دیگر تجهیزات نگهدارنده، در نظر گرفته شوند.

انتخاب انطباق

هنگام انتخاب یک انطباق عوامل شرح داده‌شده در زیر به همراه راهنمایی‌های کلی بالا باید در نظر گرفته شوند.

۱ـ شرایط دوران

منظور از شرایط دوران وضعیت رینگ بیرینگ نسبت به جهت بار می‌باشد (جدول ۱). سه نوع مختلف شرایط دوران وجود دارد. « بار دورانی » (Rotaing Load)، بار ساکن (Stationary Load) و جهت بار نامعین (Direction of Load Indeterminate).

« بار دورانی » در شرایطی وجود دارد که رینگ بیرینگ دوران می‌کند و بار ثابت است و یا رینگ ثابت است و بار دوران می‌کند. در این شرایط تمام نقاط سطح غلتش در یک دوران بیرینگ تحت بار قرار می‌گیرند. بارهای سنگین غیر دورانی ولی نوسانی نظیر بار وارد به دسته شاتون بار دورانی در نظر گرفته می‌شوند.

رینگ‌های تحت بار دورانی در صورتی که به صورت لق نصب شوند بر روی شفت یا نشیمنگاه چرخیده (خزش) و در نتیجه سطوح تماس دچار سایش (خوردگی سایشی) می‌شوند. برای جلوگیری از این مشکل باید از انطباق تداخلی استفاده شود. درجه تداخل مورد نیاز بستگی به شرایط کارکرد دارد (نکات ۲ و ۴ در زیر).

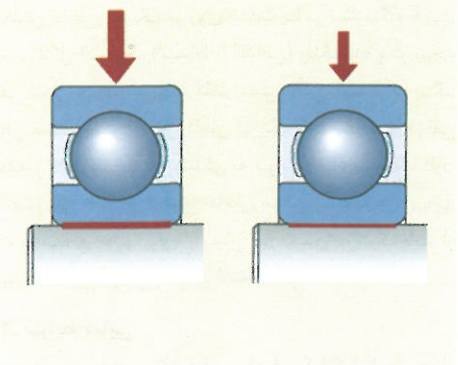
« بار ساکن » در شرایطی وجود دارد که بار ثابت و رینگ ساکن است و یا بار و رینگ با سرعت یکسان دوران می‌کنند. بنابراین بار همواره به یک قسمت مشخص از رینگ وارد می‌شود. در این شرایط رینگ بیرینگ بر روی شفت یا در نشیمنگاه خود نمی‌چرخد و نیاز به انطباق تداخلی نیست، مگر این که دلایل دیگری وجود داشته باشد.

« جهت بار نامعین » در شرایط بار خارجی متغیر، بارهای شوک، ارتعاش و بارهای ناشی از عدم بالانس در ماشین‌ها با سرعت بالا، وجود دارد. در این حالت جهت بار متغیر است و نمی‌توان بار را به طور دقیق تعیین نمود. وقتی جهت بار نامعین بوده و بارهای سنگین وجود داشته باشد باید هر دو رینگ بیرینگ را به صورت تداخلی نصب کرد. برای رینگ داخلی انطباق توصیه‌شده در شرایط بار دورانی استفاده می‌شود ولی برای رینگ خارجی در صورتی که نیاز به حرکت محوری بوده و بار زیاد سنگین نباشد از انطباق لق‌تر نسبت به انطباق توصیه‌شده در شرایط بار دورانی باید استفاده کرد.

---

۱. منظور از خزش در این جا حرکت نسبی بین رینگ‌ها و شفت یا نشیمنگاه می‌باشد. مترجم

شکل ۱۴



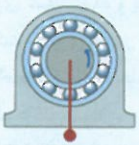
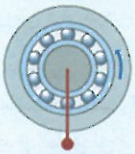
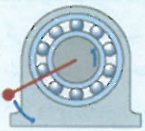
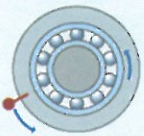
۲ـ مقدار بار

انطباق تداخلی رینگ داخلی بر روی شفت با افزایش بار و تغییر شکل رینگ، به تدریج لق‌شده و تحت اثر بار دورانی ممکن است که رینگ دچار خزش شود. بنابراین درجه تداخل باید بر اساس مقدار بار تعیین شود. هر چه مقدار بار بیشتر باشد و بخصوص اگر بار شوک وجود داشته باشد، تداخل بیشتر مورد نیاز است (شکل ۱۴).

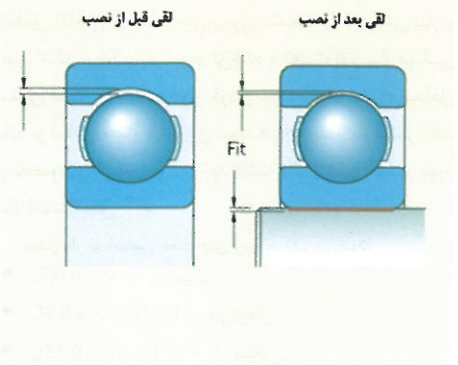
مقدار بار بر اساس معیارهای زیر تعریف می‌شود.

- $P \leq 0.05C$ – بار سبک
- $0.05C < P \leq 0.1C$ – بار نرمال
- $0.1C < P \leq 0.15C$ – بار سنگین
- $P > 0.15C$ – بار بسیار سنگین

جدول ۱ شرایط دوران و بار

انطباق توصیه شده	مثال	شرایط بار	شکل شماتیک	شرایط کارکرد
انطباق تداخلی برای رینگ داخلی انطباق لق برای رینگ خارجی	Belt-driven shafts	بار دورانی بر روی رینگ داخلی بار ساکن بر روی رینگ خارجی		رینگ داخلی متحرک رینگ خارجی ثابت جهت بار ثابت
انطباق لق برای رینگ داخلی انطباق تداخلی برای رینگ خارجی	Conveyor idlers Car wheel hub bearings	بار ساکن بر روی رینگ داخلی بار دورانی بر روی رینگ خارجی		رینگ داخلی ثابت رینگ خارجی متحرک جهت بار ثابت
انطباق لق برای رینگ داخلی انطباق تداخلی برای رینگ خارجی	Vibratory applications Vibrating screens or motors	بار ساکن بر روی رینگ داخلی بار دورانی بر روی رینگ خارجی		رینگ داخلی متحرک رینگ خارجی ثابت بار با رینگ داخلی دوران می کند
انطباق تداخلی برای رینگ داخلی انطباق لق برای رینگ خارجی	Gyratory crusher (Merry-go-round drives)	بار دورانی بر روی رینگ داخلی بار ساکن بر روی رینگ خارجی		رینگ داخلی ثابت رینگ خارجی متحرک بار با رینگ خارجی دوران می کند

شکل ۱۵



۳ـ لقی داخلی بیرینگ

انطباق تداخلی بیرینگ بر روی شفت یا در نشیمنگاه باعث تغییر شکل الاستیک (انبساط یا انقباض) رینگ‌شده و در نتیجه لقی داخلی کاهش می‌یابد. مقدار معینی لقی باید در بیرینگ باقی بماند. (بخش « لقی داخلی بیرینگ‌ها » صفحه ۱۲۵) لقی اولیه و کاهش مجاز آن بستگی به نوع و ابعاد بیرینگ دارد. کاهش لقی ناشی از انطباق تداخلی ممکن است به حدی باشد که به منظور جلوگیری از پیش بار شدن بیرینگ باید از بیرینگ با لقی بیشتر از نرمال استفاده شود.

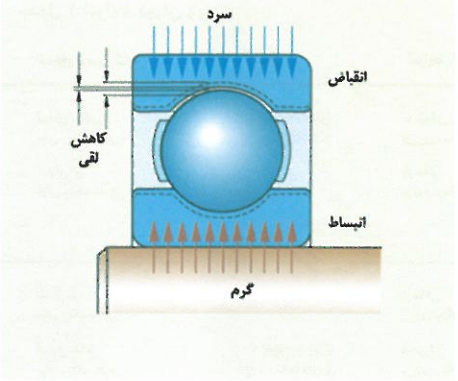
۴ـ شرایط دمایی

در بیشتر کاربردها رینگ خارجی دمای کارکرد کم‌تری از رینگ داخلی دارد. این مسئله ممکن است باعث کاهش لقی داخلی بیرینگ شود (شکل ۱۶).

رینگ‌های بیرینگ در حین کار به دمای بالاتری نسبت به اجزای دیگر می‌رسند. این موضوع می‌تواند باعث لق شدن انطباق تداخلی رینگ داخلی بر روی شفت‌شده و یا انبساط رینگ خارجی ممکن است از حرکت محوری آن در نشیمنگاه جلوگیری کند. راه‌اندازی سریع و اصطکاک آب‌بندها نیز ممکن است باعث شل شدن انطباق رینگ داخلی شود.

لازم است اختلاف دما و جهت انتقال حرارت در چیدمان بیرینگ‌ها به صورت دقیق مورد بررسی قرار گیرد.

شکل ۱۶



۵ـ الزامات مرتبط به دقت‌های حرکتی

به منظور کاهش تغییر شکل و ارتعاشات در ماشین آلاتی که نیاز به دقت حرکتی زیاد دارند نباید از انطباق لق استفاده شود. محل استقرار بیرینگ (بر روی شفت یا نشیمنگاه) باید با تلرانس‌های ابعادی دقیق، حداقل گرید ۵ برای شفت و گرید ۶ برای نشیمنگاه ماشینکاری شوند. تلرانس‌های دقیق‌تری باید برای استوانه‌ای بودن (Cylindricity) بکار روند. (جدول ۱۱، صفحه ۱۸۴)

۶ـ طرح و جنس شفت و نشیمنگاه

انطباق رینگ بیرینگ بر روی شفت یا در نشیمنگاه نباید باعث واپیچش (Distortion) غیریکنواخت و در نتیجه انحراف از گرد بودن (Out-of-Round) ناخواسته رینگ شود. این مسئله برای مثال می‌تواند ناشی از ناپیوستگی در محل استقرار بیرینگ باشد. بنابراین نمی‌توان از نشیمنگاه دو تکه (Split Housing) برای ایجاد انطباق تداخلی استفاده کرد و انطباق انتخاب‌شده نباید از گروه تلرانس H (و یا حداکثر K) تداخل بیشتری ایجاد کند. به منظور ایجاد حمایت لازم از رینگ‌های بیرینگ در نشیمنگاه جدار نازک (Thin-Walled Housing)، نشیمنگاه از جنس آلیاژ سبک (Light Alloy Housing) و شفت‌های توخالی، معمولاً از تداخل بیشتری نسبت به آنچه برای نشیمنگاه فولادی با ضخامت زیاد یا چدنی و یا شفت توپر لازم است، باید استفاده کرد (به بخش « انطباق برای شفت توخالی » در صفحه ۱۶۰ مراجعه کنید). همچنین برای شفت‌ها از جنس خاص ممکن است نیاز به انطباق تداخلی کم‌تری باشد.

۷ـ راحتی نصب و در آوردن

بیرینگ‌ها با انطباق لق معمولاً راحت‌تر از بیرینگ‌ها با انطباق تداخلی نصب و در آورده می‌شوند. وقتی که شرایط کارکرد ایجاب می‌کند که از انطباق تداخلی استفاده شود و از طرف دیگر راحتی نصب و در آوردن یک الزام می‌باشد می‌توان از بیرینگ‌های تفکیک‌پذیر و یا بیرینگ‌های با رینگ داخلی مخروطی استفاده کرد. بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی یا مستقیماً بر روی شفت مخروطی نصب می‌شوند و یا به کمک غلاف واسطه یا غلاف بیرون کشیدنی بر روی شفت استوانه‌ای نصب می‌شوند (شکل ۲۶، ۲۷ و ۲۸ صفحه ۱۸۹).

۸ـ جابجایی بیرینگ شناور

اگر از بیرینگی که قابلیت تحمل جابجایی محوری را در خود ندارد، برای موقعیت شناور در یک چیدمان استفاده شود، باید یکی از رینگ‌های بیرینگ تحت هر شرایطی توانایی حرکت محوری را داشته باشد. با در نظر گرفتن انطباق لق برای رینگ تحت بار ساکن این مشکل حل می‌شود. (شکل ۲۰ صفحه ۱۸۷). وقتی که رینگ خارجی تحت بار ساکن است این حرکت محوری در داخل نشیمنگاه انجام می‌گیرد، اگر برای مثال از نشیمنگاه با جنس آلیاژ سبک استفاده می‌شود، یک بوش سخت‌شده معمولاً بین رینگ خارجی و نشیمنگاه نصب می‌شود تا از خرابی نشیمنگاه، به علت سختی کم‌تر جلوگیری شود. در غیر این صورت علاوه بر تخریب نشیمنگاه، پس از مدتی حرکت محوری بیرینگ نیز محدود شده و یا کلاً از آن جلوگیری می‌شود.

اگر از رولربیرینگ‌های استوانه‌ای با یک رینگ بدون لبه، رولربیرینگ‌های سوزنی و یا رولربیرینگ‌ها توریدال CARB استفاده شود، هر دو رینگ را می‌توان به صورت تداخلی نصب کرد زیرا جابجایی محوری در داخل بیرینگ انجام می‌گیرد.

انطباقات توصیه‌شده

تلرانس‌های رینگ داخلی و خارجی بیرینگ‌ها استاندارد شده‌اند (بخش « تلرانس‌ها » صفحه ۱۰۸).

برای رسیدن به یک انطباق تداخلی یا لق برای بیرینگ‌ها با رینگ داخلی و خارجی استوانه‌ای لازم است که محدوده تلرانس مناسب برای شفت و نشیمنگاه از سیستم تلرانس‌های ISO انتخاب شوند. فقط تعداد محدودی از گریدهای تلرانس ISO برای بیرینگ‌ها بکار می‌روند. موقعیت این گریدهای تلرانس نسبت به تلرانس رینگ داخلی و خارجی بیرینگ در شکل ۱۷ صفحه ۱۵۶ نشان داده شده‌اند.

بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی مستقیماً بر روی شفت مخروطی نصب می‌شوند و یا به کمک یک غلاف واسطه و یا غلاف بیرون کشیدنی که سطح خارجی مخروطی دارند بر روی شفت استوانه‌ای نصب می‌شوند. میزان حرکت رینگ داخلی بر روی سطح مخروطی شفت یا غلاف تعیین‌کننده میزان انطباق است. در این شرایط باید به کاهش لقی داخلی توجه شود و این موضوع در بخش‌های مربوط به « بلبیرینگ‌های خود تنظیم »، « رولربیرینگ‌های کروی » و « رولربیرینگ‌های توریدال CARB » بررسی شده است.

اگر بیرینگ‌ها به کمک غلاف واسطه یا غلاف بیرون کشیدنی بر روی شفت نصب شوند، محدوده تلرانس باز را می‌توان برای شفت در نظر گرفت. اما تلرانس‌های استوانه‌ای بودن باید کاهش داده شوند (بخش « دقت‌های ابعادی، فرم و حرکتی شفت و نشیمنگاه بیرینگ و پله‌ها، صفحه ۱۸۲)

جداول انطباقات توصیه‌شده

انطباقات توصیه‌شده برای شفت فولادی توپر در جداول زیر آورده شده‌اند.

جدول۲: بیرینگ‌های شعاعی با رینگ داخلی استوانه‌ای

جدول ۳: بیرینگ‌های کف‌گرد

و برای نشیمنگاه‌های فولادی و چدنی،

جدول ۴: بیرینگ‌های شعاعی ـ نشیمنگاه یکپارچه (Non- split)

جدول ۵: بیرینگ‌های شعاعی ـ نشیمنگاه یکپارچه یا دو تکه

جدول ۶: بیرینگ‌های کف‌گرد

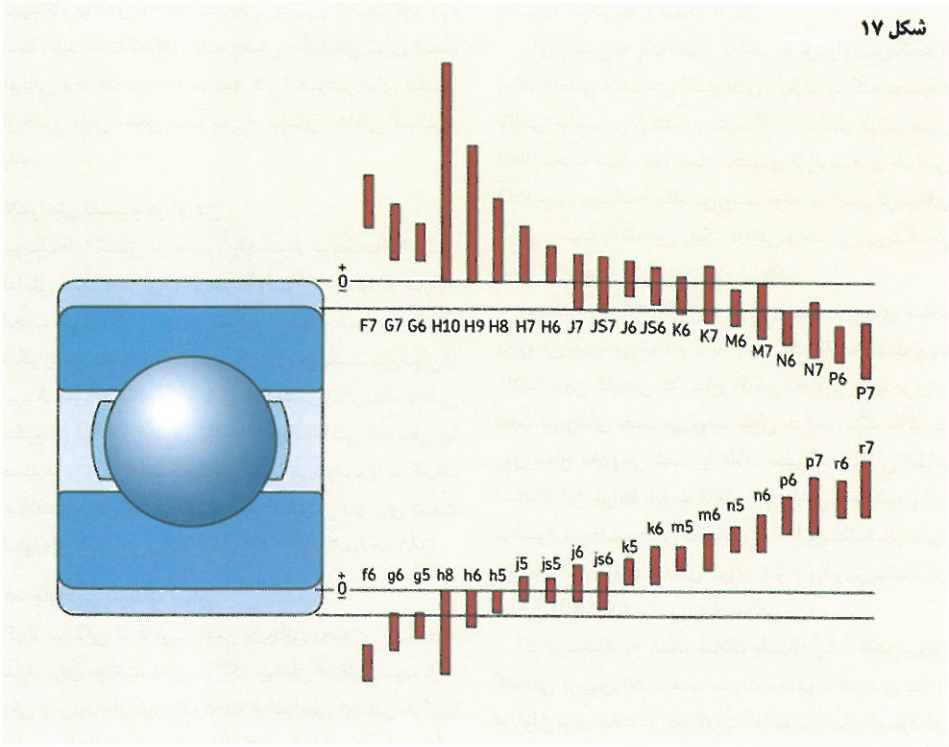
این توصیه‌ها بر اساس نکات گفته‌شده در بخش‌های قبلی برای بیرینگ‌های جدید می‌باشند.

توسعه در طراحی بیرینگ‌ها و سال‌ها تجربه در زمینه چیدمان و کاربرد بیرینگ‌ها اساس این جداول می‌باشند. بیرینگ‌های جدید بار بیشتری نسبت به بیرینگ‌های قدیمی تحمل می‌کنند و این افزایش تحمل بار در جداول منظور شده است.[1]

توجه

برای بیرینگ‌ها از فولاد ضد زنگ می‌توان از تلرانس‌های جداول ۲ تا ۶ در صفحات ۱۵۷ تا ۱۵۹ استفاده نمود ولی باید به پانویس‌های ۲ و ۳ در جدول ۲ توجه کرد. پانویس ۱ در جدول ۲ برای بیرینگ‌ها از فولادهای ضد زنگ صحیح نمی‌باشد. همچنین در صورت استفاده از بیرینگ‌ها از فولاد ضد زنگ در دماهای بالا لازم است لقی داخلی اولیه بیرینگ مورد توجه قرار گیرد.

شکل ۱۷



۱. استفاده از انطباقات توصیه‌شده در این بخش برای بیرینگ‌های قدیمی ممکن است موجب شکست رینگ‌های بیرینگ شود. مترجم

جدول ۲ انطباقات برای شفتهای فولادی توپر

بیرینگهای شعاعی با رینگ داخلی استوانه ای

شرایط[1]	مثالها	قطر شفت، mm				تلرانسها
		بلبرینگها[1]	رولر بیرینگهای استوانه ای	رولر بیرینگهای مخروطی	رولر بیرینگهای CARB و کروی	
رینگ داخلی تحت بار متحرک یا جهت بار نامعین						
بارهای سبک و متغیر ($P \leq 0,05\ C$)	Conveyors, lightly loaded gearbox bearings	≤ 17	–	–	–	js5(h5)[2]
		(17) to 100	≤ 25	≤ 25	–	j6(j5)[2]
		(100) to 140	(25) to 60	(25) to 60	–	k6
		–	(60) to 140	(60) to 140	–	m6
بارهای معمولی تا سنگین ($P > 0,05\ C$)	Bearing applications generally, electric motors, turbines, pumps, gearing, wood-working machines, wind mills	≤10	–	–	–	js5
		(10) to 17	–	–	–	j5(js5)[2]
		(17) to 100	–	–	< 25	k5[3]
		–	≤ 30	≤ 40	–	k6
		(100) to 140	(30) to 50	–	25 to 40	m5
		(140) to 200	–	(40) to 65	–	m6
		–	(50) to 65	–	(40) to 60	n5[4]
		(200) to 500	(65) to 100	(65) to 200	(60) to 100	n6[4]
		–	(100) to 280	(200) to 360	(100)to 200	p6[5]
		>500	–	–	–	p7[4]
		–	(280) to 500	(360) to 500	(200) to 500	r6[4]
		–	> 500	> 500	> 500	r7[4]
بارهای سنگین و خیلی سنگین و بارهای شوک با شرایط کاری سخت ($P > 0,1\ C$)	Axleboxes for heavy railway vehicles, traction motors, rolling mills	–	(50) to 65	–	(50) to 70	n5[4]
		–	(65) to 85	(50) to 110	–	n6[4]
		–	(85) to 140	(110) to 200	(70) to 140	p6[6]
		–	(140) to 300	(200) to 500	(140) to 280	r6[7]
		–	(300) to 500	–	(280) to 400	$s6_{min} \pm IT6/2$[6][8]
		–	> 500	> 500	> 400	$s7_{min} \pm IT7/2$[6][8]
شرایطی که نیاز به دقتهای حرکتی بالا تحت بار سبک است ($P \leq 0,05\ C$)	Machine tools	8 to 240	–	–	–	js4
		–	25 to 40	25 to 40	–	js4 (j5)[9]
		–	(40) to 140	(40) to 140	–	k4 (k5)[9]
		–	(140) to 200	(140) to 200	–	m5
		–	(200) to 500	(200) to 500	–	n5
رینگ داخلی تحت بار ثابت						
جابجایی راحت رینگ داخلی بر روی شفت مورد نیاز است	Wheels on non-rotating axles					g6[10]
جابجایی راحت رینگ داخلی بر روی شفت مورد نیاز نمی باشد	Tension pulleys, rope sheaves					h6
فقط بار محوری						
	Bearing applications of all kinds	≤ 250	–	≤ 250	≤ 250	j6
		> 250	–	> 250	> 250	js6

۱) برای بیرینگهای تحت بار معمولی تا سنگین ($P > 0,05\ C$)، در صورت استفاده از انطباقات جدول فوق، اغلب لقی شعاعی بزرگتر از نرمال نیاز است. گاهی شرایط کارکرد استفاده از انطباق محکمتری را برای جلوگیری از چرخش رینگ داخلی بر روی شفت الزام می کند. در صورتیکه لقی داخلی درست (معمولاً بزرگتر از نرمال) انتخاب شده باشد تلرانس های زیر را می توان استفاده نمود.

- k4 برای قطر شفت از 10 تا 17mm
- k5 برای قطر شفت از (17) تا 25mm
- m5 برای قطر شفت از (25) تا 140mm
- n6 برای قطر شفت از (140) تا 300mm
- p6 برای قطر شفت از (300) تا 500mm

۲) تلرانسهای داخل پرانتز برای بیرینگها از فولاد ضد زنگ بکار می روند.

۳) برای بیرینگها از فولاد ضد زنگ با قطر داخلی از 17 تا 30mm، تلرانس j5 بکار می رود.

۴) ممکن است بیرینگ با لقی داخلی شعاعی بزرگتر از نرمال مورد نیاز باشد.

۵) برای قطر $d \leq 150mm$ بیرینگ با لقی داخلی شعاعی بزرگتر از نرمال توصیه می شود. برای $d > 150$ ممکن است بیرینگ با لقی داخلی شعاعی بزرگتر از نرمال نیاز باشد.

۶) بیرینگ با لقی داخلی شعاعی بزرگتر از نرمال توصیه می شود.

۷) ممکن است بیرینگ با لقی داخلی شعاعی بزرگتر از نرمال نیاز باشد. برای رولر بیرینگهای استوانه ای لقی داخلی شعاعی بزرگتر از نرمال توصیه می شود.

۸) برای تعین مقدار تلرانس به کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده مراجعه کنید.

۹) تلرانس داخل پرانتز برای رولر بیرینگهای مخروطی کاربرد دارد. برای رولر بیرینگهای مخروطی تحت بار سبک که بوسیله رینگ داخلی تنظیم می شوند تلرانسهای js5 یا js6 باید استفاده شوند.

۱۰) تلرانس f6 را می توان برای بیرینگهای بزرگ بمنظور جابجایی راحت آنها استفاده کرد.

جدول ۳ انطباقات برای شفت های فولادی توپر

بیرینگهای کف گرد

شرایط	قطر شفت	تلرانس
فقط بار محوری		
Thrust ball bearings	–	h6
Cylindrical roller thrust bearings	–	h6 (h8)
Cylindrical roller and cage thrust assemblies	–	h8
بار شعاعی و محوری ترکیبی وارده بر رولر بیرینگهای کروی کف گرد		
بار ثابت وارده بر واشر شفت	≤ 250	j6
	> 250	js6
بار متحرک وارده بر واشر شفت	≤ 200	k6
یا جهت بار نامعین	(200) to 400	m6
	> 400	n6

جدول ٤ انطباقات برای نشیمنگاههای فولادی و چدنی

بیرینگهای شعاعی - نشیمنگاههای یک تکه

شرایط	مثالها	تلرانس[1]	جابجایی رینگ خارجی
رینگ خارجی تحت بار متحرک			
بار سنگین بر روی بیرینگ در نشیمنگاه جدار نازک، بارهای شوک سنگین (P > 0,1 C)	Roller bearing wheel hubs, big-end bearings	P7	نمی تواند جابجا شود
بارهای نرمال تا سنگین (P > 0,05 C)	Ball bearing wheel hubs, big-end bearings, crane travelling wheels	N7	نمی تواند جابجا شود
بارهای سبک و متغیر (P ≤ 0,05 C)	Conveyor rollers, rope sheaves, belt tensioner pulleys	M7	نمی تواند جابجا شود
جهت بار نامعین			
بارهای شوک سنگین	Electric traction motors	M7	نمی تواند جابجا شود
بارهای نرمال تا سنگین (P > 0,05 C)، جابجایی محوری رینگ خارجی لازم نمی باشد	Electric motors, pumps, crankshaft bearings	K7	نمی تواند جابجا شود
حرکت دقیق و بدون سروصدا[2]			
بلبیرینگها	Small electric motors	J6[3]	می تواند جابجا شود
رولر بیرینگهای مخروطی	When adjusted via the outer ring	JS5	–
	Axially located outer ring	K5	–
	Rotating outer ring load	M5	–

۱) تلرانس گرید IT6 برای بلبیرینگها با $D \leq 100$ ترجیح داده می شود و برای بیرینگها با رینگهای کم ضخامت نظیر سریهای قطر 7، 8 و 9 توصیه می شود. برای این سریها تلرانس IT4 برای استوانه ای بودن توصیه می شود.

۲) برای بیرینگهای دقیق با کلاس P5 و دقیقتر به مرجع [1] مراجعه کنید.

۳) برای جابجایی بهتر از H6 بجای J6 استفاده کنید.

جدول ۵ انطباقات برای نشیمنگاههای فولادی و چدنی
بیرینگهای شعاعی - دو تکه یا یک تکه

جابجایی رینگ خارجی	تلرانس [1]	مثالها	شرایط
			جهت بار نامعین
می تواند جابجا شود	J7	Medium-sized electrical machines, pumps, crankshaft bearings	بارهای سبک تا نرمال ($P \leq 0,1\,C$) جابجایی محوری رینگ خارجی لازم است
			رینگ خارجی تحت بار ثابت
می تواند جابجا شود	H7 [2]	General engineering, railway axleboxes	انواع گوناگون بار
می تواند جابجا شود	H8	General engineering	بار سبک تا نرمال ($P \leq 0,1\,C$) با شرایط کاری نرمال
می تواند جابجا شود	G7 [3]	Drying cylinders, large electrical machines with spherical roller bearings	انتقال حرارت از طریق شفت

۱) تلرانس گرید IT6 برای بلبیرینگها با $D \leq 100$ ،ترجیح داده می شود و برای بیرینگها با رینگهای کم ضخامت نظیر سریهای قطر 7، 8 و 9 توصیه می شود. برای این سریها تلرانس IT4 برای استوانه ای بودن توصیه می شود.

۲) برای بیرینگهای بزرگ ($D > 250$ mm) و اختلاف دما بین رینگ خارجی و نشیمنگاه $10\,°C <$ ، G7 باید بجای H7 استفاده شود.

۳) برای بیرینگهای بزرگ ($D > 250$ mm) و اختلاف دما بین رینگ خارجی و نشیمنگاه $10\,°C <$ ، F7 باید بجای G7 استفاده شود.

جدول ٦ انطباقات برای نشیمنگاههای فولادی و چدنی
بیرینگهای کف گرد

توضیحات	تلرانس	شرایط
		فقط بار محوری
برای چیدمان بیرینگها با دقت کمتر لقی شعاعی می تواند تا D 0,001 باشد	H8	بلبیرینگهای کف گرد
	H7 (H9)	رولربیرینگهای کف گرد استوانه ای
	H10	مجموعه قفسه و رولرهای استوانه ای کف گرد
واشر نشیمنگاه باید با لقی شعاعی کافی نصب شود تا بار شعاعی بر بیرینگ وارد نشود	–	رولر بیرینگهای کروی کف گرد در شرایطی که بیرینگ دیگری بار شعاعی را تحمل می کند
		بار شعاعی و محوری ترکیبی وارده بر رولر بیرینگ کروی کف گرد
"طراحی اجزای در برگیرنده بیرینگ "در بخش "رولر بیرینگهای کروی کف گرد" صفحه ۴۶۹ را ببینید	H7	بار ثابت بر روی واشر نشیمنگاه
	M7	بار متحرک بر روی واشر نشیمنگاه

جداول تلرانس‌ها

جداول ۷ و ۸ برای تلرانس‌های شفت و نشیمنگاه اطلاعات زیر را در رابطه با انطباقات به دست می‌دهند.

- حدود بالا و پایین انحراف قطر داخلی و خارجی بیرینگ برای تلرانس‌های نرمال
- حدود بالا و پایین انحراف قطر شفت و نشیمنگاه مطابق استاندارد ISO 286-2:1988
- کم‌ترین و بیشترین مقدار تداخل (+) یا لقی (−) تئوری ناشی از انطباق
- کم‌ترین و بیشترین مقدار تداخل (+) یا لقی (−) احتمالی ناشی از انطباق

انطباق مناسب برای رینگ داخلی بر روی شفت در جداول تلرانس زیر آورده شده‌اند،

e7، f5، f6، g5 و g6 در جدول ۷ الف، صفحات ۱۶۲ و ۱۶۳
h5، h6، h8، h9 و j5 در جدول ۷ ب، صفحات ۱۶۴ و ۱۶۵
j6، js5، js6، js7 و k4 در جدول ۷ ج، صفحات ۱۶۶ و ۱۶۷
k5، k6، m5، m6 و n5 در جدول ۷ د، صفحات ۱۶۸ و ۱۶۹
n6، p6، p7، r6 و r7 در جدول ۷ ه، صفحات ۱۷۰ و ۱۷۱

انطباق مناسب برای رینگ خارجی در نشیمنگاه در جداول تلرانس زیر آورده شده‌اند،

F7، G6، G7، H5 و H6 در جدول ۸ الف صفحات ۱۷۲ و ۱۷۳
H7، H8، H9، H10 و J6 در جدول ۸ ب صحفات ۱۷۴ و ۱۷۵
J7، JS5، JS6، JS7 و K5 در جدول ۸ ج صفحات ۱۷۶، و ۱۷۷
K6، K7، M5، M6 و M7 در جدول ۸ د صفحات ۱۷۸ و ۱۷۹
N6، N7، P6 و P7 در جدول ۸ ه صفحات ۱۸۰ و ۱۸۱

مقادیر تلرانس رینگ داخلی و خارجی برای تلرانس‌های نرمال در جدول فوق برای کلیه بیرینگ‌های متریک بجز و رولربیرینگ‌های مخروطی متریک با $d \le 30$ mm و $D \le 150$ mm و بیرینگ‌های کف‌گرد با $D \le 150$ mm، صادق می‌باشند. تلرانس‌های قطر برای این بیرینگ‌ها با تلرانس‌های نرمال برای دیگر رولربیرینگ‌ها (جداول تلرانس‌ها در صفحات ۱۱۳ تا ۱۲۰) تفاوت دارند.

مقادیر مربوط به تداخل احتمالی دربرگیرنده 99٪ حالات مختلف تداخل و لقی می‌باشند (به عبارات دیگر به احتمال 99٪ انطباق در محدوده انطباق احتمالی قرار می‌گیرد).

وقتی بیرینگ با تلرانس دقیق‌تر از نرمال مورد استفاده می‌گیرد، تلرانس‌های رینگ داخلی و خارجی کاهش می‌یابند و در نتیجه آن تداخل یا لقی کاهش می‌یابد. در این شرایط لازم است حدود انطباق با دقت بیشتری محاسبه شود.

انطباق برای شفت توخالی (Hollow Shaft)

اگر لازم است بیرینگی به صورت تداخلی بر روی شفت توخالی نصب شود نیاز به تداخل بیشتری نسبت به شفت توپر می‌باشد تا فشار سطحی مشابهی بین رینگ داخلی و سطح شفت ایجاد شود. نسبت‌های قطری زیر برای تعیین میزان انطباق با اهمیت می‌باشند.

$$c_i = \frac{d_i}{d} \quad \text{و} \quad c_e = \frac{d}{d_e}$$

انطباق به طور قابل ملاحظه تغییر نمی‌کند مگر این که $c_i \ge 0.5$ باشد. اگر متوسط قطر خارجی رینگ داخلی مشخص نیست، نسبت قطر c_e را می‌توان با دقت کافی از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$c_e = \frac{d}{k(D-d)+d}$$

که در آن

c_i = نسبت قطر برای شفت توخالی
c_e = نسبت قطر رینگ داخلی
d = قطر خارجی شفت توخالی، قطر داخلی بیرینگ، mm
d_i = قطر داخلی شفت توخالی، mm
d_e = متوسط قطر خارجی رینگ داخلی، mm
D = قطر خارجی بیرینگ، mm
k = ضریب وابسته به نوع بیرینگ، برای بلبیرینگ‌های خود تنظیم سری‌های 22 و 23، $k = 0.25$
برای رولربیرینگ استوانه‌ای، $k = 0.25$
و برای انواع دیگر بیرینگ‌ها، $k = 0.3$

برای تعیین انطباق تداخلی مورد نیاز برای نصب بیرینگ بر روی شفت توخالی، از تداخل احتمالی متوسط برای نصب بیرینگ بر روی شفت توپر که از جدول انطباق توصیه‌شده به دست می‌آید، استفاده می‌کنیم. اگر تغییر شکل پلاستیک (صاف شدن) سطوح تماس قابل صرفنظر باشد می‌توان تداخل مؤثر را برابر متوسط تداخل احتمالی در نظر گرفت.

تداخل Δ_H لازم برای شفت فولادی توخالی از دیاگرام ۱ با داشتن تداخل Δ_V برای شفت توپر محاسبه می‌شود. Δ_V میانگین مقادیر کم‌ترین و بیشترین مقدار تداخل احتمالی برای شفت توپر است. پس تلرانس شفت توخالی باید طوری انتخاب شود که میانگین تداخل احتمالی ناشی از آن به مقدار Δ_H به دست آمده از دیاگرام ۱ نزدیک باشد.

مثال

بلبیرینگ شیار عمیق 6208 با d=40 mm و D=80 mm بر روی یک شفت توخالی با نسبت قطر $c_i = 0.8$ نصب شده است. تداخل مورد نیاز و حدود تلرانس مناسب شفت را محاسبه کنید؟

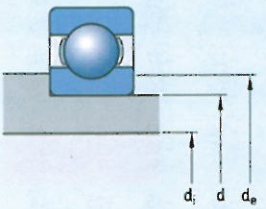
اگر بیرینگ بر روی شفت توپر فولادی نصب شود و تحت بار نرمال باشد، تلرانس k5 توصیه می‌شود. از جدول ۷ د، صفحه ۱۶۸ برای قطر شفت 40 mm، میانگین تداخل احتمالی $\Delta_V = (22+5)/2 = 13.5$ µm است.

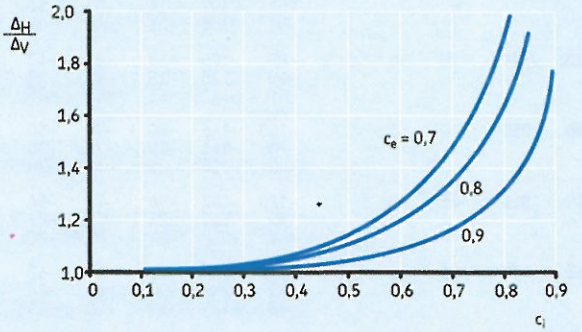
برای $c_i = 0.8$ و

$$c_e = \frac{40}{0.3(80-40)+40} = 0.77$$

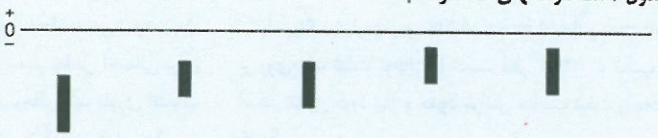
بنابراین از دیاگرام ۱ نسبت $\Delta_H/\Delta_V = 1.7$ به دست می‌آید. بنابراین تداخل مورد نیاز برای شفت توخالی $\Delta_H = 1.7 \times 13.5 = 23$ µm است و تلرانس m6 برای شفت توخالی مناسب می‌باشد زیرا تداخل احتمالی میانگینی برابر با مقدار فوق به دست می‌دهد.

نمودار ۱ رابطه تداخل Δ_H لازم برای شفت توخالی براساس انطباق Δ_V برای شفت فولادی توپر



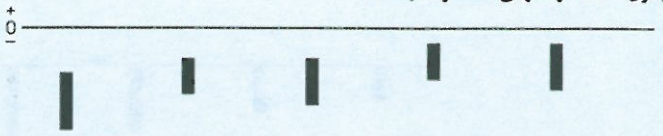


جدول ۷ الف تلرانسهای شفت و انطباقات



شفت قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر داخلی		انحراف از قطر شفت، انطباقات تلرانسها									
d		Δ_{dmp}		e7		f5		f6		g5		g6	
				انحراف (قطر شفت) تداخل (+) / لقی (−) تئوری تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
بیشتر از	تا و شامل	low	high										
mm		µm		µm									
1	3	−8	0	−14	−24	−6	−10	−6	−12	−2	−6	−2	−8
				−6	−24	+2	−10	+2	−12	+6	−6	+6	−8
				−8	−22	+1	−9	0	−10	+5	−5	+4	−6
3	6	−8	0	−20	−32	−10	−15	−10	−18	−4	−9	−4	−12
				−12	−32	−2	−15	−2	−18	+4	−9	+4	−12
				−14	−30	−3	−14	−4	−16	+3	−8	+2	−10
6	10	−8	0	−25	−40	−13	−19	−13	−22	−5	−11	−5	−14
				−17	−40	−5	−19	−5	−22	+3	−11	+3	−14
				−20	−37	−7	−17	−7	−20	+1	−9	+1	−12
10	18	−8	0	−32	−50	−16	−24	−16	−27	−6	−14	−6	−17
				−24	−50	−8	−24	−8	−27	+2	−14	+2	−17
				−27	−47	−10	−22	−10	−25	0	−12	0	−15
18	30	−10	0	−40	−61	−20	−29	−20	−33	−7	−16	−7	−20
				−30	−61	−10	−29	−10	−33	+3	−16	+3	−20
				−33	−58	−12	−27	−13	−30	+1	−14	0	−17
30	50	−12	0	−50	−75	−25	−36	−25	−41	−9	−20	−9	−25
				−38	−75	−13	−36	−13	−41	+3	−20	+3	−25
				−42	−71	−16	−33	−17	−37	0	−17	−1	−21
50	80	−15	0	−60	−90	−30	−43	−30	−49	−10	−23	−10	−29
				−45	−90	−15	−43	−15	−49	+5	−23	+5	−29
				−50	−85	−19	−39	−19	−45	+1	−19	+1	−25
80	120	−20	0	−72	−107	−36	−51	−36	−58	−12	−27	−12	−34
				−52	−107	−16	−51	−16	−58	+8	−27	+8	−34
				−59	−100	−21	−46	−22	−52	+3	−22	+2	−28
120	180	−25	0	−85	−125	−43	−61	−43	−68	−14	−32	−14	−39
				−60	−125	−18	−61	−18	−68	+11	−32	+11	−39
				−68	−117	−24	−55	−25	−61	+5	−26	+4	−32
180	250	−30	0	−100	−146	−50	−70	−50	−79	−15	−35	−15	−44
				−70	−146	−20	−70	−20	−79	+15	−35	+15	−44
				−80	−136	−26	−64	−28	−71	+9	−29	+7	−36
250	315	−35	0	−110	−162	−56	−79	−56	−88	−17	−40	−17	−49
				−75	−162	−21	−79	−21	−88	+18	−40	+18	−49
				−87	−150	−29	−71	−30	−79	+10	−32	+9	−40
315	400	−40	0	−125	−182	−62	−87	−62	−98	−18	−43	−18	−54
				−85	−182	−22	−87	−22	−98	+22	−43	+22	−54
				−98	−169	−30	−79	−33	−87	+14	−35	+11	−43
400	500	−45	0	−135	−198	−68	−95	−68	−108	−20	−47	−20	−60
				−90	−198	−23	−95	−23	−108	+25	−47	+25	−60
				−105	−183	−32	−86	−35	−96	+16	−38	+13	−48

جدول ۷ الف تلرانسهای شفت و انطباقات



شفت قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر داخلی		انحراف از قطر شفت، انطباقات تلرانسها									
d		Δ_{dmp}		e7		f5		f6		g5		g6	
				انحراف (قطر شفت) تداخل (+) / لقی (−) تئوری تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
بیشتر از	تا و شامل	low	high										
mm		µm		µm									
500	630	−50	0	−145	−215	−76	−104	−76	−120	−22	−50	−22	−66
				−95	−215	−26	−104	−26	−120	+28	−50	+28	−66
				−111	−199	−36	−94	−39	−107	+18	−40	+15	−53
630	800	−75	0	−160	−240	−80	−112	−80	−130	−24	−56	−24	−74
				−85	−240	−5	−112	−5	−130	+51	−56	+51	−74
				−107	−218	−17	−100	−22	−113	+39	−44	+34	−57
800	1 000	−100	0	−170	−260	−86	−122	−86	−142	−26	−62	−26	−82
				−70	−260	+14	−122	+14	−142	+74	−62	+74	−82
				−97	−233	0	−108	−6	−122	+60	−48	+54	−62
1 000	1 250	−125	0	−195	−300	−98	−140	−98	−164	−28	−70	−28	−94
				−70	−300	+27	−140	+27	−164	+97	−70	+97	−94
				−103	−267	+10	−123	+3	−140	+80	−53	+73	−70
1 250	1 600	−160	0	−220	−345	−110	−160	−110	−188	−30	−80	−30	−108
				−60	−345	+50	−160	+50	−188	+130	−80	+130	−108
				−100	−305	+29	−139	+20	−158	+109	−59	+100	−78
1 600	2 000	−200	0	−240	−390	−120	−180	−120	−212	−32	−92	−32	−124
				−40	−390	+80	−180	+80	−212	+168	−92	+168	−124
				−90	−340	+55	−155	+45	−177	+143	−67	+133	−89

جدول ۷ ب تلرانسهای شفت و انطباقات

شفت قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر داخلی		انحراف از قطر شفت، انطباقات تلرانسها								
d		Δ_{dmp}		h5		h6		h8		h9	j5	
				انحراف (قطر شفت) تداخل (+) / لقی (-) تئوری تداخل (+) / لقی (-) احتمالی								
بیشتر از	تا و شامل	low	high									
mm		µm		µm								
1	3	−8	0	0	−4	0	−6	0	−14	0	−25	+2	−2
				+8	−4	+8	−6	+8	−14	+8	−25	+10	−2
				+7	−3	+6	−4	+6	−12	+5	−22	+9	−1
3	6	−8	0	0	−5	0	−8	0	−18	0	−30	+3	−2
				+8	−5	+8	−8	+8	−18	+8	−30	+11	−2
				+7	−4	+6	−6	+5	−15	+5	−27	+10	−1
6	10	−8	0	0	−6	0	−9	0	−22	0	−36	+4	−2
				+8	−6	+8	−9	+8	−22	+8	−36	+12	−2
				+6	−4	+6	−7	+5	−19	+5	−33	+10	0
10	18	−8	0	0	−8	0	−11	0	−27	0	−43	+5	−3
				+8	−8	+8	−11	+8	−27	+8	−43	+13	−3
				+6	−6	+6	−9	+5	−24	+5	−40	+11	−1
18	30	−10	0	0	−9	0	−13	0	−33	0	−52	+5	−4
				+10	−9	+10	−13	+10	−33	+10	−52	+15	−4
				+8	−7	+7	−10	+6	−29	+6	−48	+13	−2
30	50	−12	0	0	−11	0	−16	0	−39	0	−62	+6	−5
				+12	−11	+12	−16	+12	−39	+12	−62	+18	−5
				+9	−8	+8	−12	+7	−34	+7	−57	+15	−2
50	80	−15	0	0	−13	0	−19	0	−46	0	−74	+6	−7
				+15	−13	+15	−19	+15	−46	+15	−74	+21	−7
				+11	−9	+11	−15	+9	−40	+9	−68	+17	−3
80	120	−20	0	0	−15	0	−22	0	−54	0	−87	+6	−9
				+20	−15	+20	−22	+20	−54	+20	−87	+26	−9
				+15	−10	+14	−16	+12	−46	+12	−79	+21	−4
120	180	−25	0	0	−18	0	−25	0	−63	0	−100	+7	−11
				+25	−18	+25	−25	+25	−63	+25	−100	+32	−11
				+19	−12	+18	−18	+15	−53	+15	−90	+26	−5
180	250	−30	0	0	−20	0	−29	0	−72	0	−115	+7	−13
				+30	−20	+30	−29	+30	−72	+30	−115	+37	−13
				+24	−14	+22	−21	+18	−60	+17	−102	+31	−7
250	315	−35	0	0	−23	0	−32	0	−81	0	−130	+7	−16
				+35	−23	+35	−32	+35	−81	+35	−130	+42	−16
				+27	−15	+26	−23	+22	−68	+20	−115	+34	−8
315	400	−40	0	0	−25	0	−36	0	−89	0	−140	+7	−18
				+40	−25	+40	−36	+40	−89	+40	−140	+47	−18
				+32	−17	+29	−25	+25	−74	+23	−123	+39	−10
400	500	−45	0	0	−27	0	−40	0	−97	0	−155	+7	−20
				+45	−27	+45	−40	+45	−97	+45	−155	+52	−20
				+36	−18	+33	−28	+28	−80	+26	−136	+43	−11

جدول ۷ ب تلرانسهای شفت و انطباقات

شفت قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر داخلی		انحراف از قطر شفت، انطباقات تلرانسها							
d		Δ_{dmp}		h5		h6		h8		h9	j5
				انحراف (قطر شفت)							
				تداخل (+) / لقی (–) تئوری							
				تداخل (+) / لقی (–) احتمالی							
بیشتر از	تا و شامل	low	high								
mm		µm		µm							
500	630	–50	0	0	–28	0	–44	0	–110	0	–175	–	–
				+50	–28	+50	–44	+50	–110	+50	–175	–	–
				+40	–18	+37	–31	+31	–91	+29	–154	–	–
630	800	–75	0	0	–32	0	–50	0	–125	0	–200	–	–
				+75	–32	+75	–50	+75	–125	+75	–200	–	–
				+63	–20	+58	–33	+48	–98	+45	–170	–	–
800	1 000	–100	0	0	–36	0	–56	0	–140	0	–230	–	–
				+100	–36	+100	–56	+100	–140	+100	–230	–	–
				+86	–22	+80	–36	+67	–107	+61	–191	–	–
1 000	1 250	–125	0	0	–42	0	–66	0	–165	0	–260	–	–
				+125	–42	+125	–66	+125	–165	+125	–260	–	–
				+108	–25	+101	–42	+84	–124	+77	–212	–	–
1 250	1 600	–160	0	0	–50	0	–78	0	–195	0	–310	–	–
				+160	–50	+160	–78	+160	–195	+160	–310	–	–
				+139	–29	+130	–48	+109	–144	+100	–250	–	–
1 600	2 000	–200	0	0	–60	0	–92	0	–230	0	–370	–	–
				+200	–60	+200	–92	+200	–230	+200	–370	–	–
				+175	–35	+165	–57	+138	–168	+126	–296	–	–

جدول ۷ ج تلرانسهای شفت و انطباقات

شفت قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر داخلی		انحراف از قطر شفت، انطباقات تلرانسها									
d		Δ_{dmp}		j6		js5		js6		js7		k4	
				انحراف (قطر شفت) تداخل (+) / لقی (−) تئوری تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
بیشتر از	تا و شامل	low	high										
mm		µm		µm									
1	3	−8	0	+4	−2	+2	−2	+3	−3	+5	−5	+3	0
				+12	−2	+10	−2	+11	−3	+13	−5	+11	0
				+10	0	+9	−1	+9	−1	+11	−3	+10	+1
3	6	−8	0	+6	−2	+2,5	−2,5	+4	−4	+6	−6	+5	+1
				+14	−2	+10,5	−2,5	+12	−4	+14	−6	+13	+1
				+12	0	+9	−1	+10	−2	+12	−4	+12	+2
6	10	−8	0	+7	−2	+3	−3	+4,5	−4,5	+7,5	−7,5	+5	+1
				+15	−2	+11	−3	+12,5	−4,5	+15,5	−7,5	+13	+1
				+13	0	+9	−1	+11	−3	+13	−5	+12	+2
10	18	−8	0	+8	−3	+4	−4	+5,5	−5,5	+9	−9	+6	+1
				+16	−3	+12	−4	+13,5	−5,5	+17	−9	+14	+1
				+14	−1	+10	−2	+11	−3	+14	−6	+13	+2
18	30	−10	0	+9	−4	+4,5	−4,5	+6,5	−6,5	+10,5	−10,5	+8	+2
				+19	−4	+14,5	−4,5	+16,5	−6,5	+20,5	−10,5	+18	+2
				+16	−1	+12	−2	+14	−4	+17	−7	+16	+4
30	50	−12	0	+11	−5	+5,5	−5,5	+8	−8	+12,5	−12,5	+9	+2
				+23	−5	+17,5	−5,5	+20	−8	+24,5	−12,5	+21	+2
				+19	−1	+15	−3	+16	−4	+20	−8	+19	+4
50	80	−15	0	+12	−7	+6,5	−6,5	+9,5	−9,5	+15	−15	+10	+2
				+27	−7	+21,5	−6,5	+24,5	−9,5	+30	−15	+25	+2
				+23	−3	+18	−3	+20	−5	+25	−10	+22	+5
80	120	−20	0	+13	−9	+7,5	−7,5	+11	−11	+17,5	−17,5	+13	+3
				+33	−9	+27,5	−7,5	+31	−11	+37,5	−17,5	+33	+3
				+27	−3	+23	−3	+25	−5	+31	−11	+30	+6
120	180	−25	0	+14	−11	+9	−9	+12,5	−12,5	+20	−20	+15	+3
				+39	−11	+34	−9	+37,5	−12,5	+45	−20	+40	+3
				+32	−4	+28	−3	+31	−6	+37	−12	+36	+7
180	250	−30	0	+16	−13	+10	−10	+14,5	−14,5	+23	−23	+18	+4
				+46	−13	+40	−10	+44,5	−14,5	+53	−23	+48	+4
				+38	−5	+34	−4	+36	−6	+43	−13	+43	+9
250	315	−35	0	+16	−16	+11,5	−11,5	+16	−16	+26	−26	+20	+4
				+51	−16	+46,5	−11,5	+51	−16	+61	−26	+55	+4
				+42	−7	+39	−4	+42	−7	+49	−14	+49	+10
315	400	−40	0	+18	−18	+12,5	−12,5	+18	−18	+28,5	−28,5	+22	+4
				+58	−18	+52,5	−12,5	+58	−18	+68,5	−28,5	+62	+4
				+47	−7	+44	−4	+47	−7	+55	−15	+55	+11
400	500	−45	0	+20	−20	+13,5	−13,5	+20	−20	+31,5	−31,5	+25	+5
				+65	−20	+58,5	−13,5	+65	−20	+76,5	−31,5	+70	+5
				+53	−8	+49	−4	+53	−8	+62	−17	+63	−12

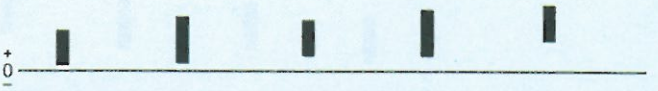
جدول ۷ ج تلرانسهای شفت و انطباقات

شفت قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر داخلی		انحراف از قطر شفت، انطباقات تلرانسها									
d		Δ_{dmp}		j6		js5		js6		js7		k4	
				انحراف (قطر شفت)									
				تداخل (+) / لقی (−) تئوری									
بیشتر از	تا و شامل	low	high	تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
mm		µm		µm									
500	630	−50	0	+22	−22	+14	−14	+22	−22	+35	−35	–	–
				+72	−22	+64	−14	+72	−22	+85	−35	–	–
				+59	−9	+54	−4	+59	−9	+69	−19	–	–
630	800	−75	0	+25	−25	+16	−16	+25	−25	+40	−40	–	–
				+100	−25	+91	−16	+100	−25	+115	−40	–	–
				+83	−8	+79	−4	+83	−8	+93	−18	–	–
800	1 000	−100	0	+28	−28	+18	−18	+28	−28	+45	−45	–	–
				+128	−28	+118	−18	+128	−28	+145	−45	–	–
				+108	−8	+104	−4	+108	−8	+118	−18	–	–
1 000	1 250	−125	0	+33	−33	+21	−21	+33	−33	+52	−52	–	–
				+158	−33	+146	−21	+158	−33	+177	−52	–	–
				+134	−9	+129	−4	+134	−9	+145	−20	–	–
1 250	1 600	−160	0	+39	−39	+25	−25	+39	−39	+62	−62	–	–
				+199	−39	+185	−25	+199	−39	+222	−62	–	–
				+169	−9	+164	−4	+169	−9	+182	−22	–	–
1 600	2 000	−200	0	+46	−46	+30	−30	+46	−46	+75	−75	–	–
				+246	−46	+230	−30	+246	−46	+275	−75	–	–
				+211	−11	+205	−5	+211	−11	+225	−25	–	–

جدول ۷ د تلرانسهای شفت و انطباقات

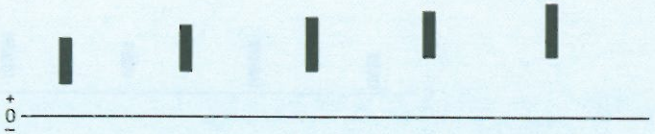
شفت قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر داخلی		انحراف از قطر شفت، انطباقات تلرانسها							
d		Δ_{dmp}		k5		k6		m5		m6		n5	
				انحراف (قطر شفت)							
				تداخل (+) / لقی (−) تئوری							
بیشتر از	تا و شامل	low	high	تداخل (+) / لقی (−) احتمالی							
mm		µm		µm							
1	3	−8	0	+4	0	+6	0	+6	+2	+8	+2	+8	+4
				+12	0	+14	0	+14	+2	+16	+2	+16	+4
				+11	+1	+12	+2	+13	+3	+14	+4	+15	+5
3	6	−8	0	+6	+1	+9	+1	+9	+4	+12	+4	+13	+8
				+14	+1	+17	+1	+17	+4	+20	+4	+21	+8
				+13	+2	+15	+3	+16	+5	+18	+6	+20	+9
6	10	−8	0	+7	+1	+10	+1	+12	+6	+15	+6	+16	+10
				+15	+1	+18	+1	+20	+6	+23	+6	+24	+10
				+13	+3	+16	+3	+18	+8	+21	+8	+22	+12
10	18	−8	0	+9	+1	+12	+1	+15	+7	+18	+7	+20	+12
				+17	+1	+20	+1	+23	+7	+26	+7	+28	+12
				+15	+3	+18	+3	+21	+9	+24	+9	+26	+14
18	30	−10	0	+11	+2	+15	+2	+17	+8	+21	+8	+24	+15
				+21	+2	+25	+2	+27	+8	+31	+8	+34	+15
				+19	+4	+22	+5	+25	+10	+28	+11	+32	+17
30	50	−12	0	+13	+2	+18	+2	+20	+9	+25	+9	+28	+17
				+25	+2	+30	+2	+32	+9	+37	+9	+40	+17
				+22	+5	+26	+6	+29	+12	+33	+13	+37	+20
50	80	−15	0	+15	+2	+21	+2	+24	+11	+30	+11	+33	+20
				+30	+2	+36	+2	+39	+11	+45	+11	+48	+20
				+26	+6	+32	+6	+35	+15	+41	+15	+44	+24
80	120	−20	0	+18	+3	+25	+3	+28	+13	+35	+13	+38	+23
				+38	+3	+45	+3	+48	+13	+55	+13	+58	+23
				+33	+8	+39	+9	+43	+18	+49	+19	+53	+28
120	180	−25	0	+21	+3	+28	+3	+33	+15	+40	+15	+45	+27
				+46	+3	+53	+3	+58	+15	+65	+15	+70	+27
				+40	+9	+46	+10	+52	+21	+58	+22	+64	+33
180	250	−30	0	+24	+4	+33	+4	+37	+17	+46	+17	+51	+31
				+54	+4	+63	+4	+67	+17	+76	+17	+81	+31
				+48	+10	+55	+12	+61	+23	+68	+25	+75	+37
250	315	−35	0	+27	+4	+36	+4	+43	+20	+52	+20	+57	+34
				+62	+4	+71	+4	+78	+20	+87	+20	+92	+34
				+54	+12	+62	+13	+70	+28	+78	+29	+84	+42
315	400	−40	0	+29	+4	+40	+4	+46	+21	+57	+21	+62	+37
				+69	+4	+80	+4	+86	+21	+97	+21	+102	+37
				+61	+12	+69	+15	+78	+29	+86	+32	+94	+45
400	500	−45	0	+32	+5	+45	+5	+50	+23	+63	+23	+67	+40
				+77	+5	+90	+5	+95	+23	+108	+23	+112	+40
				+68	+14	+78	+17	+86	+32	+96	+35	+103	+49

جدول ۷ د تلرانسهای شفت و انطباقات



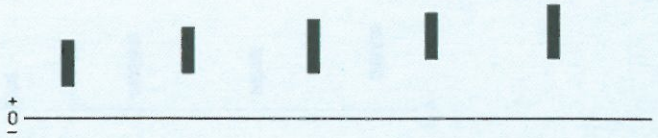
شفت قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر داخلی		انحراف از قطر شفت، انطباقات تلرانسها							
d		Δ_{dmp}		k5		k6		m5		m6		n5	
				انحراف (قطر شفت)									
				تداخل (+) / لقی (−) تئوری									
بیشتر از	تا و شامل	low	high	تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
mm		µm		µm									
500	630	−50	0	+29	0	+44	0	+55	+26	+70	+26	+73	+44
				+78	0	+94	0	+104	+26	+120	+26	+122	+44
				+68	+10	+81	+13	+94	+36	+107	+39	+112	+54
630	800	−75	0	+32	0	+50	0	+62	+30	+80	+30	+82	+50
				+107	0	+125	0	+137	+30	+155	+30	+157	+50
				+95	+12	+108	+17	+125	+42	+138	+47	+145	+62
800	1 000	−100	0	+36	0	+56	0	+70	+34	+90	+34	+92	+56
				+136	0	+156	0	+170	+34	+190	+34	+192	+56
				+122	+14	+136	+20	+156	+48	+170	+54	+178	+70
1 000	1 250	−125	0	+42	0	+66	0	+82	+40	+106	+40	+108	+66
				+167	0	+191	0	+207	+40	+231	+40	+233	+66
				+150	+17	+167	+24	+190	+57	+207	+64	+216	+83
1 250	1 600	−160	0	+50	0	+78	0	+98	+48	+126	+48	+128	+78
				+210	0	+238	0	+258	+48	+286	+48	+288	+78
				+189	+21	+208	+30	+237	+69	+256	+78	+267	+99
1 600	2 000	−200	0	+60	0	+92	0	+118	+58	+150	+58	+152	+92
				+260	0	+292	0	+318	+58	+350	+58	+352	+92
				+235	+25	+257	+35	+293	+83	+315	+93	+327	+117

جدول ۷ ه تلرانسهای شفت و انطباقات



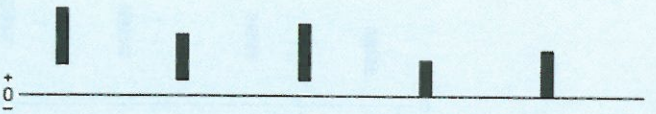
شفت قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر داخلی		انحراف از قطر شفت، انطباقات تلرانسها									
d		Δ_{dmp}		n6		p6		p7		r6		r7	
				انحراف (قطر شفت)									
				تداخل (+) / لقی (-) تئوری									
				تداخل (+) / لقی (-) احتمالی									
بیشتر از	تا و شامل	low	high										
mm		µm		µm									
80	100	−20	0	+45	+23	+59	+37	+72	+37	+73	+51	+86	+51
				+65	+23	+79	+37	+92	+37	+93	+51	+106	+51
				+59	+29	+73	+43	+85	+44	+87	+57	+99	+58
100	120	−20	0	+45	+23	+59	+37	+72	+37	+76	+54	+89	+54
				+65	+23	+79	+37	+92	+37	+96	+54	+109	+54
				+59	+29	+73	+43	+85	+44	+90	+60	+102	+61
120	140	−25	0	+52	+27	+68	+43	+83	+43	+88	+63	+103	+63
				+77	+27	+93	+43	+108	+43	+113	+63	+128	+63
				+70	+34	+86	+50	+100	+51	+106	+70	+120	+71
140	160	−25	0	+52	+27	+68	+43	+83	+43	+90	+65	+105	+65
				+77	+27	+93	+43	+108	+43	+115	+65	+130	+65
				+70	+34	+86	+50	+100	+51	+108	+72	+122	+73
160	180	−25	0	+52	+27	+68	+43	+83	+43	+93	+68	+108	+68
				+77	+27	+93	+43	+108	+43	+118	+68	+133	+68
				+70	+34	+86	+50	+100	+51	+111	+75	+125	+76
180	200	−30	0	+60	+31	+79	+50	+96	+50	+106	+77	+123	+77
				+90	+31	+109	+50	+126	+50	+136	+77	+153	+77
				+82	+39	+101	+58	+116	+60	+128	+85	+143	+87
200	225	−30	0	+60	+31	+79	+50	+96	+50	+109	+80	+126	+80
				+90	+31	+109	+50	+126	+50	+139	+80	+156	+80
				+82	+39	+101	+58	+116	+60	+131	+88	+146	+90
225	250	−30	0	+60	+31	+79	+50	+96	+50	+113	+84	+130	+84
				+90	+31	+109	+50	+126	+50	+143	+84	+160	+84
				+82	+39	+101	+58	+116	+60	+135	+92	+150	+94
250	280	−35	0	+66	+34	+88	+56	+108	+56	+126	+94	+146	+94
				+101	+34	+123	+56	+143	+56	+161	+94	+181	+94
				+92	+43	+114	+65	+131	+68	+152	+103	+169	+106
280	315	−35	0	+66	+34	+88	+56	+108	+56	+130	+98	+150	+98
				+101	+34	+123	+56	+143	+56	+165	+98	+185	+98
				+92	+43	+114	+65	+131	+68	+156	+107	+173	+110
315	355	−40	0	+73	+37	+98	+62	+119	+62	+144	+108	+165	+108
				+113	+37	+138	+62	+159	+62	+184	+108	+205	+108
				+102	+48	+127	+73	+146	+75	+173	+119	+192	+121
355	400	−40	0	+73	+37	+98	+62	+119	+62	+150	+114	+171	+114
				+113	+37	+138	+62	+159	+62	+190	+114	+211	+114
				+102	+48	+127	+73	+146	+75	+179	+125	+198	+127
400	450	−45	0	+80	+40	+108	+68	+131	+68	+166	+126	+189	+126
				+125	+40	+153	+68	+176	+68	+211	+126	+234	+126
				+113	+52	+141	+80	+161	+83	+199	+138	+219	+141

جدول ۷ ه تلرانسهای شفت و انطباقات



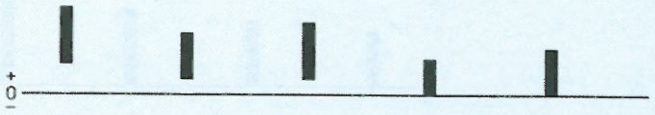
شفت		بیرینگ		انحراف از قطر شفت، انطباقات									
قطر نامی		تلرانس قطر داخلی		تلرانسها									
d		Δ_{dmp}		n6		p6		p7		r6		r7	
				انحراف (قطر شفت)									
				تداخل (+) / لقی (−) تئوری									
				تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
بیشتر از	تا و شامل	low	high										
mm		µm		µm									
450	500	−45	0	+80	+40	+108	+68	+131	+68	+172	+132	+195	+132
				+125	+40	+153	+68	+176	+68	+217	+132	+240	+132
				+113	+52	+141	+80	+161	+83	+205	+144	+225	+147
500	560	−50	0	+88	+44	+122	+78	+148	+78	+194	+150	+220	+150
				+138	+44	+172	+78	+198	+78	+244	+150	+270	+150
				+125	+57	+159	+91	+182	+94	+231	+163	+254	+166
560	630	−50	0	+88	+44	+122	+78	+148	+78	+199	+155	+225	+155
				+138	+44	+172	+78	+198	+78	+249	+155	+275	+155
				+125	+57	+159	+91	+182	+94	+236	+168	+259	+171
630	710	−75	0	+100	+50	+138	+88	+168	+88	+225	+175	+255	+175
				+175	+50	+213	+88	+243	+88	+300	+175	+330	+175
				+158	+67	+196	+105	+221	+110	+283	+192	+308	+197
710	800	−75	0	+100	+50	+138	+88	+168	+88	+235	+185	+265	+185
				+175	+50	+213	+88	+243	+88	+310	+185	+340	+185
				+158	+67	+196	+105	+221	+110	+293	+202	+318	+207
800	900	−100	0	+112	+56	+156	+100	+190	+100	+266	+210	+300	+210
				+212	+56	+256	+100	+290	+100	+366	+210	+400	+210
				+192	+76	+236	+120	+263	+127	+346	+230	+373	+237
900	1 000	−100	0	+112	+56	+156	+100	+190	+100	+276	+220	+310	+220
				+212	+56	+256	+100	+290	+100	+376	+220	+410	+220
				+192	+76	+236	+120	+263	+127	+356	+240	+383	+247
1 000	1 120	−125	0	+132	+66	+186	+120	+225	+120	+316	+250	+355	+250
				+257	+66	+311	+120	+350	+120	+441	+250	+480	+250
				+233	+90	+287	+144	+317	+153	+417	+274	+447	+283
1 120	1 250	−125	0	+132	+66	+186	+120	+225	+120	+326	+260	+365	+260
				+257	+66	+311	+120	+350	+120	+451	+260	+490	+260
				+233	+90	+287	+144	+317	+153	+427	+284	+457	+293
1 250	1 400	−160	0	+156	+78	+218	+140	+265	+140	+378	+300	+425	+300
				+316	+78	+378	+140	+425	+140	+538	+300	+585	+300
				+286	+108	+348	+170	+385	+180	+508	+330	+545	+340
1 400	1 600	−160	0	+156	+78	+218	+140	+265	+140	+408	+330	+455	+330
				+316	+78	+378	+140	+425	+140	+568	+330	+615	+330
				+286	+108	+348	+170	+385	+180	+538	+360	+575	+370
1 600	1 800	−200	0	+184	+92	+262	+170	+320	+170	+462	+370	+520	+370
				+384	+92	+462	+170	+520	+170	+662	+370	+720	+370
				+349	+127	+427	+205	+470	+220	+627	+405	+670	+420
1 800	2 000	−200	0	+184	+92	+262	+170	+320	+170	+492	+400	+550	+400
				+384	+92	+462	+170	+520	+170	+692	+400	+750	+400
				+349	+127	+427	+205	+470	+220	+657	+435	+700	+450

جدول ۸ الف تلرانسهای نشیمنگاه و انطباقات



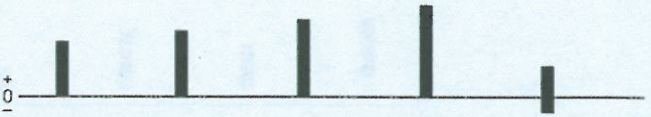
نشیمنگاه قطر نامی D		بیرینگ تلرانس قطرخارجی Δ_{Dmp}		انحراف قطر نشیمنگاه، انطباقات تلرانسها									
				F7		G6		G7		H5		H6	
				انحراف (قطر نشیمنگاه)									
				تداخل (+) / لقی (−) تئوری									
				تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
تا و شامل	بیشتر از	high	low										
mm		µm		µm									
6	10	0	−8	+13	+28	+5	+14	+5	+20	0	+6	0	+9
				−13	−36	−5	−22	−5	−28	0	−14	0	−17
				−16	−33	−7	−20	−8	−25	−2	−12	−2	−15
10	18	0	−8	+16	+34	+6	+17	+6	+24	0	+8	0	+11
				−16	−42	−6	−25	−6	−32	0	−16	0	−19
				−19	−39	−8	−23	−9	−29	−2	−14	−2	−17
18	30	0	−9	+20	+41	+7	+20	+7	+28	0	+9	+0	+13
				−20	−50	−7	−29	−7	−37	0	−18	0	−22
				−23	−47	−10	−26	−10	−34	−2	−16	−3	−19
30	50	0	−11	+25	+50	+9	+25	+9	+34	0	+11	0	+16
				−25	−61	−9	−36	−9	−45	0	−22	0	−27
				−29	−57	−12	−33	−13	−41	−3	−19	−3	−24
50	80	0	−13	+30	+60	+10	+29	+10	+40	0	+13	0	+19
				−30	−73	−10	−42	−10	−53	0	−26	0	−32
				−35	−68	−14	−38	−15	−48	−3	−23	−4	−28
80	120	0	−15	+36	+71	+12	+34	+12	+47	0	+15	0	+22
				−36	−86	−12	−49	−12	−62	0	−30	0	−37
				−41	−81	−17	−44	−17	−57	−4	−26	−5	−32
120	150	0	−18	+43	+83	+14	+39	+14	+54	0	+18	0	+25
				−43	−101	−14	−57	−14	−72	0	−36	0	−43
				−50	−94	−20	−51	−21	−65	−5	−31	−6	−37
150	180	0	−25	+43	+83	+14	+39	+14	+54	0	+18	0	+25
				−43	−108	−14	−64	−14	−79	0	−43	0	−50
				−51	−100	−21	−57	−22	−71	−6	−37	−7	−43
180	250	0	−30	+50	+96	+15	+44	+15	+61	0	+20	0	+29
				−50	−126	−15	−74	−15	−91	0	−50	0	−59
				−60	−116	−23	−66	−25	−81	−6	−44	−8	−51
250	315	0	−35	+56	+108	+17	+49	+17	+69	0	+23	0	+32
				−56	−143	−17	−84	−17	−104	0	−58	0	−67
				−68	−131	−26	−75	−29	−92	−8	−50	−9	−58
315	400	0	−40	+62	+119	+18	+54	+18	+75	0	+25	0	+36
				−62	−159	−18	−94	−18	−115	0	−65	0	−76
				−75	−146	−29	−83	−31	−102	−8	−57	−11	−65
400	500	0	−45	+68	+131	+20	+60	+20	+83	0	+27	0	+40
				−68	−176	−20	−105	−20	−128	0	−72	0	−85
				−83	−161	−32	−93	−35	−113	−9	−63	−12	−73
500	630	0	−50	+76	+146	+22	+66	+22	+92	0	+28	0	+44
				−76	−196	−22	−116	−22	−142	0	−78	0	−94
				−92	−180	−35	−103	−38	−126	−10	−68	−13	−81

جدول ۸ الف تلرانسهای نشیمنگاه و انطباقات



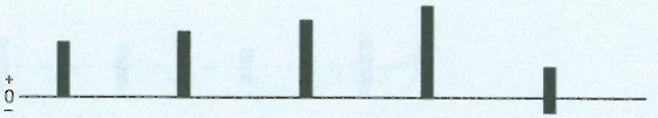
نشیمنگاه قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر خارجی		انحراف قطر نشیمنگاه، انطباقات تلرانسها									
D		Δ_{Dmp}		F7		G6		G7		H5		H6	
				انحراف (قطر نشیمنگاه)									
				تداخل (+) / لقی (−) تئوری									
				تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
بیشتر از	تا و شامل	high	low										
mm		µm		µm									
630	800	0	−75	+80	+160	+24	+74	+24	+104	0	+32	0	+50
				−80	−235	−24	−149	−24	−179	0	−107	0	−125
				−102	−213	−41	−132	−46	−157	−12	−95	−17	−108
800	1 000	0	−100	+86	+176	+26	+82	+26	+116	0	+36	0	+56
				−86	−276	−26	−182	−26	−216	0	−136	0	−156
				−113	−249	−46	−162	−53	−189	−14	−122	−20	−136
1 000	1 250	0	−125	+98	+203	+28	+94	+28	+133	0	+42	0	+66
				−98	−328	−28	−219	−28	−258	0	−167	0	−191
				−131	−295	−52	−195	−61	−225	−17	−150	−24	−167
1 250	1 600	0	−160	+110	+235	+30	+108	+30	+155	0	+50	0	+78
				−110	−395	−30	−268	−30	−315	0	−210	0	−238
				−150	−355	−60	−238	−70	−275	−21	−189	−30	−208
1 600	2 000	0	−200	+120	+270	+32	+124	+32	+182	0	+60	0	+92
				−120	−470	−32	−324	−32	−382	0	−260	0	−292
				−170	−420	−67	−289	−82	−332	−25	−235	−35	−257
2 000	2 500	0	−250	+130	+305	+34	+144	+34	+209	0	+70	0	+110
				−130	−555	−34	−394	−34	−459	0	−320	0	−360
				−189	−496	−77	−351	−93	−400	−30	−290	−43	−317

جدول ۸ ب تلرانسهای نشیمنگاه و انطباقات



نشیمنگاه قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر خارجی		انحراف قطر نشیمنگاه، انطباقات تلرانسها									
D		Δ_{Dmp}		H7		H8		H9		H10		J6	
				انحراف (قطر نشیمنگاه) تداخل (+) / لقی (−) تئوری تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
بیشتر از	تا و شامل	high	low										
mm		µm		µm									
6	10	0	−8	0	+15	0	+22	0	+36	0	+58	−4	+5
				0	−23	0	−30	0	−44	0	−66	+4	−13
				−3	−20	−3	−27	−3	−41	−3	−63	+2	−11
10	18	0	−8	0	+18	0	+27	0	+43	0	+70	−5	+6
				0	−26	0	−35	0	−51	0	−78	+5	−14
				−3	−23	−3	−32	−3	−48	−3	−75	+3	−12
18	30	0	−9	0	+21	0	+33	0	+52	0	+84	−5	+8
				0	−30	0	−42	0	−61	0	−93	+5	−17
				−3	−27	−3	−39	−4	−57	−4	−89	+2	−14
30	50	0	−11	0	+25	0	+39	0	+62	0	+100	−6	+10
				0	−36	0	−50	0	−73	0	−111	+6	−21
				−4	−32	−4	−46	−5	−68	−5	−106	+3	−18
50	80	0	−13	0	+30	0	+46	0	+74	0	+120	−6	+13
				0	−43	0	−59	0	−87	0	−133	+6	−26
				−5	−38	−5	−54	−5	−82	−6	−127	+2	−22
80	120	0	−15	0	+35	0	+54	0	+87	0	+140	−6	+16
				0	−50	0	−69	0	−102	0	−155	+6	−31
				−5	−45	−6	−63	−6	−96	−7	−148	+1	−26
120	150	0	−18	0	+40	0	+63	0	+100	0	+160	−7	+18
				0	−58	0	−81	0	−118	0	−178	+7	−36
				−7	−51	−7	−74	−8	−110	−8	−170	+1	−30
150	180	0	−25	0	+40	0	+63	0	+100	0	+160	−7	+18
				0	−65	0	−88	0	−125	0	−185	+7	−43
				−8	−57	−10	−78	−10	−115	−11	−174	0	−36
180	250	0	−30	0	+46	0	+72	0	+115	0	+185	−7	+22
				0	−76	0	−102	0	−145	0	−215	+7	−52
				−10	−66	−12	−90	−13	−132	−13	−202	−1	−44
250	315	0	−35	0	+52	0	+81	0	+130	0	+210	−7	+25
				0	−87	0	−116	0	−165	0	−245	+7	−60
				−12	−75	−13	−103	−15	−150	−16	−229	−2	−51
315	400	0	−40	0	+57	0	+89	0	+140	0	+230	−7	+29
				0	−97	0	−129	0	−180	0	−270	+7	−69
				−13	−84	−15	−114	−17	−163	−18	−252	−4	−58
400	500	0	−45	0	+63	0	+97	0	+155	0	+250	−7	+33
				0	−108	0	−142	0	−200	0	−295	+7	−78
				−15	−93	−17	−125	−19	−181	−20	−275	−5	−66
500	630	0	−50	0	+70	0	+110	0	+175	0	+280	–	–
				0	−120	0	−160	0	−225	0	−330	–	–
				−16	−104	−19	−141	−21	−204	−22	−308	–	–

جدول ۸ ب تلرانسهای نشیمنگاه و انطباقات



نشیمنگاه قطر نامی D		بیرینگ تلرانس قطر خارجی Δ_{Dmp}		انحراف قطر نشیمنگاه، انطباقات تلرانسها									
				H7		H8		H9		H10		J6	
				انحراف (قطر نشیمنگاه)									
				تداخل (+) / لقی (−) تئوری									
				تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
بیشتر از	تا و شامل	high	low										
mm		µm		µm									
630	800	0	−75	0	+80	0	+125	0	+200	0	+320	–	–
				0	−155	0	−200	0	−275	0	−395	–	–
				−22	−133	−27	−173	−30	−245	−33	−362	–	–
800	1 000	0	−100	0	+90	0	+140	0	+230	0	+360	–	–
				0	−190	0	−240	0	−330	0	−460	–	–
				−27	−163	−33	−207	−39	−291	−43	−417	–	–
1 000	1 250	0	−125	0	+105	0	+165	0	+260	0	+420	–	–
				0	−230	0	−290	0	−385	0	−545	–	–
				−33	−197	−41	−249	−48	−337	−53	−492	–	–
1 250	1 600	0	−160	0	+125	0	+195	0	+310	0	+500	–	–
				0	−285	0	−355	0	−470	0	−660	–	–
				−40	−245	−51	−304	−60	−410	−67	−593	–	–
1 600	2 000	0	−200	0	+150	0	+230	0	+370	0	+600	–	–
				0	−350	0	−430	0	−570	0	−800	–	–
				−50	−300	−62	−368	−74	−496	−83	−717	–	–
2 000	2 500	0	−250	0	+175	0	+280	0	+440	0	+700	–	–
				0	−425	0	−530	0	−690	0	−950	–	–
				−59	−366	−77	−453	−91	−599	−103	−847	–	–

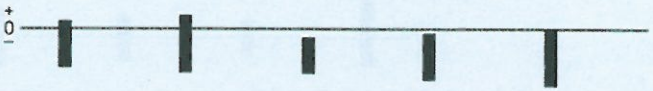
جدول ۸ ج تلرانسهای نشیمنگاه و انطباقات

نشیمنگاه قطر نامی D		بیرینگ تلرانس قطر خارجی Δ_{Dmp}		انحراف قطر نشیمنگاه، انطباقات تلرانسها J7		JS5		JS6		JS7		K5	
				انحراف (قطر نشیمنگاه) تداخل (+) / لقی (−) تئوری									
بیشتر از	تا و شامل	high	low	تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
mm		µm		µm									
6	10	0	−8	−7	+8	−3	+3	−4,5	+4,5	−7,5	+7,5	−5	+1
				+7	−16	+3	−11	+4,5	−12,5	+7,5	−15,5	+5	−9
				+4	−13	+1	−9	+3	−11	+5	−13	+3	−7
10	18	0	−8	−8	+10	−4	+4	−5,5	+5,5	−9	+9	−6	+2
				+8	−18	+4	−12	+5,5	−13,5	+9	−17	+6	−10
				+5	−15	+2	−10	+3	−11	+6	−14	+4	−8
18	30	0	−9	−9	+12	−4,5	+4,5	−6,5	+6,5	−10,5	+10,5	−8	+1
				+9	−21	+4,5	−13,5	+6,5	−15,5	+10,5	−19,5	+8	−10
				+6	−18	+2	−11	+4	−13	+7	−16	+6	−8
30	50	0	−11	−11	+14	−5,5	+5,5	−8	+8	−12,5	+12,5	−9	+2
				+11	−25	+5,5	−16,5	+8	−19	+12,5	−23,5	+9	−13
				+7	−21	+3	−14	+5	−16	+9	−20	+6	−10
50	80	0	−13	−12	+18	−6,5	+6,5	−9,5	+9,5	−15	+15	−10	+3
				+12	−31	+6,5	−19,5	+9,5	−22,5	+15	−28	+10	−16
				+7	−26	+3	−16	+6	−19	+10	−23	+7	−13
80	120	0	−15	−13	+22	−7,5	+7,5	−11	+11	−17,5	+17,5	−13	+2
				+13	−37	+7,5	−22,5	+11	−26	+17,5	−32,5	+13	−17
				+8	−32	+4	−19	+6	−21	+12	−27	+9	−13
120	150	0	−18	−14	+26	−9	+9	−12,5	+12,5	−20	+20	−15	+3
				+14	−44	+9	−27	+12,5	−30,5	+20	−38	+15	−21
				+7	−37	+4	−22	+7	−25	+13	−31	+10	−16
150	180	0	−25	−14	+26	−9	+9	−12,5	+12,5	−20	+20	−15	+3
				+14	−51	+9	−34	+12,5	−37,5	+20	−45	+15	−28
				+6	−43	+3	−28	+6	−31	+12	−37	+9	−22
180	250	0	−30	−16	+30	−10	+10	−14,5	+14,5	−23	+23	−18	+2
				+16	−60	+10	−40	+14,5	−44,5	+23	−53	+18	−32
				+6	−50	+4	−34	+6	−36	+13	−43	+12	−26
250	315	0	−35	−16	+36	−11,5	+11,5	−16	+16	−26	+26	−20	+3
				+16	−71	+11,5	−46,5	+16	+51	+26	−61	+20	−38
				+4	−59	+4	−39	+7	−42	+14	−49	+12	−30
315	400	0	−40	−18	+39	−12,5	+12,5	−18	+18	−28,5	+28,5	−22	+3
				+18	−79	+12,5	−52,5	+18	−58	+28,5	−68,5	+22	−43
				+5	−66	+4	−44	+7	−47	+15	−55	+14	−35
400	500	0	−45	−20	+43	−13,5	+13,5	−20	+20	−31,5	+31,5	−25	+2
				+20	−88	+13,5	−58,5	+20	−65	+31,5	−76,5	+25	−47
				+5	−73	+4	−49	+8	−53	+17	−62	+16	−38
500	630	0	−50	–	–	−14	+14	−22	+22	−35	+35	–	–
				–	–	+14	−64	+22	−72	+35	−85	–	–
				–	–	+4	−54	+9	−59	+19	−69	–	–

جدول ۸ ج تلرانسهای نشیمنگاه و انطباقات

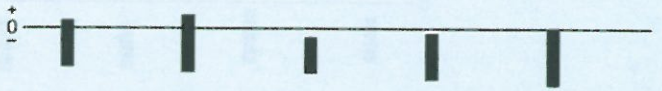
نشیمنگاه قطر نامی D		بیرینگ تلرانس قطر خارجی Δ_{Dmp}		انحراف قطر نشیمنگاه، انطباقات تلرانسها									
				J7		JS5		JS6		JS7		K5	
				انحراف (قطر نشیمنگاه)									
				تداخل (+) / لقی (−) تئوری									
بیشتر از	تا و شامل	high	low	تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
mm		µm		µm									
630	800	0	−75	–	–	−16	+16	−25	+25	−40	+40	–	–
				–	–	+16	−91	+25	−100	+40	−115	–	–
				–	–	+4	−79	+8	−83	+18	−93	–	–
800	1 000	0	−100	–	–	−18	+18	−28	+28	−45	+45	–	–
				–	–	+18	−118	+28	−128	+45	−145	–	–
				–	–	+4	−104	+8	−108	+18	−118	–	–
1 000	1 250	0	−125	–	–	−21	+21	−33	+33	−52	+52	–	–
				–	–	+21	−146	+33	−158	+52	−177	–	–
				–	–	+4	−129	+9	−134	+20	−145	–	–
1 250	1 600	0	−160	–	–	−25	+25	−39	+39	−62	+62	–	–
				–	–	+25	−185	+39	−199	+62	−222	–	–
				–	–	+4	−164	+9	−169	+22	−182	–	–
1 600	2 000	0	−200	–	–	−30	+30	−46	+46	−75	+75	–	–
				–	–	+30	−230	+46	−246	+75	−275	–	–
				–	–	+5	−205	+11	−211	+25	−225	–	–
2 000	2 500	0	−250	–	–	−35	+35	−55	+55	−87	+87	–	–
				–	–	+35	−285	+55	−305	+87	−337	–	–
				–	–	+5	−255	+12	−262	+28	−278	–	–

جدول ۸ د تلرانسهای نشیمنگاه و انطباقات



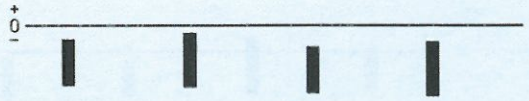
نشیمنگاه قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر خارجی		انحراف قطر نشیمنگاه، انطباقات تلرانسها									
D		Δ_{Dmp}		K6		K7		M5		M6		M7	
				انحراف (قطر نشیمنگاه) تداخل (+) / لقی (−) تئوری تداخل (+) / لقی (−) احتمالی									
بیشتر از	تا و شامل	high	low										
mm		µm		µm									
6	10	0	−8	−7	+2	−10	+5	−10	−4	−12	−3	−15	0
				+7	−10	+10	−13	+10	−4	+12	−5	+15	−8
				+5	−8	+7	−10	+8	−2	+10	−3	+12	−5
10	18	0	−8	−9	+2	−12	+6	−12	−4	−15	−4	−18	0
				+9	−10	+12	−14	+12	−4	+15	−4	+18	−8
				+7	−8	+9	−11	+10	−2	+13	−2	+15	−5
18	30	0	−9	−11	+2	−15	+6	−14	−4	−17	−4	−21	0
				+11	−11	+15	−15	+14	−4	+17	−5	+21	−9
				+8	−8	+12	−12	+12	−2	+14	−2	+18	−6
30	50	0	−11	−13	+3	−18	+7	−16	−5	−20	−4	−25	0
				+13	−14	+18	−18	+16	−6	+20	−7	+25	−11
				+10	−11	+14	−14	+13	−3	+17	−4	+21	−7
50	80	0	−13	−15	+4	−21	+9	−19	−6	−24	−5	−30	0
				+15	−17	+21	−22	+19	−7	+24	−8	+30	−13
				+11	−13	+16	−17	+16	−4	+20	−4	+25	−8
80	120	0	−15	−18	+4	−25	+10	−23	−8	−28	−6	−35	0
				+18	−19	+25	−25	+23	−7	+28	−9	+35	−15
				+13	−14	+20	−20	+19	−3	+23	−4	+30	−10
120	150	0	−18	−21	+4	−28	+12	−27	−9	−33	−8	−40	0
				+21	−22	+28	−30	+27	−9	+33	−10	+40	−18
				+15	−16	+21	−23	+22	−4	+27	−4	+33	−11
150	180	0	−25	−21	+4	−28	+12	−27	−9	−33	−8	−40	0
				+21	−29	+28	−37	+27	−16	+33	−17	+40	−25
				+14	−22	+20	−29	+21	−10	+26	−10	+32	−17
180	250	0	−30	−24	+5	−33	+13	−31	−11	−37	−8	−46	0
				+24	−35	+33	−43	+31	−19	+37	−22	+46	−30
				+16	−27	+23	−33	+25	−13	+29	−14	+36	−20
250	315	0	−35	−27	+5	−36	+16	−36	−13	−41	−9	−52	0
				+27	−40	+36	−51	+36	−22	+41	−26	+52	−35
				+18	−31	+24	−39	+28	−14	+32	−17	+40	−23
315	400	0	−40	−29	+7	−40	+17	−39	−14	−46	−10	−57	0
				+29	−47	+40	−57	+39	−26	+46	−30	+57	−40
				+18	−36	+27	−44	+31	−18	+35	−19	+44	−27
400	500	0	−45	−32	+8	−45	+18	−43	−16	−50	−10	−63	0
				+32	−53	+45	−63	+43	−29	+50	−35	+63	−45
				+20	−41	+30	−48	+34	−20	+38	−23	+48	−30
500	630	0	−50	−44	0	−70	0	–	–	−70	−26	−96	−26
				+44	−50	+70	−50	–	–	+70	−24	+96	−24
				+31	−37	+54	−34	–	–	+57	−11	+80	−8

جدول ۸ د تلرانسهای نشیمنگاه و انطباقات



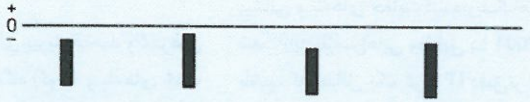
نشیمنگاه قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر خارجی		انحراف قطر نشیمنگاه، انطباقات تلرانسها							
D		Δ_{Dmp}		K6		K7		M5		M6		M7	
				انحراف (قطر نشیمنگاه) تداخل (+) / لقی (−) تئوری تداخل (+) / لقی (−) احتمالی							
بیشتر از	تا و شامل	high	low								
mm		µm		µm							
630	800	0	−75	−50	0	−80	0	–	–	−80	−30	−110	−30
				+50	−75	+80	−75	–	–	+80	−45	+110	−45
				+33	−58	+58	−53	–	–	+63	−28	+88	−23
800	1 000	0	−100	−56	0	−90	0	–	–	−90	−34	−124	−34
				+56	−100	+90	−100	–	–	+90	−66	+124	−66
				+36	−80	+63	−73	–	–	+70	−46	+97	−39
1 000	1 250	0	−125	−66	0	−105	0	–	–	−106	−40	−145	−40
				+66	−125	+105	−125	–	–	+106	−85	+145	−85
				+42	−101	+72	−92	–	–	+82	−61	+112	−52
1 250	1 600	0	−160	−78	0	−125	0	–	–	−126	−48	−173	−48
				+78	−160	+125	−160	–	–	+126	−112	+173	−112
				+48	−130	+85	−120	–	–	+96	−82	+133	−72
1 600	2 000	0	−200	−92	0	−150	0	–	–	−158	−58	−208	−58
				+92	−200	+150	−200	–	–	+150	−142	+208	−142
				+57	−165	+100	−150	–	–	+115	−107	+158	−92
2 000	2 500	0	−250	−110	0	−175	0	–	–	−178	−68	−243	−68
				+110	−250	+175	−250	–	–	+178	−182	+243	−182
				+67	−207	+116	−191	–	–	+135	−139	+184	−123

جدول ۸ ه تلرانسهای نشیمنگاه و انطباقات



نشیمنگاه قطر نامی D		بیرینگ تلرانس قطر خارجی Δ_{Dmp}		انحراف قطر نشیمنگاه، انطباقات تلرانسها							
				N6		N7		P6		P7	
				انحراف (قطر نشیمنگاه)							
				تداخل (+) / لقی (−) تئوری							
				تداخل (+) / لقی (−) احتمالی							
بیشتر از	تا و شامل	high	low								
mm		µm		µm							
6	10	0	−8	−16	−7	−19	−4	−21	−12	−24	−9
				+16	−1	+19	−4	+21	+4	+24	+1
				+14	+1	+16	−1	+19	+6	+21	+4
10	18	0	−8	−20	−9	−23	−5	−26	−15	−29	−11
				+20	+1	+23	−3	+26	+7	+29	+3
				+18	+3	+20	0	+24	+9	+26	+6
18	30	0	−9	−24	−11	−28	−7	−31	−18	−35	−14
				+24	+2	+28	−2	+31	+9	+35	+5
				+21	+5	+25	+1	+28	+12	+32	+8
30	50	0	−11	−28	−12	−33	−8	−37	−21	−42	−17
				+28	+1	+33	−3	+37	+10	+42	+6
				+25	+4	+29	+1	+34	+13	+38	+10
50	80	0	−13	−33	−14	−39	−9	−45	−26	−51	−21
				+33	+1	+39	−4	+45	+13	+51	+8
				+29	+5	+34	+1	+41	+17	+46	+13
80	120	0	−15	−38	−16	−45	−10	−52	−30	−59	−24
				+38	+1	+45	−5	+52	+15	+59	+9
				+33	+6	+40	0	+47	+20	+54	+14
120	150	0	−18	−45	−20	−52	−12	−61	−36	−68	−28
				+45	+2	+52	−6	+61	+18	+68	+10
				+39	+8	+45	+1	+55	+24	+61	+17
150	180	0	−25	−45	−20	−52	−12	−61	−36	−68	−28
				+45	−5	+52	−13	+61	+11	+68	+3
				+38	+2	+44	−5	+54	+18	+60	+11
180	250	0	−30	−51	−22	−60	−14	−70	−41	−79	−33
				+51	−8	+60	−16	+70	+11	+79	+3
				+43	0	+50	−6	+62	+19	+69	+13
250	315	0	−35	−57	−25	−66	−14	−79	−47	−88	−36
				+57	−10	+66	−21	+79	+12	+88	+1
				+48	−1	+54	−9	+70	+21	+76	+13
315	400	0	−40	−62	−26	−73	−16	−87	−51	−98	−41
				+62	−14	+73	−24	+87	+11	+98	+1
				+51	−3	+60	−11	+76	+22	+85	+14
400	500	0	−45	−67	−27	−80	−17	−95	−55	−108	−45
				+67	−18	+80	−28	+95	+10	+108	0
				+55	−6	+65	−13	+83	+22	+93	+15
500	630	0	−50	−88	−44	−114	−44	−122	−78	−148	−78
				+88	−6	+114	−6	+122	+28	+148	+28
				+75	+7	+98	+10	+109	+41	+132	+44

جدول ۸ ه تلرانسهای نشیمنگاه و انطباقات



نشیمنگاه قطر نامی		بیرینگ تلرانس قطر خارجی		انحراف قطر نشیمنگاه، انطباقات تلرانسها							
D		Δ_{Dmp}		N6		N7		P6		P7	
				انحراف (قطر نشیمنگاه)							
				تداخل (+) / لقی (−) تئوری							
بیشتر از	تا و شامل	high	low	تداخل (+) / لقی (−) احتمالی							
mm		µm		µm							
630	800	0	−75	−100	−50	−130	−50	−138	−88	−168	−88
				+100	−25	+130	−25	+138	+13	+168	+13
				+83	−8	+108	−3	+121	+30	+146	+35
800	1 000	0	−100	−112	−56	−146	−56	−156	−100	−190	−100
				+112	−44	+146	−44	+156	0	+190	0
				+92	−24	+119	−17	+136	+20	+163	+27
1 000	1 250	0	−125	−132	−66	−171	−66	−186	−120	−225	−120
				+132	−59	+171	−59	+186	−5	+225	−5
				+108	−35	+138	−26	+162	+19	+192	+28
1 250	1 600	0	−160	−156	−78	−203	−78	−218	−140	−265	−140
				+156	−82	+203	−82	+218	−20	+265	−20
				+126	−52	+163	−42	+188	+10	+225	+20
1 600	2 000	0	−200	−184	−92	−242	−92	−262	−170	−320	−170
				+184	−108	+242	−108	+262	−30	+320	−30
				+149	−73	+192	−58	+227	+5	+270	+20
2 000	2 500	0	−250	−220	−110	−285	−110	−305	−195	−370	−195
				+220	−140	+285	−140	+305	−55	+370	−55
				+177	−97	+226	−81	+262	−12	+311	+4

دقت‌های ابعادی، فرم و حرکتی شفت و نشیمنگاه بیرینگ و پله‌ها

دقت شفت و نشیمنگاه استوانه‌ای بیرینگ‌ها، واشرهای بیرینگ‌های کف‌گرد و سطوح تکیه‌گاه (گوشه و پله‌های شفت و نیشمنگاه) باید مطابق با دقت بیرینگ استفاده شده باشند. در این بخش مقادیر دقت‌های ابعادی، فرم و حرکتی مورد نیاز آورده می‌شوند. این مقادیر باید هنگام ماشینکاری شفت، نشیمنگاه و پله‌ها رعایت شوند.

تلرانس‌های ابعادی

برای بیرینگ‌ها با تلرانس نرمال، دقت‌های ابعادی برای سطح استوانه‌ای شفت باید حداقل از گرید ۶ و برای نشیمنگاه حداقل از گرید ۷ باشند، وقتی غلاف واسطه یا غلاف بیرون کشیدنی استفاده می‌شود می‌توان از تلرانس‌های بازتر (گرید ۹ یا ۱۰) برای شفت استفاده کرد (جدول ۹). مقادیر عددی گریدهای تلرانس‌های IT مطابق ISO 286 -1:1988 در جدول ۱۰ آورده شده‌اند.

برای بیرینگ‌های دقیق باید از گریدهای دقیق‌تر استفاده کرد.

تلرانس‌های فرم استوانه‌ای

تلرانس‌های استوانه‌ای بودن که در استاندارد ISO 1101:2004 تعریف شده‌اند وابسته به نیازهای هر کاربرد، باید یک یا دو گرید IT دقیق‌تر از تلرانس‌های ابعادی شرح داده شده در بالا باشند. برای مثال اگر تلرانس شفت m6 باشد دقت‌های حرکتی باید از گرید IT5 یا IT4 باشند. مقدار تلرانس t_1 برای استوانه‌ای بودن در یک شفت با قطر 150 mm برابر $t_1 = IT5/2 = 18/2 = 9\mu m$ به دست می‌آید. توجه شود که تلرانس t_1 برای شعاع می‌باشد و بنابراین $2 \times t_1$ برای قطر شفت بکار می‌رود.

جدول ۱۱ صفحه ۱۸۴ مقادیر تلرانس فرم استوانه‌ای و تلرانس لنگی کل (Total Runout) را برای کلاس‌های مختلف تلرانس بیرینگ‌ها به دست می‌دهد.

وقتی بیرینگ‌ها بر روی غلاف واسطه یا غلاف بیرون کشیدنی نصب می‌شوند، استوانه‌ای بودن محل استقرار غلاف بر روی شفت باید از گرید IT5/2 (برای شفت h9) و IT7/2 (برای شفت h10) باشد (جدول ۹).

تلرانس‌های عمودی بودن (Perpendicularity)

پیشانی و پله‌های حمایت‌کننده رینگ‌های بیرینگ بر روی شفت باید تلرانس‌هایی مطابق با ISO 1101:2004 داشته باشند، که حداقل یک گرید IT دقیق‌تر از تلرانس‌های ابعادی شفت هستند. برای محل استقرار واشر بیرینگ‌های کف‌گرد، تلرانس عمودی بودن نباید از مقادیر IT5 بیشتر باشد.

مقادیر تلرانس عمود بودن و لنگی محوری کل (Total Axial Runout) در جدول ۱۱ صفحه ۱۸۴ آورده شده‌اند.

جدول ۹ تلرانسهای شفت برای بیرینگهای نصب شده بر روی غلاف

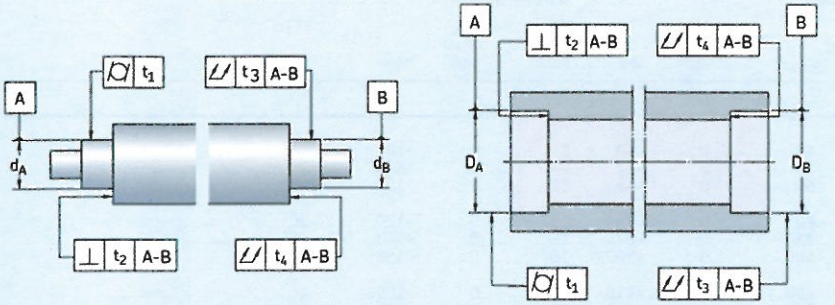
قطر شفت		تلرانسهای قطر وفرم					
d		h9		IT5[1]	h10		IT7[1]
قطر نامی		انحراف			انحراف		
بیشتر از	تا و شامل	high	low	max	high	low	max
mm		µm					
10	18	0	−43	8	0	−70	18
18	30	0	−52	9	0	−84	21
30	50	0	−62	11	0	−100	25
50	80	0	−74	13	0	−120	30
80	120	0	−87	15	0	−140	35
120	180	0	−100	18	0	−160	40
180	250	0	−115	20	0	−185	46
250	315	0	−130	23	0	−210	52
315	400	0	−140	25	0	−230	57
400	500	0	−155	27	0	−250	63
500	630	0	−175	32	0	−280	70
630	800	0	−200	36	0	−320	80
800	1 000	0	−230	40	0	−360	90
1 000	1 250	0	−260	47	0	−420	105

۱) چون محدوده تلرانس برای شماع می باشد، IT5/2 یا IT7/2 توصیه می شوند. ولی در جدول چون مقادیر برای قطر نامی شفت می باشند، نصف نشده اند.

جدول ۱۰ گریدهای تلرانس ISO برای ابعاد (طول، پهنا، قطر و ...)

قطر نامی		گرید تلرانس											
بیشتر از	تا و شامل	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
		max											
mm		µm											
1	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630
500	630	–	–	–	–	32	44	70	110	175	280	440	700
630	800	–	–	–	–	36	50	80	125	200	320	500	800
800	1 000	–	–	–	–	40	56	90	140	230	360	560	900
1 000	1 250	–	–	–	–	47	66	105	165	260	420	660	1050
1 250	1 600	–	–	–	–	55	78	125	195	310	500	780	1250
1 600	2 000	–	–	–	–	65	92	150	230	370	600	920	1 500
2 000	2 500	–	–	–	–	78	110	175	280	440	700	1 100	1 750

جدول ۱۱ دقتهای فرم و موقعیت برای محل استقرار بیرینگ بر روی شفت و نشیمنگاه



سطح مشخصه	علامت مشخصه	محدوده تلرانس	انحراف مجاز بیرینگهای با کلاس تلرانس[1] نرمال و CLN	P6	P5	
Cylindrical seating						
Cylindricity	⌭	t_1	IT5/2	IT4/2	IT3/2	IT2/2
Total radial runout	⌰	t_3	IT5/2	IT4/2	IT3/2	IT2/2
Flat abutment						
Rectangularity	⊥	t_2	IT5	IT4	IT3	IT2
Total axial runout	⌰	t_4	IT5	IT4	IT3	IT2

توضیحات

برای شرایط نرمال

برای کاربردهای که نیازبه دقتهای حرکتی زیاد دارند

۱) برای بیرینگهای دقیق (کلاس تلرانس P4 و غیره) به مرجع [I] مراجعه کنید.

تلرانس‌های شفت مخروطی

وقتی که بیرینگ مستقیماً بر روی شفت مخروطی نصب می‌شود می‌توان از تلرانس‌های بازتر نسبت به شفت استوانه‌ای استفاده کرد شکل ۱۸ تلرانس‌های گرید ۹ را برای قطر نشان می‌دهد ولی تلرانس‌های فرم مشابه شفت استوانه‌ای می‌باشند. برای شفت مخروطی محل استقرار بیرینگ موارد زیر توصیه می‌شوند.

- انحراف مجاز شیب مخروط، تلرانس ± می‌باشد که برابر با IT7/2 بر اساس پهنای B بیرینگ است. (شکل ۱۸) که مقدار آن از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\Delta_k = IT7/2B$$

و محدوده مجاز تغییرات شیب مخروط از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$V_k = 1/k \pm IT7/2B$$

که در آن

V_k = محدوده مجاز تغییرات شیب مخروط (Dispersion of the Taper Incline)

Δ_k = انحراف مجاز شیب مخروط (Deviation Taper Incline)

k = ضریب مخروط

12 برای مخروط 1:12

30 برای مخروط 1:30

B = پهنای بیرینگ، mm

IT7 = مقدار گرید تلرانس بر اساس پهنای بیرینگ، mm

- تلرانس مستقیم بودن (Straightness) برابر IT5/2 و بر اساس قطر d به شرح زیر تعریف می‌شود.

« در هر صفحه محوری عبور کننده از سطح مخروطی شفت ناحیه تلرانس به دو خط موازی به فاصله t محدود می‌شود. »

- انحراف شعاعی از فرم دایره برابر IT5/2 و بر اساس قطر d به شرح زیر تعریف می‌شود.

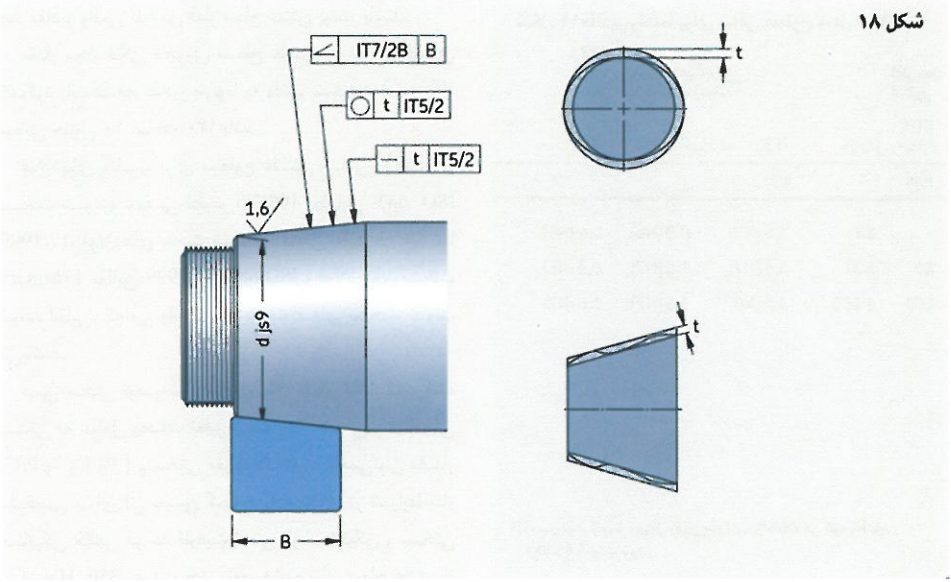
« در هر صفحه شعاعی عبورکننده از سطح مخروطی شفت ناحیه تلرانس به دو دایره هم مرکز به فاصله t محدود می‌شود. »

وقتی که نیاز به دقت‌های حرکتی بالا می‌باشد، می‌توان از تلرانس IT4/2 استفاده نمود.

بهترین روش برای تعیین تلرانس‌های توصیه‌شده سطح مخروطی، استفاده از گیج مخروطی خاص با دو پایه می‌باشد.

روش‌های دیگر ولی با دقت کم‌تر استفاده از رینگ‌گیج (Ring Gauge)، گیج مخروطی (Taper Gauge) و یا میله‌های سینوسی (Sine Bars) می‌باشند.

شکل ۱۸



صافی سطوح (Surface Roughness) محل استقرار بیرینگ‌ها

صافی سطح محل استقرار بیرینگ‌ها به اندازه دقت‌های حرکتی و تلرانس‌های ابعادی و فرم در کارکرد بیرینگ تأثیر ندارد. ولی هر چه صافی سطوح بهتر باشد تداخل دقیق‌تر به دست می‌آید. برای کاربردهای کم اهمیت، صافی سطح محل استقرار بیرینگ مهم نمی‌باشد.

برای کاربردهای که در آنها نیاز به دقت‌های حرکتی بالا می‌باشد، مقادیر صافی سطح متوسط R_a در جدول ۱۲ برای دقت‌های ابعادی متفاوت محل استقرار بیرینگ‌ها آورده شده‌اند. توصیه‌های فوق برای شفت سنگ زده شده بکار می‌روند.

سطوح غلتش بر روی شفت یا نشیمنگاه

سطوح غلتش ماشینکاری‌شده بر روی شفت یا نشیمنگاه برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای با یک رینگ و مجموعه رولرها و قفسه باید سختی بین 58 HRC تا 64 HRC، داشته باشند تا بتوان از کل ظرفیت حمل بار بیرینگ استفاده کرد.

صافی سطح باید $R_a \leq 0.2\ \mu m$ یا $R_z \leq 1\ mm$ باشد. برای کاربردها با اهمیت کم‌تر می‌توان از سختی کم‌تر و سطوح خشن‌تر نیز استفاده کرد.

انحراف از گرد بودن و فرم استوانه‌ای نباید از 25 و 50 در صد مقادیر واقعی تلرانس قطر سطح غلتش بیشتر باشند.

مقدار مجاز لنگی محوری سطح غلتش در بیرینگ‌های کف‌گرد باید مشابه مقادیر مربوط به واشر شفت و نشیمنگاه مطابق جدول ۱۰ صفحه ۱۲۰ باشد.

فولادهای مناسب برای سطوح غلتش شامل فولادهای سخت شونده عمقی نظیر 100Cr6 مطابق ISO 683-17:1999، فولادهای سخت شونده سطحی نظیر 20Cr3 یا 17MnCr5 مطابق ISO 683-17:1999 و فولادهای سخت شونده القایی، که می‌تواند به صورت منطقه‌ای سخت شوند، می‌باشند.

عمق سختی توصیه‌شده برای سطح غلتش ماشنیکاری‌شده بستگی به عوامل مختلف نظیر نسبت بار استاتیکی و دینامیکی (P/C و P_0/C_0) و سختی مغز فولاد داشته و نمی‌توان مقدار مشخصی برای آن تعیین کرد. برای مثال در شرایط بار استاتیکی خالص در حد ظرفیت اسمی بار استاتیکی و سختی مرکز 350 HV، عمق سختی توصیه‌شده برای سطح غلتش از مرتبه 0.1 قطر جزء غلتنده می‌باشد. برای بار دینامیکی عمق کم‌تر سختی مجاز است.

شکل ۱۲مقادیر راهنما برای صافی سطوح محل استقرار بیرینگ

قطر محل استقرار d (D)		مقادیر توصیه شده R_aبرای محل استقرار سنگ زده شده (عدد گرید صافی سطح) تلرانس قطر		
بیشتر از	تا و شامل	IT7	IT6	IT5
mm		µm		
–	80	1,6 (N7)	0,8 (N6)	0,4 (N5)
80	500	1,6 (N7)	1,6 (N7)	0,8 (N6)
500	1 250	3,2 (N8)[1)]	1,6 (N7)	1,6 (N7)

۱) در صورتیکه از روش تزریق روغن برای نصب استفاده می شود R_aنباید از 1,6 µm بیشتر شود.

موقعیت محوری بیرینگ‌ها

یک انطباق تداخلی به تنهایی نمی‌تواند بیرینگ را به صورت محوری مهار کند. بنابراین به عنوان یک قانون، بیرینگ‌ها باید به روش مناسب در جهت محوری نیز مهار شوند.

هر دو رینگ بیرینگ ثابت باید از دو جهت محوری مهار شوند ولی برای بیرینگ شناور، اگر از نوع تفکیک‌ناپذیر باشد، فقط رینگی که به صورت تداخلی نصب می‌شود، معمولاً رینگ داخلی، باید در جهت محوری مهار شود و رینگ دیگر باید بتواند آزادانه حرکت محوری کند. بیرینگ‌های CARB از این قاعده مستثنی بوده و هر دو رینگ آنها باید در جهت محوری مهار شوند.

برای بیرینگ‌های شناور تفکیک‌ناپذیر نظیر رولربیرینگ‌های استوانه‌ای هر دو رینگ باید در جهت محوری مهار شوند.

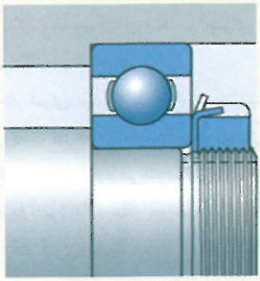
رینگ‌های بیرینگ‌ها در چیدمان ضربدری فقط لازم است در یک جهت به صورت محوری مهار شوند.

روش‌های ثابت کردن محوری بیرینگ‌ها

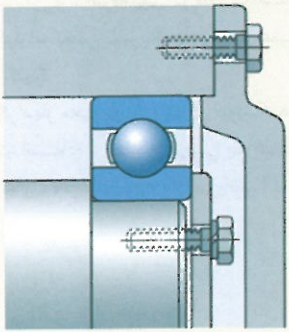
بیرینگ‌ها با رینگ داخلی استوانه‌ای

رینگ‌هایی که با انطباق تداخلی نصب می‌شوند معمولاً به وسیله پله‌های شفت یا نشیمنگاه از یک جهت به صورت محوری مهار می‌شوند (شکل ۱۹). در سمت مقابل، رینگ داخلی معمولاً به وسیله یک مهره قفل‌کن برای مثال نوع KM+MB که در بخش « مهره‌های قفل‌کن » در صفحه ۵۳۳ آورده شده‌اند (شکل ۱۹) و یا به وسیله یک صفحه که به انتهای شفت پیچ می‌شود (شکل ۲۰) مهار می‌شود. رینگ‌های خارجی معمولاً به وسیله در پوش نشیمنگاه (شکل ۲۱) یا در حالات خاص به وسیله یک رینگ رزوه‌شده (شکل ۲۲) در محل خود مهار می‌شوند.

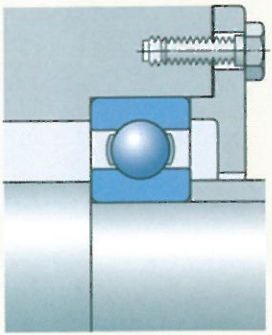
شکل ۱۹



شکل ۲۰



شکل ۲۱

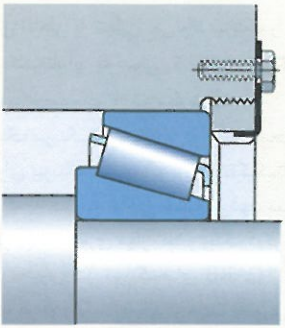


بجای ایجاد پله در شفت یا نشیمنگاه، در بعضی موارد از رینگ فاصله‌اندازه (Spcer Ring) یا حلقه واسطه (Collars) بین رینگ‌های بیرینگ و یا رینگ بیرینگ و اجزای مجاور نظیر چرخدنده (شکل ۲۳) استفاده می‌شود.

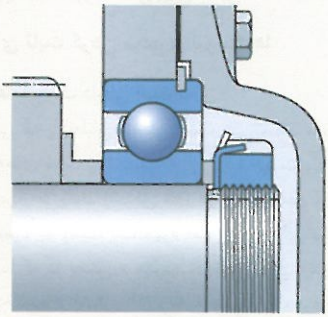
استفاده از خار فنری برای مهار محوری بیرینگ‌ها باعث صرفه‌جویی در فضا، سرعت در نصب و در آوردن و ساده شدن ماشینکاری شفت و نشیمنگاه می‌شود. اگر بار محوری متوسط یا زیادی باید مهار شود یک حلقه بین بیرینگ و خار فنری قرار داده می‌شود تا خار فنری تحت ممان خمشی اضافی قرار نگیرد (شکل ۲۴). در صورت لزوم می‌توان لقی محوری بین خار فنری و شیار محیطی آن را با انتخاب تلرانس مناسب برای حلقه واسطه و یا با استفاده از لایی فلزی (Shim) کاهش داد. بیرینگ‌ها با شیار محیطی بر روی رینگ خارجی (شکل ۲۳) را می‌توان به سادگی و با صرفه‌جوی در فضا با استفاده از خار فنری مهار کرد (به بخش بلبیرینگ‌های شیار عمیق صفحه ۲۶۵ مراجعه کنید).

روش دیگر مهار محوری که برای بیرینگ‌های دقیق مناسب است، استفاده از انطباق پرسی به شکل چیدمان غلاف‌های پله‌ای (Stepped Sleeve) می‌باشد. [1]

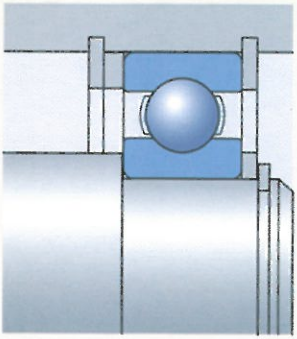
شکل ۲۲



شکل ۲۳



شکل ۲٤



بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی

بیرینگ‌ها با رینگ مخروطی که مستقیماً بر روی شفت مخروطی نصب می‌شوند را می‌توان به کمک یک مهره قفل‌کن (شکل ۲۵) مهار کرد.

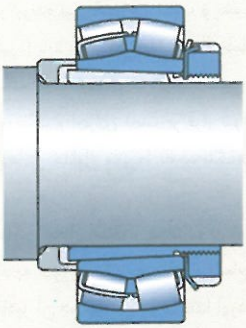
هنگام استفاده از غلاف واسطه بر روی یک شفت پله‌دار، مهره قفل‌کن بیرینگ را نسبت به غلاف ثابت می‌کند و یک رینگ فاصله‌انداز بین پله شفت و رینگ داخلی در سمت دیگر قرار می‌گیرد (شکل ۲۶) وقتی از شفت بدون پله استفاده می‌شود (شکل ۲۷)، اصطکاک بین شفت و غلاف از ظرفیت اسمی حمل بار محوری بیرینگ با اهمیت‌تر است. به بخش‌های زیر برای اطلاعات بیشتر مراجعه کنید.

- « بلبیرینگ‌های خود تنظیم » صفحه ۳۳۷ و
- « رولربیرینگ‌های کروی » صفحه ۴۱۱

وقتی بیرینگ بر روی غلاف بیرون کشیدنی نصب می‌شود یک رینگ فاصله‌اندازه که معمولاً به صورت رینگ شیاردار (labyrinth Ring) طراحی می‌شود، باید رینگ داخلی را مهار کند. غلاف به کمک یک صفحه در انتهای شفت یا یک مهره قفل‌کن (شکل ۲۸) مهار می‌شود.

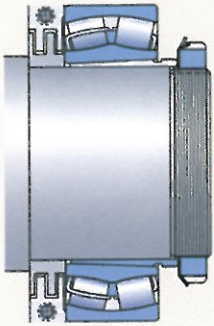
شکل ۲۵

شکل ۲۶



شکل ۲۷

شکل ۲۸



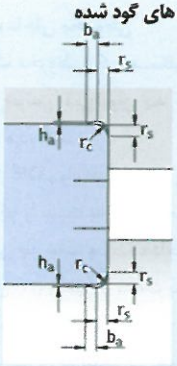
ابعاد پله‌ها و گوشه‌ها

ابعاد اجزای دربرگیرنده بیرینگ (پله شفت و نشیمنگاه، رینگ فاصله‌اندازه و غیره) باید به شکلی باشد که حمایت کافی از رینگ‌های بیرینگ ایجاد شود. ولی نباید هیچ تماسی بین اجزای دورانی بیرینگ و اجزای ثابت بر قرار شود. ابعاد مناسب برای پله‌ها و پخ‌ها در جداول مربوط به بیرینگ‌ها آورده شده است.

ابعاد گوشه‌ها بین محل استقرار بیرینگ بر روی شفت و یا در نشیمنگاه باید به صورت یک پخ ساده با شعاع گوشه r_a و r_b بوده که مقادیر آن در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند و یا مطابق ابعاد آورده‌شده در شکل ۱۳ ماشینکاری می‌شوند.

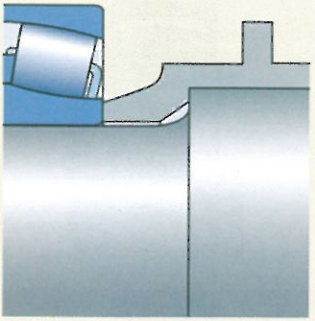
هر چه شعاع پخ بزرگ‌تر باشد توزیع تنش در این ناحیه مناسب‌تر است، لذا برای شفت تحت بار زیاد معمولاً نیاز به شعاع بزرگ‌تری است. در این شرایط یک رینگ فاصله‌انداز بین رینگ داخلی و پله شفت قرار می‌گیرد تا حمایت کافی از رینگ بیرینگ به عمل آید. رینگ فاصله‌اندازه در سمت پله شفت باید ماشینکاری شود به طوری که با گوشه شفت تماس نداشته باشد. (شکل ۲۹)

جدول ۱۳ گوشه های گود شده

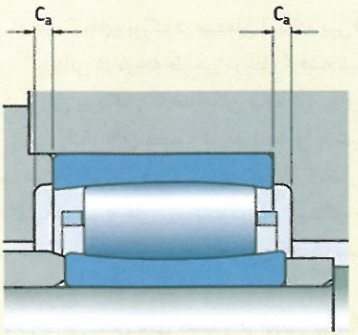


قطر پخ بیرینگ	ابعاد گوشه ها		
r_s	b_a	h_a	r_c
mm	mm		
1	2	0,2	1,3
1,1	2,4	0,3	1,5
1,5	3,2	0,4	2
2	4	0,5	2,5
2,1	4	0,5	2,5
3	4,7	0,5	3
4	5,9	0,5	4
5	7,4	0,6	5
6	8,6	0,6	6
7,5	10	0,6	7
9,5	12	0,6	9

شکل ۲۹



شکل ۳۰



رولربیرینگ‌های توریدال CARB

بیرینگ‌های CARB می‌توانند جابجایی محوری شفت را در داخل بیرینگ تحمل کنند. برای اطمینان از امکان‌پذیر بودن، این جابجایی باید فضای لازم در طرفین بیرینگ در نظر گرفته شود (شکل ۳۰).

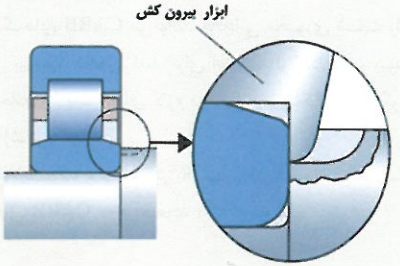
اطلاعات بیشتر در بخش « رولربیرینگ‌های توریدال CARB » در صفحه ۴۳۱ آورده شده است.

طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ

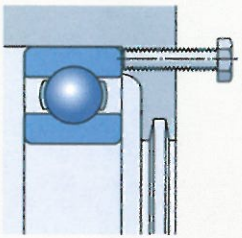
هنگامی که بیرینگ‌های بزرگ در چیدمان استفاده می‌شوند، لازم است تمهیداتی در مرحله طراحی در نظر گرفته شود تا نصب و در آوردن بیرینگ را تا حد امکان ساده کرد. برای مثال اگر شیار و یا تورفتگی‌های مناسب در پله شفت و/ یا نشیمنگاه ایجاد شود می‌توان ابزار بیرون کشیدن مناسب را بکار برود (شکل ۳۱). ایجاد سوراخ‌های رزوه‌شده در پله نشیمنگاه به در آوردن بیرینگ از نشیمنگاه به وسیله پیچ کمک می‌کند (شکل ۳۲).

اگر روش تزریق روغن برای نصب و در آوردن بیرینگ بر روی شفت مخروطی یا استوانه‌ای استفاده می‌شود، لازم است سوراخ و شیارهای لازم بر روی شفت ایجاد شوند (شکل ۳۳). فاصله شیار توزیع‌کننده روغن از سمتی که بیرینگ نصب و در آورده می‌شود باید یک‌سوم کل پهنای محل استقرار بیرینگ باشد. ابعاد توصیه‌شده برای شیار و سوراخ‌های مناسب و سوراخ‌های رزوه شده برای اتصال پمپ روغن در جداول ۱۴ و ۱۵ آورده شده‌اند.

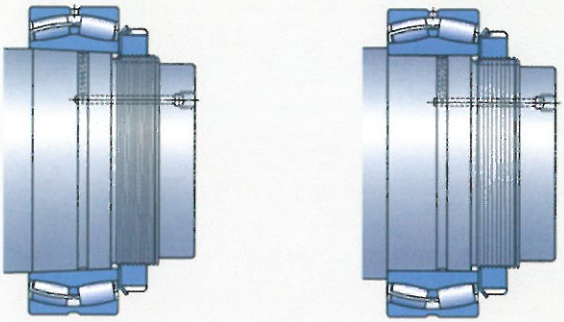
شکل ۳۱



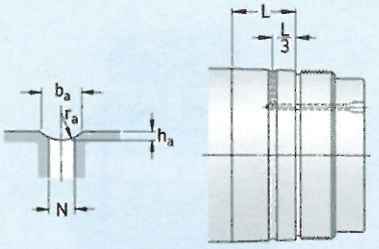
شکل ۳۲



شکل ۳۳



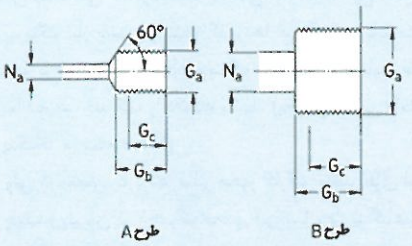
جدول ۱۴ ابعاد توصیه شده برای سوراخ و شیار تزریق روغن



قطر شفت		ابعاد b_a	h_a	r_a	N
بیشتر از	تا و شامل				
mm		mm			
–	100	3	0,5	2,5	2,5
100	150	4	0,8	3	3
150	200	4	0,8	3	3
200	250	5	1	4	4
250	300	5	1	4	4
300	400	6	1,25	4,5	5
400	500	7	1,5	5	5
500	650	8	1,5	6	6
650	800	10	2	7	7
800	1 000	12	2,5	8	8

L_1 = پهنای محل استقرار بیرینگ بر روی شفت

جدول ۱۵ ابعاد توصیه شده برای سوراخ رزوه شده جهت اتصال پمپ روغن



طرح A　　طرح B

رزوه G_a	طرح	ابعاد G_b	G_c[1] max	N_a
–	–	mm		
M 6	A	10	8	3
G 1/8	A	12	10	3
G 1/4	A	15	12	5
G 3/8	B	15	12	8
G 1/2	B	18	14	8
G 3/4	B	20	16	8

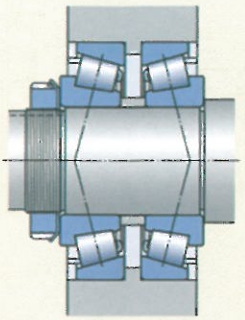
۱) طول موثر رزوه

پیش بار بیرینگ‌ها

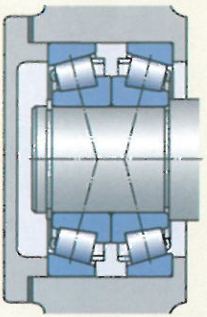
ممکن است لقی کارکرد مثبت یا منفی، وابسته به نوع کاربرد، در بیرینگ نیاز باشد. در بیشتر کاربردها لقی کارکرد باید مثبت باشد و یا به عبارت دیگر بیرینگ در حین کار باید لقی باقیمانده، هر چند کم، را داشته باشد. (بخش« لقی داخلی بیرینگ‌ها »، صفحه ۱۲۵)

ولی در بعضی کاربردها نظیر محور کارگیر ماشین‌های ابزار، چرخدنده پنیون در محرک محور اتومبیل، بیرینگ‌ها در موتورهای الکتریکی کوچک و بیرینگ‌ها در کاربردهای نوسانی، نیاز به لقی کارکرد منفی و یا به عبارت دیگر پیش بار می‌باشد، تا سختی چیدمان بیرینگ‌ها تقویت‌شده و دقت‌های حرکتی افزایش یابد. کاربرد پیش بار به وسیله فنر در شرایطی که بیرینگ بدون بار یا تحت بار کم در سرعت زیاد کار می‌کند نیز توصیه می‌شود. در این شرایط پیش بار، حداقل بار لازم بر روی بیرینگ را تأمین کرده و از خرابی بیرینگ به علت حرکت لغزشی اجزای غلتنده جلوگیری می‌کنند (بخش « بار حداقل مورد نیاز » صفحه ۶۷).

شکل ۳۴

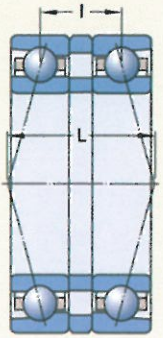


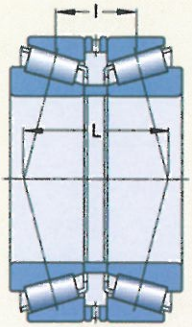
الف



ب

شکل ۳۵





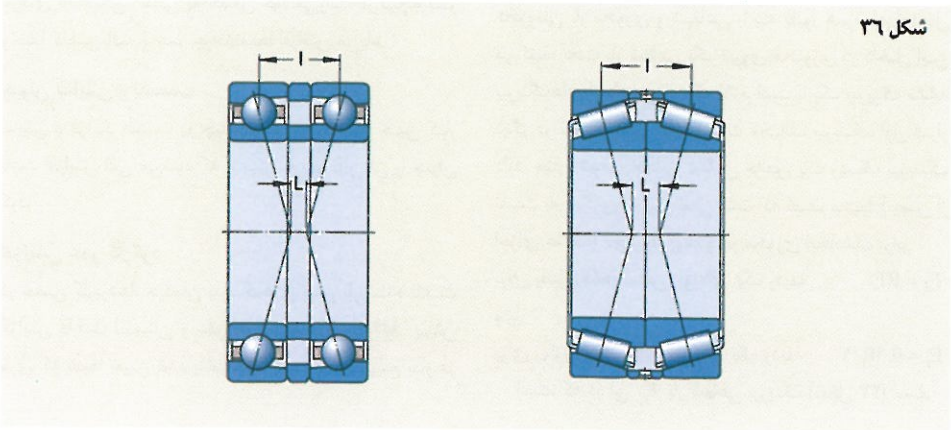
انواع پیش بار

پیش بار، وابسته به نوع بیرینگ، می‌تواند محوری یا شعاعی باشد. برای مثال، رولربیرینگ‌های استوانه‌ای، به علت طرح داخلی خاص، فقط پیش بار شعاعی می‌شوند و بیرینگ کف‌گرد و رولربیرینگ استوانه‌ای کف‌گرد فقط پیش بار محوری می‌شوند. بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه و رولربیرینگ‌های مخروطی (شکل ۳۴)، معمولاً به صورت محوری پیش بار می‌شوند و عموماً به همراه یک بیرینگ مشابه به صورت پشت به پشت (الف) یا جلو به جلو (ب) نصب می‌شوند. بلبیرینگ‌های شیار عمیق نیز عموماً به صورت محوری پیش بار می‌شوند و برای این منظور بلبیرینگ باید لقی اولیه بیشتر از نرمال (مثلاً C3) داشته باشد تا مانند بلبیرینگ تماس زاویه‌ای، یک زاویه تماس بزرگ‌تر از صفر ایجاد شود.

برای هر دو نوع بیرینگ مخروطی و تماس زاویه‌ای، فاصله L بین مراکز فشار (Pressure Centers) در چیدمان پشت به پشت (شکل ۳۵) بزرگ‌تر و در چیدمان‌جلو به جلو (شکل ۳۶) کوچک‌تر از فاصله I بین مراکز بیرینگ‌ها می‌باشد. این بدین معنی‌است که چیدمان پشت به پشت توانایی تحمل ممان خمشی نسبتاً بزرگ‌تری را حتی اگر فاصله بین مراکز بیرینگ‌های کم باشد، دارد. بار شعاعی ناشی از بار ممان و تغییر شکل ناشی از آنها در این چیدمان کم‌تر از چیدمان جلو به جلو است.

اگر شفت در حین کارکرد از نشیمنگاه گرم‌تر شود، پیش بار تنظیم‌شده در دمای محیط و در حین نصب افزایش خواهد یافت، این افزایش برای چیدمان جلو به جلو بیشتر از چیدمان پشت به پشت است. در هر دو حالت انبساط حرارتی در جهت شعاعی باعث کاهش لقی و یا افزایش پیش بار می‌شود. با انبساط حرارتی در جهت محوری پیش بار را برای چیدمان پشت به پشت کاهش و برای چیدمان جلو به جلو افزایش می‌یابد. فقط در چیدمان پشت به پشت برای فاصله مشخصی از دو بیرینگ و وقتی که ضریب انبساط حرارتی برای بیرینگ و اجزای دیگر مشابه باشد، انبساط حرارتی محوری و شعاعی همدیگر را خنثی‌کرده و پیش بار تغییر نمی‌کند.

شکل ۳۶



اثر پیش بار بیرینگ

دلایل اصلی پیش بار بیرینگ‌ها به شرح زیر می‌باشند.

- تقویت سفتی
- کاهش سر و صدا در حین کار
- تقویت دقت حرکتی شفت
- جبران سایش و نشست (Settling) محل استقرار بیرینگ در حین کار و
- افزایش عمر کارکرد

افزایش سفتی

سفتی بیرینگ (برحسب $kN/\mu m$) نسبت نیروی وارده به بیرینگ به تغییر شکل الاستیک در بیرینگ تعریف می‌شود. تغییر شکل الاستیک ناشی از بار، در محدوده بار معین، در بیرینگ پیش بار شده کم‌تر از بیرینگ بدون پیش بار است.

حرکت بی سر و صدا

هر چه لقی کارکرد بیرینگ کم‌تر باشد اجزای غلتنده در منطقه بدون بار بهتر راهنمایی‌شده و حرکت می‌کنند و در نتیجه سر و صدای بیرینگ در حین کار کم‌تر است.

حرکت دقیق شفت

پیش بار بیرینگ باعث افزایش دقت حرکتی شفت می‌شود زیرا پیش بار تغییر شکل شفت تحت بار را محدود می‌کند. برای مثال حرکت دقیق‌تر شفت و افزایش سفتی در بیرینگ‌های پنیون و دیفرانسیل (Diffential) اتومبیل باعث ثابت نگه داشته شدن دقیق تداخل دنده‌ها (Gear Mesh) می‌شود و بارهای دینامیکی اضافی به حداقل خود می‌رسد. در نتیجه سر و صدا کاهش‌یافته و عمر چرخدنده‌ها افزایش می‌یابد.

جبران سایش و نشست

سایش و فرآیند نشست در چیدمان بیرینگ‌ها در حین کار باعث افزایش لقی می‌شود که با پیش بار می‌توان آن را جبران کرد.

افزایش عمر کارکرد

در بعضی کاربردها، چیدمان بیرینگ‌های پیش بار شده باعث افزایش قابلیت اطمینان و عمر کارکرد بیرینگ می‌شود. پیش باری که دقیقاً تعیین شده باشد تأثیر مثبتی بر توزیع بار در بیرینگ و در نتیجه عمر بیرینگ دارد (بخش « حفظ پیش بار صحیح »، صفحه ۲۰۴).

تعیین نیروی پیش بار

پیش بار را می‌توان برحسب نیرو یا مسیر (جابجایی) بیان نمود، البته نیروی پیش بار عامل اساسی می‌باشد. وابسته به روش تنظیم، پیش بار به طور غیرمستقیم به ممان اصطکاکی در بیرینگ نیز مرتبط است.

مقادیر تجربی برای پیش بار بهینه که از طرح‌های موفق قبلی به دست آمده‌اند را می‌توان در طرح‌های مشابه بکار برد. برای طرح‌های جدید توصیه می‌شود که نیروی پیش بار محاسبه و صحت آن در آزمایش بررسی شود. از آن جایی که تأثیر عوامل مؤثر در عملکرد دقیقاً مشخص نمی‌باشند، معمولاً اصلاحات در عمل لازم است. قابلیت اطمینان محاسبات بیش از هر چیز بستگی به مطابقت فرضیات مربوط به شرایط دمایی و رفتار الاستیک اجزای مرتبط بخصوص نشیمنگاه با شرایط واقعی، دارد.

هنگام تعیین پیش بار ابتدا باید نیروی پیش بار لازم برای به دست آوردن ترکیب بهینه از سفتی، عمر بیرینگ و قابلیت اطمینان را محاسبه کرد. مقادیر نیروی محاسبه‌شده باید هنگام تنظیم بیرینگ در زمان نصب اعمال شوند. در هنگام نصب، بیرینگ باید در دمای محیط بوده و تحت بارهای ناشی از کارکرد نباشد.

پیش بار مناسب در دمای کارکرد بستگی به بار بیرینگ دارد. بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای و رولربیرینگ‌های مخروطی بار محوری و شعاعی را به طور همزمان تحمل می‌کنند. تحت بار شعاعی یک نیروی محوری در داخل این بیرینگ‌های ایجاد می‌شود که لازم است با یک بیرینگ مشابه دیگر در سمت مقابل که در جهت مخالف بیرینگ اول قرار دارد، خنثی شود. جابجایی شعاعی خالص یک رینگ بیرینگ نسبت به دیگری به این معنی است که نصف محیط (نیمی از اجزای غلتنده) تحت بار بوده و بار محوری ایجادشده برابر

برای بلبیرینگ‌ها تماس زاویه‌ای یک ردیفه $F_a = RF_r$

و یا

برای رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه $F_a = 0.5F_r/Y$

است، که در آن F_r بار شعاعی بیرینگ (شکل ۳۷) است.

مقادیر متغیر R به شرایط تماس در داخل بلبیرینگ تماس زاویه‌ای بستگی دارد و مقدار آن از بخش « تعیین بار محوری برای بیرینگ‌های تکی یا جفتی پشت سر هم » در صفحه ۳۱۱ تعیین می‌شود.

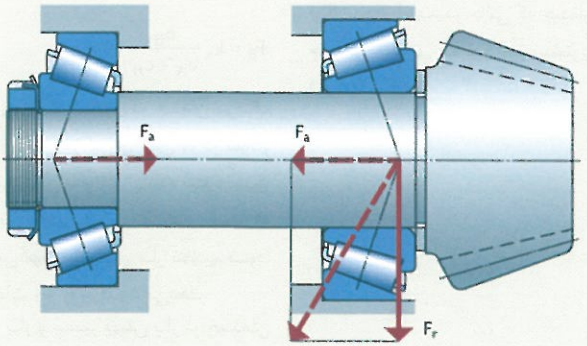
مقادیر ضریب محوری Y برای رولربیرینگ‌های مخروطی در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند.

وقتی یک بیرینگ تکی تحت بار شعاعی F_r قرار دارد یک نیروی خارجی F_a با مقدار بالا باید به بیرینگ وارد شود تا از ظرفیت اسمی حمل بار (نیمی از محیط بیرینگ تحت بار) به طور کامل استفاده شود. اگر بار خارجی وارده کم‌تر از میزان فوق باشد، تعداد اجزای غلتنده تحت بار کم‌تر شده و ظرفیت حمل بار بیرینگ کاهش می‌یابد.

در چیدمان بیرینگ‌ها که شامل دو بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یا دو رولربیرینگ مخروطی به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو می‌باشند هر بیرینگ بار محوری بیرینگ مقابل را تحمل کند. اگر دو بیرینگ مشابه باشند، بار شعاعی در وسط دو بیرینگ اعمال شود و چیدمان بیرینگ‌ها برای لقی صفر تنظیم شود، توزیع بار که در آن نیمی از اجزای غلتنده تحت بار می‌باشند به طور طبیعی به دست می‌آید. در شرایط بارگذاری متفاوت، بخصوص در صورت وجود بار محوری خارجی، ممکن است برای جبران لقی ایجادشده ناشی از تغییر شکل الاستیک بیرینگی که بار محوری را تحمل می‌کند و توزیع مناسب بار در بیرینگ دیگر که تحت بار محوری نمی‌باشد، لازم باشد که بیرینگ‌ها پیش بار شوند.

پیش بار همچنین باعث افزایش سفتی بیرینگ می‌شود. سفتی یک چیدمان تنها به تغییر شکل بیرینگ تحت بار بستگی ندارد بلکه به الاستیسیته شفت و نشیمنگاه، انطباق رینگ‌ها و تغییر شکل دیگر اجزا در محدوده بار نظیر پله‌ها نیز بستگی دارد. تمام موارد فوق بر سفتی کل سیستم مؤثر می‌باشند. سفتی محوری و شعاعی بیرینگ به طرح داخلی آن نظیر شرایط تماس (تماس نقطه‌ای یا خطی)، تعداد و قطر اجزای غلتنده و زاویه تماس بستگی دارد. هر چه زاویه تماس بزرگ‌تر باشد، سفتی بیرینگ در جهت محوری بیشتر است.

شکل ۳۷



اگر، در تقریب اول، یک رابطه خطی بین سفتی و بار در نظر گرفته شود (به عبارت دیگر ضریب فنر ثابت) مقایسه نشان می‌دهد که جابجایی محوری در چیدمان بیرینگ‌ها تحت پیش بار کم‌تر از چیدمان بیرینگ‌ها بدون پیش بار، تحت بار محوری خارجی مشابه K_a است. (نمودار ۲)

برای مثال چیدمان بیرینگ‌های در یک پنیون شامل دو رولربیرینگ مخروطی A و B با ابعاد متفاوت و ثابت فنر c_A و c_B می‌باشد که تحت نیروی پیش بار F_0 قرار دارند. اگر بار محوری K_a به بیرینگ A وارد شود، بیرینگ B بدون بار خواهد شد و بار اضافی بر بیرینگ A اعمال‌شده و جابجایی محوری δ_a کم‌تر از بیرینگ بدون پیش بار است. ولی اگر بار خارجی بیشتر از مقدار

$$K_a = F_0(1+\frac{c_A}{c_B})$$

باشد. در بیرینگ B نیروی محوری پیش بار آزادشده و جابجایی محوری تحت بار اضافی مشابه بیرینگ بدون پیش بار خواهد بود و فقط با ثابت فنر بیرینگ A تعیین می‌شود. به منظور جلوگیری از بدون بار شدن بیرینگ B وقتی بیرینگ A تحت بار محوری K_a قرار دارد، نیروی پیش بار زیر لازم است.

$$F_0 = k_a \frac{c_B}{c_A + c_B}$$

نیروها و تغییر شکل‌های الاستیک در یک چیدمان بیرینگ پیش بار شده و همچنین اثرات تغییر نیروی پیش بار در نمودار نیروی پیش بار/ مسیر پیش بار شرح داده شده است (نمودار ۳). این نمودار شامل منحنی فنر بیرینگ‌هایی است که نسبت به یکدیگر تنظیم می‌شوند تا پیش بار تنظیم شود. همچنین این نمودار اطلاعات زیر را به دست می‌دهد.

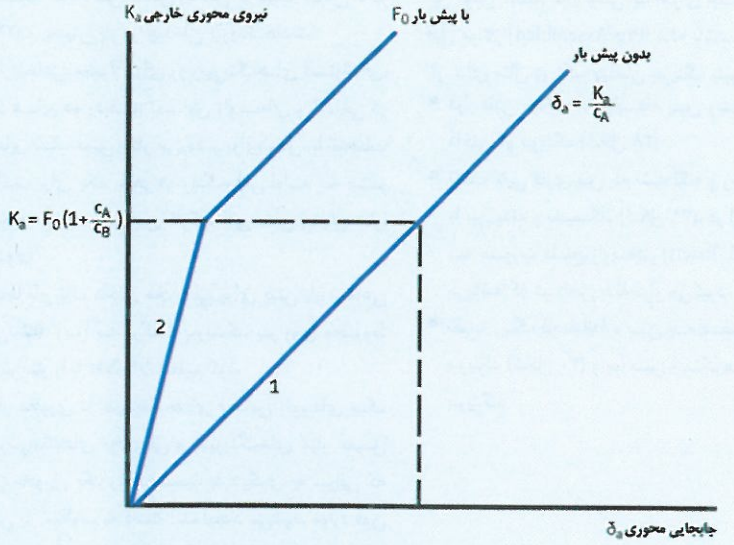
- رابطه بین نیروی پیش بار و مسیر پیش بار در چیدمان بیرینگ‌های پیش بارشده
- رابطه بین بار محوری خارجی K_a و بار بیرینگ برای چیدمان بیرینگ‌های پیش بارشده و همچنین تغییر شکل الاستیک ناشی از نیروهای خارجی

در نمودار ۳ تمام اجزای تحت بار اضافی ناشی از کارکرد به وسیله منحنی‌هایی که از چپ به راست گسترش یافته‌اند نشان داده شده‌اند. و اجزای بدون بار با منحنی‌هایی که راست به چپ گسترش یافته‌اند، نشان داده شده‌اند. منحنی‌های ۱ و ۲ و ۳ برای نیروی پیش بار متفاوت F_{01} ، $F_{02} < F_{01}$ ، $F_{03} = 0$ می‌باشند. منحنی‌های خط چین نشان‌دهنده بیرینگ به تنهایی می‌باشند ولی منحنی‌های کامل نشان‌دهنده موقعیت بیرینگ در حالت کلی (بیرینگ به همراه اجزای دربرگیرنده) می‌باشند.

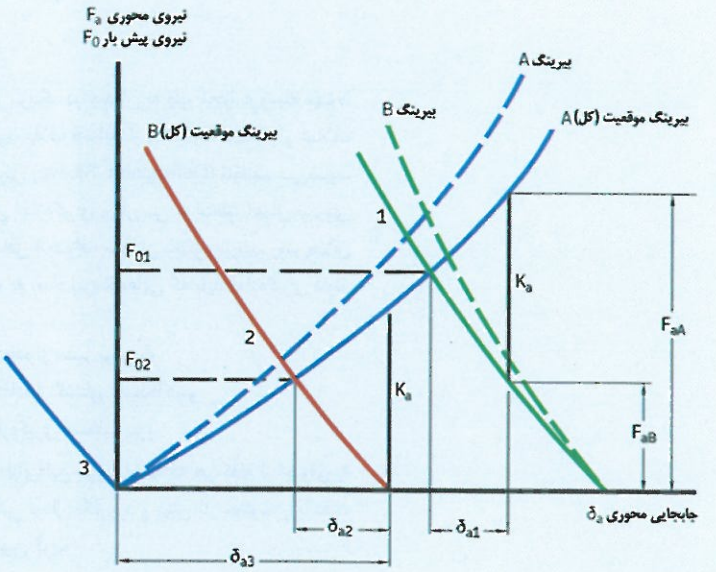
با استفاده از نمودار ۳ می‌توان روابط را شرح داد، برای مثال، در یک چیدمان بیرینگ پنیون (شکل ۳۹، صفحه ۲۰۱) که در آن بیرینگ A نسبت به بیرینگ B به کمک شفت و نشیمنگاه تنظیم‌شده تا پیش بار ایجاد شود، بار خارجی محوری K_a (مؤلفه محوری نیروی دندانه‌ها) به نیروی پیش بار F_{01} (منحنی ۱) اضافه می‌شود به طوری که بیرینگ A تحت بار بیشتری قرار می‌گیرد. ولی بیرینگ B بدون بار می‌شود. نیروها در موقعیت بیرینگ A با F_{aA} و در موقعیت بیرینگ B با F_{aB} نشان داده شده‌اند.

تحت تأثیر نیروی K_a، محور پنیون به میزان δ_{a1} در جهت محوری جابجا می‌شود. پیش بار کم‌تر F_{02} (منحنی ۲) طوری انتخاب شده است که بیرینگ B تحت بار محوری K_a بدون بار شود به طوری که $F_{aB} = 0$ و $F_{aA} = k_a$ است. در این حالت جابجایی محوری شفت به میزان $\delta_{a2} > \delta_{a1}$ است. در حالتی که چیدمان تحت پیش بار نیست جابجایی محوری شفت پنیون بیشترین مقدار ممکن است ($\delta_{a3} > \delta_{a2}$).

نمودار ۲



نمودار ۳



روش‌های تنظیم

منظور از تنظیم، ایجاد لقی داخلی (بخش « نصب کردن » در صفحه ۲۴۹) و یا پیش بار در چیدمان بیرینگ‌هاست.

پیش بار شعاعی معمولاً برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای، بلبیرینگ‌های دو ردیفه تماس زاویه‌ای و گاهی در بلبیرینگ‌های شیار عمیق بکار می‌رود و برای مثال، با انتخاب تداخل مناسب برای یک یا هر دو رینگ، لقی اولیه به صفر کاهش‌یافته و در نتیجه در حین کارکرد لقی منفی (پیش بار) ایجاد می‌شود.

بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی برای پیش بار شعاعی مناسب می‌باشند زیرا با حرکت بیرینگ بر روی مخروط می‌توان پیش بار را با دقت بالا تنظیم کرد.

پیش بار محوری در بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه، رولربیرینگ‌های مخروطی و بلبیرینگ‌های شیار عمیق با جابجایی محوری یک رینگ نسبت به دیگری به میزانی که نیروی پیش بار مطلوب به دست آید، ایجاد می‌شود. موارد فوق دو گروه اصلی از روش‌های تنظیم می‌باشند که در اصول با هم متفاوت بوده و بر پایه تنظیم مستقل (Individual Adjustment) و تنظیم تجمعی (Collective Adjustment) می‌باشند.

تنظیم مستقل

در این روش هر بیرینگ در چیدمان به طور مجزا به وسیله مهره، لایی فلزی تنظیم، غلاف فاصله‌انداز (Spacer Sleeve) و غلاف قابل تغییر شکل (Deformable Sleeve) تنظیم می‌شود. روش‌هایی برای اندازه‌گیری و بازرسی به منظور اعمال نیروی پیش بار با حداقل انحراف ممکن وجود دارند. روش‌های متفاوت، وابسته به تعداد بیرینگ‌هایی که باید اندازه‌گیری شوند عبارتند از،

- تنظیم با استفاده از مسیر پیش بار
- تنظیم با استفاده از گشتاور اصطکاک و
- تنظیم با اندازه‌گیری مستقیم نیرو

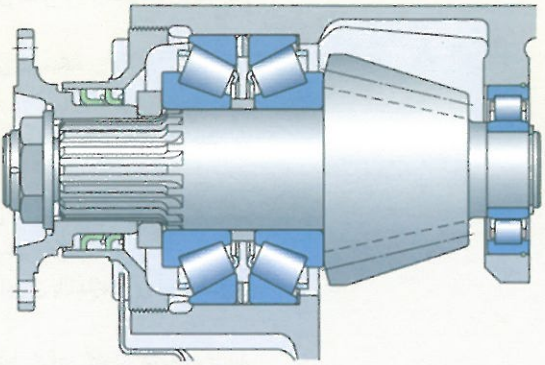
تنظیم مستقل دارای این مزیت است که هر کدام از اجزای را می‌توان با تلرانس نرمال بکار برد و پیش بار مطلوب را با دقت بسیار بالایی تعیین کرد.

تنظیم با استفاده از مسیر پیش بار

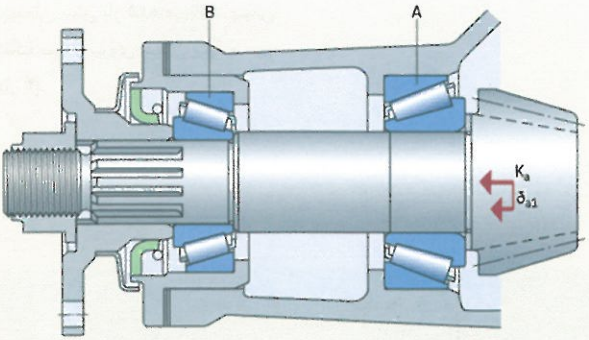
این روش تنظیم غالباً وقتی که اجزای چیدمان بیرینگ‌ها از قبل مونتاژ (Pre-Assembled) شده باشند، بکار می‌رود. پیش بار، برای مثال در یک چیدمان بیرینگ پنیون به وسیله،

- قرار دادن رینگ‌های واسطه بین رینگ‌های خارجی و داخلی دو بیرینگ (شکل ۳۸)
- نصب لایی فلزی بین پله نشیمنگاه و رینگ خارجی بیرینگ یا بین بدنه و نشیمنگاه (شکل ۳۹). در این حالت نشیمنگاه به صورت فلنج زاویه‌دار (Flanged Angled Insert) می‌باشد که در داخل بدنه قرار می‌گیرد
- نصب رینگ فاصله‌اندازه بین پله شفت و رینگ داخلی بیرینگ (شکل ۴۰) و یا بین رینگ‌های داخلی هر دو بیرینگ

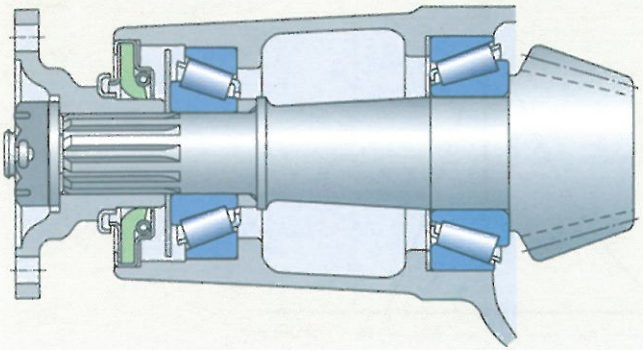
شکل ۳۸



شکل ۳۹



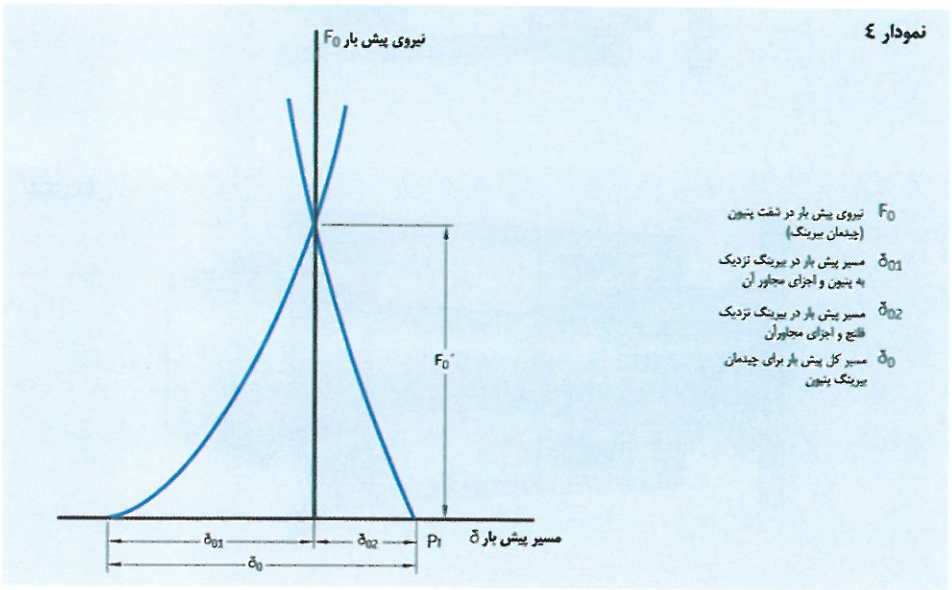
شکل ۴۰



پهنای لایی فلزی، رینگ‌های میانی و یا رینگ‌های فاصله‌انداز به کمک

- فاصله بین شفت و پله‌های نشیمنگاه
- کل پهنای هر دو بیرینگ
- مسیر پیش بار (جابجایی محوری) مطابق با نیروی پیش بار مطلوب
- یک ضریب تصحیح برای مسیر پیش بار برای در نظر گرفتن انبساط حرارتی در حین کارکرد
- تلرانس‌های ساخت کلیه اجزای با اندازه‌گیری آنها قبل از نصب
- ضریب تصحیح برای در نظر گرفتن کاهش نیروی پیش بار بعد از مدت معینی کارکرد، تعیین می‌شوند.

این روش تنظیم بر اساس رابطه بین نیروی پیش بار و تغییر شکل الاستیک در چیدمان پیش بار شده می‌باشد. پیش بار مورد نیاز را می‌توان کمک نمودار نیروی پیش بار/ مسیر پیش بار تعیین نمود (نمودار ۴).



تنظیم با استفاده از ممان اصطکاکی

این روش در تولید سری مناسب می‌باشد زیرا زمان کمی نیاز داشته و امکان اتوماسیون آن وجود دارد، از آن جایی که رابطه مستقیمی بین پیش بار بیرینگ و ممان اصطکاکی وجود دارد، می‌توان تنظیم را وقتی ممان اصطکاکی به مقدار مربوط به پیش بار معین رسید، متوقف کرد. در این روش ممان اصطکاکی باید به طور پیوسته اندازه‌گیری شود. هر چند باید به خاطر داشت که ممان اصطکاکی برای بیرینگ‌های مشابه متفاوت بوده و به روغن نگهدارنده (Preservative) استفاده‌شده و یا شرایط روانکاری و سرعت نیز بستگی دارد.

تنظیم با استفاده از اندازه‌گیری مستقیم نیرو

از آن جایی که هدف از تنظیم بیرینگ ایجاد یک پیش بار مشخص در آن است، استفاده از یک روش اعمال مستقیم نیرو و اندازه‌گیری مستقیم آن به نظر مناسب می‌رسد. اما در عمل روش‌های غیرمستقیم تنظیم نظیر مسیر پیش بار و ممان اصطکاکی به علت سادگی و هزینه‌های کم‌تر ترجیح داده می‌شوند.

تنظیم تجمعی

در این روش تنظیم که « تنظیم آماری اتفاقی » نیز نامیده می‌شود، بیرینگ‌ها، شفت، نشیمنگاه، رینگ‌ها فاصله‌انداز یا غلاف‌ها در تعداد زیاد ساخته‌شده و به صورت اتفاقی مونتاژ می‌شوند، به طوری که اجزا به طور کامل قابل جایگزینی می‌باشند. اگر از رولربیرینگ‌های مخروطی استفاده شود این قابلیت جایگزینی برای رینگ خارجی و رینگ داخلی به همراه مجموعه قفسه و رولرها نیز صادق است. به منظور جلوگیری از تولید غیر اقتصادی بیرینگ‌ها و اجزای دیگر، فرض می‌شود که مقادیر حدی تلرانس‌ها به ندرت در کنار همدیگر قرار می‌گیرند. البته اگر نیروی پیش بار باید با دقت بیشتری اعمال شود (محدوده تغییرات کم‌تر) باید تلرانس‌های ساخت کاهش داده شوند. مزیت روش تجمعی عدم نیاز به بازرسی و تجهیزات اضافی هنگام نصب و مونتاژ بیرینگ‌هاست.

پیش بار گذاری به کمک فنر

با پیش بار کردن بیرینگ‌ها در موتورهای الکتریکی و تجهیزات مشابه می‌توان سر و صدا را هنگام کارکرد کاهش داد. چیدمان بیرینگ‌ها در این حالت شامل دو بیرینگ شیار عمیق در دو سر شفت است. ساده‌ترین روش برای پیش بار استفاده از فنر می‌باشد (شکل ۴۱). فنر بر روی رینگ خارجی یکی از دو بیرینگ اعمال نیرو می‌کند و این رینگ خارجی باید توانایی جابجایی محدودی داشته باشد. حتی اگر جابجایی محوری در بیرینگ به علت انبساط حرارتی ایجاد شود، نیروی پیش بار ثابت باقی می‌ماند. پیش بار مورد نیاز را می‌توان از رابطه زیر تخمین زد.

$$F=kd$$

که در آن

F = نیروی پیش بار، kN

K = ضریب ثابت

d = قطر داخلی بیرینگ، mm

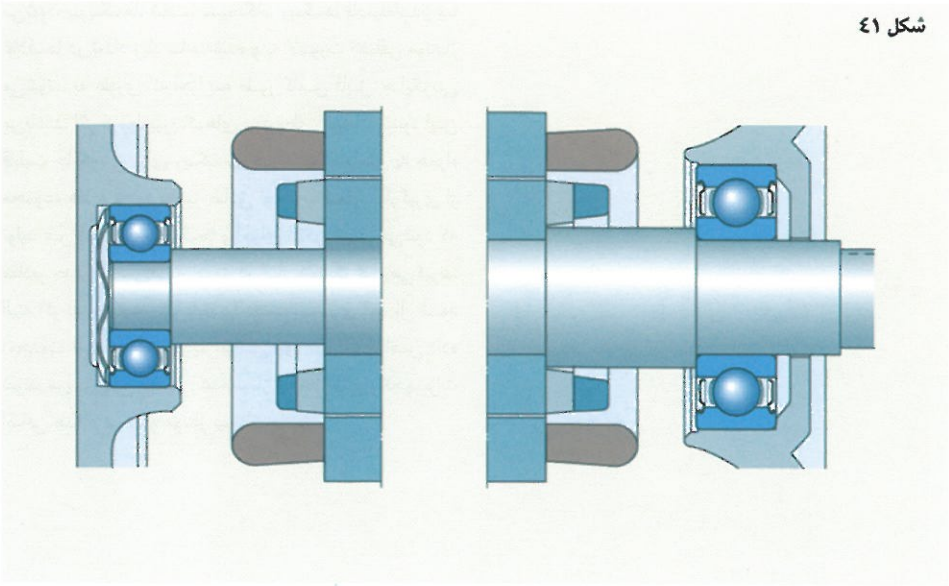
است. وابسته به طراحی موتور الکتریکی مقادیر بین 0.005 تا 0.01 برای ثابت k استفاده می‌شوند. اگر هدف اولیه از پیش بار جلوگیری از خرابی بیرینگ در حال سکون بر اثر ارتعاشات خارجی است، پیش بار بزرگ‌تری لازم است و k=0.02 باید استفاده شود.

بارگذاری با فنر یک روش معمول برای اعمال پیش بار در بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای، محور کارگیر ماشین‌های سنگ زنی با سرعت بالا می‌باشد. این روش در کاربردهایی که نیاز به سفتی بالا دارند، جهت نیرو تغییر می‌کند و یا شوک‌های نامعین وجود دارد، مناسب نمی‌باشد.

حفظ پیش بار صحیح

هنگام انتخاب نیروی پیش بار برای یک چیدمان بیرینگ‌ها باید به خاطر داشت که سفتی فقط به مقدار محدود با افزایش پیش بار از مقدار بهینه آن، افزایش می‌یابد، در این حالت اصطکاک و در نتیجه گرمای تولیدشده افزایش یافته و یک کاهش ناگهانی در عمر بیرینگ به علت بار اضافی که دائماً عمل می‌کند، ایجاد می‌شود. نمودار ۵ رابطه بین عمر بیرینگ و پیش بار/ لقی را نشان می‌دهد.

شکل ۴۱



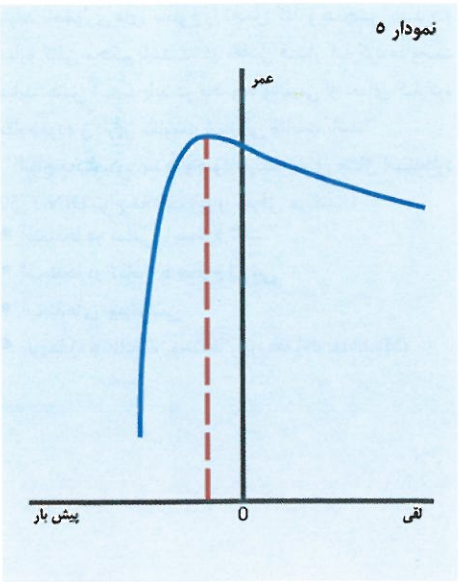
هنگام تنظیم پیش بار در بیرینگ لازم است که مقدار محاسبه‌شده و یا به دست آمده از تجربه با حداقل انحراف ممکن ایجاد شود. به همین منظور، برای مثال در رولربیرینگ‌های مخروطی لازم است که بیرینگ چندین مرتبه چرخانده شود تا رولرها کج (Skew) نبوده و انتهای رولر در تماس مناسب با لبه‌های راهنما قرار گیرند. اگر این عمل انجام نشود نتایج به دست آمده در حین بازرسی و یا اندازه‌گیری غلط بوده و پیش بار نهایی، خیلی کم‌تر از مقدار مورد نیاز خواهد بود.

بیرینگ‌ها برای چیدمان‌های پیش بار شده

برای کاربردهای خاص، بیرینگ‌های تکی یا جفتی تولید می‌شوند که برای تنظیم ساده و مطمئن ساخته شده‌اند و یا در طی فرآیند ساخت به صورت جفت‌شده ساخته شده‌اند به طوری که بعد از نصب، یک مقدار مشخص از پیش بار را به دست می‌دهند. این بیرینگ‌ها شامل،

- رولربیرینگ‌های مخروطی مطابق مشخصات CL7C برای پنیون اتومبیل و چیدمان بیرینگ‌های دیفرانسیل بوده و جزئیات بیشتر در بخش « رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه » در صفحه ۳۸۷ آورده شده است
- بلبیرینگ یک ردیفه تماس زاویه‌ای برای استفاده جفتی (بخش « بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه » در صفحه ۳۰۵)
- رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه جفت‌شده، برای مثال در جعبه دنده‌های صنعتی (بخش « رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه جفت‌شده » در صفحه ۴۰۱)
- بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه جفت‌شده (بخش بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه، صفحه ۲۶۷)

نمودار ۵



چیدمان آب‌بندها

چیدمان بیرینگ، شامل بیرینگ‌ها و کلیه اجزای اطراف آن می‌باشد. علاوه بر شفت و نشیمنگاه این اجزای شامل آب‌بندها نیز می‌شوند، که عملکرد آنها در تمیزی روانکار و عمر بیرینگ‌ها در چیدمان حیاتی است. برای طراحان، این بدان معنی است که چیدمان بیرینگ‌ها و آب‌بندها باید به عنوان یک سیستم پیوسته در نظر گرفته شود.

وقتی درباره آب‌بند بیرینگ‌ها صحبت می‌شود باید بین آب‌بند همراه با بیرینگ و آب‌بندهای خارجی که جدا از بیرینگ می‌باشند، فرق گذاشته شود. بیرینگ‌های آب‌بند شده در چیدمان‌هایی استفاده می‌شوند که امکان استفاده از آب‌بند خارجی به علت محدودیت فضا و یا هزینه‌ها وجود ندارد.

انواع آب‌بندها

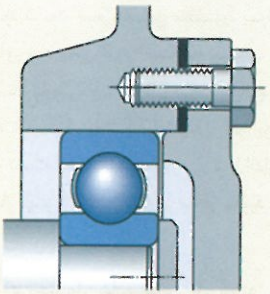
هدف از آب‌بند جلوگیری از ورود هر گونه آلودگی به محیط کنترل‌شده می‌باشد. آب‌بندهای خارجی باید از عبور هر گونه ماده بین سطوح دورانی و ثابت (شفت و نشیمنگاه) جلوگیری کنند. آب‌بندهای همراه بیرینگ باید از ورود آلودگی جلوگیری و روانکار را در داخل بیرینگ حفظ کنند.

آب‌بند باید به اندازه کافی قابلیت تغییر شکل داشته باشد تا بتواند ناهمواری‌های سطوح را تحمل کند و همچنین باید به اندازه کافی محکم باشد که در مقابل فشار کارکرد مقاومت نماید. جنس آب‌بند باید در محدوده وسیعی از دمای کارکرد مقاوم بوده و دارای مقاومت شیمیایی مناسب باشد.

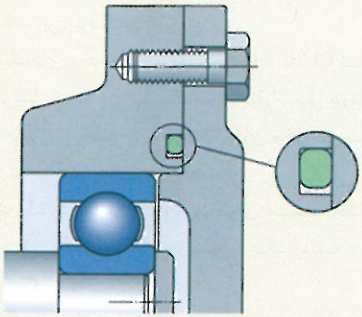
انواع مختلف آب‌بندها وجود دارند، برای مثال استاندارد DIN 3750 انواع مختلف زیر را معرفی می‌کند.

- آب‌بندها در تماس با سطوح ثابت
- آب‌بندها در تماس با سطوح لغزشی
- آب‌بندهای غیرتماسی
- بلوزها (Bellows)، پوسته‌ها و پرده‌ها (Membranes)

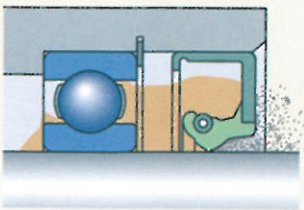
شکل ۴۲



شکل ۴۳



شکل ۴۴



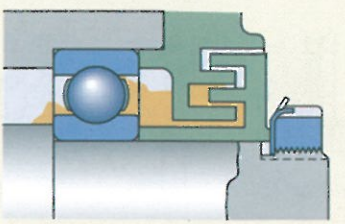
آب‌بندهای در تماس با سطوح ثابت، آب‌بند استاتیکی نامیده می‌شوند و مؤثر بودن آنها بستگی به تغییر شکل شعاعی و محوری سطح مقطع آنها، در هنگام نصب دارد. واشر آب‌بند (Gasket) (شکل ۴۲) و (O- رینگ O-ring) (شکل ۴۳) مثال‌هایی از آب‌بندهای استاتیکی هستند.

آب‌بندهای در تماس با سطوح لغزشی، آب‌بندهای دینامیکی نامیده می‌شوند و فاصله بین اجزای ماشین را که نسبت به یکدیگر حرکت خطی یا دورانی دارند را آب‌بندی می‌کنند. این آب‌بندها باید از خروج روانکار و ورود آلودگی جلوگیری کرده و در مقابل اختلاف فشار مقاومت کنند. انواع مختلفی از آب‌بندهای دینامیکی وجود دارند که شامل پکینگ‌ها (Packings) و رینگ پیستون‌ها، که برای حرکت‌های خطی و نوسانی استفاده می‌شوند، نیز می‌باشند. ولی بیشترین کاربرد را آب‌بندهای شعاعی (شکل ۴۴) دارند. که به طور وسیع در کاربرد مختلف در صنایع بکار برده می‌شوند.

آب‌بندهای شعاعی غیرتماسی محل آب‌بندی را به کمک یک شیار بلند و باریک که به صورت محوری، شعاعی یا ترکیبی می‌باشد، آب‌بندی می‌کنند. آب‌بندهای غیرتماسی، که از یک آب‌بند معمولی شیاردار تا آب‌بندهای شیاردار چند مرحله‌ای (Multi-Stage) (شکل ۴۵) را شامل می‌شوند، بدون اصطکاک بوده و سایش در آنها نیز وجود ندارد.

بلوزها، پرده‌ها و پوسته‌ها برای آب‌بندی اجزایی که حرکت محدودی نسبت به همدیگر دارند بکار می‌روند.

شکل ۴۵



به علت اهمیت آب‌بندهای شعاعی دینامیکی در آب‌بندی مؤثر چیدمان بیرینگ‌ها در ادامه به طور اختصاصی انواع طرح‌ها و مدل‌های این نوع آب‌بندها بررسی می‌شوند.

انتخاب نوع آب‌بندها

آب‌بندها در چیدمان بیرینگ‌ها باید حداقل اصطکاک و سایش را داشته باشند در حالی که بیشترین حفاظت را حتی در بدترین شرایط کارکرد ایجاد کنند. از آن جایی که کارکرد بیرینگ و عمر آن به مؤثر بودن آب‌بندها به شدت وابسته است، اثر آلودگی‌ها در عمر بیرینگ یک عامل کلیدی در طراحی می‌باشد. برای اطلاعات بیشتر در رابطه با تأثیر آلودگی‌ها بر عملکرد بیرینگ به فصل « انتخاب ابعاد بیرینگ » در صفحه ۴۱ مراجعه کنید.

عوامل مختلفی را باید هنگام انتخاب آب‌بند برای چیدمان بیرینگ‌ها در نظر گرفت که عبارتند از،

- نوع روانکار: روغن یا گریس
- سرعت محیطی در سطح آب‌بندی
- چیدمان شفت: افقی یا عمودی
- فضای موجود
- اصطکاک آب‌بند و افزایش دمای ناشی از آن
- اثرات محیطی و
- هزینه‌ها

انتخاب آب‌بند مناسب برای عملکرد بیرینگ حیاتی است. بنابراین لازم است که نیازهای آب‌بندی و شرایط خارجی دقیقاً تعیین شوند. وقتی جزئیات کاربرد مشخص است می‌توان به مراجع [2]، [3] و لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کرد.

دو نوع آب‌بند خارجی به همراه بیرینگ‌ها استفاده می‌شوند: تماسی و غیرتماسی. انتخاب نوع مناسب بستگی به نیازهای هر کاربرد دارد.

آب‌بندهای غیرتماسی

مؤثر بودن یک آب‌بند غیرتماسی خارجی بستگی به عملکرد آب‌بندی شیار باریک بین اجزای دورانی و ثابت دارد. این شیار می‌تواند محوری، شعاعی و یا ترکیبی از آنها باشد(شکل ۴۶)

این آب‌بندها ممکن است از یک شیار ساده تشکیل شده باشند، یا به صورت پیچیده نظیر آب‌بندهای شیاردار باشند. در هر حال به علت عدم تماس اصطکاک و سایش وجود ندارد.

این آب‌بندها به سادگی توسط مواد آلوده‌کننده جامد صدمه نمی‌بینند و برای سرعت و دمای بالا مناسب هستند. به منظور تقویت آب‌بندی آنها می‌توان گریس را بین شیارهای آنها تزریق نمود.

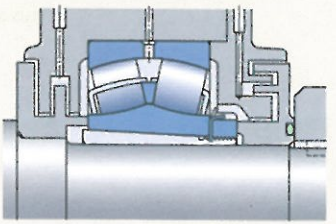
آب‌بندهای تماسی

مؤثر بودن آب‌بندهای تماسی به توانایی آب‌بند در اعمال یک فشار حداقل بر سطح مقابل، به وسیله یک لبه یا سطح باریک، بستگی دارد. این فشار (شکل ۴۷) به روش‌های زیر ایجاد می‌شود.

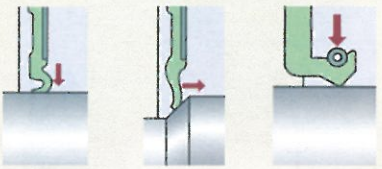
- خاصیت فنری آب‌بند، ناشی از خواص الاستیک جنس آب‌بند (الف)
- تداخل بین آب‌بند و سطح مقابل (ب) یا
- نیروی ناشی از فنر همراه با آب‌بند(ج)

آب‌بندهای تماسی معمولاً بسیار مطمئن می‌باشند، بخصوص اگر سایش با ایجاد صافی سطح مناسب در سطح تماس و روانکاری لبه آب‌بند و سطح مقابل آن، در حداقل ممکن حفظ شود. اصطکاک آب‌بند بر روی سطح مقابل باعث افزایش دما می‌شود. که این مسئله از معایب آب‌بندهای تماسی است. بنابراین آب‌بندهای تماسی فقط برای کابردهایی که سرعت محیطی آنها در حد معینی (که بستگی به نوع آب‌بند و صافی سطح مقابل آن دارد) است، بکار می‌روند. همچنین آنها به خرابی‌های مکانیکی ناشی از نصب غیرصحیح و یا ذرات جامد آلوده‌کننده حساس می‌باشند. برای جلوگیری از خرابی ناشی از ذرات جامد معمولاً یک آب‌بند غیرتماسی را مقابل آب‌بند تماسی برای حفاظت آن قرار می‌دهند.

شکل ٤٦



شکل ٤٧



بیرینگ‌های آب‌بندی شده

انواع مختلفی از بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی و یا آب‌بند تماسی در یک یا دو طرف بیرینگ تولید می‌شوند. این بیرینگ‌ها یک راه‌حل اقتصادی برای اکثر مسائل آب‌بندی می‌باشند که باعث صرفه‌جویی در فضا نیز می‌شوند. بیرینگ با حفاظ فلزی و یا آب‌بند تماسی در دو طرف محتوی گریس بوده و نیاز به تعمیر و نگهداری ندارند. طرح آب‌بندها در بخش مربوط به هر نوع بیرینگ آورده شده است.

بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی

بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی (شکل ۴۸) در چیدمان‌هایی استفاده می‌شوند که آلودگی زیاد نمی‌باشد و خطر وجود آب و بخار وجود ندارد. همچنین در کابردهایی که کاهش اصطکاک به علت سرعت یا دمای کارکرد لازم می‌باشد نیز از حفاظ فلزی استفاده می‌شود.

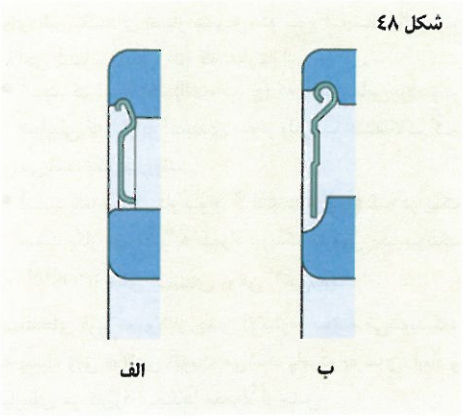
حفاظ‌های فلزی از فولاد ساخته می‌شوند و

- با سطح داخلی رینگ داخلی یک شیار طولانی ایجاد می‌کنند (الف) یا
- یک آب‌بندی شیاردار مؤثر به همراه فرورفتگی ایجادشده در سطح داخلی رینگ‌ها بیرینگ ایجاد می‌کنند (ب).

بیرینگ‌ها با آب‌بند تماسی

بیرینگ‌ها با آب‌بند تماسی که برای سادگی بیرینگ‌های آب‌بند شده گفته می‌شوند، در کاربردهایی بکار می‌روند

شکل ۴۸

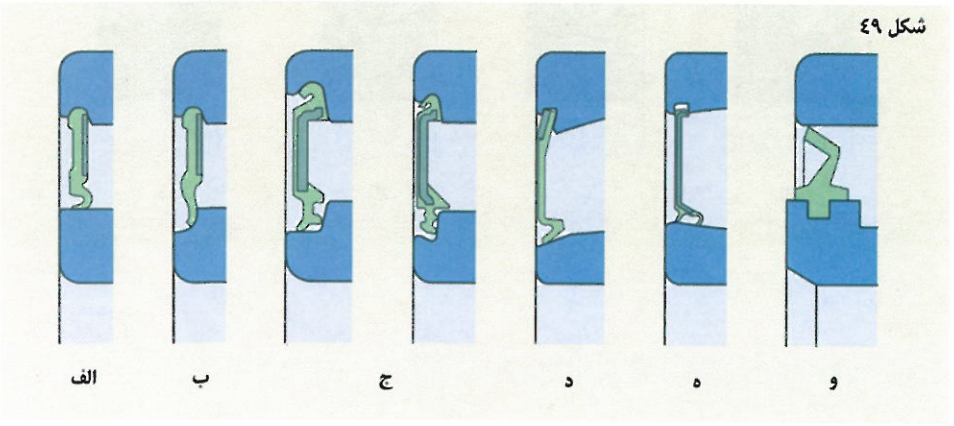


که در آنها آلودگی در حد متوسط بوده، رطوبت یا اسپری آب و ... وجود داشته و یا عمر زیاد بدون نیاز به تعمیر و نگهداری لازم باشد.

محدوده وسیعی از آب‌بندها برای این بیرینگ‌های مختلف تولید می‌شوند (شکل ۴۹) بستگی به نوع و یا ابعاد بیرینگ یکی از طرح‌های زیر برای سطح مقابل آب‌بند بکار می‌رود.

- سطح داخلی رینگ داخلی (الف) و یا فرورفتگی موجود در سطح داخلی رینگ داخلی (ب و ج) و یا
- سطح کناری پله ایجادشده در رینگ داخلی (د و ه) و یا رینگ خارجی (و)

شکل ۴۹



برای بلبیرینگ‌های شیار عمیق، دو نوع آب‌بند دیگر نیز طراحی شده‌اند (شکل ۵۰) که عبارتند از،

- آب‌بند کم اصطکاک (الف، ب، ج) که بدون تماس بوده و در شرایطی که نیاز به آب‌بندی مؤثر ولی با اصطکاک کم می‌باشد، بکار می‌روند.
- آب‌بند شعاعی فنردار نوع Waveseal® (د) که در یک سمت بکار می‌رود و به همراه بیرینگ تشکیل یک بیرینگ ICOS™ برای آب‌بندی روغن را می‌دهد.

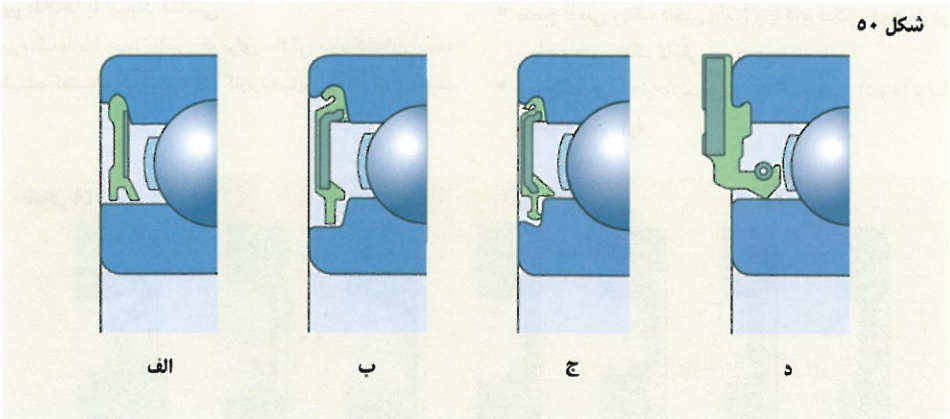
آب‌بندهای فوق معمولاً از جنس الاستومر ساخته می‌شوند که به وسیله ورق فولادی تقویت می‌شود. وابسته به سری، ابعاد و نیازهای هر کاربرد آب‌بندها معمولاً از جنس

- لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین (NBR)
- لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین هیدروژنه (HNBR)
- لاستیک فلورو (FKM)
- پلی یورتان AU

ساخته می‌شوند.

انتخاب جنس مناسب برای آب‌بند به دما و نوع روانکار بستگی دارد. برای اطلاعات بیشتر به بخش « جنس آب‌بندها » در صفحه ۱۳۰ مراجعه کنید.

شکل ۵۰



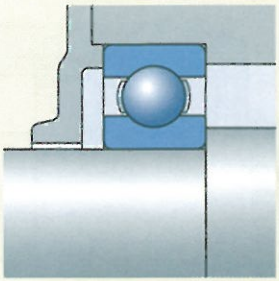
آب‌بندهای خارجی

برای چیدمان‌هایی که عملکرد مؤثر آب‌بند تحت شرایط کارکرد مهم‌تر از ملاحظاتی نظیر فضای موجود و هزینه‌ها می‌باشد، چندین نوع آب‌بند خارجی برای انتخاب وجود دارد. آب‌بندهای خارجی به آب‌بندهای شرح داده شده در این بخش محدود نمی‌باشند.

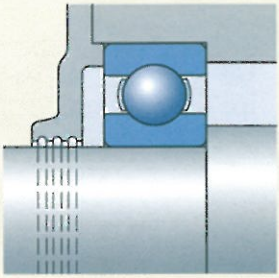
آب‌بندهای غیرتماسی

ساده‌ترین آب‌بند قابل استفاده در خارج بیرینگ، آب‌بند نوع شیاری می‌باشد که یک شیار کوچک بین شفت و نشیمنگاه ایجاد می‌کند (شکل ۵۱). این نوع آب‌بند برای کاربردهایی که با گریس روانکاری می‌شوند و در شرایط خشک بدون گرد و غبار می‌باشند، مناسب است. به منظور تقویت این آب‌بند می‌توان یک یا چند شیار هم‌مرکز بر روی نشیمنگاه ایجاد کرد (شکل ۵۲). گریسی که از شیار خارج می‌شود شیارها را پرکرده و از ورود آلودگی‌ها جلوگیری می‌کند. برای روانکاری با روغن و شفت‌های افقی، شیارهای مارپیچی راست گرد یا چپ گرد (وابسته به جهت دوران شفت) را می‌توان بر روی شفت یا نشیمنگاه ایجاد کرد (شکل ۵۳). این شیارها روغن بیرون رفته را به داخل برمی‌گردانند. در این حالت لازم است که جهت دوران شفت تغییر نکند.

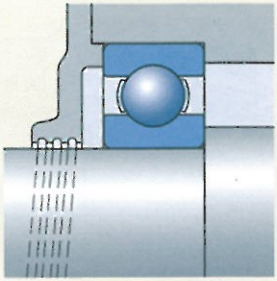
شکل ۵۱



شکل ۵۲



شکل ۵۳

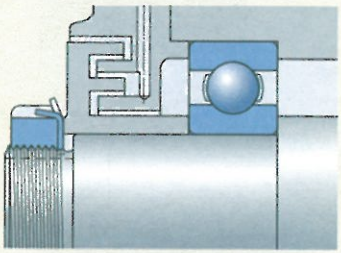


آب‌بندهای یک یا چند مرحله‌ای شیاردار بسیار مؤثرتر از آب‌بند با یک شیار ساده می‌باشند، ولی قیمت آنها بسیار بیشتر است. این آب‌بندها عموماً در روانکاری با گریس بکار می‌روند. می‌توان راندمان این آب‌بندها را با تزریق دوره‌ای گریس غیرقابل حل در آب نظیر گریس با غلیظ‌کننده لیتیم ـ کلسیم از طریق شیارهای موجود، افزایش داد. زبانه‌های آب‌بندهای شیاردار وابسته به نوع نشیمنگاه (یک تکه یا دو تکه)، روش نصب و فضای موجود ممکن است محوری (شکل ۵۴) یا شعاعی (شکل ۵۵) باشند. پهنای شیار محوری آب‌بند با جابجایی محوری شفت تغییر نمی‌کند بنابراین می‌تواند بسیار باریک باشد. در صورتی که عدم همراستایی بین شفت و نشیمنگاه وجود داشته باشد، باید از آب‌بند با شیارهای مایل استفاده کرد (شکل ۵۶).

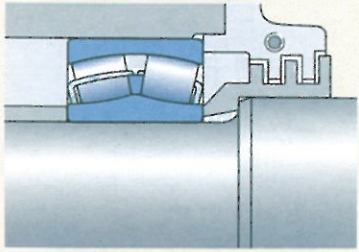
آب‌بندهای شیاردار مؤثر و ارزان قیمت را می‌توان با محصولات موجود نظیر واشرهای آب‌بندی (شکل ۵۷) ایجاد کرد. راندمان آب‌بند با افزایش تعداد واشرها افزایش می‌یابد و یا می‌توان از واشر پرزدار نیز استفاده کرد.

دیسک‌های دورانی (شکل ۵۸) معمولاً برای افزایش راندمان حفاظ‌های فلزی بر روی شفت قرار می‌گیرند. حلقه گردگیر (Flinger Ring)، شیارها و دیسک‌ها به دلیل مشابه در روانکاری با روغن استفاده می‌شوند. روغن خروجی از حلقه گردگیر در یک کانال درون نشیمنگاه جمع‌شده و به داخل بر می‌گردد (شکل ۵۹).

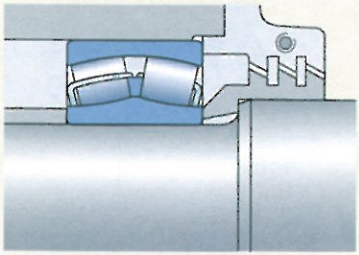
شکل ٥٤



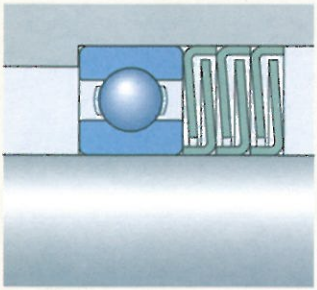
شکل ٥٥



شکل ٥٦



شکل ٥٧

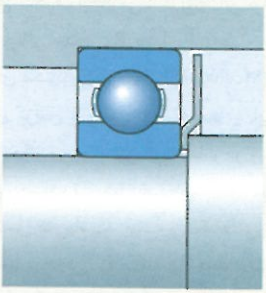


آب‌بندهای تماسی

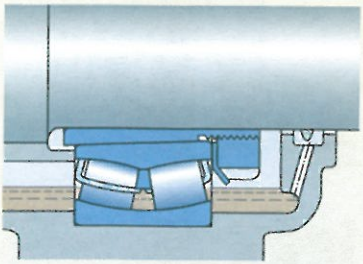
آب‌بندهای شعاعی شفت که آب‌بند تماسی می‌باشند، عموماً برای بیرینگ‌های روانکاری‌شده، با روغن بکار می‌روند. این آب‌بندهای آماده نصب از جنس الاستومر معمولاً دارای بدنه تقویت‌شده فلزی می‌باشند. لبه آب‌بندی معمولاً از جنس لاستیک مصنوعی‌بوده و توسط فنری به سطح مقابل بر روی شفت فشار داده می‌شوند. وابسته به جنس آب‌بند و محیط کارکرد، آب‌بندهای شعاعی را می‌توان در دمای بین 60- °C تا 190+ °C بکار برد.

سطح تماس لبه آب‌بند با شفت تأثیر بسزایی در راندمان آب‌بند دارد. این سطح باید حداقل سختی 55 HRC را داشته و عمق سختی آن باید حداقل 0.3 mm باشد .صافی سطح باید مطابق ISO 4288:1996 در حدوده 0.8 µm تا $R_a = 0.2$ باشد. در کابردهایی که سرعت کم، روانکاری خوب و آلودگی حداقل است، سختی کم‌تر نیز قابل قبول می‌باشد. به منظور جلوگیری از عمل پمپاژ ناشی از شیارهای مارپیچی ایجادشده در اثر از سنگ زنی شفت، سنگ زنی رفت و برگشتی (Plunger Grinding) توصیه می‌شود. اگر هدف از آب‌بند شعاعی جلوگیری از خروج روانکار از نشیمنگاه است، آب‌بند باید به صورتی نصب شود که لبه آن به سمت داخل (شکل ۶۰) باشد. ولی اگر هدف جلوگیری از ورود آلودگی‌ها می‌باشد لبه آب‌بند باید به سمت خارج (شکل ۶۱) باشد.

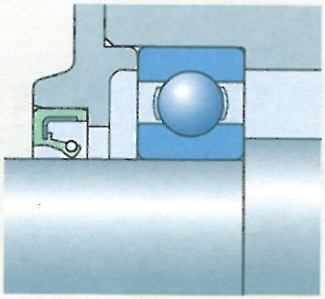
شکل ۵۸



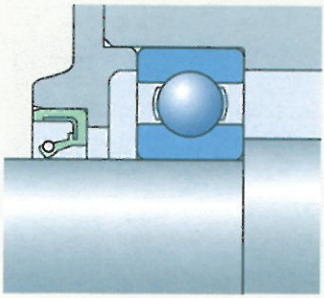
شکل ۵۹



شکل ۶۰



شکل ۶۱

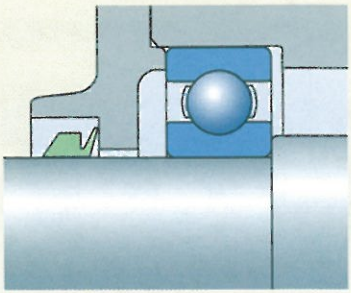


آب‌بندهای V- رینگ (شکل ۶۲) برای روانکاری با روغن و گریس بکار می‌روند. بدنه لاستیکی آب‌بند شفت را محکم گرفته و به همراه آن می‌چرخد در حالی که لبه آب‌بندی فشار محوری کمی روی جزء ثابت مانند نشیمنگاه وارد می‌کند. وابسته به جنس، آب‌بندهای V- رینگ دمای کارکرد -40 °C تا +150 °C را تحمل می‌کنند. این آب‌بندها به سادگی نصب می‌شوند و در سرعت‌های پایین عدم همراستایی زاویه‌ای زیاد شفت را تحمل می‌کند. صافی سطح R_a بین 2 و 3μm برای سطح مقابل لبه آب‌بندی کافی می‌باشد. در سرعت محیطی بیشتر از 8 m/s آب‌بندهای V- رینگ باید به صورت محوری بر روی شفت مهار شوند. در سرعت‌های بالاتر از 12 m/s باید از بلند شدن V- رینگ به کمک یک رینگ فلزی جلوگیری کرد. وقتی سرعت محیطی به 15 m/s می‌رسد لبه آب‌بندی از روی سطح مقابل آن بلند شده و آب‌بند V- رینگ به آب‌بند شیاردار ساده تبدیل می‌شود. عملکرد خوب آب‌بند V- رینگ به عملکرد آن به صورت حلقه گردگیر در پس زدن و دور کردن آلودگی‌ها بستگی دارد. بنابراین برای روانکاری با گریس، آب‌بند در خارج نشیمنگاه قرار می‌گیرد ولی برای روانکاری با روغن آب در داخل نشیمنگاه قرار گرفته به طوری که لبه آن در جهت مخالف بیرینگ است. اگر آب‌بند V- رینگ به عنوان یک آب‌بند ثانویه بکار برده شود، آب‌بند اولیه را در مقابل آلودگی‌ها و رطوبت محافظت می‌کند.

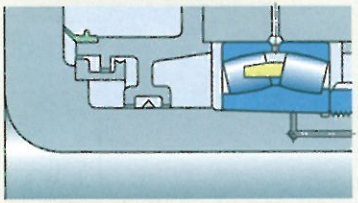
آب‌بندهای نوع مهار محوری (Axial Clamp) (شکل ۶۳) به عنوان آب‌بند ثانویه در شفت‌های بزرگ که نیاز به محافظت آب‌بند اولیه می‌باشد، بکار می‌روند. این آب‌بندها در جای خود بر روی اجزای غیر دورانی محکم‌شده و آب‌بندی محوری نسبت به سطح متحرک ایجاد می‌کنند. برای این نوع آب‌بند سطح مقابل لبه باید صافی سطح R_a معادل 2.5 µm داشته باشد.

آب‌بندهای مکانیکی (Mechanical Seals) (شکل ۶۴) برای آب‌بندی گریس یا روغن در سرعت‌های پایین و شرایط کارکرد سخت بکار می‌روند. این آب‌بندها از دو رینگ لغزشی با سطح بسیار صاف تشکیل شده‌اند که به بدنه فنری پلاستیکی متصل می‌باشند. بدنه رینگ‌های لغزشی را در موقعیت مناسب در داخل نشیمنگاه قرار داده و نیروی پیش بار لازم برای سطوح آب‌بندی را ایجاد می‌کند. سطح نشیمنگاه مشخصه خاصی نیاز ندارند.

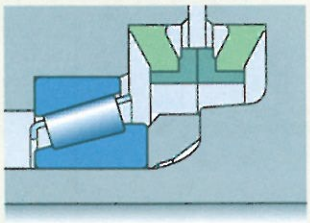
شکل ٦٢



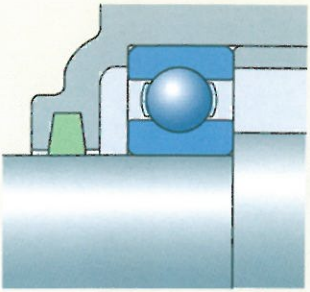
شکل ٦٣



شکل ٦٤



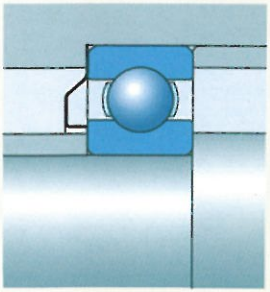
شکل ٦٥



کاسه نمدها (Felt Seals) (شکل ۶۵) معمولاً برای روانکاری با گریس استفاده می‌شوند این آب‌بندها ساده و ارزان بوده می‌توانند تا سرعت 4 m/s و دمای کارکرد 100+ °C بکار برده شوند. سطح مقابل آب‌بند باید سنگ زده شود و صافی سطح آن $R_a \leq 3.2\ \mu m$ باشد. با نصب یک آب‌بند شیاردار ساده به عنون آب‌بند ثانویه می‌توان راندمان کاسه نمد را افزایش داد. قبل از نصب کاسه نمد در شیار نشیمنگاه باید آن را در روغن 80 °C قرار داد.

واشرهای فنری (شکل ۶۶) یک آب‌بند ساده، ارزان و کم جا برای بیرینگ‌ها خصوصاً بلبیرینگ‌های شیار عمیق که با گریس روانکاری می‌شوند، می‌باشند. آب‌بند توسط رینگ خارجی یا رینگ داخلی مهار می‌شود و به رینگ دیگر فشار کمی وارد می‌کند. پس از مدتی کارکرد این آب‌بند به آب‌بند غیرتماسی تبدیل می‌شود و یک شیار باریک بین واشر و رینگ ایجاد می‌شود.

شکل ٦٦



اطلاعات بیشتر درباره آب‌بندها در کاتالوگ مهندسی بخش CR Seals بر روی لوح فشرده همراه کتاب با جزئیات کامل‌تر آورده شده است.

مراجع:

[1] SKF Catalouge "High-Precision Bearings".

[2] SKF Catalouge "Industrial Seals".

[3] SKF Handbook "Sealing Arrangment Design Guide".

فصل هشتم

روانکاری

روانکاری با گریس ۲۱۹
گریس‌های روانکار ۲۱۹
لزجت روغن پایه ۲۱۹
غلظت ۲۲۰
محدوده دما ـ مفهوم چراغ راهنما SKF ۲۲۰
حفاظت در مقابل خوردگی، رفتار گریس در برابر آب ۲۲۲
توانایی حمل بار: مواد افزودنی EP و AW ۲۲۲
قابلیت اختلاط ۲۲۴
گریس‌های SKF ۲۲۴
روانکاری مجدد ۲۲۵
دوره‌های روانکاری مجدد ۲۲۵
تصحیح دوره‌های روانکاری مجدد با شرایط کارکرد و نوع بیرینگ ۲۲۸
سایر ملاحظات ۲۲۹
روش‌های روانکاری مجدد ۲۳۰
تزریق گریس تازه ۲۳۰
تعویض کامل گریس ۲۳۲
روانکاری مداوم ۲۳۳
روانکاری با روغن ۲۳۶
روش‌های روانکاری با روغن ۲۳۶
روغن‌های روانکار ۲۳۹
انتخاب روغن‌های روانکار ۲۴۰
تعویض روغن ۲۴۱

برای کارکرد قابل اطمینان و به منظور جلوگیری از تماس فلز با فلز بین اجزای غلتنده با سطوح غلتش و قفسه‌ها، بیرینگ‌ها باید به مقدار کافی روانکاری شوند. روانکار همچنین از سایش جلوگیری کرده و سطح بیرینگ را در مقابل خوردگی محافظت می‌کند. انتخاب روانکار مناسب و روش روانکاری برای هر کاربرد مهم بوده و بخشی از تعمیر و نگهداری صحیح می‌باشد.

مجموعه کاملی از گریس‌ها و روغن‌ها برای روانکاری بیرینگ‌ها موجود می‌باشند. همچنین روانکارهای جامد را، برای شرایط دمایی بالا نیز باید به این مجموعه اضافه کرد. انتخاب روانکار بستگی به شرایط کارکرد، نظیر محدوده دما، سرعت و اثر محیط اطراف دارد.

بهترین شرایط دمای کارکرد وقتی به دست می‌آید که حداقل مقدار روانکار لازم برای روانکاری مطمئن تأمین شود. ولی در شرایطی که روانکار وظایف دیگری نظیر آب‌بندی و انتقال حرارت را به عهده دارد، به مقدار روانکار بیشتری نیاز است.

روانکار موجود در یک چیدمان بیرینگ‌ها به تدریج به علت کار مکانیکی، پیر شدن و آلوده شدن خواص روانکاری خود را از دست می‌دهد. بنابراین لازم است گریس جدید اضافه یا به طور کامل تعویض شود و برای روغن، وجود فیلتر و تعویض روغن در محدوده‌های زمانی معین لازم است.

اطلاعات و توصیه‌های این بخش برای بیرینگ‌های بدون آب‌بند و یا حفاظ فلزی می‌باشند.

بیرینگ‌های آب‌بند شده یا با حفاظ فلزی در هر دو طرف محتوی گریس می‌باشند و اطلاعات مربوط به گریس این بیرینگ‌ها در بخش مربوط به آن بیرینگ به همراه خلاصه‌ای از داده‌های عملکردی گریس آورده شده است.

معمولاً عمر گریس در بیرینگ‌های آب‌بند شده از عمر بیرینگ بیشتر است، لذا بجز موارد خاص، تمهیداتی برای روانکاری مجدد این بیرینگ‌ها در نظر گرفته نشده است.

توجه:

خواص روانکارهای به نظر مشابه، خصوصاً گریس‌ها، که در محل‌های متفاوت تولید می‌شوند، متفاوت است. لذا هیچگونه مسئولیتی برای هیچ نوع روانکار و یا عملکرد آن پذیرفته نیست. بنابراین استفاده‌کننده باید خواص روانکار را با جزئیات مشخص کند، به نحوی که بهترین شرایط روانکاری برای کاربرد به دست آید.

روانکاری با گریس

گریس می‌تواند در بیشتر کاربردها و در شرایط کارکرد طبیعی برای روانکاری بیرینگ‌ها بکار رود.

گریس نسبت به روغن دارای مزایایی می‌باشد که باقی ماندن در بیرینگ، بخصوص برای شفت‌های مورب و عمودی و کمک به آب‌بندی بیرینگ در مقابل آلودگی‌ها، رطوبت و آب عمده آنها می‌باشند.

گریس اضافی در بیرینگ باعث افزایش سریع دمای کارکرد بیرینگ می‌شود، خصوصاً اگر سرعت دوران بالا باشد. به عنوان یک قانون کلی در شروع کارکرد فقط باید بیرینگ به طور کامل از گریس پر کرد و فضای خالی نشیمنگاه باید به صورت جزئی از گریس پر شود. قبل رسیدن به سرعت نهایی کارکرد گریس اضافی در زمان راه‌اندازی اولیه از بیرینگ خارج می‌شود. در پایان زمان راه‌اندازی دمای کارکرد به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده توزیع گریس در بیرینگ است.

در کاربردهایی که سرعت کم است و حفاظت خوب در مقابل آلودگی‌ها و خوردگی لازم می‌باشد، توصیه می‌شود که نشیمنگاه به طور کامل از گریس پر شود.

گریس‌های روانکار

گریس‌های روانکار از مخلوط یک روغن معدنی یا مصنوعی با یک غلیظ‌کننده (Thickener) تشکیل شده‌اند. غلیظ‌کننده‌ها معمولاً صابون‌های فلزی (Metallic Soap) می‌باشند. هر چند که غلیظ‌کننده‌های دیگر نظیر پلی اوره (Polyurea) را می‌توان به علت عملکرد خوب در شرایط خاص مانند دماهای بالا بکار برد. مواد افزودنی را نیز می‌توان به منظور تقویت بعضی از خواص گریس به آن اضافه کرد. غلظت گریس شدیداً به غلظت غلیظ‌کننده آن و دمای کارکرد بستگی دارد. هنگام انتخاب یک گریس غلظت، محدوده دمای کارکرد، لزجت روغن پایه، خواص ضد زنگ (Rust Inhibiting) و ظرفیت حمل بار آن، عوامل مهمی می‌باشند، که باید در نظر گرفته شوند. در بخش‌های بعدی اطلاعات کامل‌تری در رابطه با خواص گریس‌ها آورده شده است.

لزجت روغن پایه

اهمیت لزجت روغن در تشکیل فیلم روغن جداکننده سطوح بیرینگ و در نتیجه تأثیر آن بر عمر بیرینگ در بخش « شرایط روانکاری ـ نسبت لزجت κ » در صفحه ۵۱ آورده شده است. اطلاعات بخش فوق در مورد لزجت روغن پایه گریس نیز صادق می‌باشند.

لزجت روغن پایه گریس‌های مورد استفاده در روانکاری بیرینگ‌ها معمولاً بین 15 تا 500 mm^2/s در دمای 40 °C است. گریس‌ها بر پایه روغن با لزجت بیش از 1000 mm^2/s در دمای 40 °C روغن را به آرامی از خود بیرون می‌دهند و بیرینگ را بخوبی روانکاری نمی‌کنند. بنابراین اگر لزجت محاسبه‌شده به علت سرعت کم بیشتر از 1000 mm^2/s در 40 °C است، بهتر است از گریس با حداکثر لزجت 1000 mm^2/s در 40 °C با خواص بیرون‌دهی مناسب روغن (Oil Bleending) و یا روانکاری با روغن استفاده شود.

لزجت روغن پایه، حداکثر سرعت توصیه‌شده برای استفاده از گریس در روانکاری بیرینگ‌ها را نیز تعیین می‌کند. همچنین سرعت دورانی مجاز برای گریس به مقاومت برشی (Shear Strength) آن نیز بستگی دارد، که توسط غلیظ‌کننده آن تعیین می‌شود. برای نشان دادن قابلیت سرعت، سازنده‌های گریس از ضریب سرعت استفاده می‌کنند.

$$A = nd_m$$

که در آن

A = ضریب سرعت، mm/min

n = سرعت دورانی، r/min

d_m = قطر متوسط قطر بیرینگ = 0.5(D+d)، mm

است، برای بلبیرینگ‌ها در سرعت‌های بالا نظیر A>700000، گریس با لزجت کم روغن پایه مناسب‌ترین انتخاب می‌باشند.

غلظت

گریس‌ها بر اساس معیار انستیتو ملی روانکاری گریس (NLGI) به کلاس‌های غلظت مختلفی تقسیم می‌شوند. غلظت گریس مورد استفاده در روانکاری بیرینگ‌ها نباید در دمای کارکرد و تحت کار مکانیکی تغییرات زیادی داشته باشد. گریس‌هایی که در دمای بالا رقیق می‌شوند ممکن است از داخل بیرینگ خارج شوند. و گریس‌های سفت، در دمای پایین از دوران بیرینگ جلوگیری کرده و یا روغن کافی از خود بیرون نمی‌دهند.

گریس‌ها با غلیظ‌کننده از صابون فلزی با کلاس غلظت ۱، ۲ یا ۳ برای بیرینگ‌ها استفاده می‌شوند. گریس با کلاس غلظت ۲ بیشترین کاربرد را دارد. گریس‌ها با غلظت کم برای کاربردهایی با دمای پایین و یا وقتی که خواص خوب پمپ شوندگی (Pumpability) ترجیح داده می‌شود، بکار می‌روند گریس با غلظت ۳ برای چیدمان بیرینگ‌ها با شفت عمودی که یک ورق سپری (Baffle Plate) تحتانی در آنها از خروج گریس جلوگیری می‌کند، توصیه می‌شوند.

در کاربردهای تحت ارتعاش، گریس به شدت تحت کار مکانیکی قرار می‌گیرد، زیرا به طور دائم به علت ارتعاش به داخل بیرینگ بر می‌گردد. غلظت بالا در این کاربردها مؤثر می‌باشد ولی به تنهایی روانکاری مناسب را تضمین نمی‌کند. بنابراین در این شرایط باید از گریس‌های پایدارشده مکانیکی (Mechanically Stable) استفاده کرد.

گریس‌های غلیظ‌شده با پلی اوره وابسته به نرخ برش در حین کار ممکن است سفت یا نرم شوند. در کاربردها با شفت عمودی این خطر وجود دارد که گریس پلی اوره تحت شرایط خاص از داخل بیرینگ خارج شود.

محدوده دما ـ مفهوم چراغ راهنما SKF

محدوده دمایی کارکرد یک گریس به نوع روغن پایه، غلیظ‌کننده و مواد افزودنی آن بستگی دارد. دماهای مناسب به طور شماتیک در نمودار ۱ به شکل یک چراغ راهنما دوبل (Double Traffic Light) نشان داده شده‌اند.

حدود دمای نهایی، حد دمای پایین و حد دمای بالا بخوبی تعریف شده‌اند.

- حد دمای پایین (LTL): پایین‌ترین دمایی است که در آن گریس به بیرینگ بدون مشکل اجازه شروع حرکت را می‌دهد این دما شدیداً به نوع و لزجت روغن پایه بستگی دارد.
- حد دمای بالا (HTL): به وسیله نوع غلیظ‌کننده تعیین می‌شود و برای گریس‌ها بر پایه صابون فلزی به وسیله نقطه قطران آن (Drop Point) تعیین می‌شود. نقطه قطران مشخص‌کننده دمایی می‌باشد که در آن گریس غلظت خود را از دست داده و به یک سیال تبدیل می‌شود.

واضح است که عملکرد در دمای پایین‌تر از حد دمای پایین و بالاتر از حد دمای بالا که با رنگ قرمز در نمودار ۱ نشان داده شده‌اند، توصیه نمی‌شود. اگر چه سازندگان گریس مقادیر حد بالا و پایین دما را در اطلاعات مربوط به گریس ذکر کرده‌اند ولی مقادیر مهم برای عملکرد قابل اطمینان به وسیله SKF با مقادیر زیاد تعیین می‌شوند.

- حد دمای پایین عملکرد (Low Temperature Performance Limit- LTPL) و
- حد دمای بالای عملکرد (High Temperatare Performance Limit - HTPL)

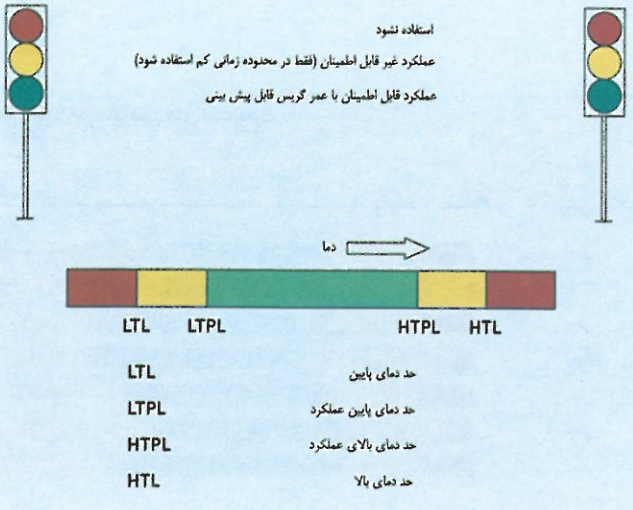
محدوده سبز در نمودار ۱ مابین این دو حد قرار دارد و محدوده عملکرد قابل اطمینان را نشان می‌دهد که در آن عمر گریس را می‌توان با دقت تعیین نمود. از آن جایی که حد دمای بالای

عملکرد دارای تعریف استانداردی نمی‌باشد، باید در تعبیر اطلاعات سازندگان گریس دقت شود.

در دمای بالاتر از حد دمای بالای عملکرد (HTPL) گریس به سرعت پیر و اکسیدشده و مواد ناشی از اکسیداسیون تأثیر زیادی بر روانکاری می‌گذارند. بنابراین دما در محدوده رنگ کهربایی بین حد دمای بالای عملکرد و حد دمای بالا فقط برای مدت کوتاهی قابل تحمل است.

یک محدوده کهربایی نیز برای حد پایین دما وجود دارد با کاهش دما تمایل گریس برای بیرون‌دهی روغن کاهش‌یافته و سفتی (غلظت) گریس افزایش پیدا می‌کند. این مسئله در نهایت باعث عدم وجود روانکار در سطوح تماس می‌شود در نمودار ۱ این حد دما با حد دمای پایین عملکرد (LTPT) نشان داده شده است. مقادیر حد دمای پایین عملکرد برای بیرینگ‌ها متفاوت است زیرا بلبیرینگ‌ها بهتر از رولربیرینگ‌ها روانکاری می‌شوند و حد دمای پایین عملکرد برای آنها اهمیت کم‌تری دارد. برای رولربیرینگ‌ها خرابی‌های جدی ناشی از عملکرد مداوم در زیر این دما ممکن است ایجاد شود. عملکرد کوتاه‌مدت در این محدوده برای مثال هنگام راه‌اندازی سرد مضر نمی‌باشد زیرا حرارت ناشی از اصطکاک دمای بیرینگ را به محدوده سبز می‌رساند.

نمودار ۱ مفهوم چراغ راهنما SKF



توجه:

مفهوم چراغ راهنما SKF برای هر نوع گریس قابل کاربرد است. هر چند که محدوده‌های دما برای گریس‌های مختلف متفاوت بوده و باید با آزمایش عملکرد بیرینگ تعیین شوند. حدود چراغ راهنما برای

- انواع گریس‌های مورد استفاده برای بیرینگ‌ها در نمودار ۲ و برای
- گریس‌های SKF در نمودار ۳

نشان داده شده‌اند. محدوده‌های نشان داده‌شده در این نمودارها بر اساس آزمایش‌های طولانی در آزمایشگاه‌های SKF به دست آمده‌اند و ممکن است با مقادیر اعلام‌شده توسط سازنده گریس متفاوت باشند. محدوده‌های نشان داده‌شده در نمودار ۲ برای گریس‌ها پر مصرف (NLGI 2) بدون مواد افزودنی EP صادق می‌باشند دماهای نشان داده‌شده در نمودارها به دمای خود القاء بیرینگ (Self- Induced Bearing Temperture) (که معمولاً بر روی رینگ ثابت اندازه‌گیری می‌شود) مربوط می‌شوند. از آن جایی‌که داده‌های هر نوع گریس خلاصه‌ای از گریس‌های کم و بیش با ترکیب مشابه می‌باشند، حدود برای هر گروه به صورت دقیق مشخص نشده بلکه در یک محدوده کوچک قرار گرفته است.

حفاظت در مقابل خوردگی، رفتار گریس در برابر آب

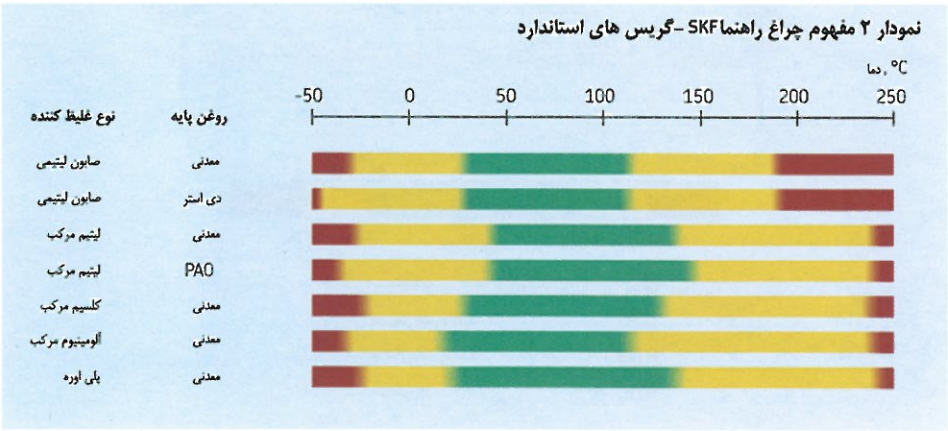
گریس باید بیرینگ را در مقابل خوردگی حفاظت‌کرده و نباید در اثر نفوذ آب از داخل بیرینگ شسته شود. نوع غلیظ‌کننده به تنهایی مقاومت در برابر آب را تعیین می‌کند. گریس‌ها با غلیظ‌کننده لیتیم مرکب (Lithium Complex)، کلسیم مرکب (Complex Calcium) و پلی اوره عموماً مقاومت خوبی دارند. نوع مواد افزودنی ضدخوردگی تعیین‌کننده خواص ضدخوردگی گریس می‌باشند.

پر کردن نشیمنگاه و بیرینگ از گریس در سرعت‌های پایین برای حفاظت در برابر خوردگی و جلوگیری از ورود آب مفید می‌باشد.

توانایی حمل بار: مواد افزودنی EP و AW

اگر ضخامت فیلم روانکاری کافی نباشد به طوری که از تماس فلز با فلز در پستی بلندی‌های سطح تماس جلوگیری نکند، عمر بیرینگ کاهش می‌یابد. یک راه‌حل برای این مشکل استفاده از افزودنی‌های معرف EP (فشار بیش از حد Extreme Pressune) در گریس است. دمای بالای ناشی از تماس پستی بلندی‌های محلی، این افزودنی‌ها را فعال نموده و باعث سایش ملایم (Mild Wear) نقاط تماس می‌شود. در نتیجه سطح تماس صاف‌تر، تنش‌های تماسی کم‌تر و عمر بیرینگ افزایش می‌یابد.

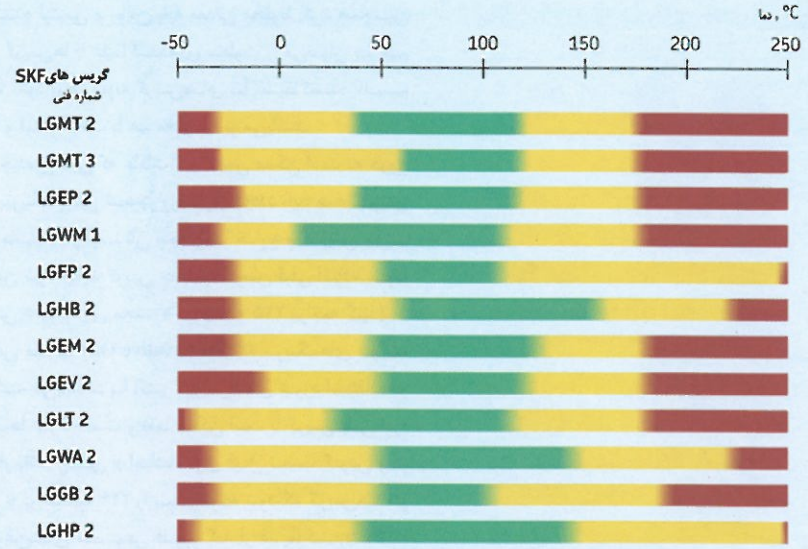
نمودار ۲ مفهوم چراغ راهنما SKF - گریس های استاندارد



اکثر افزودنی‌های EP مدرن از نوع گوگرد / فسفر (Sulphur/Phosphorus) می‌باشند. این افزودنی‌ها متأسفانه ممکن است بر مقاومت ساختار فولاد بیرینگ اثر منفی داشته باشند. اگر از این افزودنی‌ها استفاده شود، واکنش شیمیایی ممکن است به پستی بلندی‌های سطح تماس محدود نباشد. در دمای عملکرد و تنش‌های تماسی بالا، مواد افزودنی ممکن است باعث شروع مکانیسم خوردگی / نفوذ (Corrosion /Diffusion Mechanism) در محل‌های تماس‌شده و خرابی بیرینگ، که ناشی از یک حفره بسیار کوچک (Micro Pitting) است را سرعت دهد. به همین علت برای دمای کارکرد بالاتر از 80 °C افزودنی‌های EP با خواص واکنشی کم توصیه می‌شوند. روانکار با مواد افزودنی EP نباید برای بیرینگ‌ها در دمای کارکرد بالاتر از 100 °C استفاده شود. در سرعت‌های خیلی کم افزودنی‌های روانکار جامد نظیر گرافیت (Graphite) و دی سولفید مولیبدن MoS_2 (Molybdenum Disulphide) برای تقویت افزودنی‌های EP به مجموعه افزودنی‌های روانکار اضافه می‌شود. درجه خلوص افزودنی‌ها باید بالا بوده و اندازه ذرات در آنها بسیار کوچک باشد در غیر این صورت بر اثر عبور اجزای غلتنده از روی آنها فرو رفتگی در رینگ‌ها یا اجزای غلتنده ایجادشده و در نتیجه عمر خستگی بیرینگ کاهش می‌یابد.

وظیفه افزودنی‌ها ضد سایش (Anti-Wear) AW مشابه افزودنی‌ها EP بوده و از تماس فلز با فلز جلوگیری می‌کنند. لذا بین افزودنی‌ها EP و AW معمولاً تفاوتی در نظر گرفته نمی‌شود هر چند روش عملکرد آنها متفاوت است. ایجاد یک لایه حافظ چسبیده به سطح در افزودنی‌های AW تنها تفاوت آنها با افزودنی‌های EP است. بنابراین پستی بلندی‌های سطح بدون تماس فلز با فلز بر روی هم می‌لغزند ولی زبری بر اثر سایش ملایم سطوح مانند حالت استفاده از افزودنی‌های EP کاهش نمی‌یابد. افزودنی‌های AW مانند EP دارای اجزایی می‌باشند که ممکن است بر اثر نفوذ در فولاد باعث تضعیف ساختار آن شوند.

نمودار ۳ مفهوم چراغ راهنما SKF – گریس های SKF



برای دمای بالاتر از 150 °C گریس LGET 2 توصیه می شود.

بعضی غلیظ‌کننده‌ها (نظیر سولفات کلسیم مرکب) بدون واکنش شیمیایی مؤثر بر عمر بیرینگ اثر مشابهی مانند افزودنی‌های EP/AW دارند. بنابراین برای آنها حد دمای کارکرد مانند افزودنی‌های EP وجود ندارد.

اگر ضخامت فیلم روانکار کافی باشد، افزودنی‌های EP و AW توصیه نمی‌شوند. ولی مواردی وجود دارد که افزودنی‌های EP و AW ممکن است مفید باشند. برای مثال اگر لغزش زیاد بین رولرها و سطح غلتش وجود داشته باشد این افزودنی‌ها ممکن است مفید واقع شوند.

قابلیت اختلاط

در صورتی که تغییر از یک گریس به گریس دیگر الزامی می‌باشد، قابلیت اختلاط یا توانایی مخلوط شدن گریس‌ها بدون اثر منفی باید بررسی شود. اگر گریس‌هایی که با هم سازگار نیستند با هم مخلوط شوند، غلظت مخلوط به شدت کاهش‌یافته و گریس از بیرینگ به بیرون نشت می‌کند و باعث خرابی بیرینگ می‌شود.

گریس‌ها با غلیظ‌کننده و روغن پایه مشابه را می‌توان بدون هیچ اثر منفی مخلوط کرد. برای مثال گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی و روغن پایه معدنی را می‌توان با گریس دیگر با غلیظ‌کننده لیتیمی و روغن پایه معدنی مخلوط کرد. همچنین بعضی گریس‌ها با غلیظ‌کننده‌های متفاوت را می‌توان با هم مخلوط نمود برای نمونه گریس‌های با غلیظ‌کننده کلسیم مرکب و لیتیم مرکب با هم مخلوط‌پذیر می‌باشند.

در چیدمان‌هایی که غلظت کم گریس ممکن است به خروج آن از بیرینگ ناشی شود در روانکاری مجدد باید همه گریس باقی مانده را از چیدمان و مجراها خارج و گریس جدید جایگزین شود (نباید گریس جدید به گریس قبلی اضافه شود، به بخش « روانکاری مجدد » در صفحه ۲۲۵ مراجعه کنید).

روغن محافظ (Preservative Oil) که بیرینگ‌های نو به آن آغشته می‌باشند با اکثر گریس‌های مورد استفاده در بیرینگ‌ها سازگار است و فقط ممکن است با گریس پلی اوره ناسازگار باشد (بخش « آماده‌سازی قبل نصب کردن و در آوردن » در صفحه ۲۴۶ را ببینید). توجه شود که گریس‌ها بر پایه روغن‌های مصنوعی فلورو که از غلیظ‌کننده PTFE استفاده می‌کنند، نظیر گریس LGET 2 با روغن‌های محافظ استاندارد سازگار نمی‌باشند و روغن محافظ قبل از گریسکاری باید به طور کامل شسته شود.

گریس‌های SKF

مجموعه گریس‌های SKF برای روانکاری بیرینگ‌ها شامل انواع گوناگون برای کاربردهای مختلف می‌باشد. این گریس‌ها بر اساس آخرین تکنولوژی مربوط به روانکاری بیرینگ‌ها توسعه داده شده‌اند و به طور کامل در آزمایشگاه و در عمل آزمایش شده‌اند و همچنین کیفیت این گریس‌ها به طور پیوسته کنترل می‌شود.

اطلاعات فنی مهم گریس‌ها SKF به همراه راهنمای انتخاب آنها در جدول ۲ صفحات ۲۳۴ و ۲۳۵ آورده شده‌اند. محدوده دمایی که گریس‌های SKF را می‌توان به کاربرد در نمودار ۳ صفحه ۲۲۳ بر اساس مفهوم چراغ راهنما SKF نشان داده شده است. [1]

برای انتخاب دقیق گریس مناسب در یک کاربرد خاص از برنامه انتخاب گریس SKF بنام « LubSelect » استفاده کنید. [2]

روانکاری مجدد

اگر عمر گریس از عمر بیرینگ کم‌تر باشد، بیرینگ باید روانکاری مجدد شود. روانکاری مجدد باید زمانی که هنوز شرایط گریس موجود مناسب است، انجام پذیرد.

زمان روانکاری مجدد به عوامل مختلفی وابسته است. این عوامل عبارتند از نوع و ابعاد بیرینگ، سرعت، دمای کارکرد، نوع گریس، فضای موجود در اطراف بیرینگ و شرایط محیط کارکرد بیرینگ. این زمان را فقط می‌توان بر اساس قوانین آماری توصیه کرد. دوره روانکاری مجدد بر اساس دوره زمانی تعیین می‌شود که در پایان آن دوره هنوز ٪ 99 بیرینگ به طور قابل اطمینانی روانکاری می‌شود. این زمان عمر L_1 گریس را نشان می‌دهد.

توصیه می‌شود که دوره روانکاری مجدد بر اساس تجربه به دست آمده از کاربرد واقعی و آزمایش به همراه زمان تقریبی محاسبه‌شده که در بخش بعد آورده شده است، تعیین شود.

دوره‌های روانکاری مجدد

دوره روانکاری مجدد t_f برای بیرینگ‌ها بر روی شفت افقی که رینگ داخلی آنها دوران می‌کند. در شرایط نرمال و تمیز از نمودار ۴ به عنوان تابعی از

- حاصلضرب ضریب سرعت A و ضریب بیرینگ b_f که در آن

$$A = nd_m$$

n = سرعت دوران، r/min

d_m = قطر متوسط بیرینگ = $0.5(d+D)$، mm

b_f = ضریب بیرینگ وابسته به نوع بیرینگ و شرایط بار (جداول ۱، صفحه ۲۲۷)

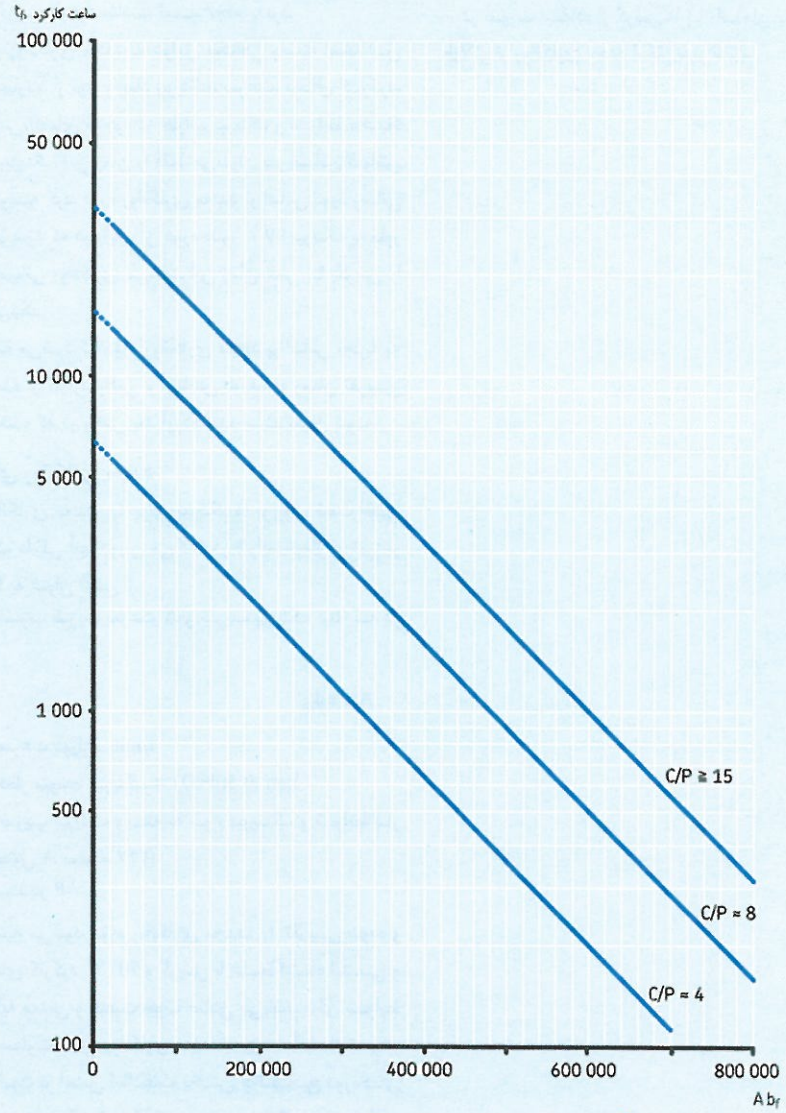
- و نسبت بار C / P

محاسبه می‌شود. دوره روانکاری مجدد t_f تقریبی بوده و برای دمای کارکرد 70 °C و گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی و روغن پایه معدنی و کیفیت خوب صادق می‌باشد. برای شرایط کارکرد متفاوت، دوره روانکاری مجدد به دست آمده از نمودار ۴ لازم است بر اساس اطلاعات بخش « تصحیح دوره‌های روانکاری مجدد با شرایط کارکرد و نوع بیرینگ » در صفحه ۲۲۸ تصحیح شود.

اگر ضریب سرعت A از ٪70 حد توصیه‌شده در جدول ۱ بیشتر شود و یا دمای محیط بالا باشد، استفاده از محاسبات بخش « سرعت‌ها و ارتعاشات » و در صفحه ۹۵ برای بررسی دمای کارکرد و روش مناسب روانکاری، توصیه می‌شود.

در صورت استفاده از گریس‌ها با راندمان بالا، دوره‌های طولانی‌تر روانکاری مجدد امکان‌پذیر است.

نمودار ٤ دوره روانکاری مجدد در دمای کارکرد 70 °C



جدول ۱ ضریب بیرینگ و حدود توصیه شده برای ضریب سرعت A

نوع بیرینگ	ضریب بیرینگ b_f	حدود توصیه شده برای ضریب سرعت A و نسبت بار C/P ≥ 15	C/P ≈ 8	C/P ≈ 4
–	–	mm/min		
Deep groove ball bearings	1	500 000	400 000	300 000
Angular contact ball bearings	1	500 000	400 000	300 000
Self-aligning ball bearings	1	500 000	400 000	300 000
Cylindrical roller bearings				
– non-locating bearing	1,5	450 000	300 000	150 000
– locating bearing, without external axial loads or with light but alternating axial loads	2	300 000	200 000	100 000
– locating bearing, with constantly acting light axial load	4	200 000	120 000	60 000
– without cage, full complement[2]	4	NA[3]	NA[3]	20 000
Taper roller bearings	2	350 000	300 000	200 000
Spherical roller bearings				
– when load ratio $F_a/F_r < e$ and $d_m \leq 800$ mm				
series 213, 222, 238, 239	2	350 000	200 000	100 000
series 223, 230, 231, 232, 240, 248, 249	2	250 000	150 000	80 000
series 241	2	150 000	80 000[4]	50 000[4]
– when load ratio $F_a/F_r < e$ and $d_m > 800$ mm				
series 238, 239	2	230 000	130 000	65 000
series 230, 231, 232, 240, 248, 249	2	170 000	100 000	50 000
series 241	2	100 000	50 000[4]	30 000[4]
– when load ratio $F_a/F_r > e$				
all series	6	150 000	50 000[4]	30 000[4]
CARB toroidal roller bearings				
– with cage	2	350 000	200 000	100 000
– without cage, full complement[2]	4	NA[3]	NA[3]	20 000
Thrust ball bearings	2	200 000	150 000	100 000
Cylindrical roller thrust bearings	10	100 000	60 000	30 000
Spherical roller thrust bearings				
– rotating shaft washer	4	200 000	170 000	150 000

۱) ضریب بیرینگ و ضریب سرعت "A" توصیه شده، برای بیرینگهای استاندارد با هندسه داخلی و قفسه استاندارد کاربرد دارند.

۲) مقادیر f_1 بدست آمده از **نمودار ٤** لازم است بر ۱۰ تقسیم شوند.

۳) برای این مقادیر C/P قابل کاربرد نیست، بیرینگ با قفسه توصیه می شود.

۴) برای سرعت های بالاتر روانکاری با روغن توصیه می شود.

تصحیح دوره‌های روانکاری مجدد با شرایط کارکرد و نوع بیرینگ

به منظور در نظر گرفتن افزایش سرعت پیر شدن گریس با افزایش دما، توصیه می‌شود که به ازای هر 15 °C دمای کارکرد بالاتر از 70 °C مقدار دوره روانکاری مجدد محاسبه‌شده از نمودار ۴ نصف شود. البته دمای کارکرد نباید از حد دمای بالای عملکرد گریس (HTPL در نمودار ۱، صفحه ۲۳۳) بیشتر شود.

دوره روانکاری مجدد t_f را می‌توان برای دمای کم‌تر از 70 °C طولانی‌تر کرد به شرطی که دما به حد دمای پایین عملکرد (LTPL در نمودار ۱، صفحه ۲۳۳) نزدیک نباشد. کل ضریب افزایش دوره روانکاری مجدد t_f نباید از دو برابر بیشتر باشد. (به عبارت دیگر زمان محاسبه‌شده از نمودار ۴ را حداکثر می‌توان ۲ برابر کرد) برای بیرینگ‌های بدون قفسه (پر ساچمه) و رولربیرینگ‌های کف‌گرد نباید مقادیر t_f به دست آمده از نمودار ۴ را افزایش داد.

دوره‌های زمانی روانکاری مجدد بیشتر از 30000 ساعت نیز توصیه نمی‌شود.

در بیشتر کاربردها وقتی دمای رینگ بیشتر از 100 °C است یک محدودیت در استفاده از گریس معمولی ایجاد می‌شود. در دمای بالاتر از این درجه حرارت باید از گریس‌های خاص استفاده شود در این شرایط باید پایداری و مقاومت آب‌بندها به دما نیز در نظر گرفته شوند.

شفت‌های عمودی

برای بیرینگ‌ها بر روی شفت‌های عمودی مقادیر دوره‌های روانکاری محاسبه‌شده از نمودار ۴ باید نصف شوند. در این کاربردها استفاده از آب‌بند و یا حفاظ فلزی مناسب برای جلوگیری از خروج گریس الزامی است.

ارتعاشات

ارتعاش متوسط تأثیر منفی بر عمر گریس ندارد. اما ارتعاش زیاد و شوک نظیر ارتعاشات در سرندهای ارتعاشی (Vibrating Screen) باعث کف کردن (Churning) گریس می‌شوند در این شرایط دوره روانکاری مجدد باید کاهش داده شود. اگر گریس خیلی نرم شود باید از گریس با پایداری مکانیکی بهتر نظیر گریس SKF LGHB2، یا گریس با غلظت بیشتر تا NLGI 3 استفاده کرد.

دوران رینگ خارجی

محاسبه ضریب سرعت A در کاربردهایی که رینگ خارجی دوران می‌کند متفاوت است. در این کاربردها باید از قطر خارجی D بجای d_m استفاده کرد. در این شرایط استفاده از یک سیستم آب‌بندی مناسب برای جلوگیری از خروج گریس الزامی است .

در شرایط سرعت بالای دوران رینگ خارجی (برای مثال بیشتر از 40% سرعت مرجع در جداول بیرینگ‌ها)، گریس با تمایل کم به بیرون‌دهی روغن باید انتخاب شود.

برای رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد که در آنها واشر نشیمنگاه دوران می‌کند روانکاری با روغن توصیه می‌شود.

آلودگی

در شرایط وجود آلودگی، روانکاری با دوره‌های کم‌تر از مقدار محاسبه‌شده باعث کاهش اثرات ذرات آلوده‌کننده و در نتیجه کاهش اثرات مخرب آنها می‌شود. وجود سیالات آلوده‌کننده (نظیر آب و سیالات فرآیندی) نیز کاهش دوره روانکاری را الزامی می‌کند. در شرایط آلودگی خیلی زیاد روانکاری مداوم توصیه می‌شود.

سرعت‌های خیلی کم

بیرینگ‌ها تحت بار سبک و سرعت‌های خیلی کم نیاز به گریس با غلظت کم دارند. ولی بیرینگ‌ها تحت بار سنگین و سرعت‌های کم نیاز به گریس با لزجت زیاد و در صورت امکان خواص EP بسیار خوب دارند.

افزودنی‌های جامد نظیر گرافیت و دی سولفیدمولیبدن (MoS_2) را می‌توان در ضریب‌های سرعت A<20000 استفاده نمود. انتخاب نوع و مقدار گریس در کاربردها با سرعت کم بسیار با اهمیت می‌باشد.

سرعت‌های بالا

دوره روانکاری مجدد برای بیرینگ‌ها با سرعت بالاتر از ضریب سرعت A توصیه‌شده در جدول ۱ صفحه ۲۲۷ فقط برای گریس‌های خاص و یا بیرینگ‌ها خاص نظیر بیرینگ‌ها مختلط بکار می‌رود. در این شرایط روش‌های روانکاری مداوم نظیر

سیستم چرخش روغن و روانکاری با مخلوط هوا و روغن مناسب هستند.

بارهای خیلی سنگین

برای بیرینگ‌ها با ضریب سرعت A>20000 و تحت بار با نسبت C/P<4 دوره روانکاری مجدد باید کاهش یابد. تحت این شرایط بار، روانکاری مداوم با گریس یا حمام روغن توصیه می‌شود.

برای کاربردهایی که ضریب سرعت A<20000 بوده نسبت بار C/P=1-2 می‌باشد به بخش سرعت‌های خیلی کم در صفحه ۲۲۸ مراجعه کنید. برای سرعت‌های زیاد و بار سنگین روانکاری به روش چرخش روغن با سیستم خنک‌کننده توصیه می‌شود.

بارهای خیلی سبک

برای بارهای سبک (C/P=30 تا 50) دوره روانکاری مجدد را می‌توان در بیشتر موارد افزایش داد. برای عملکرد رضایت‌بخش، هر بیرینگ باید تحت بار حداقلی باشد که در بخش مربوط به هر نوع بیرینگ خاص مقدار آن آورده شده است.

عدم همراستایی

عدم همراستایی ثابت در محدوده مجاز در رولربیرینگ‌ها کروی، بیرینگ‌های خود تنظیم و رولربیرینگ‌های توریدال اثر منفی بر عمر گریس ندارد.

بیرینگ‌های بزرگ

برای تعیین دوره روانکاری بیرینگ‌ها بزرگ (d>300 mm) که در ماشین‌آلات حساس صنایع فرآیندی بکار می‌روند یک روش فعالانه توصیه می‌شود. در این موارد توصیه می‌شود که در ابتدا از دوره‌های روانکاری مجدد کوتاه استفاده شود و مقدار گریس توصیه‌شده برای روانکاری مجدد (بخش « روش‌های روانکاری مجدد » صفحه ۲۲۵) رعایت شود.

قبل از گریس کاری مجدد شکل ظاهری و درجه آلودگی ذرات جامد و آب در گریس باید بررسی شود. همچنین آب‌بندها نیز باید از نظر سایش، خرابی و نشتی بررسی کامل شوند. در صورتی که شرایط گریس و اجزای مربوطه مناسب تشخیص داده شوند می‌توان دوره روانکاری مجدد را به تدریج افزایش داد.

مشابه روش فوق برای رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد، ماشین‌های نمونه، ماشین‌های توسعه داده‌شده با چگالی توان بالا (High-density Power) و کاربردهای که تجربه کافی در آنها موجود نیست، توصیه می‌شود.

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای

دوره روانکاری مجدد از نمودار ۴ برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای در شرایط زیر صادق است.

- قفسه از نوع پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه مرکزشده نسبت به رولرها با پسوند P در شماره فنی بیرینگ
- قفسه از نوع برنجی ماشینکاری‌شده دو تکه مرکزشده نسبت به رولرها با پسوند M در شماره فنی بیرینگ

برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای با

- قفسه فولادی پرسکاری‌شده، مرکزشده نسبت به رولرها، بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ یا پسوند J یا
- قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده بیرینگ نسبت به رینگ داخلی یا خارجی با پسوند MA، MB یا MP در شماره فنی

مقادیر دوره روانکاری مجدد محاسبه‌شده از نمودار ۴ باید نصف‌شده و گریس با خواص بیرون‌دهی خوب روغن باید بکار برده شود. بیرینگ‌ها با قفسه MA، MB، ML یا MP که با گریس روانکاری می‌شوند نباید در ضریب سرعت $A = n \times d_m = 250000$ بکار برده شوند. برای این شرایط روانکاری با روغن توصیه می‌شود.

سایر ملاحظات

اگر مقدار تعیین‌شده دوره روانکاری مجدد t_f برای کاربردی خیلی کم باشد، توصیه می‌شود که،

- دمای کارکرد بیرینگ بررسی شود
- آلودگی گریس از نظر ذرات جامد و یا سیالات بررسی شود
- شرایط کارکرد بیرینگ نظیر بار و عدم همراستایی بررسی شوند

و در نهایت باید گریس مناسب‌تری برای کاربرد انتخاب کرد.

روش‌های روانکاری مجدد

انتخاب روش روانکاری مجدد عموماً به نوع کاربرد و دوره روانکاری مجدد t_f بستگی دارد.

- تزریق گریس تازه (Replenishment): روش مناسبی می‌باشد که برای دوره‌های روانکاری مجدد کم‌تر از شش ماه ترجیح داده می‌شود. در این روش نیازی به توقف ماشین نمی‌باشد و در مقایسه با روش روانکاری مداوم دمای پایدار (Steay State Tempreture) کم‌تری ایجاد می‌کند.
- تعویض کامل گریس: عموماً برای دوره‌های روانکاری بیشتر از شش ماه توصیه می‌شود. این عملیات معمولاً به عنوان بخشی از برنامه تعمیر و نگهداری بیرینگ انجام می‌شود (برای مثال در وسایل نقلیه ریلی).
- روانکاری مداوم: در شرایطی که دوره روانکاری به علت اثرات ناشی از آلودگی کوتاه می‌باشد و یا به سختی می‌توان به بیرینگ دسترسی یافت، استفاده می‌شود. روانکاری مداوم برای سرعت‌های بالا توصیه نمی‌شود زیرا کف کردن بیش از حد گریس باعث افزایش دمای کارکرد و تخریب ساختار غلیظ‌کننده گریس می‌شود.

در صورتی که در یک چیدمان از بیرینگ‌های مختلف استفاده می‌شود باید از دوره روانکاری کوتاه‌تر برای هر دو بیرینگ استفاده کرد. ملاحظات و مقدار گریس برای سه روش فوق در بخش‌های بعدی آورده شده‌اند.

تزریق گریس تازه

همان طور که قبلاً نیز گفته‌شده بیرینگ باید در ابتدا از گریس پر شود ولی فضای خالی در نشیمنگاه به صورت جزئی پر می‌شود. وابسته به روش تزریق گریس مقدار گریس اولیه توصیه‌شده بر حسب در صد فضای خالی در نشیمنگاه،

- 40٪ برای وقتی که تزریق از کنار بیرینگ انجام می‌گیرد (شکل ۱)،
- 20٪ برای وقتی گریس از طریق سوراخ و شیار موجود بر روی رینگ‌های داخلی یا خارجی بیرینگ تزریق می‌شود (شکل ۲)

مقدار گریس مناسب برای تزریق گریس تازه از کنار بیرینگ از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$G_p = 0.005\ DB$$

و برای تزریق گریس تازه از طریق رینگ داخلی یا خارجی،

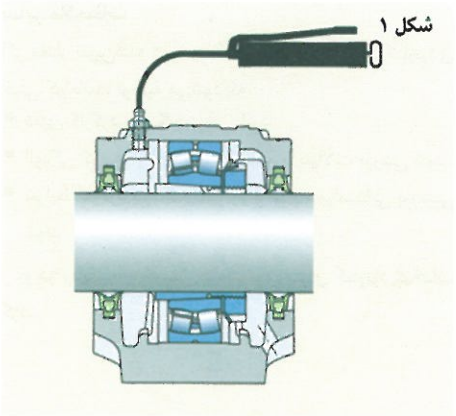
$$G_p = 0.002\ DB$$

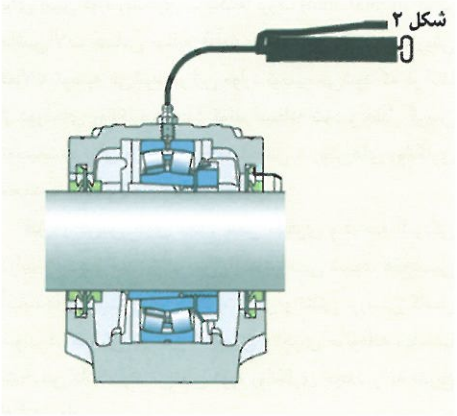
که در آن

G_p = مقدار گریس تازه که باید اضافه شود، g

D = قطر خارجی بیرینگ، mm

B = کل پهنای بیرینگ (برای بیرینگ‌های کف‌گرد ارتفاع H)، mm


شکل ۱

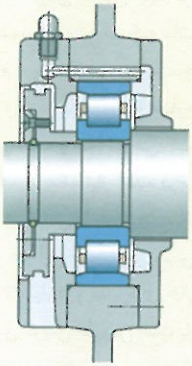

شکل ۲

به منظور تزریق گریس توسط تفنگ گریس (Grease Gun) باید سوراخ مربوطه در نشیمنگاه تعبیه می‌شود. اگر از آب‌بند تماسی استفاده شود، باید در نشیمنگاه سوراخی جهت خروج گریس تعبیه شود تا گریس اضافی از نشیمنگاه خارج‌شده و موجب افزایش دمای بیرینگ نشود (شکل ۱). سوراخ خروجی نشیمنگاه باید هنگام شستشو با آب فشار قوی کاملاً بسته شود.

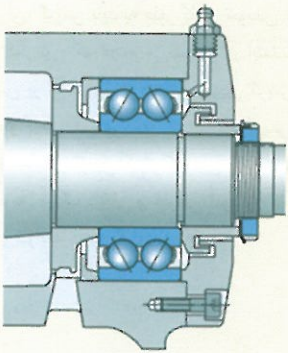
خطر افزایش دما ناشی از گریس اضافی در اطراف بیرینگ در شرایطی که سرعت بالا می‌باشد، بسیار بیشتر است. در این شرایط توصیه می‌شود که از شیر فرار گریس (Grease Escape Hole) بجای سوراخ خروجی استفاده شود. شیر فرار گریس شامل یک دیسک می‌باشد که با شفت دوران می‌کند و با در پوش نشیمنگاه تشکیل یک شکاف باریک را می‌دهد (شکل ۳). گریس مصرف‌شده و اضافی به کمک دیسک و از طریق شکاف بین دیسک و نشیمنگاه از نشیمنگاه خارج می‌شوند.

برای اطمینان از رسیدن گریس تازه به بیرینگ و جایگزین شدن گریس قدیمی، گریس تازه باید در کنار رینگ خارجی (شکل‌های ۱و ۴) و یا در شرایط بهتر در داخل بیرینگ تزریق شود. برای کمک به روانکاری بهتر در بعضی بیرینگ‌ها مانند رولربیرینگ کروی، شیار محیطی و سوراخ‌های روانکاری در رینگ خارجی یا داخلی تعبیه شده است (شکل‌های ۲ و ۵).

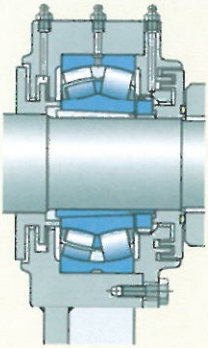
شکل ۳



شکل ٤



شکل ٥



برای جایگزینی مؤثر گریس قدیمی، باید گریس جدید هنگام کار ماشین تزریق شود. در صورتی که ماشین در حال کار نمی‌باشد باید هنگام تزریق گریس بیرینگ چرخانده شود. وقتی گریس از طریق رینگ داخلی یا خارجی وارد می‌شود گریسکاری مؤثرتر است و به گریس کم‌تری نسبت به گریسکاری از اطراف بیرینگ نیاز است. فرض بر این است که سوراخ‌ها و مسیرهای گریس کاری قبلاً هنگام گریس کاری اولیه پر شده‌اند. در غیر این صورت در اولین تزریق، گریس بیشتری لازم است تا شیارها و مسیرهای خالی را پر کند.

وقتی مسیر تزریق گریس طولانی است باید امکان پمپاژ گریس در دمای محیط بررسی و از رسیدن گریس به بیرینگ اطمینان حاصل شود.

وقتی فضای خالی نشیمنگاه تقریباً پر شد، حدود 75٪ فضای خالی آن، گریس باید به طور کامل تعویض شود. وقتی روانکاری از کنار بیرینگ انجام می‌گیرد و در ابتدا 40٪ فضای خالی از گریس پر است پس از پنج بار تزریق گریس تازه باید گریس به طور کامل تعویض شود. در شرایط گریس اولیه کم در فضای نشیمنگاه و تزریق کم‌تر گریس و در حالت تزریق مستقیم از طریق رینگ داخلی و خارجی تعویض کامل گریس به ندرت و در شرایط خاص لازم می‌شود.

تعویض کامل گریس

پس چند بار تزریق گریس و یا در صورت طولانی بودن زمان روانکاری مجدد بیرینگ (طولانی‌تر از شش ماه) گریس باید به طور کامل تعویض شود.

پر کردن بیرینگ با گریس جدید باید مطابق شرایط گفته‌شده بخش تزریق گریس تازه انجام گیرد.

برای تعویض گریس باید نشیمنگاه به سادگی قابل دسترسی باشد و بتوان آن را باز کرد. قسمت بالای نشیمنگاه‌های دو تکه و در پوش نشیمنگاه‌های یک پارچه به سادگی قابل برداشتن بوده و می‌توان به بیرینگ دسترسی پیدا کرد. بعد از برداشتن گریس استفاده شده، ابتدا باید بیرینگ (بین اجزا غلتنده) را گریس کاری کرد. در هنگام روانکاری مجدد باید توجه شود که آلودگی به همراه گریس وارد بیرینگ و نشیمنگاه نشود و گریس نیز در معرض آلودگی قرار نگیرد. استفاده از دستکش‌های مقاوم به گریس برای جلوگیری از ایجاد حساسیت پوست توصیه می‌شود.

وقتی دسترسی به نشیمنگاه مشکل است ولی امکانات تزریق و خروج گریس موجود می‌باشند می‌توان با چند بار پیاپی تزریق گریس از خارج شدن گریس قدیمی و جایگزینی آن با گریس جدید اطمینان پیدا کرد. البته این روش در سرعت‌های بالا به علت کف کردن گریس اضافی باعث افزایش دمای بیرینگ می‌شود.

روانکاری مداوم

این روش وقتی بکار می‌رود که در دوره روانکاری مجدد محاسبه‌شده، به علت وجود آلودگی‌ها، کم بوده و یا روش‌ها دیگر روانکاری امکان‌پذیر نمی‌باشند، روانکاری مداوم به علت افزایش دمای ناشی از گریس اضافی، فقط برای سرعت‌های پایین نظیر

- $A<150000$ برای بلبیرینگ‌ها و
- $A<75000$ برای رولربیرینگ‌های

توصیه می‌شود. در این شرایط نشیمنگاه باید ابتدا به طور ٪100 از گریس پر شود و مقدار گریس از تقسیم مقدار G_p محاسبه‌شده از بخش « تزریق گریس تازه » بر دوره روانکاری به دست می‌آید.

هنگام استفاده از روانکاری مداوم باید امکان پمپاژ گریس در دمای محیط از مسیرهای روانکاری بررسی شود.

روانکاری مداوم را می‌توان به کمک روانکاری اتوماتیک یک نقطه‌ای (Single Point) و چند نقطه‌ای (Multi-Point) SKF نظیر SYSTEM 24® یا SYSTEM Multi point انجام داد. [1]

سیستم‌های روانکاری مداوم مرکزی VOGEL [4]، نظیر

- Total-loss Centralized systems
- Singl and multi-line systems

روانکاری قابل اطمینان با مقادیر کم گریس را تضمین می‌کنند.

جدول ۲ گریس های SKF – خصوصیات و مشخصه های فنی

قسمت اول: مشخصه های فنی

شماره فنی	توضیح	کلاس NLGI	غلیظ کننده/ روغن پایه	لزجت روغن پایه در دمای 40 °C	100 °C	محدوده دما LTL[1]	HTPL[2]
–	–	–	–	mm^2/s		°C	
LGMT 2	All purpose industrial and automotive	2	Lithium soap/ mineral oil	110	11	–30	+120
LGMT 3	All purpose industrial and automotive	3	Lithium soap/ mineral oil	120	12	–30	+120
LGEP 2	Extreme pressure, heavy load	2	Lithium soap/ mineral oil	200	16	–20	+110
LGLT 2	Light load and low temperature, high speed	2	Lithium soap/ diester oil	15	3,7	–55	+100
LGHP 2	High performance and high temperature	2–3	Di-urea/ mineral oil	96	10,5	–40	+150
LGFP 2	Food compatible	2	Aluminium complex/ medical white oil	130	7,3	–20	+110
LGGB 2	Biodegradable and low toxicity	2	Lithium-calcium soap/ ester oil	110	13	–40	+120
LGWA 2	Wide temperature range	2	Lithium complex soap/ mineral oil	185	15	–30 peaks:	+140 +220
LGHB 2	High viscosity and high temperature	2	Calcium complex sulphonate/mineral oil	450	26,5	–20 peaks:	+150 +200
LGET 2	Extreme temperature	2	PTFE/synthetic (fluorinated polyether)	400	38	–40	+260
LGEM 2	High viscosity with solid lubricants	2	Lithium soap/ mineral oil	500	32	–20	+120
LGEV 2	Extreme high viscosity with solid lubricants	2	Lithium-calcium soap/ mineral oil	1 000	58	–10	+120
LGWM 1	Extreme pressure, low temperature	1	Lithium soap/ mineral oil	200	16	–30	+110

۱) LTL: حد دمای پایین. برای دمای کارکرد قابل اطمینان به بخش "محدوده دما – مفهوم چراغ راهنما SKF" مراجعه کنید.

۲) HTPL: حد دمای بالای عملکرد

جدول ۲ گریس های SKF- خصوصیات و مشخصه های فنی

قسمت ۲: خصوصیات

شماره فنی	دمای بالا، بالاتر +120 °C	دمای پایین	سرعت زیاد	سرعت کم یا نوسان	گشتاورکم، اصطکاک کم	ارتعاش شدید	بار سنگین	خواص ضدزنگ	مقاومت در برابر آب
LGMT 2			o	-	+	+	o	+	+
LGMT 3			o	-	o	+	o	o	+
LGEP 2			o	o	-	+	+	+	+
LGLT 2		+	+	-	+	-	-	o	o
LGHP 2	+	o	+	-	o	+	o	+	+
LGFP 2			o	-	o	o		+	+
LGGB 2		o	o	o	o	+	+	o	+
LGWA2	+		o	o	o	+	+	+	+
LGHB 2	+		o	+	-	+	+	+	+
LGET 2	به مرجع [1] مراجعه کنید.								
LGEM 2			-	+	-	+	+	+	+
LGEV 2		-	-	+	-	+	+	+	+
LGWM 1		+	o	o	o	-	+	+	+

علائم : + توصیه می شود
o مناسب
- نا مناسب

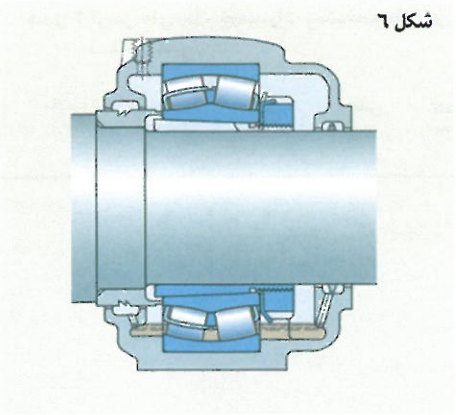
در صورت عدم وجود علامت، گریس ممکن است کاربرد داشته باشد ولی توصیه نمی شود.
۱) برای محدوده دمای قابل اطمینان به بخش "محدوده - مفهوم چراغ راهنما SKF" مراجعه کنید.

روانکاری با روغن

روانکاری با روغن در بیرینگ‌ها وقتی که سرعت بالا باشد، یا دما کارکرد اجازه استفاده از گریس را نمی‌دهد، وقتی که حرارت ناشی از اصطکاک یا فرآیند باید از بیرینگ به خارج منتقل شود و یا وقتی که اجزای مجاور (چرخدنده و غیره) با روغن روانکاری می‌شوند، استفاده می‌شود.

به منظور افزایش عمر بیرینگ، روش‌های روانکاری با روغن که در آنها از روغن تمیز استفاده می‌شود. ترجیح داده می‌شوند (نظیر روش چرخش روغن با فیلتر مناسب روغن، روش جت روغن و روش مخلوط هوا و روغن با فیلتر هوا و روغن). در روش‌های چرخش روغن و مخلوط هوا و روغن ابعاد لوله‌ها و مجراها باید به نحو مناسب طراحی شوند تا روغن ورودی به بیرینگ بتواند از آن خارج شود.

شکل ٦

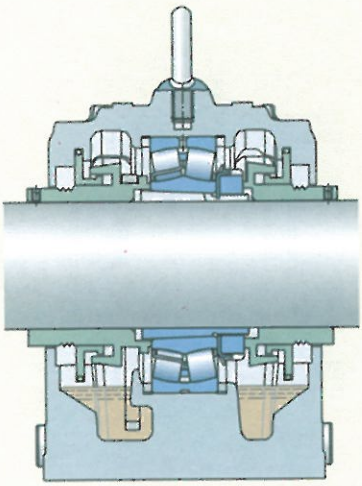


روش‌های روانکاری با روغن

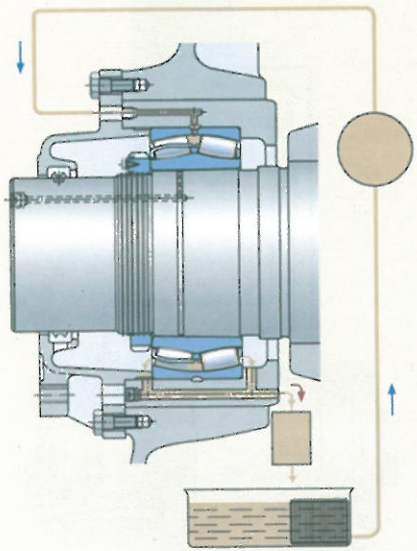
حمام روغن

ساده‌ترین روش برای روانکاری با روغن حمام روغن می‌باشد (شکل ۶). روغن توسط اجزای دورانی بیرینگ در داخل بیرینگ توزیع‌شده و سپس مجدداً به حمام روغن برمی‌گردد. سطح روغن در حالت سکون باید تا مرکز پایین‌ترین جزء غلتنده بیرینگ باشد. استفاده از نشان‌دهنده ارتفاع روغن نظیر SKF LAHD 500 [1] برای اطمینان از ارتفاع صحیح روغن، توصیه می‌شود. در سرعت‌های بالا ارتفاع روغن به شدت افت کرده و نشیمنگاه توسط کنترل‌کننده ارتفاع روغن بیش از اندازه از روغن پرمی‌شود.

شکل ۷



شکل ۸



رینگ توزیع‌کننده روغن

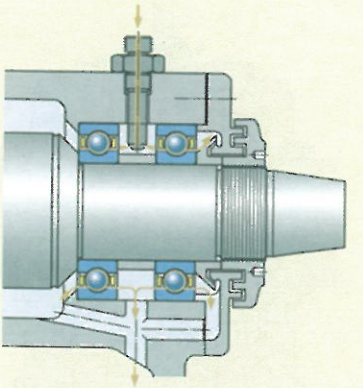
در کاربردهایی که به علت سرعت و دما، استفاده از روش روانکاری با روغن لازم بوده و قابلیت اطمینان بالا نیاز می‌باشد، روش روانکاری با رینگ توزیع‌کننده توصیه می‌شود (شکل ۸). رینگ توزیع‌کننده وظیفه چرخش روغن را انجام می‌دهد. رینگ بر روی یک بوش در یک طرف شفت آویزان می‌باشد و از پایین در داخل مخزن، نیمه پایینی نشیمنگاه قرار گرفته است. با دوران شفت رینگ روغن را به همراه خود بالا آورده و روغن در یک سمت بیرینگ جمع می‌شود و پس از جریان یافتن در بیرینگ به مخزن پایین برمی‌گردد. نشیمنگاه‌های دو تکه مدل SONL برای روانکاری با رینگ توزیع‌کننده طراحی شده‌اند. [3]

چرخش روغن

سرعت بالا باعث افزایش دماشده و دمای بالا سرعت پیر شدن روغن را افزایش می‌دهد. برای جلوگیری از تعویض‌های متعدد روغن و ایجاد جریان کامل روغن متلاطم، روانکاری با سیستم چرخش روغن ترجیح داده می‌شود (شکل ۸). چرخش روغن معمولاً توسط یک پمپ انجام می‌شود. روغن بعد از عبور از بیرینگ وارد مخزن‌شده و در آن جا فیلتر و در صورت نیاز قبل از بازگشت به بیرینگ خنک می‌شود. فیلتر دقیق روغن باعث افزایش فاکتور η_C و افزایش عمر سرویس بیرینگ می‌شود. (بخش « عمر اسمی SKF » صفحه ۴۴)

خنک کردن روغن باعث پایین نگه داشتن دمای کارکرد می‌شود.

شکل ۹



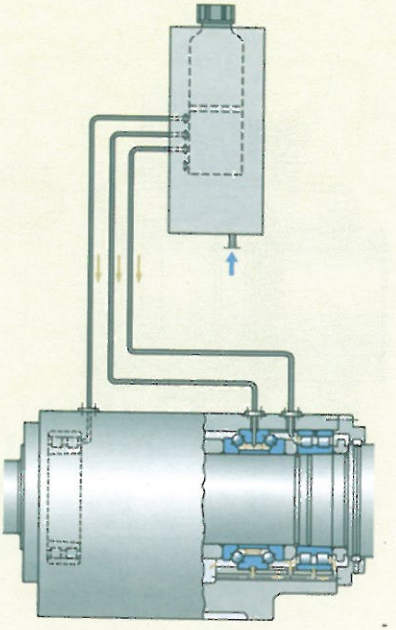
جت روغن

در سرعت‌های خیلی زیاد میزان روغن باید دقیق و کافی باشد زیرا روغن زیادی باعث افزایش دمای کارکرد می‌شود. یکی از روش‌های مؤثر برای این منظور روش جت روغن (شکل ۹) می‌باشد، که در آن روغن با فشار در گوشه بیرینگ تزریق می‌شود. سرعت جت روغن باید به اندازه کافی باشد (حداقل 5 m/s) تا از تلاطم در اطراف بیرینگ جلوگیری کند.

مخلوط هوا و روغن (Oil-Spot)

در این روش (شکل ۱۰) روغن به میزان کم و دقیق به کمک هوای فشرده به بیرینگ تزریق می‌شود. با این مقدار کم روغن دمای کارکرد بیرینگ کاهش می‌یابد و در این روش می‌توان به سرعت کارکرد بیشتری نسبت به روش‌های دیگری دست یافت. روغن توسط یک واحد تزریق‌کننده دقیق نظیر VOGEL OLA [4] [5] در فاصله‌های زمانی معین وارد جریان هوای مداوم می‌شود روغن تزریق‌شده براحتی توسط جریان هوا در لوله به محل قرارگیری بیرینگ منتقل می‌شود. هوای فشرده باعث خنک شدن بیرینگ‌شده و فشار آن از ورود آلودگی‌ها به داخل بیرینگ جلوگیری می‌کند.

شکل ۱۰



بخار روغن (Oil Mist)

روش بخار روغن برای مدت‌ها به علت اثرات منفی محیطی توصیه نمی‌شد.

نسل جدید دستگاه‌های تولیدکننده بخار روغن، بخار روغن با 5 PPm روغن را تولید می‌کنند. طرح جدید آب‌بندهای خاص مقدار بخار سرگردان (Stray Mist) را در حداقل نگه می‌دارند. در صورت استفاده از روغن مصنوعی غیررسمی، اثرات منفی محیطی به حداقل ممکن می‌رسد. امروزه روش بخار روغن در کاربردهای خاص نظیر صنایع نفت استفاده می‌شود.

روغن‌های روانکار

روغن‌های معدنی بدون افزودنی‌های EP برای روانکاری بیرینگ‌ها مناسب می‌باشند. روغن‌های معدنی با افزودنی‌های EP، ضد سایش و دیگر افزودنی‌ها برای بهینه کردن خواص روغن معمولاً در شرایط خاص استفاده می‌شوند. مطالب بخش « توانایی حمل بار: افزودین‌های EP و AW » در رابطه با افزودنی‌های در صفحه ۲۲۲ برای افزودنی‌های روغن نیز صحیح می‌باشد.

روغن مصنوعی اکثر روغن‌های رایج نیز موجود می‌باشد. روغن‌های مصنوعی برای روانکاری بیرینگ‌ها در شرایط حاد نظیر دمای پایین یا بالا، استفاده می‌شوند. روغن‌های مصنوعی انواع بسیار متفاوتی دارند که اصلی‌ترین آنها پلی آلفا اولفین‌ها (Polyalphaolefines)PAO، استرها (Esters) و پلی آلکلین گلیکول‌ها (Polyalkylene Glycols)PAG می‌باشند. این روغن‌های مصنوعی خواص متفاوتی نسبت به روغن‌های معدنی دارند (جدول ۳).

ضخامت فیلم روغن نقش مهمی در عمر خستگی بیرینگ دارد. در شرایط روانکاری کامل لزجت روغن، اندیس لزجت و ضریب لزجت ـ فشار بر ضخامت واقعی فیلم روغن در محل تماس مؤثر می‌باشند. برای بیشتر روانکارها برپایه روغن معدنی ضریب فشار ـ لزجت مشابه می‌باشد و مقدار ذکرشده در مراجع را می‌توان بدون خطای زیاد بکار برد ولی در روغن‌های مصنوعی تغییر لزجت با افزایش فشار به ساختار شیمیایی پایه (Base Stocks) روغن بستگی دارد. بر این اساس ضریب فشار ـ لزجت روغن‌های مصنوعی مختلف متفاوت می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که تشکیل فیلم روانکاری در روغن‌های مصنوعی با روغن‌های معدنی در لزجت‌های یکسان متفاوت است و اطلاعات دقیق باید از سازنده روغن گرفته شود.

به علاوه افزودنی‌ها در تشکیل فیلم روانکاری مؤثر می‌باشند. به علت اختلاف در حلالیت (Solubility)، انواع مختلف افزودنی‌ها در روغن‌های مصنوعی در مقایسه با روغن‌های معدنی معادل، بکار برده می‌شوند.

جدول ۳ خواص انواع روغن

خاصیت	نوع روغن پایه			
	معدنی	PAO	استر	PAG
نقطه ریزش(°C)	-30 .. 0	-50 .. -40	-60 .. -40	تقریباً -30
ایندکس لزجت	پایین	متوسط	بالا	بالا
ضریب فشار - لزجت	بالا	متوسط	پایین تا متوسط	بالا

انتخاب روغن‌های روانکار

انتخاب اولیه روغن بر مبنای لزجت مورد نیاز برای روانکاری در دمای کارکرد بیرینگ می‌باشد. لزجت روغن به دما بستگی دارد و با افزایش دما کاهش می‌یابد. رابطه لزجت روغن با دما با اندیس لزجت VI مشخص می‌شود. برای روانکاری بیرینگ‌ها روغن‌ها با اندیس لزجت بالا (تغییرات کم لزجت با دما)، حداقل 85، توصیه می‌شود.

برای تشکیل فیلم روغن با ضخامت کافی در محل تماس اجزای غلتنده و سطوح غلتش، روغن باید لزجت سینماتیکی حداقلی در دمای کارکرد داشته باشد. این لزجت سینماتیکی حداقل ν_1 برای روانکاری کافی از نمودار ۵ صفحه ۲۴۲ برای روغن‌های معدنی به دست می‌آید. وقتی دمای کارکرد از تجربه قبلی معین باشد و یا قابل محاسبه است، لزجت روانکار در دمای مرجع استاندارد 40 °C نظیر کلاس لزجت روغن ISO VG، را می‌توان از نمودار ۶ صفحه ۲۴۳ برای اندیس لزجت 95 به دست آورد.

بعضی از انواع بیرینگ نظیر رولربیرینگ‌های کروی، رولربیرینگ‌های توریدال، رولربیرینگ‌های مخروطی و رولربیرینگ کروی کف‌گرد، در شرایط کارکرد یکسان دما کارکرد بیشتری نسبت به انواع دیگر بیرینگ‌ها نظیر بلبیرینگ‌های شیار عمیق و رولربیرینگ‌های استوانه‌ای، دارند.

هنگام انتخاب روغن به نکات زیر توجه شود.

- عمر بیرینگ ممکن است با انتخاب روغنی که لزجت آن در دمای کارکرد (ν) از لزجت اسمی (ν_1)، که از نمودار ۵ به دست می‌آید، بیشتر باشد، افزایش یابد. برای $\nu > \nu_1$ می‌توان روغن معدنی با کلاس لزجت ISO VG بیشتر یا روغن با اندیس VI بزرگ‌تر انتخاب نمود. البته این روغن باید ضریب فشار ـ لزجت مشابهی با روغن اولیه داشته باشند. ولی از آن جایی که با افزایش لزجت دمای کارکرد بیرینگ افزایش می‌یابد افزایش عمر بیرینگ بدین طریق دارای محدودیت می‌باشد.
- اگر نسبت لزجت $\kappa = \nu/\nu_1$ کم‌تر از یک باشد روغن محتوی افزودنی‌های EP توصیه می‌شود و اگر κ کم‌تر از 0.4 است باید از روغن با افزودنی‌های EP استفاده کرد. در شرایطی که κ بزرگ‌تر از یک باشد استفاده از افزودنی‌های EP ممکن است باعث تقویت قابلیت اطمینان سیستم شود. به خاطر داشته باشید بعضی از افزودنی‌های EP ممکن است اثرات معکوس داشته باشند (بخش توانایی حمل بار: افزودنی‌های EP و AW، صفحه ۲۲۲).

مثال

بیرینگی با قطر داخلی d=340 mm و قطر خارجی D=420 mm برای کارکرد در سرعت n= 500 r/min نیاز می‌باشد. بنابراین $d_m = 0.5(d + D) = 380$ mm، از نمودار ۵ لزجت سینماتیکی حداقل ν_1 برای روانکاری کامل در دمای کارکرد 11 mm^2/s است. از نمودار ۶ با فرض دمای کارکرد 70 °C روغن مناسب مطابق با کلاس لزجت ISO VG 32 باید لزجت حداقل 32 mm^2/s را در دمای 40 °C داشته باشد.

تعویض روغن

دوره زمانی لازم برای تعویض روغن به شرایط کارکرد و مقدار روغن بستگی دارد.

در روانکاری با حمام روغن در صورتی که دمای کارکرد از 50 °C بیشتر نبوده و خطر آلودگی کم باشد تعویض سالیانه کافی است. در دمای بالا نیاز به تعویض‌های مکرر می‌باشد. برای مثال در دمای کارکرد حدود 100 °C روغن باید هر سه ماه یکبار تعویض شود. در شرایط کارکرد سخت نیز لازم است روغن را در فواصل زمانی کم تعویض کرد.

در روانکاری با سیستم چرخش روغن فاصله زمانی بین دو تعویض به زمان چرخش کامل روغن و به خنک کردن روغن (در صورت وجود) بستگی دارد. فاصله زمانی تعویض روغن با آزمایش و بازرسی مداوم شرایط روغن برای بررسی آلودگی‌ها و اکسید شدن، تعیین می‌شود. روش مشابه برای روانکاری با جت روغن بکار می‌رود. در روش مخلوط هوا و روغن، روغن فقط یکبار از بیرینگ عبور کرده و دیگر استفاده نمی‌شود.

مراجع:

[1] SKF Catalogue "SKF Maintenance and Lubri cation Products".

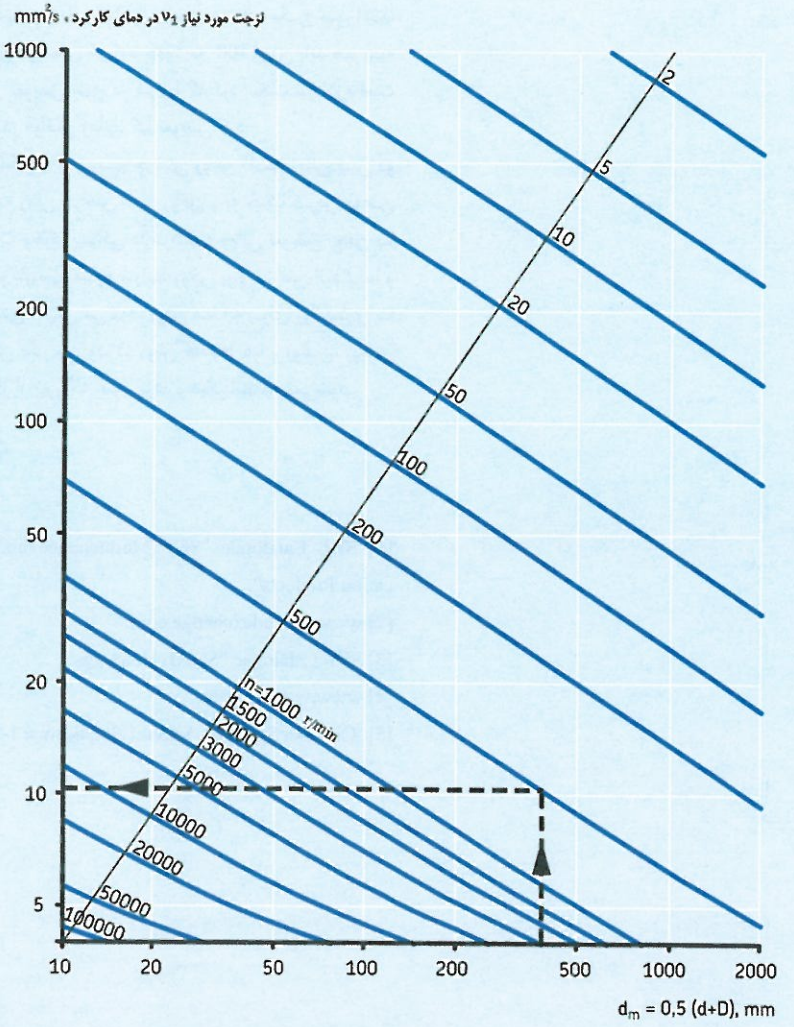
[2] www.aptitudexchange.com.

[3] SKF Catalogue "SONL Housings".

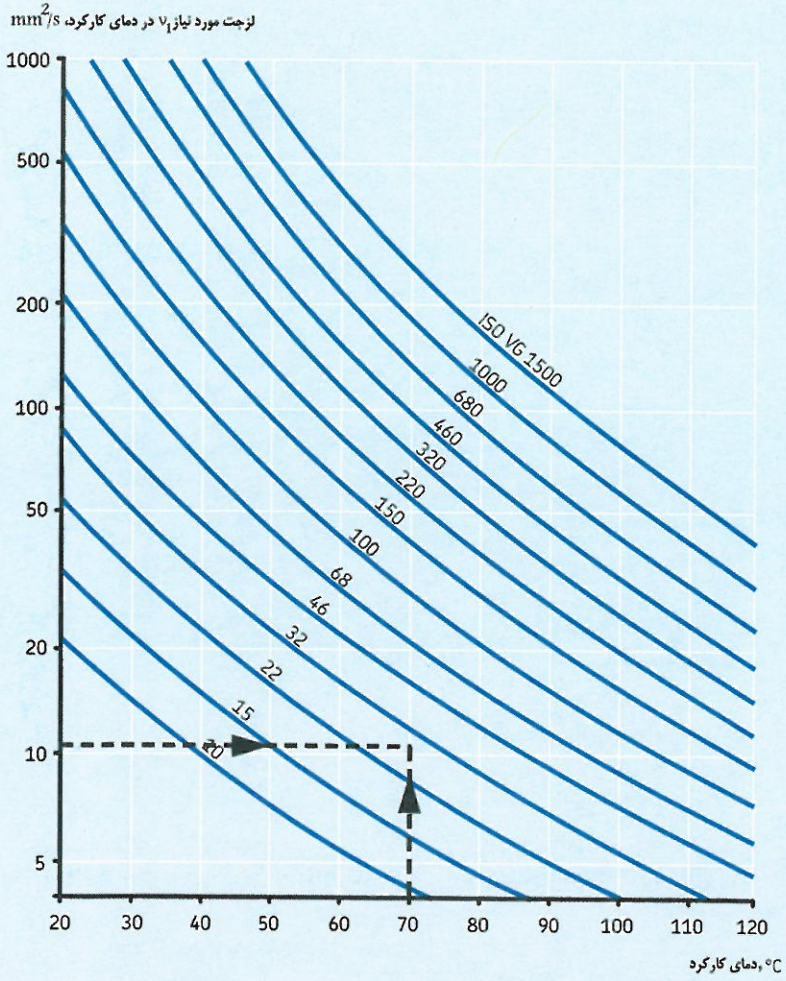
[4] www.vogelag.com

[5] "Oil + Air Systems", VOGEL Publication 1-5012-3

نمودار ۵ مقادیر تقریبی حداقل لزجت سینماتیکی ν_1 در دمای کارکرد



نمودار ٦ تبدیل لزجت سینماتیکی ν در دمای مرجع (طبقه بندی ISO VG)



فصل نهم

نصب کردن و بیرون آوردن بیرینگ‌ها

اطلاعات عمومی ۲۴۶
کارگاه نصب بیرینگ‌ها ۲۴۶
آماده‌سازی قبل از نصب کردن و بیرون آوردن ۲۴۶
جابجایی بیرینگ ۲۴۸
نصب کردن ۲۴۹
نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی استوانه‌ای ۲۴۹
تنظیم بیرینگ ۲۵۰
نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی ۲۵۱
راه‌اندازی آزمایشی ۲۵۵
بیرون آوردن بیرینگ‌ها ۲۵۶
بیرون آوردن بیرینگ‌ها با رینگ داخلی استوانه‌ای ۲۵۶
بیرون آوردن بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی ۲۵۸
انبارداری بیرینگ‌ها ۲۶۱
بازرسی و تمیز کردن ۲۶۱

اطلاعات عمومی

برای عملکرد صحیح و جلوگیری از خرابی بیرینگ مهارت و تمیزی هنگام نصب بیرینگ‌ها لازم می‌باشند.

بیرینگ‌ها قطعات حساسی می‌باشند که باید هنگام نصب با دقت جابجا شوند. همچنین انتخاب روش صحیح نصب و ابزار مناسب مهم است. مجموعه کاملی از تجهیزات تعمیر و نگهداری که شامل ابزارهای مکانیکی و هیدرولیکی، تجهیزات گرم کردن و دیگر تجهیزات، برای نصب بیرینگ‌ها موجود می‌باشند. این مجموعه کامل از تجهیزات باعث سادگی و سرعت در کار شده و نتایج حرفه‌ای به دست می‌دهد. [1]

برای رسیدن به حداکثر عمر باید بیرینگ را به صورت صحیح نصب کرد. این امر خصوصاً برای بیرینگ‌های بزرگ مشکل‌تر از آنچه که تصور می‌شود، می‌باشد.

اطلاعات ارائه‌شده در این بخش عمومی بوده و نکاتی را که طراحان تجهیزات و ماشین‌آلات باید در نظر بگیرند را شرح می‌دهد.

اطلاعات کامل‌تر و جزئیات روش‌های نصب کردن و در آوردن بیرینگ‌ها در مرجع [2] آورده شده است.

کارگاه نصب بیرینگ‌ها

بیرینگ‌ها را باید در محلی خشک و بدون گرد و غبار و دور از ماشین‌ها آلات براده برداری و آلوده‌کننده نصب کرد. هنگامی که بیرینگ در محل‌های باز نصب می‌شود، اغلب برای بیرینگ‌های بزرگ، باید بیرینگ‌ها و محل نصب را از آلوده شدن با گرد و غبار، کثیفی و رطوبت محافظت نمود، تا عمل نصب کامل شود. برای این منظور بیرینگ‌ها و اجزای ماشین باید به کمک کاغذ مومی (Waxed Paper) و یا فویل (Foil) پوشانده شوند.

آماده‌سازی قبل از نصب کردن و بیرون آوردن

کلیه اجزا و ابزارها، تجهیزات و مدارک مورد نیاز باید قبل از نصب در دسترس باشند. مطالعه نقشه‌ها و دستورالعمل‌ها برای تعیین ترتیب صحیح نصب و در آوردن اجزای مختلف، توصیه می‌شود.

نشیمنگاه‌ها، شفت‌ها، آب‌بندها و دیگر اجزای چیدمان بیرینگ‌ها را از نظر تمیزی، خصوصاً باقیمانده براده‌های ناشی از ماشینکاری سوراخ‌ها، رزوه‌ها و شیارها، باید بررسی نمود. سطوح ماشینکاری‌نشده نشیمنگاه باید از ماسه ریخته‌گری تمیز شده باشند و لبه‌های تیز و ناصاف برداشته شوند.

دقت‌های ابعادی و شکلی همه اجزای چیدمان بیرینگ لازم است بررسی شوند. بیرینگ‌ها فقط وقتی که اجزای جانبی آنها دقت‌ها و تلرانس‌های لازم را داشته باشند، عملکرد رضایت‌بخشی خواهند داشت. قطر شفت‌های استوانه‌ای و محل نشستن بیرینگ در نشیمنگاه را باید در دو مقطع و در چهار قطر به کمک گیج اندازه‌گیری کرد (شکل ۱). محل نشستن بیرینگ‌ها، بر روی شفت‌های مخروطی را با رینگ گیج، گیج‌های مخصوص مخروطی و یا میله‌های سینوسی بررسی می‌کنند.

ثبت مقادیر اندازه‌گیری‌شده توصیه می‌شود. هنگام اندازه‌گیری، اجزای بیرینگ و تجهیزات اندازه‌گیری باید دمای تقریباً یکسانی داشته باشند. لذا باید اجزای بیرینگ و تجهیزات اندازه‌گیری را برای مدت طولانی در یک محیط قرار داده تا به دمای یکسانی برسند. این موضوع خصوصاً در مورد بیرینگ‌های بزرگ و اجزای آنها که بزرگ و سنگین می‌باشند، مهم است.

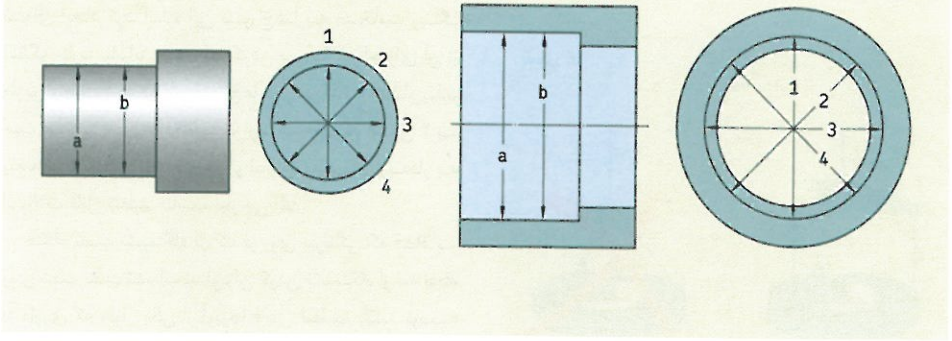
بیرینگ‌ها را تا قبل از نصب باید در جعبه‌های اصلی نگه داشت تا در معرض آلودگی قرار نگیرند. معمولاً نیازی، به پاک کردن روغن نگه دارنده که در کارخانه بیرینگ را به آن آغشته می‌کنند، نیست و فقط سطح خارجی رینگ خارجی و سطح داخلی رینگ داخلی را باید از روغن نگهدارنده پاک کرد. همچنین در بیرینگ‌هایی که در دمای بالا یا پایین استفاده می‌شوند و با گریس روانکاری می‌شوند و نیز هنگامی که گریس بکار رفته با روغن نگه دارنده سازگار نمی‌باشد، لازم است که بیرینگ کاملاً شسته و خشک شود این مسئله از ایجاد اثرات منفی بر روی خواص روانکاری گریس جلوگیری می‌کند.

در صورتی که به علت نگهداری نادرست (جعبه آسیب‌دیده و غیره) احتمال آلوده شدن بیرینگ زیاد است باید آن را قبل از نصب شسته و خشک نمود.

بیرینگ‌هایی که آغشته به نگهدارنده گریس مانند می‌باشند، نیز باید کاملاً شسته و خشک شوند. این موضوع برای بعضی بیرینگ‌های بزرگ با قطر خارجی بزرگ‌تر از 420 mm صحت دارد. شوینده‌های مناسب برای بیرینگ‌ها اسپریت سفید[1] (White Spirit) و پارافین می‌باشند.

بیرینگ‌ها با آب‌بند یا حفاظ فلزی که از قبل گریس کاری شده‌اند نباید قبل از نصب شسته شوند.

شکل ۱



۱. ماده شیمیایی حاصل از بنزین که در رنگ کاری کاربرد دارد. مترجم

جابجایی بیرینگ

بهتر است همواره از دستکش و تجهیزات جابجایی و بلند کردن، که برای نصب کردن و بیرون آوردن بیرینگ‌ها طراحی شده‌اند، استفاده شود. این کار نه تنها باعث صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها می‌شود بلکه خستگی کم‌تر، خطر کم‌تر و احتمال بروز صدمات بدنی را کاهش می‌دهد.

به دلایل فوق استفاده از دستکش مقاوم به حرارت و روغن هنگام جابجایی بیرینگ‌های گرم و آغشته به روغن توصیه می‌شود. این دستکش‌ها باید سطح خارجی با دوام و سطح داخلی نرم و ضد حساسیت داشته باشد. [1]

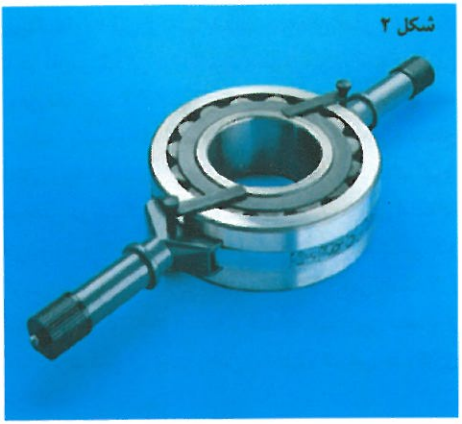
بیرینگ‌های گرم، بزرگ و یا سنگین معمولاً مشکل ساز می‌باشند. زیرا نمی‌توان آنها را به صورت امن به کمک یک یا دو نفر جابجا نمود. می‌توان تجهیزات مناسب برای حمل و بلند کردن بیرینگ‌ها را در کارگاه ساخت. ابزار جابجایی بیرینگ‌ها (شکل ۲) یکی از این تجهیزات می‌باشد که بیشتر مشکلات را حل نموده و جابجایی، نصب و بیرون آوردن بیرینگ‌ها را بر روی شفت آسان می‌کند. [1]

برای جابجایی و نصب بیرینگ‌های بزرگ و سنگین آنها را باید از یک نقطه آویزان نمود. اما باید از نوار فولادی یا کمربند پارچه‌ای مطابق شکل ۳ استفاده نمود. قرار دادن یک فنر بین حلقه بلندکننده و کمربند نصب بیرینگ بر روی شفت را ساده می‌کند.

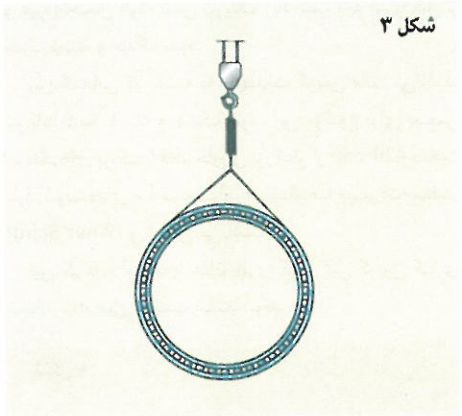
برای سادگی در بلند کردن می‌توان در بیرینگ‌های بزرگ بنا به درخواست بر روی سطح جانبی رینگ سوراخ‌های زروه شده‌ای ایجاد کرد. اندازه این سوراخ‌ها به ضخامت رینگ بستگی دارد. بنابراین فقط بلند کردن بیرینگ و اجزای آن از طریق پیچ‌های که در این سوراخ‌ها قرار می‌گیرند، امکان‌پذیر است همچنین نیرو باید عمود بر رینگ مطابق شکل ۴ به پیچ‌ها وارد شود در صورت اعمال نیرو به صورت زاویه‌دار به اتصالات قابل تنظیم مناسب نیاز می‌باشد.

هنگام نصب نشیمنگاه بزرگ بر روی بیرینگی که قبلاً بر روی شفت نصب‌شده است، آویزان کردن نشیمنگاه از سه نقطه به طوری که طول یکی از آویزها قابل تنظیم باشد توصیه می‌شود. با این روش می‌توان نشیمنگاه را با بیرینگ به طور دقیق همراستا کرد.

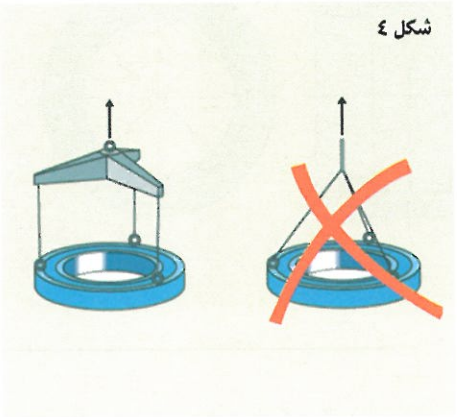
شکل ۲



شکل ۳



شکل ٤



نصب کردن

روش‌های مکانیکی، حرارتی یا هیدرولیکی را می‌توان وابسته به نوع و اندازه بیرینگ برای نصب بکار برد. در همه روش‌ها باید توجه نمود که ضربه مستقیم به رینگ‌ها، قفسه و اجزای غلتنده یا آب‌بندها وارد نشود و نیروی نصب نباید هرگز از طریق اجزای غلتنده منتقل شود.

بعضی از اجزا ممکن است به صورت لق نصب شوند. لذا برای جلوگیری از خوردگی اصطکاکی بین سطوح تماس استفاده از لایه نازکی از روغن ضد خوردگی اصطکاکی SKF LGAF [1] 3E توصیه می‌شود.

نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی استوانه‌ای

در بیرینگ‌های تفکیک‌ناپذیر عموماً رینگی که دارای تداخل بیشتر است ابتدا نصب می‌شود. سطوح تماس باید قبل از نصب کمی به روغن آغشته شوند.

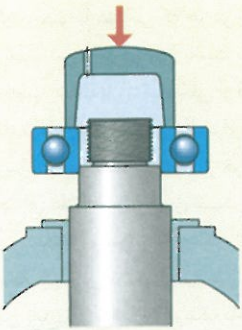
نصب سرد

اگر تداخل زیاد نباشد بیرینگ‌های کوچک را می‌توان با ضربه چکش به بوشی که بر روی سطح جانبی بیرینگ قرار می‌گیرد نصب نمود. بوش باید سطح جانبی بیرینگ را در بر گرفته تا از چرخیدن و کج شدن آن جلوگیری کند. انتهای بوش باید بسته و گنبدی شکل بوده تا بتوان نیرو را به مرکز وارد کرد (شکل ۵).

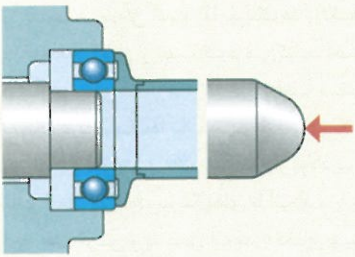
اگر بیرینگ تفکیک‌ناپذیر باید به طور همزمان روی شفت و نشیمنگاه نصب شود نیروی نصب باید به صورت مساوی به رینگ‌ها وارد شود و لبه بوش باید سطح جانبی هر دو رینگ را در بر گیرد. در این شرایط باید از ابزار جازدن بیرینگ استفاده شود، که در آنها رینگ فشرده ضربه‌ای سطوح جانبی رینگ داخلی و خارجی را در بر گرفته و بوش موجب می‌شود که نیرو به صورت مرکزی وارد شود (شکل ۶).

در بلبیرینگ‌های خود تنظیم استفاده از یک رینگ میانی از چرخش و دوران رینگ خارجی هنگام نصب مجموعه بیرینگ و شفت در نشیمنگاه جلوگیری می‌کند (شکل ۷) توصیه می‌شود. باید به خاطر داشت که ساچمه‌های بعضی از بلبیرینگ‌ها خود تنظیم از رینگ‌ها بیرون زده‌اند لذا رینگ میانی باید دارای فرورفتگی باشد تا به ساچمه‌ها صدمه نزند. وقتی تعداد بیرینگ‌هایی که باید نصب شوند زیاد می‌باشد، استفاده از پرس‌های هیدرولیکی یا مکانیکی توصیه می‌شود.

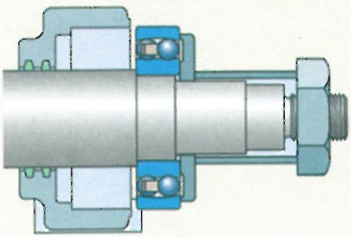
شکل ۵



شکل ۶



شکل ۷



در بیرینگ‌های تفکیک‌پذیر رینگ داخلی و خارجی را می‌توان مستقل نصب کرد، خصوصاً هنگامی که هر دو رینگ باید به صورت تداخلی نصب شوند این موضوع باعث سادگی نصب می‌شود. هنگام نصب، شفت با رینگ داخلی از قبل نصب‌شده بر روی نشیمنگاه شامل رینگ خارجی و اجزای غلتنده، باید توجه شود که رینگ‌ها همراستا بوده تا از خراشیدن سطح غلتش توسط اجزای غلتنده جلوگیری شود. هنگام نصب رولربیرینگ‌های استوانه‌ای و سوزنی با رینگ داخلی بدون لبه یا با یک لبه استفاده از بوش نصب توصیه می‌شود (شکل ۸). قطر خارجی بوش باید برابر با اندازه F رینگ داخلی بوده و با تلرانس d10 ماشینکاری شود.

نصب گرم

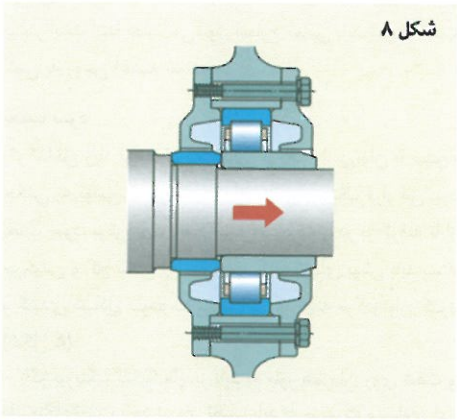
از آن جایی که نیروی نصب بیرینگ با اندازه بیرینگ به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد، نصب بیرینگ‌های بزرگ به صورت سرد عموماً غیرممکن است. لذا بیرینگ‌ها، رینگ‌های داخلی و یا نشیمنگاه را قبل از نصب گرم می‌کنند. اختلاف دمای مورد نیاز بستگی به درجه تداخل و قطر شفت یا نشیمنگاه بیرینگ دارد. بیرینگ‌ها نباید بیش از دمای 125 °C گرم شوند در غیر این صورت به علت تغییر ساختار فولاد بیرینگ تغییرات ابعادی ایجاد می‌شود. بیرینگ‌های با آب‌بند و یا حفاظ فلزی نباید به علت گریس و یا جنس آب‌بند تا دمای بیش از 80 °C گرم شوند.

بیرینگ باید به صورت یکنواخت گرم شود و از گرم کردن موضعی جلوگیری شود برای این منظور گرم‌کن‌های القایی توصیه می‌شوند، (شکل ۹). اگر از سطوح گرم (Hot plate) استفاده می‌شود در طی مدت گرم کردن بیرینگ باید چندین مرتبه چرخانده شود. برای گرم کردن بیرینگ‌های آب‌بند شده نباید از سطوح گرم استفاده کرد.

تنظیم بیرینگ

لقی داخلی بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه و رولربیرینگ‌های مخروطی فقط در مقابل بیرینگ شعاعی دیگر با رینگ داخلی استوانه‌ای قابل تنظیم است. این بیرینگ‌ها معمولاً به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو بکار رفته و یک رینگ بیرینگ به صورت محوری جابجا می‌شود تا لقی یا پیش بار مورد نیاز به دست آید. انتخاب لقی یا پیش بار بستگی به شرایط کارکرد و الزامات عملکردی چیدمان بیرینگ‌ها دارد. اطلاعات بیشتر در رابطه با پیش بار بیرینگ‌ها در بخش « پیش بار بیرینگ‌ها » در صفحه ۱۹۴ آمده است و توصیه‌های این بخش فقط به روش تنظیم لقی بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای و رولربیرینگ‌های مخروطی مربوط می‌شود.

شکل ۸



شکل ۹

لقی مناسب وقتی به دست می‌آید که بیرینگ تحت شرایط تعیین‌شده نصب شود و در دمای کارکرد تحت بار قرار گیرد. لقی اولیه هنگام نصب وابسته به جنس شفت و نشیمنگاه و فاصله بین دو بیرینگ ممکن است کم‌تر یا بیشتر از مقدار لقی حین کارکرد باشد. اگر برای مثال اختلاف انبساط حرارتی رینگ داخلی و خارجی باعث کاهش لقی شود. لقی اولیه باید به اندازه کافی بزرگ بوده تا از واپیچش بیرینگ و نتایج منفی آن جلوگیری شود.

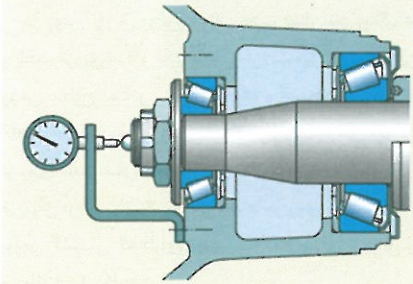
با توجه به رابطه بین لقی داخلی محوری و شعاعی بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای و رولربیرینگ‌های مخروطی، کافی است که فقط یکی از آنها که معمولاً لقی داخلی محوری است تعیین شود. این مقدار تعیین‌شده با باز کردن یا سفت کردن یک مهره بر روی شفت یا یک رینگ رزوه‌شده در داخل نشیمنگاه و یا اضافه کردن واشرها و یا لایی‌های فلزی با اندازه‌های معین بین رینگ‌های بیرینگ و لبه‌ها، نسبت به شرایط لقی صفر تنظیم می‌شود. روش بکار رفته برای تنظیم لقی و اندازه‌گیری آن بستگی به تعداد بیرینگ‌هایی که نصب می‌شوند دارد. یک روش بررسی لقی محوری، برای مثال در چیدمان بیرینگ توپی چرخ، استفاده از گیج عقربه‌ای می‌باشد (شکل ۱۰). هنگام تنظیم بیرینگ‌های مخروطی و اندازه‌گیری لقی شفت یا نشیمنگاه بیرینگ باید چندین دور در هر دو جهت چرخانده شود. تا از تماس صحیح انتهای رولرها با لبه راهنمای رینگ داخلی اطمینان حاصل شود. در صورت تماس غیرصحیح نتایج اندازه‌گیری نادرست بوده و تنظیم دلخواه به دست نمی‌آید.

نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی

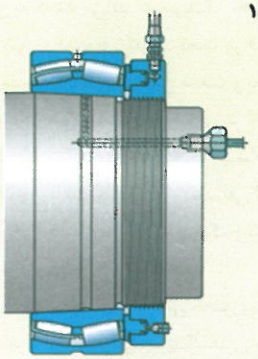
در بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی رینگ داخلی همیشه به صورت تداخلی نصب می‌شود درجه تداخل با انتخاب تلرانس شفت مانند بیرینگ‌ها با رینگ داخلی استوانه‌ای تعیین نمی‌شود و به میزان حرکت بیرینگ بر روی سطح مخروطی شفت یا غلاف واسطه یا بیرون کشیدنی بستگی دارد. با حرکت بیرینگ بر روی سطح مخروطی لقی داخلی کاهش می‌یابد. با اندازه‌گیری این کاهش لقی درجه تداخل و انطباق صحیح تعیین می‌شود.

هنگام نصب بلبیرینگ‌های خود تنظیم، رولربیرینگ‌های توریدال CARB، رولربیرینگ‌های کروی و رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دقیق با رینگ داخلی مخروطی میزان کاهش لقی یا بالاروی محوری (Axial Drive-up) بر روی سطح مخروطی تعیین‌شده و مشخص‌کننده درجه تداخل می‌باشد. مقادیر کاهش لقی و بالاروی محوری در بخش‌های مربوط به هر بیرینگ آورده شده‌اند.

شکل ۱۰



شکل ۱۱



بیرینگ‌های کوچک

بیرینگ‌های کوچک را می‌توان بر روی سطح مخروطی به کمک یک مهره حرکت داد. در صورت استفاده از غلاف واسطه از مهره غلاف استفاده می‌شود. غلاف بیرون کشیدنی کوچک را می‌توان به کمک یک مهره به زیر بیرینگ هل داد. آچارهای قلابدار یا ضربه‌ای (Hook or Impact Spanner) را می‌توان برای سفت کردن مهره استفاده کرد. سطوح شفت و غلاف را باید قبل از نصب به روغن آغشته نمود.

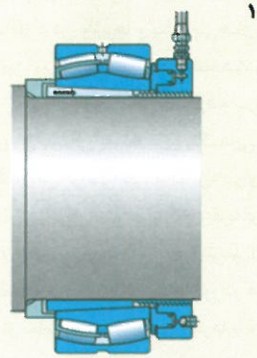
بیرینگ‌های متوسط و بزرگ

برای بیرینگ‌های بزرگ نیروی بسیار زیادی لازم است. لذا از روش‌های زیر استفاده می‌شود.

- مهره هیدرولیکی (Hydraulic Nut)
- روش تزریق روغن

در هر دو روش عملیات نصب به طور قابل ملاحظه‌ای ساده می‌شود. در هر دو روش به تجهیزات تزریق روغن نیاز است. [1]

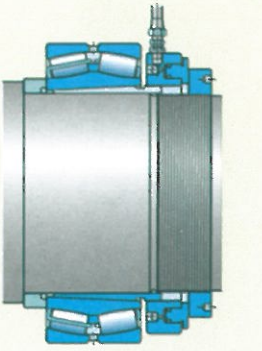
شکل ۱۲



هنگام استفاده از مهره هیدرولیکی برای نصب باید آن را بر روی رزوه شفت یا غلاف به طوری قرار داد که پیستون آن با رینگ داخلی بیرینگ یا مهره روی شفت یا صفحه متصل به انتهای شفت تماس داشته باشد با تزریق روغن به مهره هیدرولیکی پیستون به صورت محوری جابجاشده و نیروی لازم برای نصب را اعمال می‌کند در شکل‌های مقابل نصب یک رولربیرینگ کروی به کمک مهره هیدرولیکی بر روی

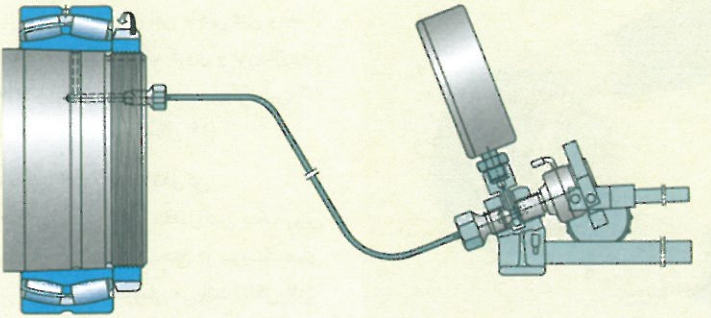
- شفت مخروطی (شکل ۱۱)
- غلاف واسطه (شکل ۱۲)
- غلاف بیرون کشیدنی (شکل۱۳)، نشان داده شده‌اند.

شکل ۱۳



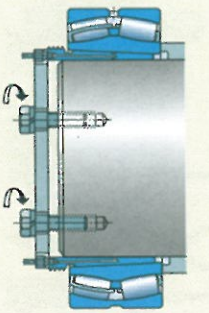
در روش تزریق روغن، روغن تحت فشار بین رینگ داخلی و شفت تزریق‌شده و یک لایه روغن تشکیل می‌شود. این لایه روغن سطوح تماس را جدا کرده و اصطکاک بین آنها را کاهش می‌دهد. این روش معمولاً برای نصب مستقیم بیرینگ بر روی شفت‌های مخروطی بکار می‌رود (شکل ۱۴). اما می‌توان آن را برای نصب بیرینگ‌ها بر روی غلاف واسطه و بیرون کشیدنی که دارای تجهیزات لازم برای تزریق روغن می‌باشند نیز بکار برد.

شکل ۱۴



یک پمپ یا یک تزریق‌کننده روغن فشار مورد نیاز را تأمین می‌کند روغن از طریق سوراخ‌هایی به محل تماس وارد شده و با کمک شیارها بر روی شفت یا غلاف توزیع می‌شود. لذا سوراخ‌ها و شیارهای مورد نیاز باید هنگام طراحی چیدمان بیرینگ‌ها در نظر گرفته شوند. یک رولربیرینگ کروی بر روی غلاف بیرون کشیدنی با سوراخ‌های تزریق روغن در شکل ۱۵ نشان داده شده است. غلاف بیرون کشیدنی با تزریق روغن بین سطوح تماس و سفت کردن پیچ‌ها به زیر بیرینگ هل داده می‌شود.

شکل ۱۵



تعیین میزان انطباق تداخلی

بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی همیشه به صورت تداخلی نصب می‌شوند کاهش لقی داخلی یا جابجایی محوری رینگ داخلی بر روی سطح مخروطی برای تعیین و اندازه‌گیری درجه تداخل بکار می‌روند. روش‌های مختلفی را می‌توان برای اندازه‌گیری درجه تداخل بکار برد.

۱ـ اندازه‌گیری کاهش لقی به کمک فیلر (Feeler)

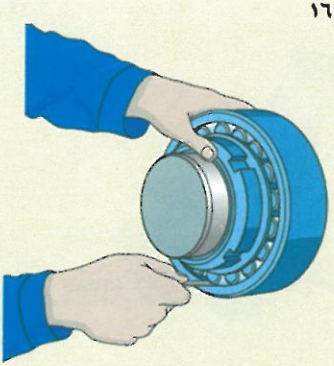
۲ـ اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن

۳ـ اندازه‌گیری حرکت محوری

۴ـ اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی

شرح خلاصه‌ای از روش‌های فوق در ادامه آورده می‌شود. جزئیات بیشتر این روش‌ها در بخش مربوط به هر بیرینگ آورده شده است.

شکل ۱۶



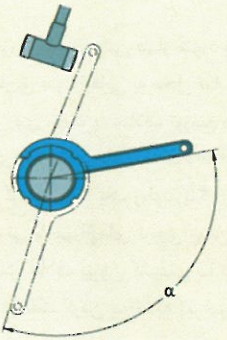
اندازه‌گیری کاهش لقی با فیلر

روش استفاده از فیلر برای اندازه‌گیری لقی داخلی قبل و بعد از نصب برای بیرینگ‌های متوسط و بزرگ کروی و توریدال بکار می‌رود. لقی ترجیحاً باید بین رینگ خارجی و رولرهایی که تحت بار نمی‌باشند، اندازه‌گیری شود (شکل ۱۶).

اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن

اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن یک روش ثابت‌شده برای تعیین درجه تداخل صحیح در بیرینگ‌های کوچک و متوسط بر روی شفت مخروطی می‌باشد (شکل ۱۷). مقادیر زاویه سفت کردن α برای تنظیم دقیق بیرینگ بر روی شفت مخروطی برای هر بیرینگ تعیین شده‌اند.

شکل ۱۷

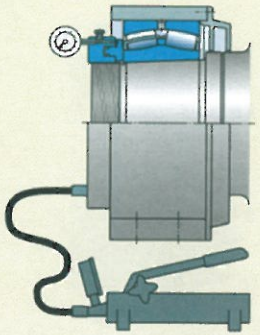


اندازه‌گیری حرکت محوری

نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی را می‌توان با اندازه‌گیری حرکت محوری رینگ داخلی بر روی سطح مخروطی انجام داد. مقادیر لازم برای حرکت محوری در بخش مربوطه به هر بیرینگ آورده شده‌اند.

یک روش مناسب روش « بالا روی SKF » (SKF Drive-up) است. این روش نصب، روشی ساده و قابل اطمینان برای تعیین درجه تداخل می‌باشد. انطباق صحیح با کنترل جابجایی محوری بیرینگ از یک موقعیت از پیش تعیین‌شده به دست می‌آید. در این روش به مهره هیدرولیکی که به آن ساعت اندیکاتور (Dial Indicator) متصل است و پمپ هیدرولیکی مجهز به گیج دیجیتال فشار نیاز می‌باشد (شکل ۱۸). مقادیر تعیین‌شده فشار روغن و جابجایی محوری برای هر بیرینگ نصب دقیق آن بیرینگ را تضمین می‌کنند. این مقادیر را می‌توان در لوح فشرده همراه کتاب یا در مراجع [2] و [3] پیدا کرد.

شکل ۱۸



اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی

اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی یک روش ساده و خیلی دقیق برای تعیین موقعیت صحیح رولربیرینگ‌های بزرگ کروی و توریدال می‌باشد. برای این اندازه‌گیری بیرینگ‌های Sensor Mount® که در آنها رینگ داخلی بیرینگ به سنسور مجهز می‌باشد بکار می‌روند. سنسور فوق را می‌توان به یک نشان‌دهنده دستی متصل نموده و هنگام نصب بیرینگ به روش هیدرولیکی، میزان انبساط رینگ را اندازه‌گیری نمود (شکل ۱۹). نکاتی نظیر اندازه بیرینگ، صافی سطوح، جنس و طرح (توپر یا توخالی بودن شفت) در این روش مهم نمی‌باشند.

راه‌اندازی آزمایشی

بعد از نصب بیرینگ و روانکاری آن راه‌اندازی آزمایشی انجام‌شده و سر و صدا و دمای بیرینگ بررسی می‌شود.

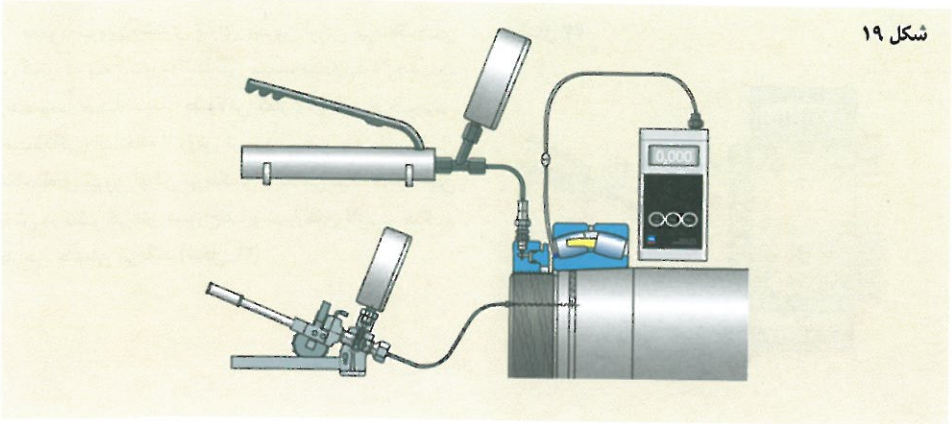
راه‌اندازی آزمایشی باید تحت بار کم و در صورتی که سرعت متغیر است در سرعت‌های پایین و متوسط انجام شود تحت هیچ شرایطی نباید بیرینگ‌ها را در حالت بدون بار راه‌اندازی و با سرعت‌های بالا شتاب داد. زیرا بر اثر لغزش اجزای غلتنده سطح غلتش صدمه دیده و یا قفسه تحت تنش بالا قرار می‌گیرد. (به « بار حداقل » در بخش مربوط به هر بیرینگ مراجعه کنید.)

سر و صدا و ارتعاش را می‌توان با استتوسکوپ الکترونیکی (Erectronic Stethoscope) بررسی کرد. به طور طبیعی بیرینگ‌ها صدای زیر و بم خرخر (Purring) تولید می‌کنند. سوت کشیدن (Whistling) یا صدای ریز گوش‌خراش نشان‌دهنده عدم روانکاری کامل می‌باشد. صدای بلند و غیریکنواخت مانند چکش کاری در بیشتر موارد نشان‌دهنده وجود آلودگی در بیرینگ یا صدمه دیدن بیرینگ هنگام نصب می‌باشد.

افزایش دمای بیرینگ بلافاصله پس از راه‌اندازی طبیعی است. برای مثال در روانکاری با گریس دما تا توزیع یکنواخت گریس در بیرینگ کاهش نمی‌یابد و بعد از آن تعادل دمایی بر قرار می‌شود. افزایش دما یا کارکرد مداوم در دمای بالا نشان‌دهنده زیاد بودن میزان روانکار و یا واپیچش محوری یا شعاعی بیرینگ است. دلایل دیگر عدم ساخت یا نصب صحیح اجزای دربرگیرنده بیرینگ و یا اصطکاک بیش از حد در آب‌بندها می‌باشند.

در حین آزمایش یا بلافاصله بعد از آن آب‌بندها باید برای کارکرد صحیح بررسی‌شده و کلیه تجهیزات روانکاری به علاوه سطح روغن در حمام روغن نیز بررسی شوند. ممکن است نمونه‌ای از روانکار برای تعیین آلودگی در بیرینگ و یا سایش اجزای چیدمان لازم باشد.

شکل ۱۹



بیرون آوردن بیرینگ‌ها

در صورتی که بیرینگ بعد از بیرون آوردن مجدداً استفاده می‌شود نیروی اعمال شده برای بیرون آوردن هرگز نباید از طریق اجزای غلتنده منتقل شود.

برای بیرینگ‌های تفکیک‌پذیر رینگ همراه با مجموعه اجزای غلتنده و قفسه را می‌توان مستقل از رینگ دیگر بیرون آورد. برای بیرینگ‌های تفکیک‌ناپذیر ابتدا باید رینگ لق را از جای خود بیرون کشید و برای بیرون کشیدن رینگ با انطباق تداخلی ابزارهایی که در این بخش شرح داده می‌شوند، بکار برد. انتخاب ابزار به نوع و اندازه بیرینگ و میزان تداخل بستگی دارد.

بیرون آوردن بیرینگ‌ها با رینگ داخلی استوانه‌ای

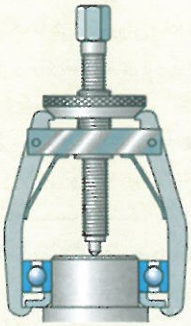
بیرون آوردن سرد

بیرینگ‌های کوچک را می‌توان با ضربات چکش از طریق ابزاری واسطه که با پیشانی رینگ تماس دارد و یا ترجیحاً با استفاده از یک پولی‌کش (Puller) بیرون آورد. شاخک‌های پولی‌کش باید پشت پیشانی رینگی که قرار است بیرون کشیده شود و یا اجزای مجاور آن (شکل ۲۰)، نظیر رینگ شیاردار قرار گیرند. عملیات بیرون کشیدن در موارد زیر ساده‌تر می‌شود.

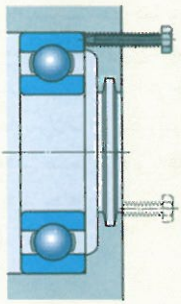
- شیارهایی بر روی شفت و پیشانی نشیمنگاه برای قرار گرفتن شاخک‌های پولی‌کش تعبیه‌شده باشد و یا
- سوراخ‌های رزوه شده‌ای در پیشانی‌های نشیمنگاه برای استفاده از پیچ‌های بیرون‌کشنده، تعبیه شده باشد (شکل ۲۱).

معمولاً نیروی بیشتری برای بیرون آوردن بیرینگ‌های بزرگ‌تر که به صورت تداخلی نصب شده‌اند لازم است. (خصوصاً بعد از مدت طولانی کارکرد و ایجاد خوردگی اصطکاکی) استفاده از روش تزریق روغن به طور قابل ملاحظه‌ای بیرون آوردن بیرینگ را ساده می‌کند. لازمه این روش در نظر گرفتن سوراخ‌ها و شیارهای لازم در هنگام طراحی چیدمان می‌باشد (شکل ۲۲).

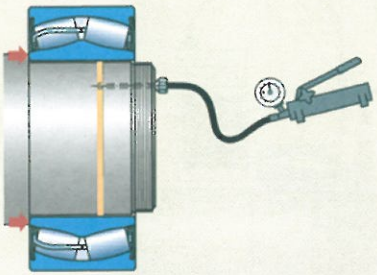
شکل ۲۰



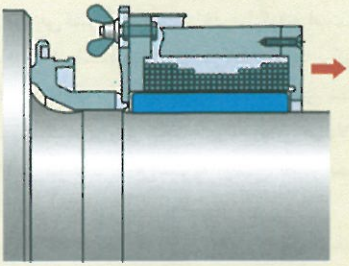
شکل ۲۱



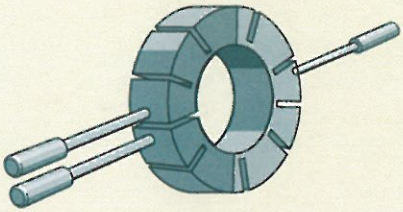
شکل ۲۲



شکل ۲۳



شکل ۲۴



بیرون آوردن گرم

گرمکن‌های القایی خاصی برای بیرون آوردن رینگ‌های بدون لبه و یا با یک لبه رولربیرینگ‌های استوانه‌ای موجود می‌باشند. این گرمکن‌ها رینگ را بدون گرم شدن شفت گرم‌کرده و با انبساط آن رینگ براحتی بیرون آورده می‌شود. گرمکن‌های القایی الکتریکی (شکل ۲۳) دارای یک یا چند کویل می‌باشند که به کمک جریان متناوت گرم می‌شوند. هنگام کارکرد این گرمکن‌ها رینگ حالت مغناطیسی (آهنربایی) پیدا می‌کند لذا لازم است که در پایان عملیات خاصیت مغناطیسی رینگ گرفته شود. استفاده از تجهیزات الکتریکی بیرون آوردن برای بیرینگ‌های کوچکی که مکرراً نصب و بیرون آورده می‌شوند از نظر اقتصادی با صرفه می‌باشد.

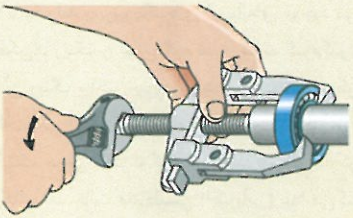
هنگامی که لازم است رینگ داخلی بدون لبه و یا با یک لبه رولربیرینگ‌ها استوانه‌ای یا رینگ داخلی بیرینگ‌های بزرگ (تا قطر داخلی 400 mm) بیرون آورده شود می‌توان از ابزار ارزان‌تری که به بیرون کش حرارتی (Thermo-Withdrawal) رینگ معروف است استفاده کرد. این ابزار یک رینگ شیار را می‌باشد که از جنس آلیاژ سبک است (شکل ۲۴). [1]

بیرون آوردن بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی

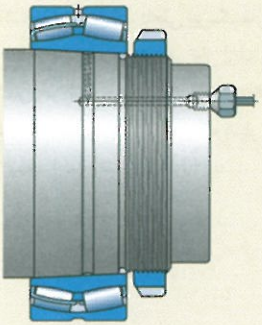
بیرینگ‌های کوچک و متوسط بر روی شفت مخروطی را می‌توان با پولی‌کشی که رینگ داخلی را گرفته است بیرون آورد (شکل ۲۵). استفاده از پولی‌کش خود مرکزکننده (Self-Centering) برای جلوگیری از صدمه دیدن شفت بهتر می‌باشد. بیرینگ‌ها بر روی شفت‌های مخروطی معمولاً خیلی سریع آزاد می‌شوند لذا لازم است به روشی، نظیر استفاده از مهره قفل‌کن، از افتادن آنها جلوگیری کرد.

بیرون آوردن بیرینگ‌های بزرگ بر روی شفت‌های مخروطی به روش تزریق روغن بسیار ساده است. پس از تزریق روغن پرفشار بین سطوح تماس بیرینگ از روی شفت جدا می‌شود. لازم است به کمک یک مهره یا صفحه از حرکت محوری بیرینگ و پرتاب آن جلوگیری شود (شکل ۲۶).

شکل ۲۵



شکل ۲۶



بیرون آوردن بیرینگ‌ها از روی غلاف واسطه

بیرینگ‌های متوسط و کوچک را می‌توان با ضربات چکش که از طریق یک رینگ واسطه به بیرینگ وارد می‌شود، را بیرون آورد (شکل ۲۷). باید توجه شود که قبل از انجام این کار باید مهره غلاف کمی باز شده باشد.

بیرینگ‌های کوچک و متوسط بر روی شفت‌های پله‌دار را می‌توان با ضربات چکش که از طریق یک بوش به مهره از قبل شل‌شده غلاف وارد می‌شود، را بیرون آورد (شکل ۲۸).

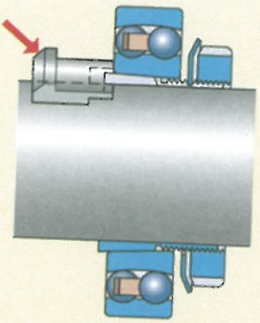
بیرون آوردن بیرینگ‌های بزرگ بر روی غلاف واسطه به کمک مهره هیدرولیکی بسیار ساده است. برای استفاده از این روش بیرینگ باید در مقابل یک پیشانی نصب شده باشد. (شکل ۲۹). اگر بوش دارای سوراخ و شیارهای توزیع روغن باشد با روش تزریق روغن عملیات بیرون آوردن بسیار ساده خواهد شد.

بیرون آوردن بیرینگ‌های بر روی غلاف بیرون کشیدنی

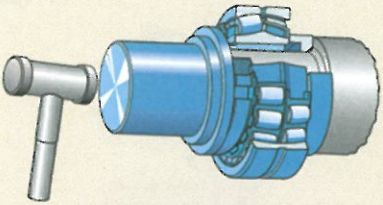
هنگام بیرون آوردن بیرینگ‌ها بر روی غلاف بیرون کشیدنی جزء قفل‌کن محوری (مهره قفل‌کن، در پوش و غیره) باید برداشته شود.

بیرینگ‌های کوچک و متوسط را می‌توان با استفاده از یک مهره قفل‌کن و آچار ضربه‌ای یا قلابدار بیرون آورد (شکل ۳۰).

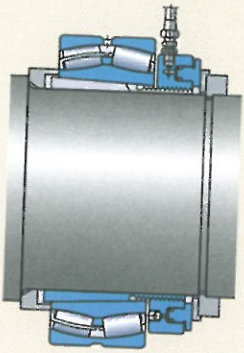
شکل ۲۷



شکل ۲۸



شکل ۲۹

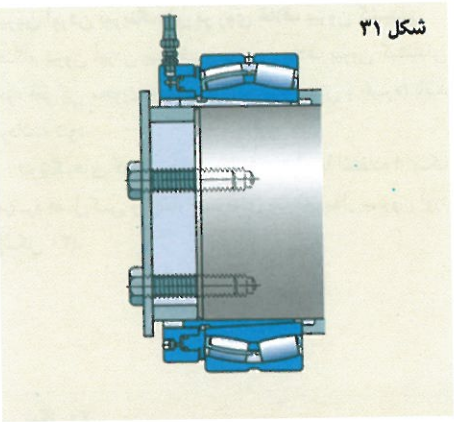


شکل ۳۰

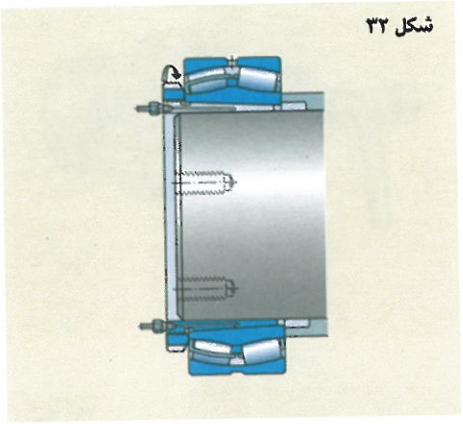
ابزار مناسب برای بیرون آوردن بیرینگ‌های بزرگ مهرهٔ هیدرولیکی می‌باشد اگر بخش رزوه‌شده غلاف از انتهای شفت یا پله شفت بیرون زده شده باشد یک رینگ حمایت‌کننده با حداکثر ضخامت ممکنه باید در بوش قرارداد تا از واپیچش و خرابی رزوه هنگام سفت کردن مهره جلوگیری شود. توصیه می‌شود که پشت مهره هیدرولیکی یک صفحه نگهدارنده نصب شود (شکل ۳۱) این صفحه از پرتاب مهره و غلاف در صورت جدا شدن ناگهانی غلاف از شفت جلوگیری می‌کند.

غلاف‌های بیرون‌کشیدنی برای بیرینگ‌های بزرگ معمولاً دارای سوراخ و شیارهای توزیع روغن برای استفاده از روش تزریق روغن می‌باشد. استفاده از روش تزریق روغن هنگام بیرون کشیدن بیرینگ‌های بزرگ باعث صرفه‌جویی در وقت می‌شود (شکل ۳۲).

شکل ۳۱



شکل ۳۲



انبارداری بیرینگ‌ها

بیرینگ‌ها را می‌توان در جعبه‌های اصلی برای سال‌ها نگهداری کرد، به شرطی که رطوبت نسبی از 60٪ بیشتر نبوده و تغییرات درجه حرارت محل نگهداری زیاد نباشد. همچنین محل نگهداری نباید دارای ارتعاش باشد.

گریس موجود در بیرینگ‌ها آب‌بند شده که برای مدت طولانی در انبار نگهداری شده‌اند ممکن است خراب‌شده و خواص خود را از دست داده باشد. بیرینگ‌هایی که در جعبه اصلی خود نمی‌باشند باید بخوبی در مقابل خوردگی و آلودگی محافظت شوند.

بیرینگ‌های بزرگ باید به صورت خوابیده نگهداری شوند و کل سطح جانبی رینگ‌ها حمایت شده باشد در صورت نگهداری این بیرینگ‌ها به صورت ایستاده وزن رینگ‌ها و اجزای غلتنده باعث تغییر شکل دائمی بیرینگ می‌شود، زیرا رینگ‌های بیرینگ ضخامت نسبتاً کمی دارند.

بازرسی و تمیز کردن

بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها مانند دیگر اجزای مهم ماشین باید تمیز و بازرسی شوند. فاصله زمانی بین بازرسی‌ها کاملاً بستگی به شرایط کارکرد دارد.

اگر امکان تعیین شرایط بیرینگ در حین کار از طریق گوش کردن به صدای بیرینگ و اندازه‌گیری دمای آن و یا آزمایش روانکار وجود داشته باشد. بازرسی و تمیز کردن سالیانه بیرینگ (رینگ‌ها، قفسه و اجزای غلتنده) کافی است. در صورت وجود بارهای سنگین باید تعداد دفعات بازرسی افزایش یابد. برای مثال بیرینگ‌های نوردی (Rolling Mill) را اغلب پس از تعویض غلتک‌ها (Rolls) بازرسی می‌کنند.

پس از تمیز کردن اجزای بیرینگ با محلول مناسب (اسپریت سفید، پارافین و غیره) باید برای جلوگیری از خوردگی آنها را به روغن یا گریس آغشته نمود. این موضوع برای بیرینگ‌های ماشین آلاتی که برای مدت طولانی متوقف می‌باشند مهم است.

مراجع:

[1] SKF Catalogue "Maintenance and Lubrication Products".

[2] SKF Bearing Maintenance Handbook.

[3] Handbook "SKF Drive-up Method".

[4] www.skf.com/mount

SKF

بخش دوم

اطلاعات بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها

فصل اول ـ بلبیرینگ‌های شیار عمیق ۲۶۵
فصل دوم ـ بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای ۳۰۱
فصل سوم ـ بلبیرینگ‌های خود تنظیم ۳۳۷
فصل چهارم ـ رولربیرینگ‌های استوانه‌ای ۳۵۱
فصل پنجم ـ رولربیرینگ‌های مخروطی ۳۸۳
فصل ششم ـ رولربیرینگ‌های کروی ۴۱۱
فصل هفتم ـ رولربیرینگ‌های توریدال CARB ® ۴۳۱
فصل هشتم ـ بلبیرینگ‌های کف‌گرد ۴۵۱
فصل نهم ـ رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد ۴۵۷
فصل دهم ـ رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد ۴۶۵
فصل یازدهم ـ بیرینگ‌های مهندسی ۴۷۳
فصل دوازدهم ـ مکاترونیک ـ بیرینگ‌های مجهز به سنسور ۵۱۳
فصل سیزدهم ـ تجهیزات جانبی بیرینگ‌ها ۵۲۱
فصل چهاردهم ـ نشیمنگاه‌های بیرینگ ۵۴۳

فصل اول

بلبیرینگ‌های شیار عمیق

فصل (۱ـ۱) ـ بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه ۲۶۷
فصل(۱ـ۲) ـ بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه با شیار جازنی ساچمه ۲۸۱
فصل (۱ـ۳) ـ بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ ۲۸۷
فصل (۱ـ۴) ـ بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه ۲۹۳
فصل (۱ـ۵) ـ رولربادامکی یک ردیفه ۲۹۷

فصل (۱-۱)

بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه

طرح‌های بیرینگ ۲۶۸
طرح اصلی بیرینگ‌ها ۲۶۸
بیرینگ‌های آب‌بند شده ۲۶۸
بیرینگ‌های آب‌بند شده در برابر روغن نوع ICOS™ ۲۷۱
بیرینگ‌ها با شیار محیطی ۲۷۲
بیرینگ‌های جفت‌شده ۲۷۳
بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر ۲۷۳
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۲۷۴
ابعاد ۲۷۴
تلرانس‌ها ۲۷۴
لقی داخلی ۲۷۴
عدم همراستایی ۲۷۴
قفسه‌ها ۲۷۶
بار حداقل ۲۷۶
ظرفیت حمل بار محوری ۲۷۷
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۲۷۷
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۲۷۷
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۲۷۸

بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه کاربردهای زیادی دارند. مشخصه‌های این بلبیرینگ‌ها طراحی ساده، تفکیک‌ناپذیر بودن، مناسب بودن آن برای سرعت‌های بالا و خیلی زیاد، محکم بودن در حین کار و عدم نیاز به تعمیر و نگهداری می‌باشند. شیار عمیق در سطح غلتش و هم‌خوانی دقیق بین این شیار و ساچمه‌ها این بلبیرینگ را قادر می‌سازد که بار محوری را از هر دو جهت به همراه بار شعاعی حتی در سرعت‌های بالا، تحمل کند.

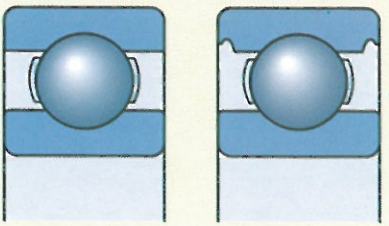
بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه بیشترین کاربرد را در میان انواع بیرینگ‌ها دارند. به همین علت در طرح‌های زیر و اندازه‌های مختلف تولید می‌شوند.

- بیرینگ‌های باز در طرح اصلی
- بیرینگ‌های آب‌بند شده
- بیرینگ‌های آب‌بند شده در برابر روغن نوع ICOS™
- بیرینگ‌ها با شیار محیطی با یا بدون خار فنری

انواع دیگر بلبیرینگ‌های شیار عمیق با کاربردهای خاص در فصل « بیرینگ‌های مهندسی » و « مکاترونیک » آورده شده‌اند، که شامل،

- بیرینگ‌های مختلط (صفحه ۴۷۵)،
- بیرینگ‌های عایق الکتریکی (صفحه ۴۸۵)،
- بیرینگ‌ها برای دمای بالا (صفحه ۴۹۱)،
- بیرینگ‌ها با روغن جامد (صفحه ۵۰۷) و
- بیرینگ‌های مجهز به سنسور (Sensorized Bearing) (صفحه ۵۱۳) می‌باشند.

شکل ۱



طرح‌های بیرینگ

طرح اصلی بیرینگ‌ها

طرح اصلی بیرینگ‌های شیار عمیق (شکل ۱) به صورت باز (بدون آب‌بند) می‌باشد. بنابر دلایل ساخت، بیرینگ‌های بازی که با آب‌بند و حفاظ فلزی نیز تولید می‌شوند دارای فرورفتگی محل نصب آب‌بند (Seal Recess) در رینگ خارجی می‌باشند.

بیرینگ‌های آب‌بند شده

بیرینگ‌های شیار عمیقی که کاربرد بیشتری دارند، با آب‌بند یا حفاظ فلزی در یک طرف یا دو طرف نیز تولید می‌شوند. جزئیات مربوط به مناسب بودن انواع آب‌بندها برای شرایط کارکرد متفاوت در جدول ۱ آورده شده است. بیرینگ‌های آب‌بند شده با سری‌های پهنای 622، 623 و 630 برای کارکرد طولانی بدون نیاز به تعمیر و نگهداری مناسب می‌باشند. همچنین بیرینگ‌های ICOS™ که مجهز به آب‌بند شعاعی هستند برای شرایط آب‌بندی سخت استفاده می‌شوند.

بیرینگ‌ها با آب‌بند یا حفاظ فلزی در دو طرف، محتوی گریس بوده و نیاز به تعمیر و نگهداری ندارند. این بیرینگ‌ها قبل از نصب نباید شسته‌شده و تا دمای بیشتر از 80 °C گرم شوند. بیرینگ‌های شیار عمیق وابسته به ابعاد بیرینگ با یکی از گریس‌های استاندارد که در جدول ۲ آورده شده است، پر شده‌اند.

گریس استاندارد در شماره فنی بیرینگ نشان داده نمی‌شود. میزان گریس 25 تا 35 در صد فضای خالی بیرینگ است.

بلبیرینگ‌ها شیار عمیق آب‌بند با گریس‌های خاص زیر نیز تولید می‌شود.

- گریس GJN برای دمای بالا (بیرینگ‌ها با $D \leq 62$ mm)
- گریس GXN برای دمای بالا
- گریس GWB برای محدوده دمای وسیع
- گریس LHT23 برای محدوده دمای وسیع و کارکرد بدون سر و صدا (برای بیرینگ‌هایی که استاندارد نمی‌باشند.)
- گریس LT20 برای دمای پایین

مشخصات فنی گریس‌های مختلف در جدول ۳ آورده شده‌اند.

جدول ۱ راهنمای انتخاب آب بندها

نیازها	حفاظ فلزی Z	آب بندهای کم اصطکاک RSL	آب بندهای کم اصطکاک RZ	آب بندهای تماسی RSH	آب بندهای تماسی RS1
اصطکاک کم	+++	++	+++	o	o
سرعت زیاد	+++	+++	+++	o	o
نگهداری گریس	o	+++	+	+++	++
جلوگیری از ورود آلودگیها	o	++	+	+++	+++
جلوگیری از ورود آب در شرایط					
سکون	-	o	-	+++	++
حرکت	-	o	-	+	+
وجود آب با فشار بالا	-	o	-	+++	o

علایم: -- توصیه نمی شود o متوسط + خوب ++ خیلی خوب +++ عالی

جدول ۲ گریسهای استانداردSKF برای بلبیرینگهای شیار عمیق آب بند شده از جنس فولاد کربن-کرم

سری قطر بیرینگها	گریس استانداردSKF در بیرینگ با قطر خارجی D ≤ 30 mm, d < 10 mm	D ≤ 30 mm, d ≥ 10mm	30 < D ≤ 62 mm	D > 62 mm
8, 9	LHT23	LT10	MT47	MT33
0, 1, 2, 3	MT47	MT 47	MT47	MT33

جدول ۳ مشخصه های فنی گریسهای استاندارد و خاصSKF برای بلبیرینگهای شیار عمیق آب بند شده از جنس فولاد کربن-کرم

مشخصه های فنی	LHT23	LT10	MT47	MT33	GJN	GXN	GWB	LT20
غلیظ کننده	صابون لیتیمی	صابون لیتیمی	صابون لیتیمی	صابون لیتیمی	صابون پلی اوره	صابون پلی اوره	صابون لیتیمی	صابون لیتیمی
روغن پایه	روغن استر	روغن دی استر	روغن معدنی	روغن معدنی	روغن معدنی	روغن معدنی	روغن استر	روغن دی استر
کلاس غلظت NLGI	2	2	2	3	2	2	2-3	2
محدوده دما،[1] °C	-50 to +140	-50 to +90	-30 to +110	-30 to +120	-30 to +150	-40 to +150	-40 to +160	-55 to +110
لزجت روغن پایه، mm^2/s								
در 40 °C	26	12	70	98	115	96	70	15
در 100 °C	5,1	3,3	7,3	9,4	12,2	10,5	9,4	3,7

۱) برای محدوده دمای قابل اطمینان به بخش "محدوده دما - مفهوم چراغ راهنما SKF" در صفحه ۲۲۰ مراجعه کنید.

بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی

بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی که دارای پسوند Z یا 2Z هستند در یک یا دو طرح، وابسته به سری و ابعاد بیرینگ تولید می‌شوند. (شکل ۲). حفاظ‌های فلزی از ورق فولادی ساخته می‌شوند و معمولاً دارای دنباله استوانه‌ای به منظور ایجاد یک شیار طولانی با پیشانی رینگ داخلی (الف)، هستند بعضی از انواع حفاظ‌ها این دنباله را ندارند (ب).

بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی در کاربردهایی که در آنها رینگ داخلی دوران می‌کنند بکار می‌روند زیرا دوران رینگ خارجی در سرعت‌های بالا ممکن است موجب خروج گریس از بیرینگ شود.

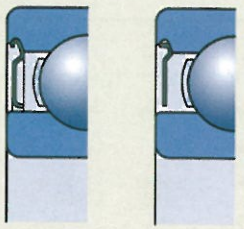
بیرینگ‌ها با آب‌بند کم اصطکاک

بلبیرینگ‌های شیار عمیق با آب‌بند کم اصطکاک دارای پسوندهای RSL و 2RSL یا RZ و 2RZ می‌باشند و وابسته به سری ابعاد بیرینگ در سه طرح زیر ساخته می‌شوند (شکل ۳).

- بیرینگ‌های سری 60، 62 و 63 تا قطر خارجی 25 mm با آب‌بند RSL مطابق طرح (الف)
- بیرینگ‌های سری 60، 62 و 63 با قطر خارجی 25 mm تا 52 mm با آب‌بند RSL مطابق طرح (ب)
- بیرینگ‌های دیگر با آب‌بند RZ مطابق طرح (ج)

این نوع آب‌بندها بدون تماس بوده و یک شکاف باریک با سطح استوانه‌ای شانه رینگ داخلی یا فرو رفتگی آن تشکیل می‌دهند. به همین دلیل بیرینگ‌ها با آب‌بند کم اصطکاک را می‌توان در سرعت‌های مشابه بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی بکار برد ولی آب‌بند آنها عملکرد بهتری دارد.

شکل ۲



این آب‌بندهای کم اصطکاک از جنس لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین (NBR) که به سایش و روغن مقاوم است ساخته‌شده و با ورق فولادی تقویت شده‌اند. دمای مجاز کارکرد این نوع آب‌بند ˚C 40- تا ˚C 100+ می‌باشد. ولی می‌توان از آنها برای مدت کوتاه در دمای ˚C 120+ نیز استفاده کرد.

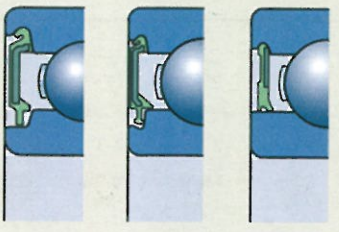
بیرینگ‌ها با آب‌بندهای تماسی

بیرینگ‌ها با آب‌بند تماسی دارای پسوندهای RSH و 2RSH یا RS1 و 2RS1 می‌باشند و در چهار طرح مختلف زیر وابسته به سری و ابعاد بیرینگ ساخته می‌شوند (شکل ۴).

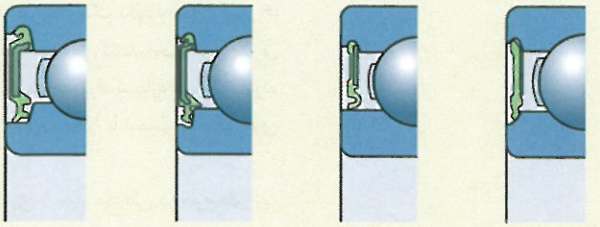
- بیرینگ‌های سری 60، 62 و 63 تا قطر خارجی 25 mm با آب‌بند نوع RSH طرح (الف)
- بیرینگ‌های سری 60، 62 و 63 با قطر خارجی 25 mm تا 52 mm با آب‌بند نوع RSH طرح (ب)
- دیگر بیرینگ‌ها با آب‌بند RS1 و رینگ داخلی با سطح استوانه‌ای شانه مقابل آب‌بند، طرح (ج) که اندازه آن در جداول بیرینگ‌ها با d_1 نشان داده شده است و یا رینگ داخلی با فرورفتگی در شانه، طرح (د) که اندازه آن در جداول بیرینگ‌ها با d_2 نشان داده شده است.

آب‌بندها در درون فرورفتگی رینگ خارجی نصب‌شده و بدون تغییر شکل رینگ خارجی این محل را بخوبی آب‌بندی می‌کنند. آب‌بندهای استاندارد از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) بوده‌که با ورق فولادی تقویت می‌شوند. دمای مجاز کارکرد این آب‌بندها از ˚C 40- تا ˚C 100+ می‌باشد. ولی برای مدت کوتاه می‌توانند در دمای ˚C 120+ نیز کار کنند.

شکل ۳



شکل ٤



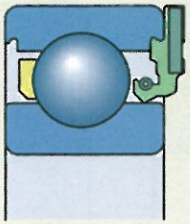
وقتی بیرینگ‌های آب‌بند شده در شرایط بد نظیر سرعت بالا یا دمای بالا کار می‌کنند گریس آنها ممکن است از سمت رینگ داخلی به خارج نشت کند. در این شرایط باید تمهیدات خاصی در طراحی چیدمان در نظر گرفته شود.

بیرینگ‌های آب‌بند شده در برابر روغن نوع ICOS™

آب‌بند نوع ICOS™ توسط SKF طراحی شده است. بیرینگ‌ها با این نوع آب‌بند در شرایطی که بیرینگ‌های آب‌بند دیگر جوابگو نمی‌باشند، بکار می‌روند. یک بیرینگ ICOS™ شامل یک بلبیرینگ شیار عمیق سری 62 و یک آب‌بند شعاعی است (شکل ۵). این بیرینگ‌ها فضای کم‌تری نسبت به ترکیب یک بیرینگ و آب‌بند شعاعی می‌گیرند و براحتی نصب می‌شوند. همچنین نیاز به ماشینکاری شفت با دقت بالا نمی‌باشد زیرا لبه آب‌بند در مقابل سطح داخلی شانه رینگ داخلی قرار می‌گیرد.

آب‌بند شعاعی از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) بوده، که دارای لبه موجی تحت فشار فنر (Spring Loaded Waveseal Lip) است. دمای کارکرد آب‌بند از °C 40- تا °C 100+ است و برای مدت کوتاه می‌تواند در دمای °C 120+ نیز کار کنند. حد سرعت این بیرینگ‌ها به سرعت مجاز محیطی آب‌بند شعاعی بستگی دارد که برای این نوع بیرینگ 14 m/s است.

شکل ٥



بیرینگ‌ها با شیار محیطی

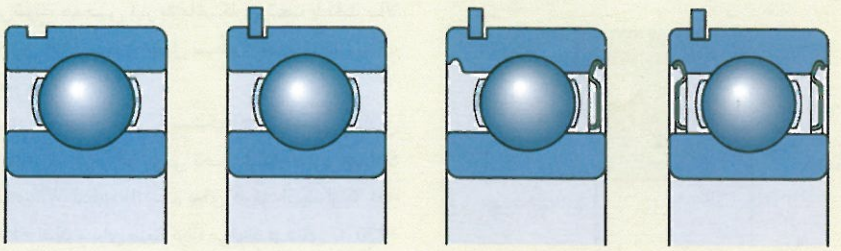
بلبیرینگ‌های شیار عمیق با شیار محیطی به علت نصب آسان در نشیمنگاه به کمک خار فنری (رینگ نگهدارنده) (شکل ۶) طراحی چیدمان بیرینگ‌ها را ساده می‌کنند. ابعاد خار فنری مناسب در جداول بیرینگ‌ها به همراه شماره فنی آن آورده شده‌اند، ولی می‌توانند به صورت مجزا یا نصب‌شده بر روی بیرینگ سفارش شوند.

بیرینگ‌های شیار عمیق با شیار محیطی در طرح‌های زیر (شکل۷) موجود می‌باشند.

- بیرینگ باز (بدون آب‌بند)، با پسوند N در شماره فنی بیرینگ (الف)
- بیرینگ باز با خار فنری، با پسوند NR در شماره فنی بیرینگ (ب)
- بیرینگ با حفاظ فلزی Z در یک طرف و شیار محیطی به همراه خار فنری در سمت دیگر، با پسوند ZNR در شماره فنی بیرینگ (ج)
- بیرینگ با حفاظ فلزی Z در دو طرف و شیار محیطی به همراه خار فنری، پسوند 2ZNR در شماره فنی بیرینگ (د)

شکل ٦

شکل ۷



بیرینگ‌های جفت‌شده

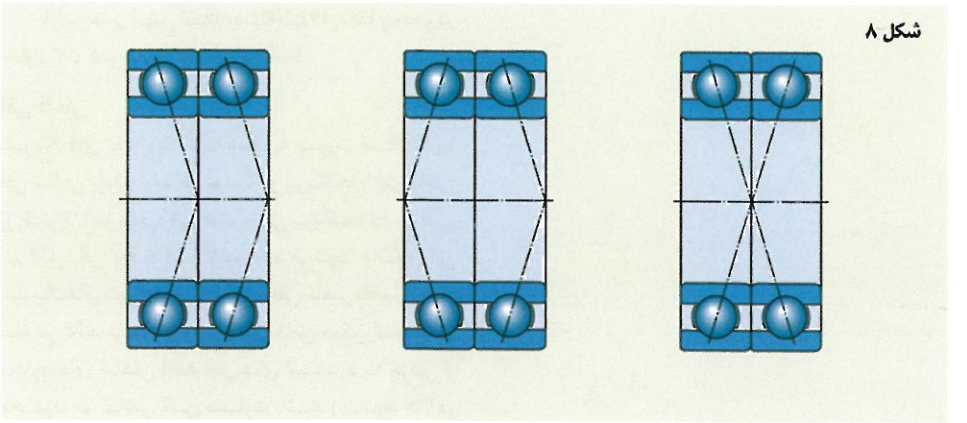
در چیدمان‌هایی که یک بیرینگ برای تحمل بار کافی نمی‌باشند یا وقتی که لازم است شفت از دو طرف با لقی مشخص مهار شود، از بلبیرینگ‌های شیار عمیق جفت‌شده استفاده می‌شود. بیرینگ‌های جفت‌شده می‌توانند به صورت پشت سر هم، پشت به پشت یا جلو به جلو چیده شوند، که بستگی به نیازهای چیدمان دارد (شکل ۸). بیرینگ‌ها هنگام ساخت جفت می‌شوند لذا پس از نصب بار به طور یکنواخت بین بیرینگ‌ها تقسیم‌شده و نیاز به استفاده از لایی فلزی یا تجهیزات مشابه برای تنظیم نمی‌باشد.

بیرینگ‌ها کلاس SKF اکسپلورر

بلبیرینگ‌های شیار عمیق SKF اکسپلورر که کیفیت بالاتری نسبت به دیگر بیرینگ‌ها دارند در جداول بر روی لوح فشرده همراه کتاب با رنگ آبی مشخص شده‌اند. این کیفیت بالا شامل کارکرد بدون سر و صدا نیز می‌باشد.

بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر دارای شماره فنی مشابه با بیرینگ‌های استاندارد قبلی می‌باشند. ولی بیرینگ و جعبه آن با کلمه EXPLORER مشخص شده‌اند.

شکل ۸



اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه مطابق با استاندارد ISO 15:1998 می‌باشند. ابعاد شیار محیطی و خار فنری مطابق استاندارد ISO 464:1995 می‌باشند.

تلرانس‌ها

بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه به صورت استاندارد با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند.

بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه اکسپلورر با دقت بیشتری نسبت به تلرانس‌های نرمال استاندارد ISO تولید می‌شوند. دقت‌های حرکتی مطابق تلرانس P6 می‌باشند، بجز تلرانس پهنا که به طور قابل ملاحظه‌ای به مقادیر زیر کاهش داده شده است.

- 0/ −60 µm برای بیرینگ‌ها با قطر خارجی تا 110 mm و
- 0/ −100 µm برای بیرینگ‌های بزرگ‌تر

دقت‌های حرکتی بستگی به ابعاد بیرینگ داشته و مطابق با مقادیر زیر است.

- تلرانس‌های P5 برای بیرینگ‌ها با قطر خارجی تا 52 mm
- تلرانس‌های P6 برای بیرینگ‌ها با قطر خارجی بیشتر از 52 mm تا 110 mm و
- تلرانس‌های نرمال برای بیرینگ‌های بزرگ‌تر

در چیدمان‌هایی که دقت عامل مهمی در عملکرد می‌باشد می‌توان از بلبیرینگ‌های یک ردیفه با تلرانس‌های P6 و P5 استفاده کرد.

تلرانس‌ها بر اساس استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جداول ۳ تا ۵ از صفحه ۱۱۳ آورده شده‌اند.

لقی داخلی

بلبیرینگ‌های یک ردیفه شیار عمیق به صورت استاندارد با لقی شعاعی نرمال تولید می‌شوند. اکثر بیرینگ‌ها با لقی داخلی بزرگ‌تر C3 نیز موجود می‌باشند. بعضی بیرینگ‌ها نیز با لقی کم C2 یا لقی زیاد C4 و C5 نیز تولید می‌شوند. علاوه بر این بلبیرینگ‌های شیار عمیق با محدوده لقی کاهش‌یافته یا جابجا شده نیز تولید می‌شوند. این لقی‌های خاص ممکن است شامل محدوده‌های کاهش‌یافته لقی‌های استاندارد یا جزئی از محدوده دو کلاس لقی متفاوت باشند (پسوند CN در صفحه ۲۷۸). بیرینگ‌ها با لقی داخلی غیر استاندارد نیز تولید می‌شوند.

مقادیر لقی شعاعی در جدول ۴ آورده شده‌اند این مقادیر مطابق با استاندارد ISO 5753:1991 بوده و برای بیرینگ‌های نصب‌نشده و بدون بار (Zero Measuring Load) صحیح می‌باشند.

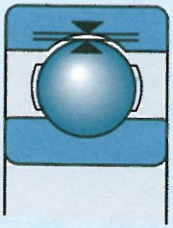
عدم همراستایی

بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه توانایی محدودی در تحمل عدم همراستایی دارند. مقادیر مجاز عدم همراستایی زاویه‌ای بین رینگ‌های داخلی و خارجی در شریطی که ایجاد تنش‌های اضافی و غیرقابل تحمل در بیرینگ نکند، بستگی به،

- لقی داخلی شعاعی بیرینگ در حین کارکرد،
- ابعاد بیرینگ،
- طرح داخلی بیرینگ و
- نیروها و گشتاورهای اعمال‌شده به بیرینگ، دارند.

به علت ارتباط پیچیده بین این عوامل مقدار مشخصی را نمی‌توان تعیین کرد ولی وابسته به تأثیر هر یک از عوامل فوق عدم همراستایی زاویه‌ای مجاز بین 2 تا 10 دقیقه (کمان) می‌باشد. هر گونه عدم همراستایی باعث افزایش سر و صدا و کاهش عمر بیرینگ می‌شود.

جدول ٤ لقی داخلی شعاعی بلبیرینگهای شیار عمیق



قطر داخلی d		لقی داخلی شعاعی									
		C2		Normal		C3		C4		C5	
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		µm									
	6	0	7	2	13	8	23	–	–	–	–
6	10	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10	18	0	9	3	18	11	25	18	33	25	45
18	24	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
24	30	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
30	40	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
40	50	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
50	65	1	15	8	28	23	43	38	61	55	90
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105
80	100	1	18	12	36	30	58	53	84	75	120
100	120	2	20	15	41	36	66	61	97	90	140
120	140	2	23	18	48	41	81	71	114	105	160
140	160	2	23	18	53	46	91	81	130	120	180
160	180	2	25	20	61	53	102	91	147	135	200
180	200	2	30	25	71	63	117	107	163	150	230
200	225	4	32	28	82	73	132	120	187	175	255
225	250	4	36	31	92	87	152	140	217	205	290
250	280	4	39	36	97	97	162	152	237	255	320
280	315	8	45	42	110	110	180	175	260	260	360
315	355	8	50	50	120	120	200	200	290	290	405
355	400	8	60	60	140	140	230	230	330	330	460
400	450	10	70	70	160	160	260	260	370	370	520
450	500	10	80	80	180	180	290	290	410	410	570
500	560	20	90	90	200	200	320	320	460	460	630
560	630	20	100	100	220	220	350	350	510	510	700
630	710	30	120	120	250	250	390	390	560	560	780
710	800	30	130	130	280	280	440	440	620	620	860
800	900	30	150	150	310	310	490	490	690	690	960
900	1 000	40	160	160	340	340	540	540	760	760	1 040
1 000	1 120	40	170	170	370	370	590	590	840	840	1 120
1 120	1 250	40	180	180	400	400	640	640	910	910	1 220
1 250	1 400	60	210	210	440	440	700	700	1 000	1 000	1 340
1 400	1 600	60	230	230	480	480	770	770	1 100	1 100	1 470

برای تعریف لقی داخلی شعاعی به صفحه ۱۲۵ مراجعه کنید

قفسه‌ها

بلبیرینگ‌های شیار عمیق وابسته به ابعاد و سری بیرینگ، مجهز به یکی از قفسه‌های زیر می‌باشند. (شکل ۹).

- قفسه نوع نواری (Ribbon-type) و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها از جنس ورق فولادی پرسکاری‌شده، بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ (الف)
- قفسه نوع نواری و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها از جنس ورق برنجی پرسکاری‌شده، پسوند Y در شماره فنی بیرینگ
- قفسه پرچ‌شده (Riveted) و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها از جنس ورق فولادی بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ (ب)
- قفسه پرچ‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها از جنس ورق برنجی با پسوند Y در شماره فنی بیرینگ
- قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، پسوند M در شماره فنی (ج)
- قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی، پسوند MA در شماره فنی بیرینگ
- قفسه نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، پسوند TN9 در شماره فنی بیرینگ (د)

بیرینگ‌ها با قفسه فولادی پرسکاری‌شده در طرح استاندارد ممکن است با قفسه برنجی ماشینکاری‌شده یا پلی آمید نوع Snap نیز تولید شوند. برای دمای کارکرد بالا ممکن است قفسه‌ها از جنس پلی آمید 4.6 یا پلی اتراترکتون (PEEK) با پسوند TNH در شماره فنی بیرینگ، بکار روند.

توجه:

بلبیرینگ‌های شیار عمیق با قفسه پلی آمید 6.6 را می‌توان حداکثر تا دمای کارکرد 120+ °C بکار برد. روانکارهای بیرینگ، بجز بعضی از روغن‌های مصنوعی و گریس‌ها با روغن پایه مصنوعی و روانکارهای شامل مقادیر زیادی از افزودنی‌های EP که در دمای بالا استفاده می‌شوند، معمولاً اثر منفی بر خواص قفسه ندارند.

در چیدمان‌هایی که در آنها بیرینگ‌ها دائماً در دمای بالا یا تحت شرایط بد کار می‌کنند، استفاده از بیرینگ‌ها با قفسه‌های فولادی پرسکاری‌شده و یا برنجی ماشینکاری‌شده توصیه می‌شود.

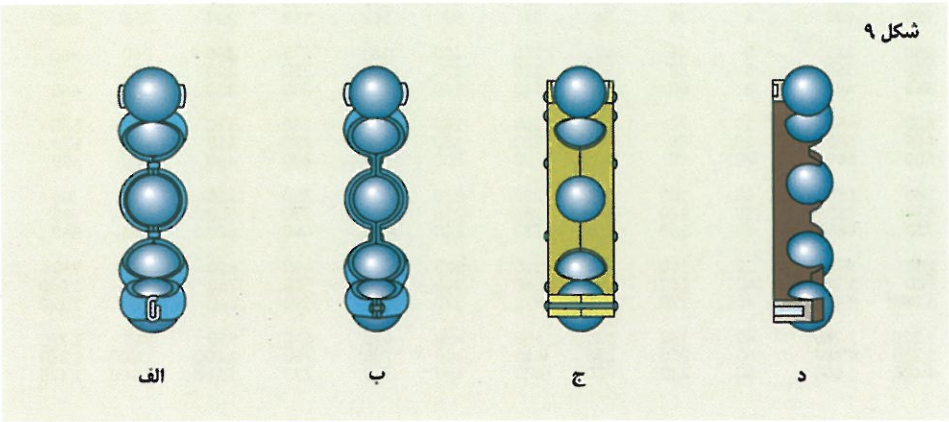
برای اطلاعات بیشتر در رابطه با مقاومت قفسه در برابر حرارت و کاربرد قفسه‌ها به بخش « جنس قفسه‌ها » در صفحه ۱۲۸ مراجعه کنید.

بار حداقل

بلبیرینگ‌های شیار عمیق برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ‌ها در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارند، با اهمیت است. در این شرایط نیروهای اینرسی ساچمه‌ها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین ساچمه‌ها و سطح غلتش شوند.

حداقل بار مورد نیاز شعاعی برای یک بلبیرینگ شیار عمیق به صورت تقریبی از رابطه صفحه بعد به دست می‌آید.

شکل ۹



$$F_{rm} = k_r\left(\frac{\nu n}{1000}\right)^{2/3}\left(\frac{d_m}{100}\right)^2$$

که در آن

F_{rm} = بار حداقل شعاعی، kN

k_r = ضریب بار حداقل (جداول بیرینگ‌ها)

ν = لزجت روغن در دمای کارکرد، mm^2/s

n = سرعت دورانی، r/min

d_m = قطر متوسط بیرینگ = $0.5(d+D)$، mm

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است. در غیر این صورت بلبیرینگ شیار عمیق باید تحت بار شعاعی اضافی قرار گیرد. در کاربردهایی که از بلبیرینگ‌های شیار عمیق استفاده می‌شود می‌توان با تنظیم رینگ داخلی و خارجی نسبت به یکدیگر و یا با استفاده از فنر پیش بار محوری ایجاد کرد.

ظرفیت حمل بار محوری

اگر بلبیرینگ‌های شیار عمیق تحت بار محوری خالص قرار گیرند این بار محوری نباید از $0.5C_0$ بیشتر باشد. بیرینگ‌های کوچک نیز (تا قطر داخلی 12 mm) و بیرینگ‌های سری‌های سبک (سری قطر 8، 9، 0 و 1) نباید تحت بار محوری بیشتر از $0.25C_0$ قرار گیرند. بار محوری اضافی باعث کاهش قابل ملاحظه عمر بیرینگ می‌شود.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ تحت بار دینامیکی، بار معادل از معادلات زیر به دست می‌آید.

وقتی که $F_a/F_r \le e$ $\quad P = F_r$

وقتی که $F_a/F_r > e$ $\quad P = XF_r + YF_a$

ضرایب e، X و Y به رابطه $f_0\,F_a/C_0$ بستگی دارند. که در آن f_0 ضریب محاسباتی (جداول بیرینگ‌ها)، F_a مؤلفه محوری بار و C_0 ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی می‌باشد.

ضرایب فوق به تأثیر لقی شعاعی نیز بستگی دارند. افزایش لقی شعاعی ظرفیت حمل بار محوری را بیرینگ افزایش می‌دهد. برای بیرینگ‌هایی که با انطباق‌های معمول در جداول ۲، ۴ و ۵ صفحات ۱۵۷ الی ۱۵۹ نصب می‌شوند، مقادیر e، X و Y در جدول 5 آورده شده‌اند. در صورتی که لقی بزرگ‌تر از نرمال انتخاب شود و کاهش لقی در حین کارکرد ایجاد شود باید از مقادیر مربوط به لقی نرمال استفاده کرد.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ‌های شیار عمیق تحت بار استاتیکی، بار معادل از معادله زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = 0.6F_r + 0.5F_a$$

اگر $P_0 < F_r$ باشد، باید از $P_0 = F_r$ استفاده شود.

جدول ۵ ضرایب محاسباتی برای بلبیرینگهای شیار عمیق یک ردیفه

	لقی نرمال			لقی C3			لقی C4		
$f_0\,F_a/C_0$	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,30	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,40	0,44	1,40
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,30
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,30	0,56	1,45	0,40	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,50	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,10	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1,00
6,89	0,44	0,56	1,00	0,54	0,46	1,00	0,56	0,44	1,00

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی بیرینگ نشان‌دهنده خصوصیات مشخصی از بلبیرینگ‌های شیار عمیق می‌باشند، در زیر شرح داده شده‌اند.

CN لقی نرمال، عموماً به همراه یکی از حروف زیر برای نشان دادن محدوده لقی کاهش‌یافته یا جابجاشده بکار می‌رود.

H لقی کاهش‌یافته که نشان‌دهنده نیمه بالایی محدوده لقی واقعی است.

L لقی کاهش‌یافته که نشان‌دهنده نیمه پایینی محدوده لقی واقعی است.

P لقی جابجاشده که نشان‌دهنده نیمه بالایی محدوده لقی واقعی به همراه محدوده پایینی لقی بزرگ‌تر بعدی می‌باشد.

حروف فوق به همراه کلاس‌های لقی C2، C3 ، C4 و C5 نیز بکار برده می‌شوند. نظیر C2H

C2 لقی شعاعی کم‌تر از نرمال

C3 لقی شعاعی بیشتر از نرمال

C4 لقی شعاعی بیشتر از C3

C5 لقی شعاعی بیشتر از C4

DB دو بلبیرینگ شیار عمیق یک ردیفه که برای نصب پشت به پشت جفت شده‌اند

DF دو بلبیرینگ شیار عمیق یک ردیفه که برای نصب جلو به جلو جفت شده‌اند

DT دو بلبیرینگ شیار عمیق یک ردیفه که برای نصب پشت سر هم جفت شده‌اند

E مجموعه ساچمه‌های تقویت‌شده

GJN گریس با غلیظ‌کننده پلی اوره و غلظت 2 مطابق معیار NLGI برای محدوده دمای C° 30- تا C° 150+ (میزان گریس در حد نرمال است)

GXN گریس با غلیظ‌کننده پلی اوره و غلظت 2 مطابق معیار NLGI برای محدوده دمای C° 40- تا C° 140+ (میزان گریس در حد نرمال است)

HT گریس با غلیظ‌کننده پلی اوره و غلظت 2 مطابق معیار NLGI برای دمای C° 40- تا C° 150+ (میزان گریس در حد نرمال است)

J قفسه فولادی پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

LHT23 گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی و غلظت 2 مطابق معیار NLGI برای محدوده دمای C° 50- تا C° 140+ (میزان گریس در حد نرمان است)

LT گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی و غلظت 2 مطابق معیار NLGI برای محدوده دمای C° 55- تا C° 110+ (میزان گریس در حد نرمال است)

LT10 گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی و غلظت 2 مطابق معیار NLGI برای محدوده دمای C° 50- تا C° 90+ (میزان گریس در حد نرمال است)

M قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها. طرح یا جنس متفاوت با یک عدد بعد از M مشخص می‌شود. برای مثال M2

MA قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی

MB قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ داخلی

MT33 گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی و غلظت 2 مطابق معیار NLGI برای محدوده دمای C° 30- تا C° 120+ (میزان گریس در حد نرمال است)

MT47 گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی و غلظت 2 مطابق معیار NLGI برای محدوده دمای C° 30- تا C° 100+ (میزان گریس در حد نرمال است)

N بیرینگ با شیار محیطی بر روی رینگ خارجی

NR بیرینگ با شیار محیطی بر روی رینگ خارجی به همراه خار فنری

N1 یک شکاف در پیشانی رینگ خارجی (برای ثابت کردن بیرینگ و جلوگیری از چرخش رینگ خارجی)

P5 تلرانس‌های ابعادی و دقت‌های حرکتی مطابق کلاس تلرانسی 5 استاندارد ISO

P6 تلرانس‌های ابعادی و دقت‌های حرکتی مطابق کلاس تلرانسی 6 استاندارد ISO

P52 P5+C2

P62 P6+C2

P63 P6+C3

RS1 آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در یک طرف بیرینگ

2RS1 آب‌بند تماسی نوع RS1 در دو طرف بیرینگ

RSH آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در یک طرف بیرینگ

2RSH آب‌بند تماسی نوع RSH در دو طرف بیرینگ

RSL آب‌بند کم اصطکاک از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در یک طرف بیرینگ

2RSL آب‌بند کم اصطکاک نوع RSL در دو طرف بیرینگ

RZ آب‌بند کم اصطکاک از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در یک طرف بیرینگ

2RZ آب‌بند کم اصطکاک نوع RZ در دو طرف بیرینگ

HT قفسه از جنس رزین فنولی با الیاف تقویت‌شده

TN قفسه از جنس پلی آمید و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

TNH قفسه نوع Snap از جنس PEEK تقویت‌شده با الیاف شیشه، مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

TN9 قفسه نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

VL0241 رینگ خارجی دارای پوشش اکسید آلومینیوم عایق الکتریکی تا 1000 VDC

VL2071 رینگ داخلی دارای پوشش اکسید آلومینیوم عایق الکتریکی تا 1000 VDC

WT گریس با غلیظ‌کننده پلی اوره و غلظت 3-2 مطابق معیار NLGI برای محدوده دمای 40- °C تا 160+ °C (میزان گریس در حد نرمال است)

Y قفسه برنجی پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

Z حفاظ فلزی از جنس فولاد پرسکاری‌شده در یک طرف بیرینگ

2Z حفاظ فلزی نوع Z در دو طرف بیرینگ

ZNR حفاظ فلزی از جنس فولاد پرسکاری‌شده در یک طرف بیرینگ و شیار خار فنری به همراه خار فنری بر روی رینگ خارجی در طرف مقابل

2ZNR حفاظ فلزی نوع Z در دو طرف بیرینگ و شیار خار فنری به همراه خار فنری بر روی رینگ خارجی

فصل (۱-۲)

بلبیرینگ‌های شیار عمیق

یک ردیفه با شیار جازنی ساچمه

طرح‌های بیرینگ ۲۸۲
طرح اصلی بیرینگ‌ها ۲۸۲
بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی ۲۸۲
بیرینگ‌ها با شیار محیطی ۲۸۳
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۲۸۳
ابعاد ۲۸۳
تلرانس‌ها ۲۸۳
لقی داخلی ۲۸۳
عدم همراستایی ۲۸۴
قفسه ۲۸۴
بار حداقل ۲۸۴
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۲۸۴
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۲۸۴
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۲۸۵

طرح‌های بیرینگ

یک بلبیرینگ شیار عمیق یک ردیفه با شیار جازنی ساچمه دارای شیاری در رینگ داخلی و خارجی (شکل ۱) است به طوری که می‌توان ساچمه‌های بیشتر و بزرگ‌تر نسبت به بلبیرینگ شیار عمیق استاندارد در آن، جا داد. بلبیرینگ‌ها با شیار جازنی ظرفیت حمل بار شعاعی بیشتری نسبت به بیرینگ‌ها بدون شیار جازنی دارند، ولی ظرفیت حمل بار محوری آنها کم‌تر است. این بیرینگ‌ها را می‌توان در سرعت‌های مشابه با سرعت بیرینگ‌های بدون شیار جازنی بکار برد.

محدوده استاندارد این نوع بیرینگ شامل،

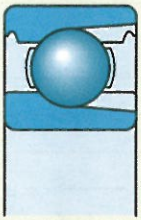
- بیرینگ باز در طرح اصلی،
- بیرینگ با حفاظ فلزی و
- بیرینگ با شیار محیطی می‌باشد.

شکل ۱

طرح اصلی بیرینگ‌ها

طرح اصلی بیرینگ‌ها با شیار جازنی به صورت باز (بدون آب‌بند) است. بنابر دلایل ساخت بیرینگ‌هایی که با حفاظ فلزی نیز تولید می‌شوند در طرح باز نیز دارای فرورفتگی مربوط به آب‌بند در رینگ خارجی هستند (شکل ۲).

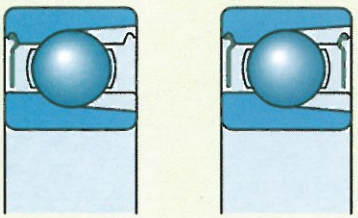
شکل ۲



بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی

بلبیرینگ‌های شیار عمیق با شیار جازنی و با حفاظ فلزی در یک یا دو طرف بیرینگ که با پسوندهای Z و 2Z در شماره فنی مشخص می‌شوند، نیز موجود می‌باشند. حفاظ فلزی با سطح داخلی رینگ داخلی تشکیل یک شکاف باریک می‌دهد (شکل ۳).

شکل ۳



بیرینگ‌ها در سری ابعادی 217 و 314 از گریس با غلیظ‌کننده پلی اوره با غلظت 2 مطابق با معیار NLGI پر شده‌اند. این بیرینگ‌ها می‌توانند در محدوده دمای 30- °C تا 150 °C بکار روند. لزجت روغن پایه در 40 °C برابر 115 mm^2/s و در دمای 100 °C برابر 12.2 mm^2/s است.

بیرینگ‌های بزرگ‌تر محتوی گریس با کیفیت‌تر با غلیظ‌کننده لیتیمی و کلاس غلظت 3 مطابق معیار NLGI می‌باشند، که می‌توانند در محدوده دمای 30- °C تا 120+ °C

بکار روند. لزجت روغن پایه در 40 °C برابر 98 mm^2/s و در 100 °C برابر 9.4 mm^2/s است.

میزان گریس بین 25 تا 35 در صد فضای خالی بیرینگ است و بیرینگ‌ها برای کل دوره عمر خود گریس کاری‌شده و نیاز به تعمیر و نگهداری ندارند. این بیرینگ‌ها قبل از نصب نباید شسته شده و تا دمای بیش از 80 °C گرم شوند.

بیرینگ‌ها با شیار محیطی

برای سادگی و صرفه‌جویی در مهار محوری بیرینگ در نشیمنگاه، بلبیرینگ‌های شیار عمیق با شیار جازنی با شیار محیطی بر روی رینگ خارجی نیز تولید می‌شوند. این بیرینگ‌ها با پسوند N مشخص می‌شوند (شکل ۴ الف). خار فنری مناسب این بیرینگ‌ها در جداول بیرینگ‌ها آورده‌شده و می‌تواند به صورت جداگانه و یا از قبل نصب‌شده بر روی بیرینگ (پسوند NR) سفارش شود (شکل ۴ ب). این بیرینگ‌ها همچنین با حفاظ فلزی در طرف مقابل شیار (شکل ۵ الف) و یا دو طرف بیرینگ (شکل ۵ ب) نیز تولید می‌شوند.

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی بلبیرینگ‌های شیار عمیق با شیار جازنی ساچمه مطابق استاندارد ISO 15:1998 می‌باشد.

ابعاد شیار محیطی و خار فنری مطابق استاندارد ISO 464:1995 می‌باشند.

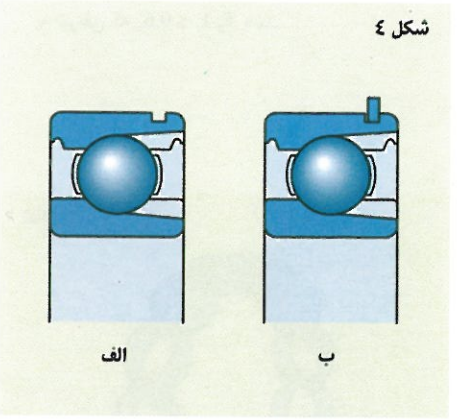
تلرانس‌ها

بلبیرینگ‌های شیار عمیق با شیار جازنی ساچمه با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. این تلرانس‌ها مطابق با استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جدول ۳ صفحه ۱۱۳ آورده شده‌اند.

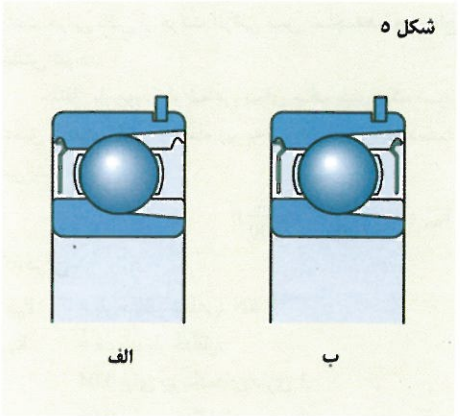
لقی داخلی

بلبیرینگ‌های یک ردیفه شیار عمیق با شیار جازنی ساچمه با لقی شعاعی نرمال تولید می‌شوند. مقادیر لقی شعاعی در جدول ۳ صفحه ۲۷۵ آورده شده‌اند، این مقادیر مطابق با استاندارد ISO 5753:1991 بوده و برای بیرینگ نصب‌شده و بدون بار صحیح می‌باشند.

شکل ٤



شکل ٥



عدم همراستایی

شرایط مربوط به عدم همراستایی رینگ خارجی نسبت به رینگ داخلی برای بلبیرینگ‌های شیار عمیق با شیار جازنی مشابه بیرینگ‌های استاندارد است. ولی شیار جازنی عدم همراستایی را به 2 تا 5 دقیقه از کمان محدود می‌کنند. عدم همراستایی بیشتر باعث عبور ساچمه‌ها از لبه شیار جازنی‌شده که موجب افزایش سر و صدا و کاهش عمر بیرینگ می‌شود.

قفسه

بلبیرینگ‌های شیار عمیق با شیار جازنی ساچمه با قفسه پرچ‌شده فولادی و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها و بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ تولید می‌شوند (شکل ۶).

بار حداقل

بلبیرینگ‌های شیار عمیق با شیار جازنی برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ‌ها در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارند، با اهمیت می‌باشد. در این شرایط نیروهای اینرسی ساچمه‌ها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین ساچمه‌ها و سطح غلتش شوند.

حداقل بار مورد نیاز شعاعی برای یک بلبیرینگ شیار عمیق با شیار جازنی از رابطه زیر به صورت تقریبی به دست می‌آید.

$$F_{rm} = k_r\left(\frac{vn}{1000}\right)^{2/3}\left(\frac{d_m}{100}\right)^2$$

که در آن

F_{rm} = بار حداقل شعاعی، kN

k_r = ضریب بار حداقل،

0.04 برای بیرینگ‌های سری 2

0.05 برای بیرینگ‌های سری 3

v = لزجت روغن در دمای کارکرد، mm^2/s

n = سرعت دورانی، r/min

d_m = قطر متوسط بیرینگ = 0.5(d+D)، mm

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد می‌باشد، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است، در غیر این صورت بلبیرینگ شیار عمیق با شیار جازنی باید تحت بار شعاعی اضافی قرار گیرد. در کاربردهایی که از بلبیرینگ‌های شیار عمیق با شیار جازنی استفاده می‌شود می‌توان با تنظیم رینگ داخلی و خارجی نسبت به یکدیگر و یا با استفاده از فنر پیش بار محوری ایجاد کرد.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ شیار عمیق با شیار جازنی تحت بار دینامیکی، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P = F_r + F_a$$

به شرطی که $F_a/F_r \le 0.6$ و $P \le 0.5C_0$ باشد.

اگر $F_a > 0.6F_r$ باشد، بلبیرینگ شیار عمیق با شیار جازنی ساچمه مناسب نبوده و بلبیرینگ بدون شیار باید بکار برده شود.

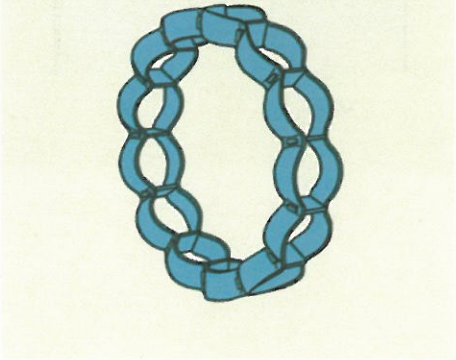
بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ یک ردیفه شیار عمیق با شیار جازنی تحت بار استاتیکی، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = F_r + 0.5F_a$$

به شرطی که $F_a/F_r \le 0.6$ باشد.

شکل ٦



پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی بیرینگ نشان‌دهنده خصوصیات مشخصی از بلبیرینگ‌های شیار عمیق با شیار جازنی ساچمه می‌باشند، در زیر شرح داده می‌شوند.

C3 لقی شعاعی بزرگ‌تر از نرمال

N شیار محیطی در رینگ خارجی

NR شیار محیطی در رینگ خارجی به همراه خار فنری

Z حفاظ فلزی از جنس ورق فولادی پرسکاری‌شده در یک طرف بیرینگ

2Z حفاظ فلزی از نوع Z در دو طرف بیرینگ

ZNR شیار محیطی بر روی رینگ خارجی به همراه خار فنری و حفاظ فلزی در سمت مقابل

2ZNR شیار محیطی بر روی رینگ خارجی با خار فنری و حفاظ فلزی در دو طرف بیرینگ

فصل (۱-۳)

بلبیرینگ‌های شیار عمیق

از فولاد ضد زنگ

طرح‌های بیرینگ ۲۸۸
طرح اصلی بیرینگ ۲۸۸
بیرینگ‌های آب‌بند شده ۲۸۸
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۲۸۹
ابعاد ۲۸۹
تلرانس‌ها ۲۸۹
لقی داخلی ۲۹۰
جنس ۲۹۰
عدم همراستایی ۲۹۰
قفسه‌ها ۲۹۰
بار حداقل ۲۹۰
ظرفیت حمل بار محوری بیرینگ ۲۹۱
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۲۹۱
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۲۹۱
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۲۹۱
طراحی چیدمان بیرینگ ۲۹۱

طرح‌های بیرینگ

بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ در مقابل خوردگی ناشی از رطوبت و مواد دیگر مقاوم می‌باشند. این بلبیرینگ‌ها دارای شیاری عمیق در سطح غلتش بوده که با ساچمه‌ها مطابقت دارد و مشابه بلبیرینگ‌های شیار عمیق استاندارد از جنس فولاد کربنی کرمدار (فولاد بیرینگ) هستند. این بیرینگ‌ها شیار جازنی ندارند و می‌توانند بار محوری را از هر دو جهت به همراه بار شعاعی حتی در سرعت‌های بالا تحمل کنند. بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ دارای خواص حرکتی مشابه با بلبیرینگ‌ها از فولاد بیرینگ بوده ولی ظرفیت حمل بار کم‌تری دارند.

این بیرینگ‌ها به صورت باز و آب‌بند شده برای قطر شفت 1 mm تا 50 mm موجود می‌باشد. همچنین این بیرینگ‌ها به صورت فلنج‌دار مطابق با استاندارد ISO 8443:1999 نیز تولید می‌شوند.

بلبیرینگ‌ها از جنس فولاد ضد زنگ با پیشوند W در شماره فنی آنها مشخص می‌شوند، نظیر W626-2Z.

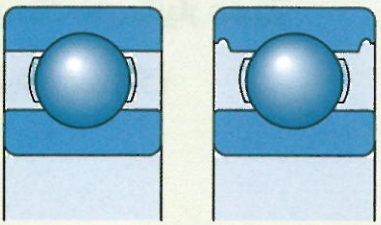
طرح اصلی بیرینگ

طرح اصلی بیرینگ‌ها به صورت باز و بدون آب‌بند می‌باشد. بیرینگ‌های بازی‌که با آب‌بند یا حفاظ فلزی نیز تولید می‌شوند ممکن است بنابر دلایل ساخت دارای فرورفتگی محل نصب آب‌بند باشند (شکل ۱).

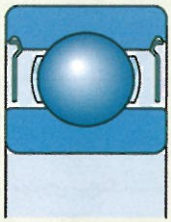
بیرینگ‌های آب‌بند شده

بیشتر بیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ با حفاظ فلزی نیز موجود بوده و بعضی از آنها با آب‌بند تماسی نیز تولید می‌شوند. بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی و آب‌بند در دو طرف برای کل مدت سرویس گریس زده شده‌اند و نیاز به تعمیر و نگهداری ندارند. این بیرینگ‌ها قبل از نصب نباید شسته شوند و یا تا دمای بالاتر از 80 °C گرم شوند. دو نوع مختلف گریس استاندارد در این بیرینگ‌ها بکار رفته است که نوع گریس بستگی به ابعاد بیرینگ دارد. مشخصات این گریس‌ها در جدول ۱ آورده شده‌اند. گریس استاندارد در شماره فنی بیرینگ مشخص نمی‌شود. گریس 25 تا 35 در صد فضای خالی در بیرینگ را پر می‌کند.

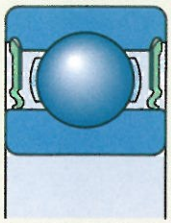
شکل ۱



شکل ۲



شکل ۳



بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگی که اغلب در ماشین‌آلات صنایع غذایی استفاده می‌شوند محتوی گریس غیرسمی بوده و با پسوند VT378در شماره بیرینگ مشخص می‌شوند. این گریس

- مطابق با ملزومات راهنمای بخش « 21 CFR 178. 3570 » قانون FDA (اداره دارو و مواد غذایی آمریکا — US Food and Drug Administration) می‌باشد و
- توسط USDA (اداره کشاورزی ایالات متحده - United States Department of Agricalture) برای استفاده در طبقه H1 (تماس موردی با مواد غذایی) تأیید شده است.

بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی

بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی با پسوند 2Z در شماره فنی بیرینگ مشخص‌شده (شکل ۲) و دارای حفاظ‌هایی از جنس فولاد ضد زنگ می‌باشند. حفاظ‌های فلزی با سطح داخلی رینگ داخلی تشکیل یک شکاف آب‌بندی می‌دهند. لذا می‌توان این بیرینگ‌ها را در دما و سرعت بالا نیز بکار برد. بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی را باید برای کاربردهایی که در آنها رینگ داخلی دوران می‌کند بکار برد. در صورت دوران رینگ خارجی احتمال نشتی گریس در سرعت‌های بالا وجود دارد.

بیرینگ‌ها با آب‌بند تماسی

بیرینگ‌ها با آب‌بند تماسی با پسوند 2RS1 در شماره فنی بیرینگ مشخص می‌شوند (شکل ۳). این بیرینگ‌ها دارای آب‌بند از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) مقاوم به سایش و روغن که توسط یک ورقه فلزی تقویت شده است، می‌باشند. دمای مجاز کارکرد این آب‌بندها از ۴۰- °C تا ۱۰۰+ °C بوده و برای مدت کوتاهی نیز می‌توانند در دمای ۱۲۰+ °C نیز کار کنند. آب‌بندها از نوع تماسی بوده و لبه آب‌بند با سطح داخلی رینگ داخلی در تماس است. آب‌بندها در فرورفتگی رینگ خارجی قرار گرفته به طوری که محل استقرار آنها نیز آب‌بند است.

در شرایط دشوار نظیر سرعت و یا دمای بالا گریس ممکن است به بیرون نشت کند. در کاربردهایی که این نشتی مشکل‌ساز است باید هنگام طراحی این موضوع در نظر گرفته شود.

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی بیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ مطابق‌استاندارد ISO 15:1998 است.

تلرانس‌ها

بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ با تلرانس‌های نرمال ساخته می‌شوند. مقادیر این تلرانس‌ها مطابق استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جدول ۳ صفحه ۱۱۳ آورده شده‌اند.

جدول ۱ گریسهای استاندارد برای بلبیرینگهای شیار عمیق از فولاد ضد زنگ آب بند شده

مشخصه های فنی	گریس استاندارد برای بیرینگها با $d \le 9$ mm	گریس استاندارد برای بیرینگها با $d > 9$ mm	گریس غیر سمی
غلیظ کننده	صابون لیتیمی	صابون لیتیمی	آلومینیوم مرکب
روغن پایه	روغن استر	روغن معدنی	روغن PAO
کلاس غلظت NLGI	2	2	2
محدوده دما، °C [1]	−50 to +140	−30 to +110	−25 to +120
لزجت روغن پایه، mm^2/s			
در 40 °C	26	74	150
در 100 °C	5,1	8,5	15,5

۱) برای محدوده دمای قابل اطمینان به بخش "محدوده دما- چراغ راهنما SKF" در صفحه ۲۲۰ مراجعه کنید.

لقی داخلی

بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ با لقی داخلی نرمال تولید می‌شوند. مقادیر لقی داخلی مطابق استاندارد ISO 5753:1991 بوده که در جدول ۳ صفحه ۲۷۵ آورده شده‌اند. حدود لقی برای بیرینگ نصب‌نشده و بدون بار صحیح می‌باشند.

جنس

جنس رینگ‌ها وابسته به ابعاد بیرینگ، از فولاد ضد زنگ X65Cr14 مطابق استاندارد ISO 683-17:2000 یا فولاد ضد زنگ X105CrM017 مطابق استاندارد EN 10088-1:1995 می‌باشند. ساچمه‌ها از فولاد ضد زنگ X105CrMo17 و حفاظ فلزی و قفسه از فولاد ضد زنگ X5CrNi l8-10 مطابق استاندارد EN 10088-1:1995 ساخته می‌شوند.

عدم همراستایی

بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه از جنس فولاد ضد زنگ توانایی کمی در تحمل عدم همراستایی دارند. عدم همراستایی زاویه‌ای مجاز بین رینگ داخلی و خارجی به طوری که اثر منفی در ایجاد تنش‌های اضافی در بیرینگ نداشته باشد به لقی شعاعی بیرینگ در حین کارکرد، ابعاد بیرینگ، طرح داخلی، نیروها و ممان‌های وارده به بیرینگ بستگی دارد. به علت رابطه پیچیده بین این عوامل نمی‌توان مقدار مشخصی برای عدم همراستایی مجاز تعیین کرد. عدم همراستایی مجاز، وابسته تأثیر عوامل فوق، بین 2 تا 10 دقیقه کمان می‌باشد. عدم همراستایی بیشتر باعث افزایش سر و صدا و کاهش عمر بیرینگ می‌شود.

قفسه‌ها

وابسته به سری بیرینگ و ابعاد آن، بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ با یکی از قفسه‌های زیر از جنس فولاد ضد زنگ تولید می‌شوند (شکل ۴).

- قفسه نوع Snap از جنس ورق فولادی پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ (الف)
- قفسه نوع نواری از جنس ورق فولادی پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ (ب)
- قفسه پرچ‌شده از جنس ورق فولادی پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ(ج)

بیرینگ‌ها با قفسه نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه نیز تولید می‌شوند.

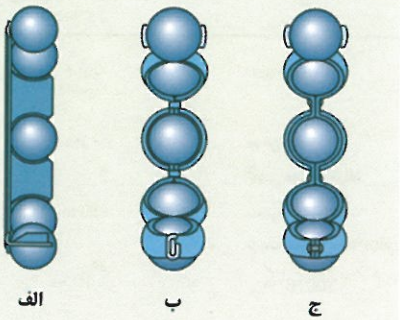
بار حداقل

بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ‌ها در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارند با اهمیت است. در این شرایط نیروهای اینرسی ساچمه‌ها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین ساچمه‌ها و سطح غلتش شود.

حداقل بار مورد نیاز شعاعی برای یک بلبیرینگ شیار عمیق از فولاد ضد زنگ از رابطه زیر به صورت تقریبی به دست می‌آید.

$$F_{rm} = k_r \left(\frac{vn}{1000}\right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100}\right)^2$$

شکل ٤



که در آن

F_{rm} = بار حداقل شعاعی، kN

k_r = ضریب بار حداقل (جداول بیرینگ‌ها)

ν = لزجت روغن در دمای کارکرد، mm^2/s

n = سرعت دورانی، r/min

d_m = قطر متوسط بیرینگ = 0.5(d+D)، mm

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار بالا می‌باشد، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است. در غیر این صورت بلبیرینگ شیار عمیق از فولاد ضد زنگ باید تحت بار شعاعی اضافی قرار گیرد. در کاربردهایی که از بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ استفاده می‌شود می‌توان با تنظیم رینگ داخلی و خارجی نسبت به یکدیگر و یا با استفاده از فنر پیش بار محوری ایجاد کرد.

ظرفیت حمل بار محوری بیرینگ

اگر بیرینگ تحت بار محوری خالص قرار گیرد، این بار محوری نباید از مقدار $0.25C_0$ بیشتر باشد. بار محوری اضافی به طور قابل ملاحظه‌ای عمر بیرینگ را کاهش می‌دهد.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ تحت بار دینامیکی، بار معادل از روابط زیر به دست می‌آید.

وقتی که $F_a/F_r \le e$ $\quad P = F_r$

وقتی که $F_a/F_r > e$ $\quad P = 0.56F_r + YF_a$

جدول ۲ ضرایب محاسباتی برای بلبیرینگهای شیار عمیق یک ردیفه از جنس فولاد ضد زنگ

$f_0 F_a/C_0$	e	Y
0,172	0,19	2,30
0,345	0,22	1,99
0,689	0,26	1,71
1,03	0,28	1,55
1,38	0,30	1,45
2,07	0,34	1,31
3,45	0,38	1,15
5,17	0,42	1,04
6,89	0,44	1,00

ضرایب e و Y به رابطه $f_0 \ F_a/C_0$ بستگی دارند. ضریب محاسباتی f_0 در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است. F_a مؤلفه محوری بار و C_0 ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی است.

ضرایب به میزان لقی شعاعی داخلی نیز بستگی دارند. برای بیرینگ‌هایی که مطابق انطباقات جداول ۲، ۴ و ۵ در صفحات ۱۵۷ الی ۱۵۹نصب می‌شوند مقادیر e و Y در جدول ۲ آورده شده‌اند.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه از فولاد ضد زنگ تحت بار استاتیکی، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = 0.6F_r + 0.5F_a$$

اگر $P_0 < F_r$ باشد، باید $P_0 = F_r$ استفاده شود.

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی بیرینگ نشان‌دهنده خصوصیات مشخصی از بلبیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ می‌باشند، در زیر شرح داده شده‌اند.

R رینگ خارجی فلنج‌دار

VT378 گریس غیرسمی (برای تماس موردی با مواد غذایی) با غلیظ‌کننده آلومینیومی و غلظت 2 مطابق معیار NLGI برای محدوده دمای کارکرد °C 25- تا °C 120+ (میزان گریس در حد نرمال)

2RS1 آب‌بند از جنس لاستیک اکریلونتیریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در دو طرف بیرینگ

2Z حفاظ فلزی از ورق فولادی پرسکاری‌شده در دو طرف بیرینگ

2ZR رینگ خارجی فلنج‌دار و حفاظ فلزی از جنس ورق فولادی پرسکاری‌شده در دو طرف بیرینگ

طراحی چیدمان بیرینگ

در بیشتر موارد مقطع رینگ‌های بیرینگ‌های شیار عمیق از فولاد ضد زنگ در وسط و لبه گوشه‌ها باریک بوده و محل اتصال لبه‌ها به وسط رینگ بسیار کوچک است. بنابراین لازم است اجزای مجاور مناسب بیرینگ بوده و با دقت‌های لازم ساخته شوند.

فصل (۱-۴)

بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه

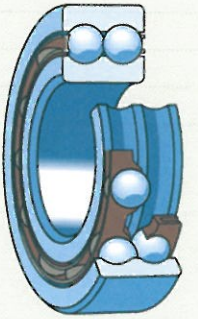
طرح‌های بیرینگ..... ۲۹۴
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها..... ۲۹۴
ابعاد..... ۲۹۴
تلرانس‌ها..... ۲۹۴
لقی داخلی..... ۲۹۴
عدم همراستایی..... ۲۹۴
قفسه‌ها..... ۲۹۴
بار حداقل..... ۲۹۵
ظرفیت حمل بار محوری..... ۲۹۵
بار معادل دینامیکی بیرینگ..... ۲۹۵
بار معادل استاتیکی بیرینگ..... ۲۹۵

طرح‌های بیرینگ

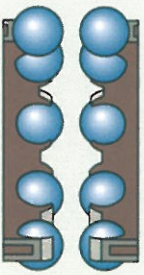
بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه (شکل ۱) از نظر طراحی مشابه بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه می‌باشند. این بیرینگ‌ها دارای سطح غلتش یکپارچه و عمیق می‌باشند که با ساچمه‌ها هماهنگی دارد. این بیرینگ‌ها توانایی تحمل بار محوری از هر دو جهت به همراه بار شعاعی را دارند.

بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه برای کاربردهایی که ظرفیت حمل بار بیرینگ‌های یک ردیفه کافی نمی‌باشد، بکار می‌روند. برای قطر داخلی و خارجی مشابه، بلبیرینگ‌های دو ردیفه کمی پهنای بیشتری نسبت به بلبیرینگ‌های یک ردیفه دارند اما ظرفیت حمل بار آنها به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از بیرینگ‌های یک ردیفه سری‌های 62 و 63 است.

شکل ۱



شکل ۲



اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه مطابق استاندارد ISO 15:1998 است.

تلرانس‌ها

بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. مقادیر این تلرانس‌ها مطابق استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جدول ۳ صفحه ۱۱۳ آورده شده‌اند.

لقی داخلی

بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه به صورت استاندارد با لقی داخلی نرمال تولید می‌شوند. حدود لقی مطابق استاندارد ISO 5753:1991 بوده و در جدول ۳ صفحه ۲۷۵ آورده شده‌اند.

عدم همراستایی

عدم همراستایی بین رینگ داخلی و خارجی بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه فقط با اعمال نیرو قابل تحمل است. این نیرو باعث افزایش بار ساچمه‌ها و قفسه‌شده و عمر بیرینگ را کاهش می‌دهد. به دلایل فوق حداکثر عدم همراستایی مجاز دو دقیقه کمان است. عدم همراستایی بین رینگ‌های بیرینگ باعث افزایش سر و صدا در حین کارکرد می‌شود.

قفسه‌ها

بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه دارای دو عدد قفسه نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه که نسبت به ساچمه‌ها مرکز شده‌اند، می‌باشند (شکل ۲) که با پسوند TN9 در شماره فنی بیرینگ مشخص می‌شوند.

توجه:

بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه با قفسه پلی آمید 6.6 می‌توانند تا دمای 120+ °C بکار برده شوند. روانکارهای مورد استفاده برای بیرینگ‌ها معمولاً اثر منفی بر خواص قفسه ندارند، بجز بعضی روغن‌های مصنوعی، گریس بر پایه روغن مصنوعی و روانکارهای محتوی مقادیر زیادی افزودنی EP که برای دمای بالا بکار می‌روند.

برای اطلاعات بیشتر در رابطه با مقاومت جنس قفسه به حرارت و کاربرد قفسه‌ها به بخش « جنس قفسه‌ها » در صفحه ۱۲۸ مراجعه کنید.

بار حداقل

بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ‌ها در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارند با اهمیت است. در این شرایط نیروهای اینرسی ساچمه‌ها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین ساچمه‌ها و سطح غلتش شود.

حداقل بار مورد نیاز شعاعی برای یک بلبیرینگ شیار عمیق دو ردیفه از رابطه زیر به صورت تقریبی به دست می‌آید.

$$F_{rm} = k_r \left(\frac{vn}{1000}\right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100}\right)^2$$

که در آن

F_{rm} = بار حداقل شعاعی، kN

k_r = ضریب بار حداقل (جداول بیرینگ‌ها)

v = لزجت روغن در دمای کارکرد، mm^2/s

n = سرعت دورانی، r/min

d_m = قطر متوسط بیرینگ = $0.5(d+D)$، mm

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار بالا می‌باشد، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است. در غیر این صورت بلبیرینگ شیار عمیق دو ردیفه باید تحت بار شعاعی اضافی قرار گیرد.

ظرفیت حمل بار محوری

در صورتی که بلبیرینگ شیار عمیق دو ردیفه تحت بار محوری خالص باشد، این بار نباید از مقدار $0.5C_0$ بیشتر شود. بار محوری اضافی باعث کاهش قابل ملاحظه عمر بیرینگ می‌شود.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ شیار عمیق دو ردیفه تحت بار دینامیکی، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

برای $F_a/F_r \le e$ $\quad P = F_r$

برای $F_a/F_r > e$ $\quad P = 0.56F_r + YF_a$

ضرایب e و Y به رابطه $f_0 F_a/C_0$ بستگی دارند، که در آن f_0 ظریب محاسباتی می‌باشد، که در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است. F_a مؤلفه محوری بار و C_0 ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی است.

همچنین ضرایب فوق به میزان لقی داخلی بیرینگ نیز بستگی دارند. برای بیرینگ‌ها با لقی شعاعی نرمال که با انطباقات توصیه‌شده در جداول ۲، ۴ و ۵ صفحات ۱۵۷ تا ۱۵۹ نصب می‌شوند. مقادیر e و Y در جدول ۱ آورده شده‌اند.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ‌های شیار عمیق دو ردیفه تحت بار استاتیکی، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = 0.6F_r + 0.5F_a$$

اگر $P_0 < F_r$ باشد باید از رابطه $P_0 = F_r$ استفاده کرد.

جدول ۱ ضرایب محاسباتی برای بلبیرینگهای شیار عمیق دو ردیفه

$f_0 F_a/C_0$	e	Y
0,172	0,19	2,30
0,345	0,22	1,99
0,689	0,26	1,71
1,03	0,28	1,55
1,38	0,30	1,45
2,07	0,34	1,31
3,45	0,38	1,15
5,17	0,42	1,04
6,89	0,44	1,00

فصل (۱-۵)

رولربادامکی یک ردیفه

طرح‌های بیرینگ ۲۹۸
اطلاعات عمومی رولرهای بادامکی ۲۹۸
ابعاد ۲۹۸
تلرانس‌ها ۲۹۸
لقی داخلی ۲۹۸
قفسه‌ها ۲۹۸
توانایی حمل بار ۲۹۸
ظرفیت حمل بار محوری ۲۹۹
طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ ۲۹۹
پین‌ها ۲۹۹
فلنج‌های راهنما ۲۹۹
روانکاری ۲۹۹

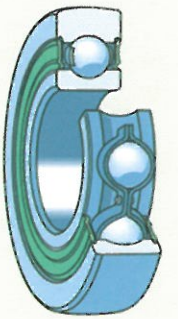
طرح‌های بیرینگ

رولرهای بادامکی یک ردیفه (شکل ۱) در سری‌های باریک 3612(00)R بر اساس طرح بلبیرینگ شیار عمیق سری 62 می‌باشند. سطح خارجی رینگ خارجی این بیرینگ‌ها قوسی شکل بوده و آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی، در دو طرف دارند. این رولرهای بادامکی به صورت آماده نصب و بدون نیاز به تعمیر نگهداری تولید می‌شوند و در انواع سیستم‌های محرک بادامکی (Cam Drivers)، نقاله (Conveyor) و غیره بکار می‌روند. به علت انحنای سطح رینگ خارجی، این بیرینگ‌ها را می‌توان در کاربردهایی که عدم همراستایی زاویه‌ای نسبت به خط سیر (Track) وجود دارد و یا لازم است تنش در لبه‌ها (Edge Stresses) به حداقل برسد، بکار برد.

علاوه بر رولر بادامکی یک ردیفه، رولرهای بادامکی دو ردیفه، رولرهای پشتیبان و پیرو بادامکی نیز تولید می‌شوند. برای مثال،

- رولرهای بادامکی دو ردیفه سری پهن 3057(00) و 3058(00) (صفحه۳۳۳) و مرجع [1]
- رولرهای پشتیبان بر اساس رولر سوزنی یا رولربیرینگ‌ها استوانه‌ای و
- پیرو بادامکی، بر اساس رولر سوزنی یا رولربیرینگ‌های استوانه‌ای

شکل ۱



برای اطلاعات بیشتر در رابطه با رولرهای حمایت‌کننده و پیرو بادامکی به کاتالوگ مهندسی بر روی لوح فشرده و مرجع [1] مراجعه کنید.

اطلاعات عمومی رولرهای بادامکی

ابعاد

ابعاد رولرهای بادامکی یک ردیفه برای بیرینگ‌ها با سری ابعادی 02 بجز قطر خارجی، مطابق استاندارد ISO 15:1998 است.

تلرانس‌ها

رولرهای بادامکی یک ردیفه با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند، بجز سطح خارجی قوسی شکل رینگ خارجی که تلرانسی دو برابر تلرانس نرمال دارد.

مقادیر تلرانس‌ها بر اساس استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جدول ۳ صفحه ۱۱۳ آورده شده‌اند.

لقی داخلی

رولرهای بادامکی یک ردیفه به صورت استاندارد با لقی C3 تولید می‌شوند. حدود لقی مطابق استاندارد ISO 5753:1991 می‌باشند، که در جدول ۴ صفحه ۲۷۵ آورده شده‌اند.

قفسه‌ها

رولرهای بادامکی یک ردیفه مجهز به قفسه از جنس ورق فولادی پرسکاری و پرچ‌شده می‌باشند، که نسبت به ساچمه‌ها مرکز شده‌اند.

توانایی حمل بار

در مقایسه با بلبیرینگ‌های استاندارد که رینگ خارجی آنها در کل پهنا توسط نشیمنگاه حمایت می‌شود. رینگ خارجی رولرهای بادامکی سطح تماس کمی با سطح حرکت خود در ریل یا بادامک دارد. سطح تماس واقعی به بار شعاعی وارده و انحنای سطح رینگ خارجی بستگی دارد. تغییر شکل رینگ خارجی ناشی از این تماس محدود، توزیع نیرو در بیرینگ را تغییر داده و بر توانایی حمل بار تأثیر می‌گذارد. در ظرفیت‌های اسمی حمل بار آورده شده در جداول این موضوع در نظر گرفته شده است. با توجه به این تغییر شکل و مقاومت رینگ خارجی باید علاوه بر ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی و استاتیکی،

حداکثر بار مجاز دینامیکی و استاتیکی را نیز در محاسبات در نظر گرفت.

توانایی حمل بار دینامیکی به عمر مورد نیاز بستگی دارد. ولی با توجه به تغییر شکل و مقاومت رینگ خارجی، بار وارده نباید از حداکثر بار دینامیکی شعاعی F_r بیشتر شود.

بار مجاز استاتیکی در رولرهای بادامکی کم‌ترین مقدار بین C_0 و F_{0r} می‌باشد. در صورتی که کارکرد آرام و بدون سر و صدا الزامی نباشد بار استاتیکی می‌تواند از C_0 بیشتر باشد ولی تحت هیچ شرایطی نباید از بار مجاز استاتیکی شعاعی F_{0r} بیشتر شود.

ظرفیت حمل بار محوری

رولرهای بادامکی برای حمل بار شعاعی طراحی شده‌اند. اگر بار محوری بر روی رینگ خارجی وارد شود، نظیر بار ناشی از حرکت بر روی یک فلنج راهنما، باعث ایجاد ممان در رولر بادامکی‌شده و ممکن است عمر بیرینگ کاهش یابد.

طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ

پین‌ها

در رولرهای بادامکی بجز در موارد محدود، رینگ داخلی تحت بار ثابت است. در این شرایط در صورتی که جابجایی آسان رینگ داخلی لازم باشد، پین یا شفت باید با تلرانس g6 ماشینکاری شود. در صورتی که، بنابر دلایلی، انطباق محکم‌تر نیاز باشد، پین یا شفت باید با تلرانس j6 ماشینکاری شوند.

در کاربردهایی که رولربادامکی تحت بار محوری زیاد است، توصیه می‌شود که رینگ داخلی در کل سطح جانبی مهار شود (شکل ۲). قطر پله مهارکننده باید برابر قطر پیشانی d_1 رینگ داخلی باشد (جداول بیرینگ‌ها).

فلنج‌های راهنما

برای ریل‌ها و بادامک‌ها (شکل ۲) ارتفاع h_a فلنج نباید بیشتر از،

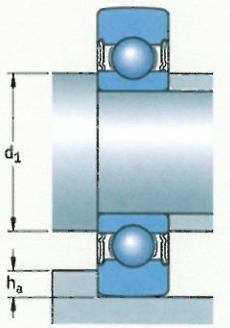
$$h_a = 0.5(D - D_1)$$

باشد، تا آب‌بندهای بیرینگ صدمه نبیند. مقادیر قطرهای D و D_1 در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند.

روانکاری

رولرهای بادامکی یک ردیفه به صورت گریسکاری‌شده برای تمام عمر کارکرد تولید می‌شوند و امکان روانکاری مجدد ندارند. گریس بکار رفته با غلیظ‌کننده لیتیمی بوده که غلظت آن 3 مطابق معیار NLGI است. این گریس خواص ضد زنگ خوبی داشته و برای محدوده دمای $-30\ ^\circ C$ تا $+120\ ^\circ C$ مناسب است. لزجت روغن پایه در دمای $40\ ^\circ C$ برابر $98\ mm^2/s$ و در $100\ ^\circ C$ برابر $9.4\ mm^2/s$ می‌باشد.

شکل ۲



مراجع:

[1] SKF Catalogue "Needle roller Bearings".

فصل دوم

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای

فصل (۲ـ۱) ـ بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه ۳۰۵
فصل (۲ـ۲) ـ بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه ۳۱۷
فصل (۲ـ۳) ـ بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس ۳۲۷
فصل (۲ـ۴) ـ رولرهای بادامکی دو ردیفه ۳۳۳

سطوح غلتش در رینگ داخلی و خارجی بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای نسبت به یکدیگر در جهت محور بیرینگ جابجا شده‌اند. بنابراین این بیرینگ‌ها برای تحمل بار ترکیبی (بار محوری و شعاعی همزمان) طراحی شده‌اند.

ظرفیت حمل بار محوری بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای با افزایش زاویه تماس، افزایش می‌یابد. زوایه تماس، زوایه بین خط ارتباط‌دهنده نقاط تماس ساچمه‌ها با سطوح غلتش در صفحه شعاعی (مسیر انتقال بار از یک سطح غلتش به سطح دیگر) و خط عمود بر محور بیرینگ است.

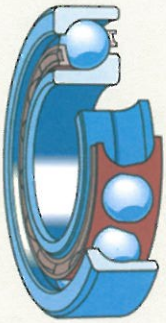
بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای در طرح‌ها و ابعاد مختلف تولید می‌شوند.

طرح‌هایی که بیشترین کاربرد مهندسی را دارند عبارتند از،

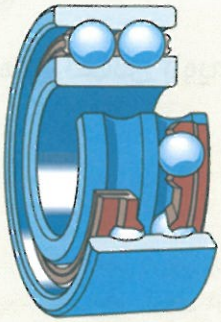
- بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه (شکل ۱)
- بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه (شکل ۲)
- بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس (شکل ۳) و
- رولرهای بادامکی دو ردیفه (شکل ۴)

جزئیات بیرینگ‌های فوق و رولرهای بادامکی که در محدوده تولیدات استاندارد هستند، در صفحات بعدی آورده شده است.

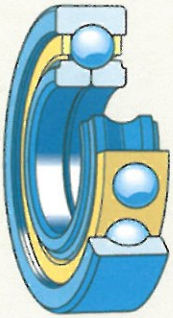
شکل ۱



شکل ۲



شکل ۳



شکل ٤

انواع دیگر بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای

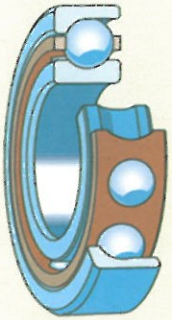
بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای که در این بخش شرح داده می‌شوند، در محدوده تولیدات استاندارد می‌باشند. انواع دیگری از بلبیرینگ‌ها تماس زاویه‌ای نیز تولید می‌شوند که به اختصار در زیر توضیح داده می‌شوند.

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دقیق

این بلبیرینگ‌ها در سری‌های ابعادی و طرح‌های مختلف تولید می‌شوند. این محدوده تولیدات شامل بیرینگ‌ها برای نصب تکی، بیرینگ‌ها برای نصب جفتی و مجموعه بیرینگ‌های جفت‌شده در طرح‌های زیر می‌باشند،

- با یا بدون آب‌بند کم اصطکاک
- با سه زاویه تماس متفاوت
- با ساچمه‌های فولادی یا سرامیکی
- در طرح استاندارد (شکل ۵) یا طرح مناسب برای سرعت‌های بالا

شکل ۵



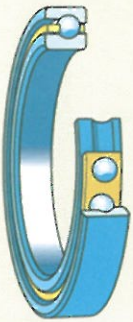
بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای با مقطع باریک

این بیرینگ‌ها دارای رینگ‌های باریک با مقطع ثابت، مستقل از اندازه بیرینگ در سری‌های خاص می‌باشند. خصوصیات این بیرینگ‌ها وزن کم و سفتی بالا می‌باشند. این بیرینگ‌ها دارای ابعاد اینچی بوده (شکل ۶) و در طرح‌های باز و آب‌بند شده زیر

- بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه و
- بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس

در هشت مقطع مختلف تولید می‌شوند.

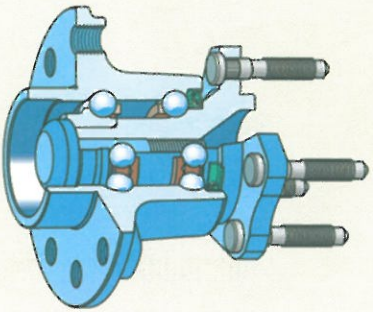
شکل ٦



مجموعه بیرینگ‌های توپی چرخ

بیرینگ‌های توپی فلنجی چرخ (HBU) که در صنایع خودروسازی بکار می‌روند، از انواع بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای می‌باشند (شکل ۷). این بیرینگ‌ها در طرح‌هایی تولید می‌شوند که دارای مشخصه‌هایی نظیر جمع و جور بودن، وزن کم، سادگی نصب و قابلیت اطمینان تقویت‌شده می‌باشند.

شکل ۷



فصل (۲-۱)

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای

یک ردیفه

طرح‌های بیرینگ ۳۰۶
طرح اصلی بیرینگ‌ها ۳۰۶
بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره ۳۰۶
بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر ۳۰۷
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۳۰۷
ابعاد ۳۰۷
تلرانس‌ها ۳۰۷
لقی داخلی و پیش بار ۳۰۷
عدم همراستایی ۳۰۹
تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ ۳۰۹
قفسه‌ها ۳۰۹
سرعت اسمی برای بیرینگ‌های جفت‌شده ۳۰۹
ظرفیت حمل بار بیرینگ‌های جفت‌شده ۳۱۰
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۳۱۱
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۳۱۱
تعیین بار محوری برای بیرینگ‌های تکی یا جفتی پشت سر هم ۳۱۱
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۳۱۳
طراحی چیدمان بیرینگ‌ها ۳۱۴

طرح‌های بیرینگ

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه بار محوری را فقط در یک جهت تحمل می‌کنند. این بیرینگ‌ها عموماً نسبت به بیرینگ دیگری تنظیم می‌شوند.

محدوده تولیدات بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای شامل بیرینگ‌ها در سری‌های B 72 و B 73 است. دو گونه از بیرینگ‌ها برای کاربردهای مختلف موجود می‌باشند،

- بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره
- بیرینگ‌ها در طرح اصلی برای استفاده تکی (غیرقابل استفاده به صورت جفتی)

زاویه تماس در این بیرینگ‌ها ° 40 می‌باشد (شکل ۱). بنابراین توانایی تحمل بارهای محوری زیادی را دارند. این بیرینگ‌ها غیرقابل تفکیک هستند و هر رینگ بیرینگ دارای یک پیشانی بلند و یک پیشانی کوتاه است. پیشانی کوتاه اجازه جازدن تعداد بیشتری ساچمه را می‌دهد که به همین علت ظرفیت حمل بار بیرینگ نسبتاً زیاد است.

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه در سری‌های ابعادی، طرح‌ها و اندازه‌های دیگر نیز موجود می‌باشند. برای اطلاعات بیشتر در رابطه با این بیرینگ‌ها به کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کنید.

طرح اصلی بیرینگ‌ها

طرح اصلی بلبیرینگ‌های یک ردیفه تماس زاویه‌ای در چیدمان‌هایی که فقط از یک بیرینگ در هر موقعیت استفاده می‌شود، بکار می‌رود. تلرانس پهنا و بیرون‌زدگی (Stand Out) رینگ‌ها در محدوده استاندارد می‌باشند، لذا این بیرینگ‌ها برای نصب جفتی مناسب نیستند.

بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره

بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره به صورت خاصی تولید می‌شوند. به طوری که پس از نصب به صورت جفتی (با هر ترکیبی)، بدون نیاز به لایی فلزی تنظیم و یا تجهیزات مشابه، لقی داخلی یا پیش بار معینی به دست آمده و توزیع بار در بیرینگ‌ها یکنواخت است. بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره در شماره فنی خود دارای پسوندی می‌باشند که لقی داخلی (CA، CB و CC) و یا پیش بار (GA، GB و GC) را قبل از نصب نشان می‌دهد.

هنگام سفارش این بیرینگ‌ها باید تعداد بیرینگ‌های تکی لازم و نه تعداد جفت‌های مورد نیاز، ذکر شود.

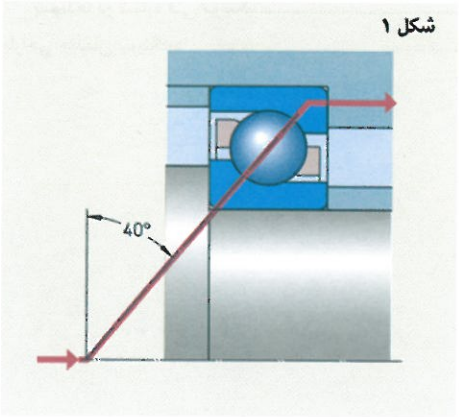
بیرینگ‌های جفتی (شکل ۲) در شرایطی که ظرفیت حمل بار یک بیرینگ کم باشد. (چیدمان پشت سر هم) و یا بار ترکیبی و بار محوری از دو جهت اعمال می‌شود، چیدمان‌های جلو به جلو و پشت به پشت استفاده می‌شوند.

در چیدمان پشت سر هم (الف) خطوط نیرو موازی هستند و بارهای شعاعی و محوری به طور مساوی بین بیرینگ‌ها تقسیم می‌شوند. البته مجموعه دو بیرینگ فقط بار محوری را در یک جهت تحمل می‌کند. در صورتی که بار محوری در جهت مخالف نیز اعمال شود و یا بار ترکیبی وجود داشته باشد، بیرینگ سومی باید در مقابل جفت پشت سر هم قرار گیرد.

خطوط بار در چیدمان پشت به پشت (ب) به سمت محور بیرینگ واگرا می‌شوند. بار محوری در این چیدمان از هر دو جهت تحمل می‌شود (در هر جهت توسط یک بیرینگ) این چیدمان سفتی نسبتاً بالایی ایجاد می‌کند و می‌تواند ممان خمشی را نیز تحمل کند.

خطوط بار در چیدمان جلو به جلو (ج) به سمت محور بیرینگ همگرا می‌شوند. بار محوری در این چیدمان از هر دو جهت تحمل می‌شود (در هر جهت توسط یک بیرینگ). سفتی این چیدمان مانند چیدمان پشت به پشت نبوده و برای تحمل ممان خمشی زیاد مناسب نیست.

شکل ۱



بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره را می‌توان در چیدمان‌هایی با بیرینگ‌های تکی نیز استفاده کرد. در این شرایط نیز دارای مزایایی نسبت به بیرینگ‌های تکی می‌باشند، زیرا اکثر این بیرینگ‌ها از کلاس SKF اکسپلورر بوده که دارای دقت بالا، ظرفیت تحمل بار بیشتر و قابلیت کار در سرعت‌های بالاتر می‌باشند.

بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر

بلبیرینگ‌ها تماس زاویه‌ای کلاس SKF اکسپلورر با کارایی بالا در جداول بیرینگ‌ها با رنگ آبی مشخص شده‌اند. بیرینگ‌های اکسپلورر دارای شماره فنی مشابه بیرینگ‌های معمولی هستند، نظیر 7208 BECBP، ولی بیرینگ و جعبه آن با کلمه « EXPLORER » مشخص شده‌اند.

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه‌ای مطابق استاندارد ISO 15:1998 می‌باشند.

تلرانس‌ها

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه در طرح اصلی برای استفاده تکی، مطابق تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. بلبیرینگ‌های طرح استاندارد برای استفاده جفتی چند منظوره با تلرانس‌های دقیق‌تر از نرمال ساخته می‌شوند.

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای کلاس اکسپلورر فقط برای استفاده جفتی و با دقت‌های ابعادی P6 و دقت‌های حرکتی P5 ساخته می‌شوند.

مقادیر تلرانس‌ها مطابق استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جداول ۳ تا ۵ از صفحه ۱۱۳ آورده شده‌اند.

لقی داخلی و پیش بار

لقی داخلی بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه فقط بعد از نصب تعیین می‌شود و به تنظیم آن نسبت به بیرینگ دیگر، که موقعیت محوری را در جهت مقابل مشخص می‌کند، بستگی دارد.

بلبیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره در سه کلاس لقی و سه کلاس پیش بار مختلف تولید می‌شوند. کلاس‌های لقی عبارتند از،

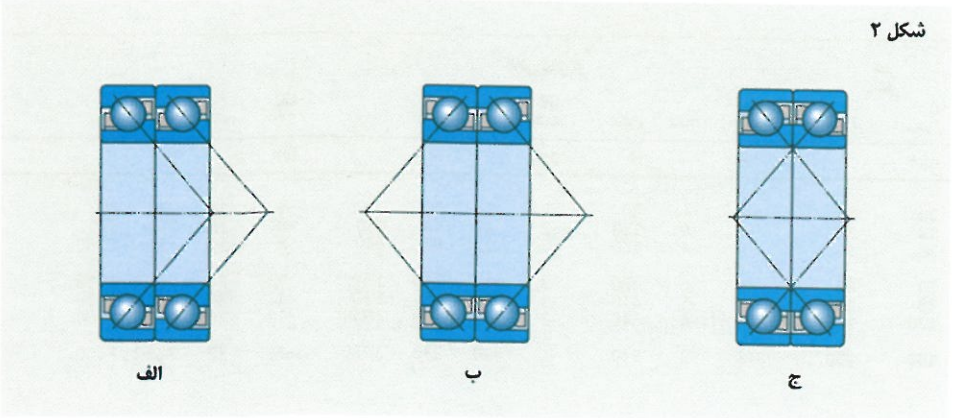
- CA لقی محوری کم‌تر از نرمال
- CB لقی محوری نرمال (استاندارد)
- CC لقی محوری بیشتر از نرمال

بیرینگ‌ها با کلاس لقی CB استاندارد هستند. موجود بودن بیرینگ‌ها با کلاس‌های لقی دیگر در ماتریس ۱ صفحه ۳۱۵ آورده شده است. بیرینگ‌ها برای نصب جفتی را می‌توان در مجموعه‌هایی شامل هر تعداد بیرینگ در کنار هم بکار برد.

کلاس‌های پیش بار بیرینگ‌های جفتی چند منظوره عبارتند از،

- GA پیش بار کم (استاندارد)
- GB پیش بار متوسط
- GC پیش بار زیاد

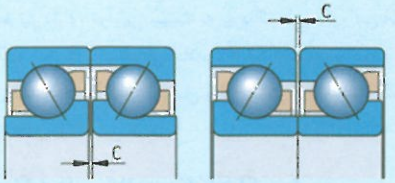
شکل ۲



بیرینگ‌ها با کلاس پیش بار GA استاندارد هستند (ماتریس ۱ در صفحه ۳۱۵). در مقایسه با بیرینگ‌ها با کلاس لقی، بیرینگ‌ها با کلاس پیش بار را فقط می‌توان در مجموعه‌های دوتایی بکار برد، در غیر این صورت پیش بار افزایش می‌یابد.

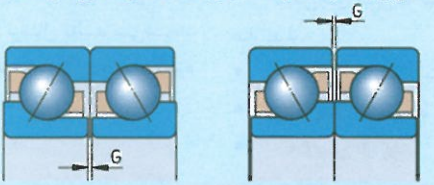
مقادیر کلاس‌های لقی در جدول ۱ و مقادیر کلاس‌های پیش بار در جدول ۲ آورده شده‌اند. این مقادیر برای مجموعه بیرینگ‌های نصب‌نشده به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو و بدون بار می‌باشند.

جدول ۱ لقی بلبیرینگهای تماس زاویه ای یک ردیفه برای نصب جفتی بصورت پشت به پشت یا جلو به جلو



قطر داخلی d		لقی داخلی محوری					
		CA		CB		CC	
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max
mm		µm					
10	18	5	13	15	23	24	32
18	30	7	15	18	26	32	40
30	50	9	17	22	30	40	48
50	80	11	23	26	38	48	60
80	120	14	26	32	44	55	67
120	180	17	29	35	47	62	74
180	250	21	37	45	61	74	90

جدول ۲ پیش بار بلبیرینگهای تماس زاویه ای یک ردیفه برای نصب جفتی بصورت پشت به پشت یا جلو به جلو



قطر داخلی d		کلاس پیش بار											
		GA			GB				GC				
بیشتر از	تا و شامل	min	max	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
mm		µm		N	µm		N		µm		N		
10	18	+4	-4	80	-2	-10	30	330	-8	-16	230	660	
18	30	+4	-4	120	-2	-10	40	480	-8	-16	340	970	
30	50	+4	-4	160	-2	-10	60	630	-8	-16	450	1 280	
50	80	+6	-6	380	-3	-15	140	1 500	-12	-24	1 080	3 050	
80	120	+6	-6	410	-3	-15	150	1 600	-12	-24	1 150	3 250	
120	180	+6	-6	540	-3	-15	200	2 150	-12	-24	1 500	4 300	
180	250	+8	-8	940	-4	-20	330	3 700	-16	-32	2 650	7 500	

عدم همراستایی

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه توانایی کمی در تحمل عدم همراستایی دارند. میزان عدم همراستایی شفت نسبت به نشیمنگاه، که باعث ایجاد نیروهای اضافی زیاد نشود، به لقی بیرینگ در حین کار، ابعاد بیرینگ، طرح داخلی و نیروها و ممان‌های وارد به بیرینگ بستگی دارد. به علت رابطه پیچیده عوامل مؤثر، تعیین مقدار کلی برای عدم همراستایی مجاز امکان‌پذیر نیست.

در بیرینگ‌هایی که به صورت جفتی نصب می‌شوند، خصوصاً بیرینگ‌ها با لقی محوری کم در چیدمان پشت به پشت، عدم همراستایی باعث افزایش نیروی وارده به ساچمه‌ها و در نتیجه افزایش تنش در قفسه‌ها و کاهش عمر بیرینگ‌ها می‌شود. همچنین هر گونه عدم همراستایی رینگ‌های بیرینگ باعث افزایش سر و صدا می‌شود.

تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ

بلبیرینگ‌های تماس زاویه تحت عملیات حرارتی خاصی قرار می‌گیرند. لذا هنگامی که با قفسه‌های فولادی، برنجی یا PEEK تولید می‌شوند می‌توانند تا دمای 150+ °C نیز کار کنند.

قفسه‌ها

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه، وابسته به ابعاد و سری با یکی از انواع قفسه‌های شرح داده‌شده در زیر و نشان داده‌شده در شکل ۳ تولید می‌شوند.

- قفسه نوع پنجره‌ای از جنس پلی آمید تقویت‌شده با الیاف شیشه (تولیدشده به روش تزریق پلاستیک) و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها با پسوند P در شماره فنی بیرینگ (الف)
- قفسه نوع پنجره‌ای از جنس پلی اتراترکتون (PEEK) تقویت‌شده با الیاف شیشه (تولیدشده به روش تزریق پلاستیک) و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها با پسوند PH در شماره فنی بیرینگ
- قفسه برنجی پرسکاری‌شده نوع پنجره‌ای و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، با پسوند Y در شماره فنی بیرینگ (ب)
- قفسه برنجی ماشینکاری‌شده نوع پنجره‌ای و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، با پسوند M در شماره فنی بیرینگ (ج)

موجود بودن بیرینگ‌ها با قفسه‌های مختلف در ماتریس ۳ صفحه ۳۱۵ مشخص شده است.

بیرینگ‌ها با قفسه فولادی نوع پنجره‌ای پرسکاری‌شده، با پسوند J در شماره فنی و قفسه فولادی نوع پنجره‌ای ماشینکاری‌شده با پسوند F در شماره فنی بیرینگ، نیز ممکن است تولید شوند.

توجه:

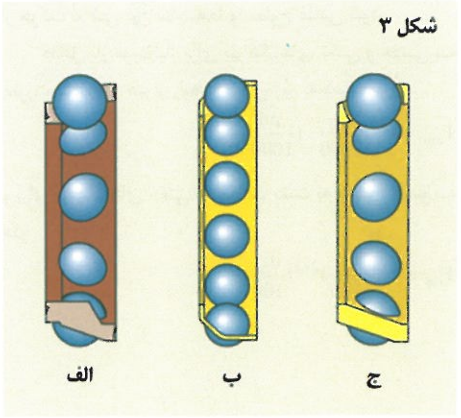
بیرینگ‌ها با قفسه پلی آمید 6.6 می‌توانند تا دمای 120+ °C کار کنند. روانکارهای معمول برای بیرینگ‌های عموماً اثر تعیین‌کننده‌ای بر خواص قفسه ندارد، بجز انواع محدودی از روغن‌های مصنوعی و گریس‌ها بر پایه این روغن‌ها، و روانکارهای محتوی مقادیر زیادی افزودنی‌های EP که در دمای بالا بکار می‌روند.

برای جزئیات بیشتر در رابطه با مقاومت قفسه‌ها به حرارت کاربرد آنها به بخش « جنس‌قفسه‌ها » در صفحه ۱۲۸ مراجعه کنید.

سرعت اسمی برای بیرینگ‌های جفت‌شده

سرعت مرجع که در جداول برای بیرینگ تکی ذکر شده است، برای بیرینگ‌هایی که به صورت جفتی بکار می‌روند، باید تقریباً 20٪ کاهش داده شوند.

شکل ۳



ظرفیت حمل بار بیرینگ‌های جفت‌شده

مقادیر ظرفیت اسمی حمل بار و حد بار خستگی در جداول بیرینگ‌ها برای بیرینگ تکی صحیح می‌باشند. برای بیرینگ‌هایی که به صورت جفتی بدون فاصله در کنار هم نصب می‌شوند، مقادیر زیر باید بکار برده شوند.

- ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی برای بیرینگ‌های استاندارد در کلیه چیدمان‌ها و بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر در چیدمان پشت به پشت یا جلو به جلو

$$C = 1.62 \times C_{\text{Single bearing}}$$

- ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی برای بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر در چیدمان پشت سر هم

$$C = 2 \times C_{\text{Single bearing}}$$

- ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی

$$C_o = 2 \times C_{o\ \text{Single bearing}}$$

- حد بار خستگی

$$P_u = 2 \times P_{u\ \text{Single bearing}}$$

بار حداقل

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد، با اهمیت است. در این شرایط نیروی اینرسی ساچمه‌ها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین ساچمه‌ها و سطوح غلتش شود.

حداقل بار مورد نیاز برای بیرینگ‌های تکی و جفتی به صورت پشت سر هم از رابطه تقریبی زیر به دست می‌آید.

$$F_{am} = k_a \frac{C_0}{1000} \left(\frac{n d_m}{100000}\right)^2$$

و برای بیرینگ‌های جفتی به صورت پشت به پشت و جلو به جلو

$$F_{rm} = k_r \left(\frac{\nu n}{1000}\right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100}\right)^2$$

جدول ۳ ضرایب بار حداقل

سری بیرینگ	ضرایب بار حداقل k_a	k_r
72 BE	1,4	0,095
72 B	1,2	0,08
73 BE	1,6	0,1
73 B	1,4	0,09

که در آن

F_{am} = بار حداقل محوری، kN

F_{rm} = بار حداقل شعاعی، kN

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی برای بیرینگ تکی یا بیرینگ جفت‌شده، kN (جداول بیرینگ‌ها)

k_a = ضریب بار حداقل محوری مطابق جدول ۳

k_r = ضریب بار حداقل شعاعی مطابق جدول ۳

ν = لزجت روغن در دمای کارکرد، mm^2/s

n = سرعت دورانی، r/min

d_m = قطر متوسط بیرینگ = 0.5 (d+D)، mm

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است. در غیر این صورت بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای باید تحت بار اضافی قرار گیرند. بیرینگ‌های تکی و جفتی به صورت پشت سر هم را می‌توان با تنظیم رینگ‌های داخلی و خارجی و یا با استفاده از فنر پیش بار محوری کرد.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای بیرینگ‌های تکی و جفتی به صورت پشت سر هم

اگر $F_a/F_r \le 1.14$ $\quad P = F_r$

اگر $F_a/F_r > 1.14$ $\quad P = 0.35F_r + 0.57F_a$

برای تعیین بار محوری F_a به بخش « تعیین بار محوری برای بیرینگ‌های تکی یا جفتی پشت سر هم » مراجعه کنید.

برای بیرینگ‌های جفتی به صورت پشت به پشت و جلو به جلو

اگر $F_a/F_r \le 1.14$ $\quad P = F_r + 0.55F_a$

اگر $F_a/F_r > 1.14$ $\quad P = 0.57F_r + 0.93F_a$

که در آن F_a و F_r نیروهای وارده بر بیرینگ‌های جفتی می‌باشند.

بار معادل استاتیکی بیرینگ‌ها

برای بیرینگ‌های تکی و جفتی به صورت پشت سر هم

$$P_0 = 0.5F_r + 0.26F_a$$

و اگر $P_0 < F_r$ باشد باید از $P_0 = F_r$ استفاده کرد. برای تعیین بار محوری F_a به بخش« تعیین بار محوری برای بیرینگ‌های تکی یا جفتی پشت سر هم » مراجعه کنید.

برای بیرینگ‌های نصب‌شده به صورت جفتی پشت به پشت و جلو به جلو

$$P_0 = F_r + 0.52F_a$$

که در آن F_a و F_r نیروهای وارده بر بیرینگ‌های جفتی می‌باشند.

تعیین بار محوری برای بیرینگ‌های تکی یا جفتی پشت سر هم

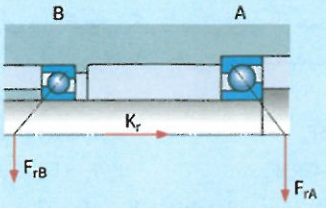
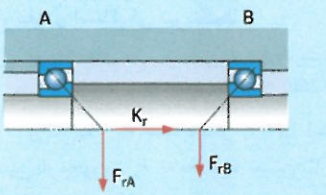
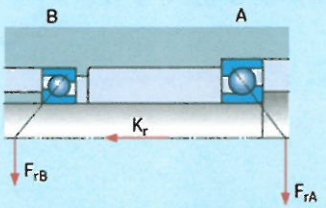
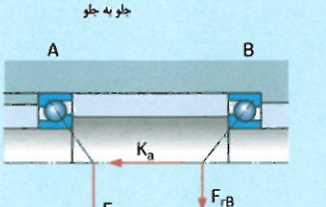
هنگامی که بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه تحت بار شعاعی قرار می‌گیرند، بار از یک سطح غلتش به سطح دیگر با زاویه‌ای نسبت به محور بیرینگ جابجا می‌شود. بنابراین یک بار محوری داخلی در بیرینگ ایجاد می‌شود. این موضوع باید در محاسبات بار معادل در چیدمان بیرینگ‌هایی که شامل دو بیرینگ تکی و یا بیرینگ‌های جفتی به صورت پشت سر هم است، در نظر گرفته شود.

روابط مورد نیاز در جدول ۴ صفحه ۳۱۲ برای چیدمان‌ها و بارگذاری‌های مختلف آورده شده‌اند. این روابط برای بیرینگ‌هایی که نسبت به هم تنظیم شده‌اند تا لقی صفر (و بدون هیچ پیش بار) داشته باشند، صحیح هستند. در چیدمان‌های نشان داده شده بیرینگ A تحت بار شعاعی F_{rA} و بیرینگ B تحت بار شعاعی F_{rB} می‌باشد. F_{rA} و F_{rB} همواره مثبت در نظر گرفته می‌شوند حتی اگر در خلاف جهت نشان داده شده در شکل اعمال شوند. بار شعاعی در مرکز فشار بیرینگ‌ها (فاصله a که در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است) وارد می‌شود.

متغیر R

متغیر R در جدول ۴ اثر شرایط تماس در داخل بیرینگ‌ها را در معادلات وارد می‌کند. مقادیر R، تابعی از K_a/C بوده و از نمودار ۱، صفحه ۳۱۳ به دست می‌آیند. K_a بار محوری وارده بر شفت یا نشیمنگاه و C ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی بیرینگی است که باید بار محوری را تحمل کند. برای $K_a = 0$ از R=1 استفاده کنید.

جدول ٤ بار محوری در چیدمان بیرینگها شامل دو بیرینگ تماس زاویه ای یک ردیفه در طرحهای B یا BE و/یا بیرینگهای جفت شده بصورت پشت سر هم

چیدمان بیرینگ	شرایط بار	نیروهای محوری	
پشت به پشت 	**Case 1a** $F_{rA} \geq F_{rB}$ $K_a \geq 0$	$F_{aA} = R\,F_{rA}$	$F_{aB} = F_{aA} + K_a$
جلو به جلو 	**Case 1b** $F_{rA} < F_{rB}$ $K_a \geq R\,(F_{rB} - F_{rA})$	$F_{aA} = R\,F_{rA}$	$F_{aB} = F_{aA} + K_a$
	Case 1c $F_{rA} < F_{rB}$ $K_a < R\,(F_{rB} - F_{rA})$	$F_{aA} = F_{aB} - K_a$	$F_{aB} = R\,F_{rB}$
پشت به پشت 	**Case 2a** $F_{rA} \leq F_{rB}$ $K_a \geq 0$	$F_{aA} = F_{aB} + K_a$	$F_{aB} = R\,F_{rB}$
جلو به جلو 	**Case 2b** $F_{rA} > F_{rB}$ $K_a \geq R\,(F_{rA} - F_{rB})$	$F_{aA} = F_{aB} + K_a$	$F_{aB} = R\,F_{rB}$
	Case 2c $F_{rA} > F_{rB}$ $K_a < R\,(F_{rA} - F_{rB})$	$F_{aA} = R\,F_{rA}$	$F_{aB} = F_{aA} - K_a$

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند، در زیر شرح داده شده‌اند.

A زاویه تماس 30°

AC زاویه تماس 25°

B زاویه تماس 40°

CA بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره، وقتی به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو نصب شوند لقی محوری داخلی قبل از نصب کم‌تر از نرمال (CB) است.

CB بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره، وقتی به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو نصب شوند لقی محوری داخلی قبل از نصب نرمال می‌باشد.

CC بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره، وقتی به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو نصب شوند لقی محوری داخلی قبل از نصب بیشتر از نرمال (CB) است.

DB دو بیرینگ جفت‌شده به صورت پشت به پشت

DF دو بیرینگ جفت‌شده به صورت جلو به جلو

DT دو بیرینگ جفت‌شده به صورت پشت سر هم

E طرح داخلی بهینه شده است

F قفسه فولادی نوع پنجره‌ای ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

GA بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره، وقتی به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو نصب شوند پیش بار قبل از نصب بار کم می‌باشد

GB بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره، وقتی به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو نصب شوند پیش بار قبل از نصب متوسط می‌باشد

GC بیرینگ‌ها برای نصب جفتی چند منظوره، وقتی به صورت پشت به پشت یا جلو به جلو نصب شوند پیش بار قبل از نصب زیاد می‌باشد

J قفسه نوع پنجره‌ای از جنس ورق فولادی پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

M قفسه برنجی نوع پنجره‌ای ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، طرح‌های متفاوت با یک رقم بعد از M نظیر M1 مشخص می‌شوند

N1 یک شیار ثابت کردن در پیشانی بزرگ رینگ خارجی

N2 دو شیار ثابت کردن در پیشانی بزرگ رینگ خارجی با موقعیت 180° نسبت به‌یکدیگر

P قفسه نوع پنجره‌ای از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

PH قفسه نوع پنجره‌ای از جنس پلی اتراترکتون (PEEK) تقویت‌شده با الیاف شیشه و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

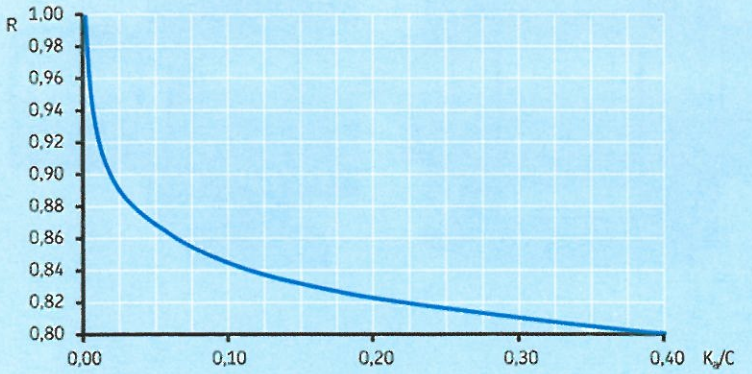
P5 دقت‌های حرکتی و ابعادی مطابق استاندارد ISO کلاس 5

P6 دقت‌های حرکتی و ابعادی مطابق استاندارد ISO کلاس 6

W64 بیرینگ با روغن جامد

Y قفسه برنجی نوع پنجره‌ای پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

نمودار ۱



طراحی چیدمان بیرینگ‌ها

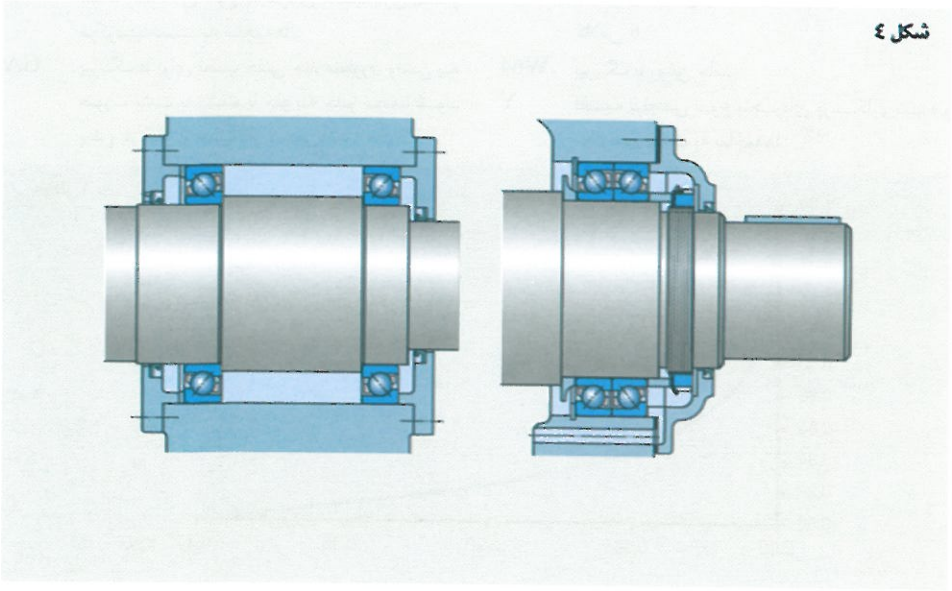
هنگام طراحی چیدمان بیرینگ‌ها شامل بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه، توجه شود که این بیرینگ‌ها باید به همراه یک بیرینگ دوم و یا به صورت مجموعه‌ای از چند بیرینگ بکار برده شوند. (شکل ۴).

هنگامی که از دو بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه استفاده می‌شود، آنها را باید نسبت به یکدیگر تنظیم کرده تا پیش بار یا لقی مورد نیاز به دست آید (بخش « پیش بار بیرینگ‌ها » در صفحه ۱۹۴). وقتی که بیرینگ‌های جفتی چند منظوره بکار برده می‌شوند و بیرینگ‌ها بدون واسطه کنار هم قرار می‌گیرند و نیازی به تنظیم نمی‌باشد، پیش بار یا لقی مورد نظر با انتخاب بیرینگ‌های مناسب با کلاس پیش بار یا لقی و با انتخاب انطباق مناسب بیرینگ بر روی شفت و در نشیمنگاه به دست می‌آید.

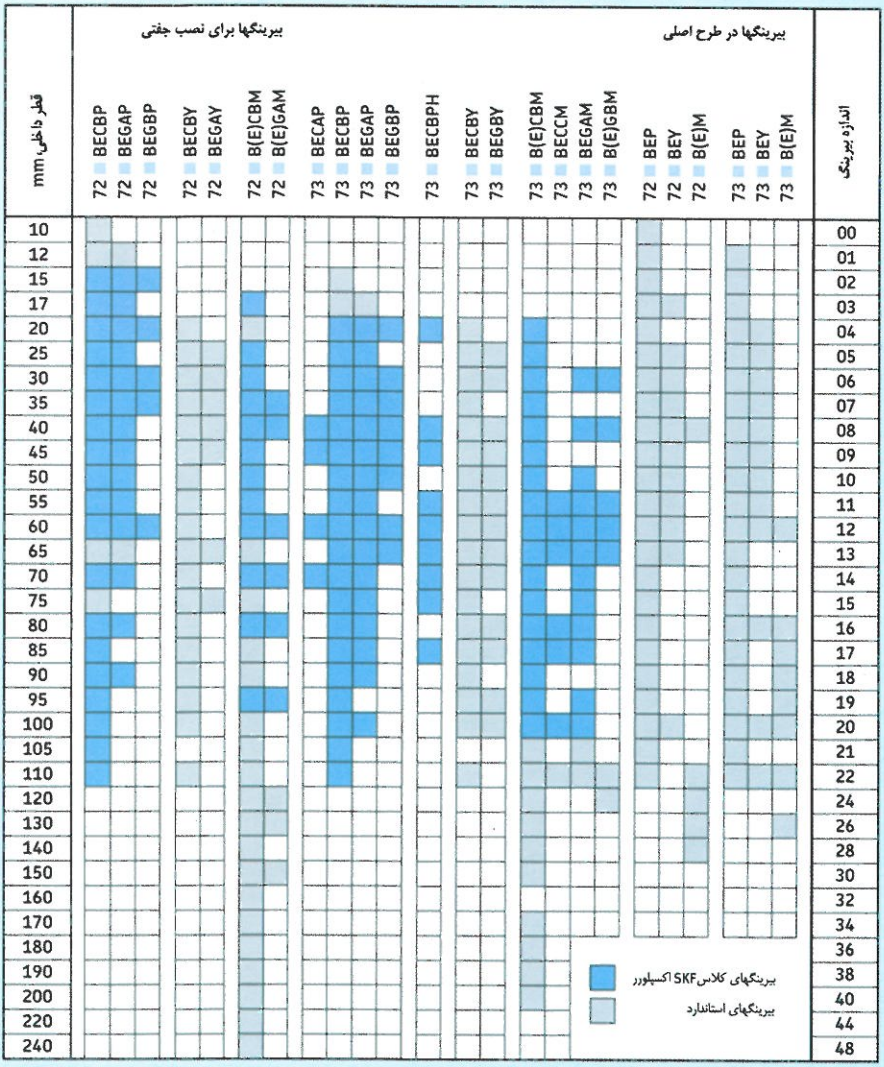
برای کارکرد مناسب و افزایش قابلیت اطمینان، تنظیم درست بیرینگ‌ها و یا انتخاب صحیح پیش بار یا لقی با اهمیت است. اگر لقی بیرینگ در حین کار خیلی زیاد باشد از تمام ظرفیت حمل بار بیرینگ استفاده نمی‌شود، از طرف دیگر پیش بار اضافی باعث افزایش اصطکاک و دمای کارکردشده و در نتیجه عمر بیرینگ کاهش می‌یابد. در بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای سری B 72 و B 73 (زاویه تماس 40°) شرایط غلتش کامل فقط وقتی که نسبت بار $F_a/F_r \geq 1$ باشد، به دست می‌آید.

چیدمان‌های پشت به پشت و جلو به جلو که در آنها بار محوری در یک جهت بیشتر است، نیاز به توجه خاص دارند. زیرا در این شرایط یکی از بیرینگ‌ها بدون بار شده و شرایط نامناسب غلتش ساچمه‌های آن باعث افزایش سر و صدا، گسستگی در فیلم روانکار و افزایش تنش در قفسه می‌شود. در این شرایط لقی کارکرد صفر بهترین حالت می‌باشد که باید به نحوی آن را ایجاد کرد. (برای مثال به کمک یک فنر).

شکل ٤



ماتریس ۱ محدوده تولیدات استاندارد - بلبیرینگهای تماس زاویه ای یک ردیفه



برای اطلاعات بیشتر به کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کنید

فصل (۲-۲)

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای

دو ردیفه

طرح‌های بیرینگ ۳۱۸
طرح اصلی بیرینگ‌ها ۳۱۹
بیرینگ‌های آب‌بند شده ۳۱۹
بیرینگ‌ها با رینگ داخلی دو تکه ۳۲۰
بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر ۳۲۱
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۳۲۱
ابعاد ۳۲۱
تلرانس‌ها ۳۲۱
لقی داخلی ۳۲۲
عدم همراستایی ۳۲۲
تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ ۳۲۲
قفسه‌ها ۳۲۲
بار حداقل ۳۲۳
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۳۲۴
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۳۲۴
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۳۲۴

طرح‌های بیرینگ

طرح بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه مشابه دو بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه جفت‌شده می‌باشد، که پهنای کم‌تری دارند. این بلبیرینگ‌ها بار شعاعی و محوری را از هر دو جهت تحمل می‌کنند. این بیرینگ‌ها در چیدمان سفتی بالایی ایجاد کرده و می‌توانند ممان خمشی را نیز تحمل کنند.

محدوده استاندارد بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه شامل طرح‌های زیر است (شکل ۱).

- طرح اصلی بیرینگ‌ها (الف)
- بیرینگ‌های آب‌بند شده (ب)
- بیرینگ‌ها با رینگ داخلی دو تکه (ج)

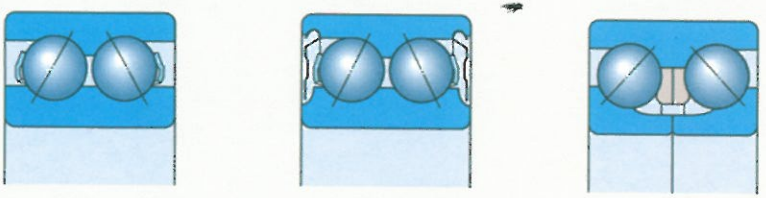
محدوده استاندارد تولیدات در ماتریس ۱ صفحه ۳۲۵ آورده شده‌اند.

این محدوده شامل بیرینگ‌ها از قطر 10 mm تا 110 mm است. برای اطلاعات بیشتر در رابطه با انواع دیگر بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه به کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کنید.

بیرینگ‌های سری‌های A 52 و A 53

طرح اصلی بیرینگ‌های سری‌های A 32 و A 33 که در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند. به همراه بیرینگ‌های آب‌بند شده طرح 2Z و 2RS1 معادل بیرینگ‌های سری 52 و 53 در آمریکای شمالی می‌باشند. این بیرینگ‌ها عملکرد مشابهی داشته و از نظر ابعادی یکسان هستند (بجز پهنای بیرینگ 5200). ولی بیرینگ‌های آب‌بند شده گریس‌های متفاوتی دارند. بیرینگ‌های سری‌های 52 و 53 محتوی گریس با پایه روغن معدنی و غلیظ‌کننده پلی اوره برای کارکرد در دمای بالا می‌باشند. محدوده دمای کارکرد این گریس °C 30- تا °C 140+ بوده و لزجت روغن پایه در دمای °C 40 برابر $115\ mm^2/s$ و در °C 100 برابر $12\ mm^2/s$ است.

شکل ۱



الف ب ج

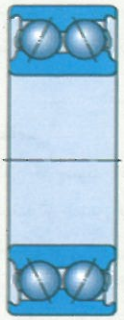
طرح اصلی بیرینگ‌ها

بلبیرینگ‌های تماس زاویه دو ردیفه سری‌های 32 A و 33 A دارای طرح داخلی بهینه شده بوده و شیار جازنی ساچمه ندارند. مزایای آنها عبارتند از:

- کاربردهای عمومی
- ظرفیت حمل بار شعاعی بالا و تحمل بار محوری از هر دو طرف
- سر و صدای کم در حین کارکرد

این بیرینگ‌ها دارای زاویه تماس 30° بوده و مجموعه ساچمه‌ها دارای چیدمان پشت به پشت می‌باشند. بیرینگ‌های استانداردی که با آب‌بند و حفاظ فلزی نیز تولید می‌شود بنابر دلایل ساخت دارای فروفتگی محل نصب آب‌بند در رینگ داخلی و خارجی هستند (شکل ۲).

شکل ۲



بیرینگ‌های آب‌بند شده

اکثر بیرینگ‌های طرح استاندارد با آب‌بند و حفاظ فلزی نیز تولید می‌شوند (ماتریس ۱ صفحه ۳۲۵). بیرینگ‌های سری‌های 32 A و 33 A از گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی و کلاس غلظت 3 مطابق معیار NLGI پر شده‌اند. این بیرینگ‌ها دارای پسوند MT33 در شماره فنی می‌باشند. این گریس خواص ضدخوردگی خوبی داشته و می‌تواند در محدوده دمای °C 30- تا °C 120+ بکار رود. لزجت روغن پایه آن در °C 40 برابر $98\ mm^2/s$ و در °C 100 برابر $9.4\ mm^2/s$ است. مشخصات گریس در بیرینگ‌های سری 52 A و 53 A در صفحه ۳۱۸ آورده شده است.

بیرینگ‌های آب‌بند شده برای کل عمر خود روانکاری شده‌اند و نیاز به تعمیر و نگهداری ندارند. این بیرینگ‌ها قبل از نصب نباید شسته و تا دمای بیشتر °C 80 گرم شوند.

بیرینگ‌های با حفاظ فلزی

بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی و پسوند 2Z در شماره فنی در دو طرح متفاوت تولید می‌شوند (شکل ۳). حفاظ فلزی از جنس ورق فولادی در بیرینگ‌های کوچک یک شکاف باریک با سطح داخلی رینگ داخلی ایجاد می‌کند (الف). بیرینگ‌های بزرگ‌تر و همه بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپورر دارای فرورفتگی در سطح داخلی رینگ داخلی می‌باشند که حفاظ فلزی در این شیار گسترش می‌یابد (ب).

شکل ۳

الف

ب

بیرینگ‌ها با حفاظ فلزی برای کاربردهایی که در آنها رینگ داخلی دوران می‌کند، مناسب هستند. در صورت دوران رینگ خارجی در سرعت بالا ممکن است گریس از داخل بیرینگ خارج شود.

شکل ٤

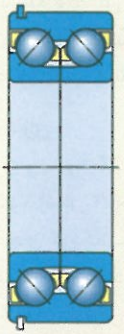
بیرینگ‌ها با آب‌بند تماسی

بیرینگ‌ها با آب‌بند تماسی که پسوند 2RS1 را در شماره فنی خود دارند، مجهز به آب‌بند از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فلزی می‌باشند که در درون فرورفتگی سطح داخلی رینگ داخلی گسترش یافته است، (شکل ۴). لبه آب‌بند به سطح مقابل بر روی رینگ داخلی فشار کمی اعمال می‌کند تا عمل آب‌بندی بهتر انجام گیرد. آب‌بند در درون فرورفتگی رینگ خارجی قرار گرفته و در جای خود محکم می‌شود. دمای کارکرد مجاز برای این نوع آب‌بند از °C 40- تا °C 100+ است ولی می‌توانند برای مدت کم تا دمای °C 120 نیز کار کنند.

در شرایط کارکرد سخت (نظیر سرعت یا دمای بالا) گریس ممکن است از بیرینگ‌های آب‌بند شده خارج شود. در کاربردهایی که این موضوع ممکن است مشکل‌ساز شود، لازم است تمهیداتی در طراحی در نظر گرفته شود.

شکل ٥

الف



ب

بیرینگ‌ها با رینگ داخلی دو تکه

علاوه بر طرح استاندارد، بیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه با رینگ داخلی دو تکه نیز موجود می‌باشند (شکل ۵). این بیرینگ‌ها تعداد ساچمه بیشتری دارند و ظرفیت حمل بار آنها بخصوص در جهت محوری زیاد است.

بیرینگ‌های سری 33 D

بیرینگهای سری 33 D (الف) دارای زاویه تماس °45 بوده و مشخصه داخلی خاصی دارند که می‌توانند بار محوری زیادی را در دو جهت تحمل کنند. این بیرینگ‌ها تفکیک‌پذیر بوده و می‌توان رینگ خارجی به همراه مجموعه قفسه و ساچمه‌ها را مستقل از نیمه‌های رینگ داخلی نصب کرد.

بیرینگ‌های سری 33 DNRCBM

بیرینگ‌های سری 33 DNRCBM (ب) دارای زاویه تماس °40 و شیار محیطی بر روی رینگ خارجی به همراه خار فنری

بوده که ثابت کردن محوری آنها را در فضای کم نشیمنگاه امکان‌پذیر می‌کند. این بیرینگ برای کارکرد در شرایطی که در پمپ‌های گریز از مرکز وجود دارد طراحی شده‌اند ولی می‌توانند در کاربردهای دیگر نیز بکار روند. این بیرینگ‌ها تفکیک‌پذیر نمی‌باشند.

بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه کلاس SKF اکسپلورر که کیفیت بالایی نیز دارند در جداول با رنگ آبی مشخص شده‌اند. بیرینگ‌های اکسپلورر شماره فنی مشابهی با بیرینگ‌های قبلی دارند (برای مثال 3208 ATN9) ولی هر بیرینگ و جعبه آن با کلمه « EXPLORER » مشخص شده است.

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه، بجز پهنای بیرینگ 3200A، مطابق استاندارد ISO 15:1998 می‌باشند.

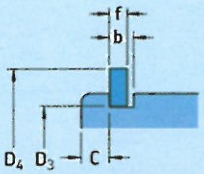
ابعاد شیار خار فنری و خار فنری بیرینگ‌های سری DNRCBM 33 در جدول ۱ آورده شده‌اند. این ابعاد مطابق استاندارد ISO 464:1995 می‌باشند.

تلرانس‌ها

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه در طرح اصلی با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. بلبیرینگ‌های کلاس اکسپلورر و بلبیرینگ‌های سری DNRCBM 33 با تلرانس‌های کلاس P6 تولید می‌شوند.

مقادیر تلرانس‌ها مطابق استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جداول ۳ و ۴ صفحات ۱۱۳ و ۱۱۴ آورده شده‌اند.

جدول ۱ ابعاد شیار خار فنری و خار فنری



شماره فنی بیرینگ	ابعاد					شماره فنی خار فنی
	C	b	f	D_3	D_4	
–	mm					–
3308 DNRCBM	3,28	2,7	2,46	86,8	96,5	SP 90
3309 DNRCBM	3,28	2,7	2,46	96,8	106,5	SP 100
3310 DNRCBM	3,28	2,7	2,46	106,8	116,6	SP 110
3311 DNRCBM	4,06	3,4	2,82	115,2	129,7	SP 120
3313 DNRCBM	4,06	3,4	2,82	135,2	149,7	SP 140

لقی داخلی

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه در سری‌های A 32 و A 33 با لقی محوری نرمال تولید می‌شوند. این بلبیرینگ‌ها همچنین در کلاس لقی بیشتر C3 (ماتریس ۱ در صفحه ۳۲۵) نیز موجود می‌باشند. همچنین بیرینگ‌ها لقی کم‌تر از نرمال نظیر C2 نیز ممکن است موجود باشند.

بیرینگ‌ها در سری‌های D 33 و DNRCBM 33 به طور خاص با لقی محوری مطابق جدول ۲ تولید می‌شوند. این مقادیر در شرایط قبل از نصب و بدون بار صحیح می‌باشند.

عدم همراستایی

عدم همراستایی رینگ خارجی نسبت به رینگ داخلی فقط با ایجاد نیرو بین ساچمه‌ها و مسیر غلتش امکان‌پذیر است. هر میزان عدم همراستایی باعث افزایش سر و صدا در حین کارکرد و کاهش عمر بیرینگ می‌شود.

تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ

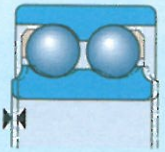
بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای تحت عملیات حرارتی خاص قرار می‌گیرند. لذا هنگامی که با قفسه‌های فولادی و برنجی تولید می‌شوند می‌توانند تا دمای 150 °C+ نیز کار کنند.

قفسه‌ها

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه وابسته به ابعاد و طرح با دو قفسه مشابه از انواع قفسه‌های شرح داده شده در زیر (شکل ۶) تولید می‌شوند.

- قفسه نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها با پسوند TN9 در شماره فنی بیرینگ (الف)
- قفسه نوع Snap از جنس فولاد پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها با پسوند J1 یا بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ (ب)
- قفسه از فولاد پرسکاری‌شده به شکل تاج (Crown) مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ (ج)
- قفسه برنجی نوع چنگکی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی با پسوند MA در شماره فنی بیرینگ (د)

جدول ۲ لقی داخلی محوری بیرینگهای تماس زاویه ای دو ردیفه



قطر داخلی d		لقی داخلی محوری بیرینگهای سری									
		32 A and 33 A						33 D		33 DNRCBM	
		C2		Normal		C3					
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		µm						µm		µm	
–	10	1	11	5	21	12	28	–	–	–	–
10	18	1	12	6	23	13	31	–	–	–	–
18	24	2	14	7	25	16	34	–	–	–	–
24	30	2	15	8	27	18	37	–	–	–	–
30	40	2	16	9	29	21	40	33	54	10	30
40	50	2	18	11	33	23	44	36	58	10	30
50	65	3	22	13	36	26	48	40	63	18	38
65	80	3	24	15	40	30	54	46	71	18	38
80	100	3	26	18	46	35	63	55	83	–	–
100	110	4	30	22	53	42	73	65	96	–	–

- قفسه برنجی نوع پنجره‌ای ماشینکاری‌شده مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، با پسوند M در شماره فنی بیرینگ (هـ)

بیرینگ‌ها با انواع قفسه‌های فوق تولید می‌شوند، لذا می‌توان بیرینگ مناسب را برای دمای کارکرد انتخاب نمود (ماتریس ۱ صفحه ۳۲۵).

توجه:

بیرینگ‌ها با قفسه پلی آمید 6.6 می‌توانند تا دمای 120+ °C کار کنند. روانکارهای معمول برای بیرینگ‌های غلتشی عموماً اثر تعیین‌کننده‌ای بر خواص قفسه ندارد، بجز انواع محدودی از روغن‌های مصنوعی و گریس‌ها بر پایه این روغن‌ها و روانکارهای محتوی مقادیر زیادی افزودنی‌های EP که در دمای بالا بکار می‌روند.

برای جزئیات بیشتر در رابطه با مقاومت قفسه‌ها به حرارت و کاربرد آنها به بخش « جنس قفسه‌ها » در صفحه ۱۲۸ مراجعه کنید.

بار حداقل

بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد، با اهمیت است. در این شرایط نیروی اینرسی ساچمه‌ها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین ساچمه‌ها و سطوح غلتش شود.

حداقل بار مورد نیاز برای بلبیرینگ‌های دو ردیفه تماس زاویه‌ای از رابطه تقریبی زیر به دست می‌آید.

$$F_{rm} = k_r\left(\frac{\nu n}{1000}\right)^{2/3}\left(\frac{d_m}{100}\right)^2$$

که در آن

F_{rm} = بار حداقل شعاعی، kN

k_r = ضریب بار حداقل شعاعی

0.06 برای بیرینگ‌های سری 32 A

0.07 برای بیرینگ‌های سری 33 A

0.095 برای بیرینگ‌های سری 33 D و 33 DNR

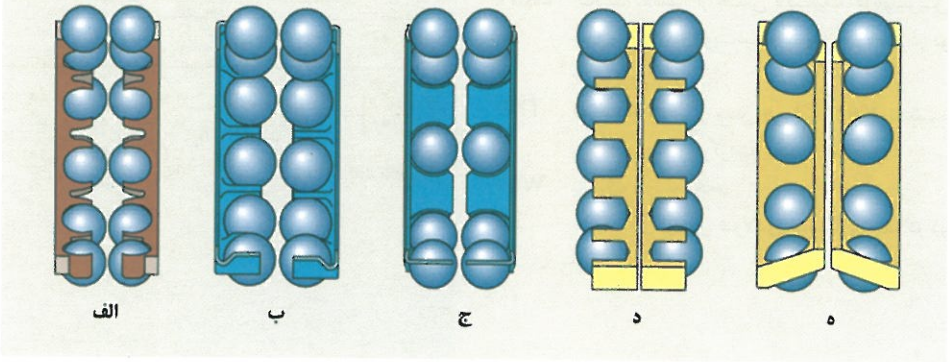
ν = لزجت روغن در دمای کارکرد، mm^2/s

n = سرعت دورانی، r/min

d_m = قطر متوسط بیرینگ =0.5(d+D)، mm

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است. در غیر این صورت بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه باید تحت بار شعاعی اضافی قرار گیرند.

شکل ٦



بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه تحت بار دینامیکی، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

اگر $F_a/F_r \le e$ $P = F_r + Y_1F_a$

اگر $F_a/F_r > e$ $P = XF_r + Y_2F_a$

مقادیر X، Y_1 و Y_2 بستگی به زاویه تماس بیرینگ داشته و در جدول ۳ آورده شده‌اند.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ‌های تماس زاویه دو ردیفه تحت بار استاتیکی، بار معادل از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$P_0 = F_r + Y_0F_a$$

مقدار ضریب Y_0 به زاویه تماس بیرینگ بستگی دارد و در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳ ضرایب محاسباتی برای بلبیرینگهای تماس زاویه ای دوردیفه

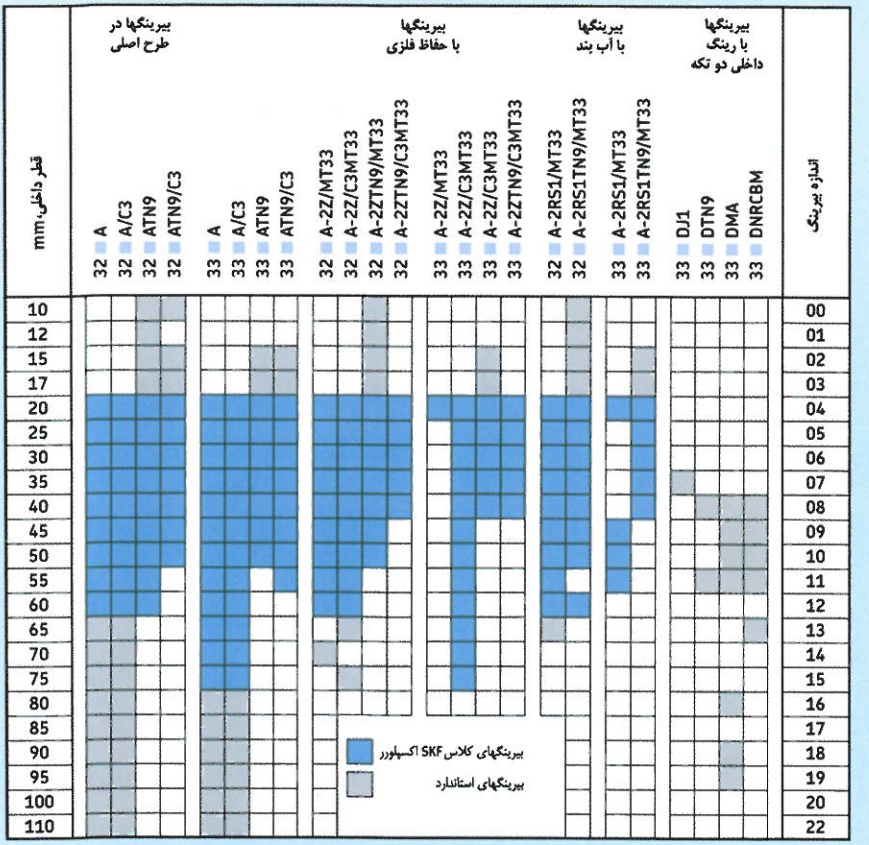
سری بیرینگ	ضرایب محاسباتی				
	e	X	Y_1	Y_2	Y_0
32 A (52 A)	0,8	0,63	0,78	1,24	0,66
33 A (53 A)	0,8	0,63	0,78	1,24	0,66
33 D	1,34	0,54	0,47	0,81	0,44
33 DNRCBM	1,14	0,57	0,55	0,93	0,52

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند، در زیر شرح داده می‌شوند.

A	بلبیرینگ بدون شیار جازنی ساچمه
CB	لقی محوری کنترل‌شده
C2	لقی محوری کم‌تر از نرمال
C3	لقی محوری بیشتر از نرمال
D	رینگ داخلی دو تکه
J1	قفسه نوع Snap از جنس فولاد پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه
M	قفسه برنجی نوع پنجره‌ای ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه
MA	قفسه برنجی نوع چنگکی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی
MT33	گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی و غلظت 3 مطابق معیار NLGI برای محدوده دمای °C 30- تا °C 120+ (میزان گریس در حد نرمال است)
N	شیار خار فنری در رینگ خارجی
NR	شیار خار فنری در رینگ خارجی به همراه خار فنری
P5	دقت‌های ابعادی و حرکتی مطابق استاندارد ISO کلاس 5
P6	دقت‌های ابعادی و حرکتی مطابق استاندارد ISO کلاس 6
P62	P6+C2
P63	P6+ C3
2RS1	آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در دو طرف بلبیرینگ
TN9	قفسه نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها
W64	بیرینگ با روغن جامد
2Z	حفاظ فلزی از ورق فولادی پرسکاری‌شده در دو طرف بلبیرینگ

ماتریس ۱ محدوده تولیدات استاندارد - بلبیرینگهای تماس زاویه ای دو ردیفه



بیرینگها در سریهای A 52 و A 53

ماتریس فوق برای بیرینگهای سریهای A 52 و A 53، که مشابه بیرینگهای سریهای A 32 و A 33 می باشند، نیز صحیح است. هر چند که بیرینگهای آب بند سریهای A 52 و A 53 با گریس دما بالا پر شده اند ولی پسوندی در شماره فنی ندارند (صفحه ۳۱۸).

بیرینگها با قطر داخلی بیشتر از 110 mm

به کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کنید.

فصل (۲-۳)

بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس

طرح‌های بیرینگ ۳۲۸
طرح اصلی بیرینگ‌ها ۳۲۸
بیرینگ با شیار ثابت‌کننده ۳۲۸
بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر ۳۲۹
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۳۲۹
ابعاد ۳۲۹
تلرانس‌ها ۳۲۹
لقی داخلی ۳۲۹
عدم همراستایی ۳۳۰
تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ ۳۳۰
قفسه‌ها ۳۳۰
بار حداقل ۳۳۰
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۳۳۱
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۳۳۱
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۳۳۱
طراحی چیدمان بیرینگ‌ها ۳۳۱

طرح‌های بیرینگ

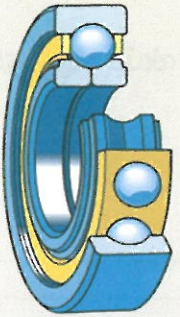
بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس از انواع بلبیرینگ تماس زاویه‌ای یک ردیفه می‌باشند، که سطوح غلتش آنها به شکلی طراحی‌شده که می‌تواند بار محوری را از هر دو جهت تحمل کند. بار شعاعی نیز تا نسبتی از بار محوری توسط این بلبیرینگ‌ها قابل تحمل است. این بیرینگ‌ها فضای محوری بسیار کم‌تری نسبت به بیرینگ‌های دور ردیفه اشغال می‌کنند.

محدوده استاندارد تولیدات شامل سری‌های QJ 2 و QJ 3 (شکل ۱) می‌باشد. که در طرح‌های زیر موجود می‌باشند.

- طرح اصلی بیرینگ و
- بیرینگ با شیار ثابت‌کننده

به علاوه بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس در ابعاد، سری‌ها، طرح‌ها و اندازه‌های دیگری نیز موجود می‌باشند. برای اطلاعات بیشتر به کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کنید.

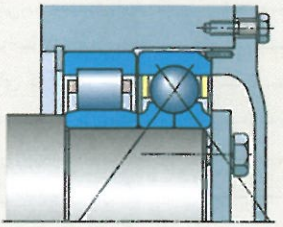
شکل ۱



طرح اصلی بیرینگ‌ها

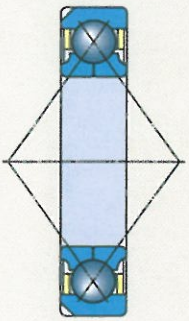
بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس در طرح اصلی دارای زاویه تماس ° 35 بوده و به شکلی طراحی شده‌اند که بتوانند بار محوری زیادی را تحمل کنند. رینگ داخلی این بیرینگ‌ها دو تکه می‌باشد. لذا می‌توان تعداد ساچمه‌های زیادی را در آنها جا زد و به همین علت ظرفیت حمل بار این بیرینگ‌ها زیاد است. این بیرینگ، تفکیک‌پذیر بوده و رینگ خارجی آنها همراه ساچمه‌ها و قفسه را می‌توان مستقل از دو تکه رینگ داخلی نصب کرد.

شکل ۲



هر دو نیمه رینگ داخلی بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر دارای فرورفتگی در پیشانی خود می‌باشند. این موضوع باعث بهبود روانکاری در این نوع بیرینگ می‌شود. (هنگامی که به همراه بیرینگ‌های استوانه‌ای بکار می‌رود) (شکل ۲). همچنین از این فرورفتگی‌ها می‌توان برای در آوردن بیرینگ استفاده کرد.

شکل ۳



بیرینگ با شیار ثابت‌کننده

در بیشتر کاربردها از یک بیرینگ شعاعی به همراه یک بلبیرینگ چهار نقطه تماس استفاده می‌شود و بلبیرینگ چهار نقطه تماس فقط برای تحمل بار محوری بکار می‌رود. لذا باید

با لقی در نشیمنگاه (شکل ۲) نصب شود. در این شرایط برای جلوگیری از چرخش رینگ خارجی، بیرینگ‌های با دو شیار ثابت‌کننده (پسوند N2 در شماره فنی بیرینگ) که به فاصله 180° بر روی رینگ خارجی قرار گرفته‌اند، تولید می‌شوند (شکل ۳).

بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر

بیرینگ‌های چهار نقطه تماس با کلاس عملکرد بهتر SKF اکسپلورر در جداول بیرینگ‌ها بر روی لوح فشرده همراه کتاب با رنگ آبی مشخص شده‌اند. این بیرینگ‌ها دارای شماره فنی مشابه با بیرینگ‌های استاندارد قبلی می‌باشند، نظیر QJ 309 N2MA ولی بیرینگ و جعبه آن با کلمه « EXPLORER» مشخص شده‌اند.

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس مطابق استاندارد ISO 15:1998 می‌باشند.

تلرانس‌ها

بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس به صورت استاندارد با تلرانس نرمال تولید می‌شود. بعضی اندازه‌ها نیز با تلرانس‌های دقیق‌تر مطابق کلاس P6 نیز موجود می‌باشند.

بیرینگ‌های چهار نقطه تماس کلاس SKF اکسپلورر با دقت‌های حرکتی P6 تولید می‌شوند ولی دقت‌های ابعادی مطابق تلرانس‌های نرمال می‌باشند. بجز تلرانس پهنا که به $0/-40\mu m$ کاهش‌یافته است.

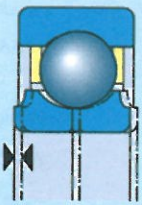
مقادیر تلرانس‌ها مطابق استاندارد ISO 492:2002 می‌باشند و در جداول ۳ و ۴ صفحات ۱۱۳ و ۱۱۴ آورده شده‌اند.

لقی داخلی

بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس به صورت استاندارد با لقی محوری نرمال تولید می‌شوند ولی بعضی از ابعاد با لقی بیشتر یا کم‌تر و یا محدوده لقی کاهش‌یافته نیز موجود می‌باشند.

محدوده‌های لقی در جدول ۱ آورده شده‌اند این مقادیر برای بیرینگ نصب نشده و بدون بار صحیح می‌باشند.

جدول ۱ لقی داخلی محوری بیرینگهای چهار نقطه تماس



قطر داخلی d		لقی داخلی محوری							
		C2		Normal		C3		C4	
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		μm							
10	17	15	55	45	85	75	125	115	165
17	40	26	66	56	106	96	146	136	186
40	60	36	86	76	126	116	166	156	206
60	80	46	96	86	136	126	176	166	226
80	100	56	106	96	156	136	196	186	246
100	140	66	126	116	176	156	216	206	266
140	180	76	156	136	196	176	246	226	296
180	220	96	176	156	226	206	276	256	326

عدم همراستایی

توانایی بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس در تحمل عدم همراستایی رینگ خارجی نسبت به رینگ داخلی و در نتیجه جبران عدم همراستایی در کاربرد و یا تحمل تغییر شکل شفت، محدود بوده و به لقی داخلی در حین کارکرد، ابعاد بیرینگ و مقدار نیرو و ممان‌های وارده به بیرینگ بستگی دارد. رابطه بین عوامل فوق بسیار پیچیده می‌باشد و نمی‌توان یک قانون کلی برای آن ارائه کرد.

هر میزان عدم همراستایی باعث افزایش سر و صدا، ایجاد تنش در قفسه و کاهش عمر بیرینگ می‌شود.

تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ

بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس تحت عملیات حرارتی خاص قرار می‌گیرند. لذا هنگامی‌که با قفسه‌های فولادی، برنجی و PEEK تولید می‌شوند، می‌توانند تا دمای 150+ °C نیز کارکنند.

قفسه‌ها

بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس با یکی از انواع قفسه‌های زیر تولید می‌شوند.

- قفسه نوع پنجره‌ای از جنس برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی با پسوند MA در شماره فنی (شکل ۴)
- قفسه نوع پنجره‌ای از جنس پلی اتراترکتون (PEEK) ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک با شیار روانکاری در سطوح راهنما و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی با پسوند PHAS در شماره فنی بیرینگ

بار حداقل

بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همراه تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد، با اهمیت است. در این شرایط نیروی اینرسی ساچمه‌ها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین ساچمه‌ها و سطوح غلتش شود.

حداقل بار مورد نیاز برای بیرینگ‌های چهار نقطه تماس از رابطه تقریبی زیر به دست می‌آید.

$$F_{am} = k_a \frac{C_o}{1000}\left(\frac{nd_m}{100000}\right)^2$$

که در آن

F_{am} = بار حداقل محوری، kN

k_a = ضریب بار حداقل محوری

1 برای بیرینگ‌های سری QJ 2

1.1 برای بیرینگ‌های سری QJ 3

C_o = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN (جداول بیرینگ‌ها)

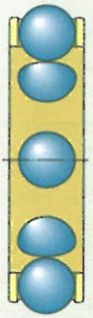
ν = لزجت روغن در دمای کارکرد، mm^2/s

n = سرعت دورانی، r/min

d_m = قطر متوسط بیرینگ = 0.5(d+D)، mm

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است. در غیر این صورت بلبیرینگ‌ها چهار نقطه تماس باید تحت بار محوری اضافی قرار گیرند. (برای مثال به کمک فنر)

شکل ٤



بار معادل دینامیکی بیرینگ

اگر بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس در طرف ثابت چیدمان بکار روند و بار محوری و شعاعی را تحمل کنند، بار معادل دینامیکی از رابطه‌های زیر به دست می‌آید.

اگر $F_a/F_r \le 0.95$ $\quad P = F_r + 0.66F_a$

اگر $F_a/F_r > 0.95$ $\quad P = 0.6F_r + 1.07F_a$

لازم به ذکر است که بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس فقط در صورتی که ساچمه‌ها با یک نقطه از رینگ خارجی و یک نقطه از رینگ داخلی در تماس باشند، عملکرد صحیح دارند. این شرایط در صورتی که $F_a \ge 1.27F_r$ باشد، ایجاد می‌شود.

اگر بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس به صورت لق در نشیمنگاه نصب شود و به همراه یک بلبیرینگ شعاعی بکار رود به طوری که به عنوان بیرینگ کف‌گرد عمل کند (چیدمان معمول برای این بیرینگ‌ها، شکل۲، صفحه ۳۲۸) بار معادل دینامیکی در این شرایط از رابطه زیر به دست می‌آید.

$P = 1.07F_a$

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس تحت بار استاتیکی بار معادل استاتیکی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$P_0 = F_r + 0.58F_a$

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی بلبیرینگ‌های چهار نقطه تماس برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند، در زیر شرح داده می‌شوند.

B20	تلرانس پهنای کاهش‌یافته
C2	لقی محوری کم‌تر از نرمال
C2H	حد بالای لقی محوری C2
C2L	حد پایین لقی محوری C2
C3	لقی محوری بیشتر از نرمال
C4	لقی محوری بیشتر از C3
CNL	محدوده پایینی لقی محوری نرمال
FA	قفسه نوع پنجره‌ای فولادی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی
MA	قفسه نوع پنجره‌ای برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی
N2	دو شیار ثابت‌کننده در موقعیت 180° نسبت به هم بر روی پیشانی بزرگ رینگ خارجی
PHAS	قفسه نوع پنجره‌ای از جنس PEEK ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک (تقویت‌شده با الیاف شیشه) و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی با شیار روانکاری در سطوح راهنما
P6	تلرانس‌های ابعادی و حرکتی مطابق کلاس 6 استاندارد ISO
P63	P6+ C3
P64	P6+C4
S1	رینگ‌های بیرینگ تا دمای 200 °C از نظر ابعادی پایدار شده‌اند.
344524	C2H+CNL

طراحی چیدمان بیرینگ‌ها

رینگ خارجی بیرینگ‌هایی که به عنوان بیرینگ کف‌گرد بکار می‌روند و با لقی شعاعی در نشیمنگاه نصب می‌شوند نباید مهار (Clamped) شود. (شکل ۲ صفحه ۳۲۸) در غیر این صورت رینگ خارجی نمی‌تواند جابجایی حرارتی را جبران‌کرده و باعث ایجاد نیروهای اضافی در بیرینگ می‌شود. اگر عدم مهار رینگ خارجی امکان‌پذیر نیست باید رینگ خارجی را با دقت در هنگام نصب مرکز کرد.

فصل (۲-۴)

رولرهای بادامکی دو ردیفه

طرح‌های بیرینگ ۳۳۴
اطلاعات عمومی رولرهای بادامکی ۳۳۴
ابعاد ۳۳۴
تلرانس‌ها ۳۳۴
لقی داخلی ۳۳۴
قفسه‌ها ۳۳۵
توانایی حمل بار ۳۳۵
ظرفیت حمل بار محوری ۳۳۵
طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ ۳۳۵
پین‌ها ۳۳۵
فلنج‌های راهنما ۳۳۵
روانکاری ۳۳۵

طرح‌های بیرینگ

رولرهای بادامکی دو ردیفه (شکل۱) بر اساس بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای دو ردیفه طراحی شده‌اند و زاویه تماس آنها 25° می‌باشد. این بیرینگ‌ها که محتوی گریس بوده و به صورت آماده نصب ارائه می‌شوند و در انواع محرک‌های بادامکی، سیستم‌های نوار نقاله و غیره بکار برده می‌روند. این بیرینگ‌ها مجهز به حفاظ فلزی از جنس فولاد پرسکاری‌شده می‌باشند که با پیشانی رینگ داخلی تشکیل یک شیار آب‌بندی می‌دهد تا روانکار را در داخل بیرینگ نگه داشته و از ورود آلودگی‌ها جلوگیری کند.

رولرهای بادامکی دو ردیفه در طرح‌های زیر موجود می‌باشند.

- با سطح قوسی رینگ خارجی، سری C-2Z 3058(00) و
- با سطح مسطح رینگ خارجی، سری C-2Z 3057(00)

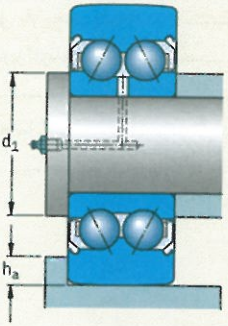
رولرهای بادامکی با سطح قوسی رینگ خارجی باید در شرایطی که عدم همراستایی زاویه‌ای نسبت به مسیر حرکت وجود دارد و لازم است تنش گوشه‌ها حداقل شود، بکار برده شوند. علاوه بر رولرهای بادامکی دو ردیفه، محدوده تولیدات این بیرینگ‌ها شامل انواع دیگر رولرهای بادامکی، رولرهای پشتیبان و پیرو بادامکی می‌باشند. برای مثال،

- رولربادامکی یک ردیفه، سری 3612(00)R (صفحه ۲۹۷)
- رولر پشتیبان بر اساس رولربیرینگ سوزنی یا رولربیرینگ استوانه‌ای
- پیرو بادامکی بر اساس رولربیرینگ سوزنی یا رولربیرینگ استوانه‌ای

برای اطلاعات بیشتر در رابطه با رولرهای پشتیبان و پیرو بادامکی به مرجع [1] یا کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کنید.

شکل ۱

شکل ۲



اطلاعات عمومی رولرهای بادامکی

ابعاد

برای بیرینگ‌ها در سری ابعادی 32 ابعاد خارجی رولرهای بادامکی دو ردیفه بجز قطر خارجی، مطابق استاندارد ISO 15:1998 می‌باشد.

تلرانس‌ها

رولرهای بادامکی دو ردیفه به صورت استاندارد با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند، بجز تلرانس قطر رینگ خارجی با سطح قوسی که تلرانسی دو برابر نرمال دارد.

مقادیر تلرانس‌ها مطابق استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جدول ۳ صفحه ۱۱۳ آورده شده‌اند.

لقی داخلی

رولرهای بادامکی دو ردیفه با لقی محوری نرمال مشابه بلبیرینگ‌های دو ردیفه تماس زاویه‌ای تولید می‌شوند (جدول ۲، صفحه ۳۲۲).

قفسه‌ها

رولرهای بادامکی دو ردیفه دارای دو قفسه نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6 و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها می‌باشند، که می‌توانند دمای کارکرد تا 120 °C+ را تحمل کنند.

توانایی حمل بار

در مقایسه با یک بلبیرینگ معمولی که در آن رینگ خارجی به طور کامل در داخل نشیمنگاه قرار گرفته و حمایت می‌شود، رینگ خارجی رولرهای بادامکی سطح تماس کمی نسبت به سطحی که بر روی آن حرکت می‌کند نظیر ریل یا بادامک، دارد. سطح تماس واقعی بستگی به بار شعاعی و قوسی بودن یا استوانه‌ای بودن سطح حرکت (سطح خارجی رینگ خارجی) دارد. تغییر شکل رینگ خارجی به علت این سطح تماس محدود، توزیع نیرو در داخل بیرینگ را تغییر داده و بر توانایی حمل بار آن تأثیر می‌گذارد. در ظرفیت‌های اسمی حمل بار که در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند، این موضوع در نظر گرفته شده است.

توانایی حمل بار دینامیکی به عمر مورد نیاز بستگی دارد ولی به دلیل تغییر شکل و مقاومت رینگ خارجی مقدار حداکثر بار شعاعی دینامیکی نباید از مقدار F_r بیشتر شود.

بار استاتیکی مجاز یک رولر بادامکی، حداقل مقدار بین C_0 و F_{0r} می‌باشد. در صورتی که کارکرد بدون سر و صدا الزامی نباشد بار استاتیکی می‌تواند از C_0 بیشتر شود ولی تحت هیچ شرایطی نباید از حداکثر بار شعاعی استاتیکی مجاز F_{0r} بیشتر شود.

ظرفیت حمل بار محوری

رولرهای بادامکی برای حمل بار شعاعی طراحی شده‌اند. در صورتی که بار محوری به رینگ خارجی وارد شود (در شرایطی که رولر بادامکی توسط فلنج راهنما هدایت می‌شود) باعث ایجاد ممان خمشی‌شده و در نتیجه آن عمر رولر بادامکی کاهش می‌یابد.

طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ

پین‌ها

در رولرهای بادامکی، بجز در موارد نادر، رینگ خارجی دوران می‌کند. در صورتی که جابجایی آسان رینگ داخلی لازم است پین یا شفت باید با تلرانس g6 ماشینکاری شود. در صورتی که تداخل محکم‌تری لازم باشد پین یا شفت را باید با تلرانس j6 ماشینکاری کرد.

برای رولرهای بادامکی که تحت بار محوری زیاد می‌باشند، رینگ داخلی باید به طور کامل از کناره‌ها حمایت شود (شکل ۲). قطر سطح حمایت‌کننده باید برابر قطر کناره رینگ داخلی d_1 باشد.

فلنج‌های راهنما

برای بادامک‌ها و ریل‌ها با فلنج راهنما (شکل۲) ارتفاع توصیه‌شده فلنج، h_a نباید از مقدار زیر بیشتر باشد.

$$h_a = 0.5(D - D_1)$$

در این شرایط از صدمه دیدن حفاظ فلزی بیرینگ جلوگیری می‌شود. مقادیر D و D_1 در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند.

روانکاری

رولرهای بادامکی دو ردیفه توسط گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی و غلظت 3 مطابق معیار NLGI پر شده‌اند. این گریس مقاومت به خوردگی خوبی داشته و برای دمای کارکرد 30- °C تا 120°C+ مناسب است. لزجت روغن پایه 98 mm^2/s در 40°C بوده و در 100 °C میزان لزجت روغن پایه 9.4 mm^2/s است.

در شرایط کارکرد طبیعی، رولرهای بادامکی نیاز به تعمیر و نگهداری ندارند. ولی در صورتی که محیط کارکرد دارای رطوبت و ذرات جامد باشد و یا بیرینگ برای مدت طولانی در دمای بالاتر از 70 °C کار کند، لازم است که آنها را روانکاری مجدد کرد. رینگ داخلی دارای سوراخ روانکاری برای این منظور است. باید از گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی برای روانکاری مجدد استفاده شود (ترجیحاً گریس SKF LGMT 3) گریس باید به آرامی تزریق شود تا به حفاظ فلزی صدمه نزند.

مراجع:

[1] SKF Catalogue "Needle Roller Bearings"

فصل سوم

بلبیرینگ‌های خود تنظیم

طرح‌های بیرینگ ۳۳۸
طرح اصلی ۳۳۸
بیرینگ‌های آب‌بند شده ۳۳۸
بیرینگ‌ها با رینگ داخلی بیرون‌زده ۳۴۰
بیرینگ‌ها بر روی غلاف ۳۴۱
مجموعه بلبیرینگ‌های خود تنظیم و غلاف ۳۴۲
نشیمنگاه‌های مناسب بیرینگ‌ها ۳۴۳
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۳۴۴
ابعاد ۳۴۴
تلرانس‌ها ۳۴۴
عدم همراستایی ۳۴۴
لقی داخلی ۳۴۴
قفسه‌ها ۳۴۶
ظرفیت حمل بار محوری ۳۴۶
بار حداقل ۳۴۷
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۳۴۷
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۳۴۷
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۳۴۷
نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی ۳۴۸
اندازه‌گیری کاهش لقی ۳۴۸
اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن ۳۴۹
اندازه‌گیری بالاروی محوری ۳۴۹
اطلاعات تکمیلی در رابطه با نصب بیرینگ‌ها ۳۵۰

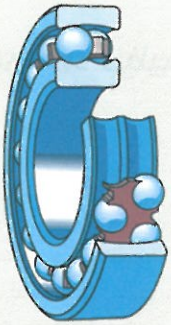
طرح‌های بیرینگ

بلبیرینگ‌های خود تنظیم اختراع شرکتSKF می‌باشند. این بلبیرینگ‌ها دو ردیف ساچمه دارند که دارای سطح غلتش کروی مشترک بر روی رینگ خارجی می‌باشند. این بلبیرینگ‌ها خود تنظیم بوده و به عدم همراستایی بین شفت و نشیمنگاه حساس نمی‌باشند. لذا برای کاربردهایی که در آنها تغییر شکل شفت یا عدم همراستایی وجود دارد، مناسب هستند. به علاوه بلبیرینگ‌های خود تنظیم کم‌ترین اصطکاک را بین انواع مختلف بیرینگ‌ها دارند لذا در سرعت‌های بالا نیز حرارت زیادی تولید نمی‌کنند.

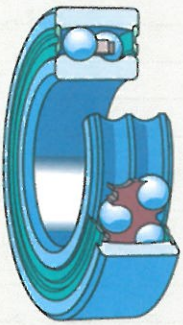
بلبیرینگ‌های خود تنظیم در طرح‌های مختلفی تولید می‌شوند. که عبارتند از،

- بیرینگ باز با طرح اصلی (شکل ۱)
- بیرینگ آب‌بند شده (شکل ۲)
- بیرینگ باز با رینگ داخلی بیرون‌زده (شکل ۳)

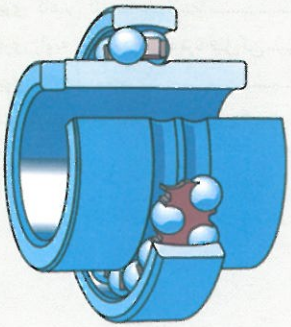
شکل ۱



شکل ۲



شکل ۳



طرح اصلی

در طرح اصلی، بلبیرینگ‌های خود تنظیم با رینگ داخلی استوانه‌ای و یا در بعضی اندازه‌ها با رینگ داخلی مخروطی (مخروط 1:12) تولید می‌شوند.

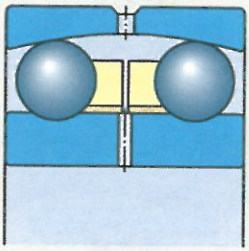
بلبیرینگ‌های خود تنظیم بزرگ در سری‌های 130 و 139 برای کاربردهای خاص در ماشین آلات کاغذسازی (Paper Mills) طراحی شده‌اند ولی می‌توان از آنها در کاربردهایی‌که اصطکاک کم بر ظرفیت حمل بار زیاد ترجیح داده می‌شود، نیز استفاده کرد. این بیرینگ‌ها دارای شیار محیطی و سوراخ‌های روانکاری بر روی رینگ خارجی و سوراخ‌های روانکاری بر روی رینگ داخلی می‌باشند (شکل ۴).

ساچمه‌های بعضی از بیرینگ‌های سری‌های 12 و 13 از گوشه‌های بیرینگ بیرون‌زده است. مقدار این بیرون‌زدگی در جدول ۱ آورده شده است و در طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ باید به آن توجه کرد.

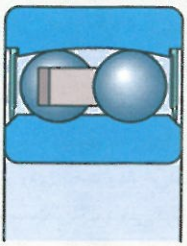
بیرینگ‌های آب‌بند شده

بلبیرینگ‌های خود تنظیم با آب‌بند تماسی در دو طرف بیرینگ نیز تولید می‌شوند (پسوند 2RS1 در شماره فنی ـ شکل ۵). این آب‌بندهای از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی می‌باشند که مقاوم به سایش و روغن هستند.

شکل ٤



شکل ٥



دمای مجاز کارکرد این آب‌بندها از ˚C 40- تا ˚C 100+ است. ولی برای مدت کوتاه در دمای ˚C 120+ نیز قابل استفاده می‌باشند. لبه‌های آب‌بند بر گوشه‌های پخ رینگ داخلی فشار کمی وارد می‌کنند.

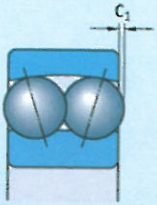
بیرینگ‌های آب‌بند به صورت استاندارد محتوی گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی با خواص ضد زنگ زدگی خوب و دیگر خواص ذکرشده در جدول ۲ می‌باشند.

بلبیرینگ‌های خود تنظیم آب‌بند با رینگ داخلی استوانه‌ای نیز موجود می‌باشند. در بعضی ابعاد، بیرینگ‌های آب‌بند با رینگ داخلی مخروطی (مخروط 1:12) نیز تولید می‌شوند.

توجه:

بیرینگ‌های آب‌بند شده برای کل دوره کارکرد روانکاری شده‌اند و نیاز به تعمیر و نگهداری ندارد. این بیرینگ‌ها نباید قبل از نصب تا بیش از دمای ˚C 80 گرم‌شده و یا شسته شوند.

جدول ۱ بیرون زدگی ساچمه ها از سطح جانبی بیرینگ



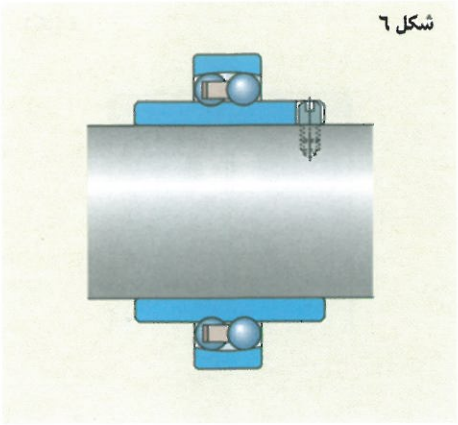
بیرینگ	میزان بیرون زدگی C_1
–	mm
1224 (K)	1,3
1226	1,4
1318 (K)	1
1319 (K)	1,5
1320 (K)	2,5
1322 (K)	2,6

جدول ۲ گریسهای استاندارد SKF برای بلبیرینگهای خود تنظیم آب بند شده

مشخصه های فنی	گریسهای SKF MT47	MT33
قطر خارجی بیرینگ، mm	≤ 62	>62
غلیظ کننده	صابون لیتیمی	صابون لیتیمی
روغن پایه	روغن معدنی	روغن معدنی
کلاس غلظت NLGI	2	3
محدوده دما [1] °C	-30 to +110	-30 to +120
لزجت روغن پایه، mm^2/s		
در 40 °C	70	98
در 100 °C	7,3	9,4

۱) برای محدوده دمای کارکرد قابل اطمینان به بخش "محدوده دما – مفهوم چراغ راهنما SKF" در صفحه ۲۲۰ مراجعه کنید

شکل ٦



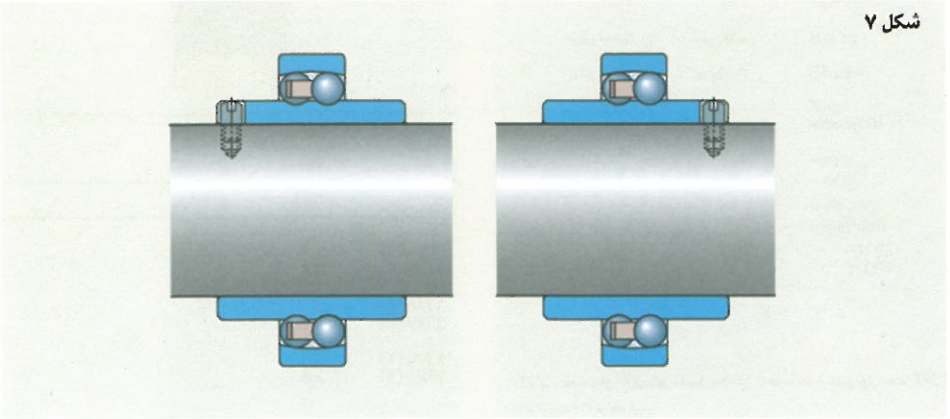
بیرینگ‌ها با رینگ داخلی بیرون‌زده

بلبیرینگ‌های خود تنظیم با رینگ داخلی بیرون‌زده برای کاربردهای غیر حساس که در آنها از شفت معمولی استفاده می‌شود، بکار می‌روند. تلرانس خاص رینگ داخلی باعث سادگی نصب و در آوردن بیرینگ می‌شود.

بلبیرینگ‌های خود تنظیم با رینگ داخلی بیرون زده توسط پین یا پیچ بر روی شفت مهار می‌شوند (شکل۶). پیچ یا پین در سوراخ یک سمت رینگ داخلی قرار می‌گیرد و از دوران رینگ داخلی نیز جلوگیری می‌کند.

هنگامی که از دو بلبیرینگ خود تنظیم با رینگ داخلی بیرون زده برای مهار شفت استفاده می‌شوند، سوراخ مهار رینگ داخلی هر دو بیرینگ یا باید به سمت داخل یا به سمت خارج باشند (شکل ۷). در غیر این صورت شفت در جهت محوری فقط از یک سمت مهار می‌شود.

شکل ۷



بیرینگ‌ها بر روی غلاف

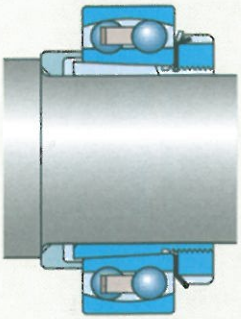
برای نصب بیرینگ با رینگ داخلی مخروطی بر روی شفت استوانه‌ای می‌توان از غلاف واسطه یا غلاف بیرون کشیدنی استفاده کرد. این روش باعث سادگی چیدمان و نصب و بیرون آوردن بیرینگ‌ها می‌شود.

غلاف‌های واسطه (شکل ۸ و ۹) بیشتر از غلاف‌های بیرون کشیدنی (شکل ۱۰) بکار می‌روند زیرا نیاز به مهار محوری بر روی شفت ندارند. به همین علت در جداول بیرینگ‌ها فقط بیرینگ‌ها بر روی غلاف واسطه آورده شده‌اند.

غلاف‌های واسطه دارای شیار بوده و به صورت کامل با مهره و واشر قفل‌کن ارائه می‌شوند. برای بلبیرینگ‌های آب‌بند شده، غلاف واسطه با واشر قفل‌کن خاصی ارائه می‌شوند تا از صدمه دیدن آب‌بند جلوگیری شود. (شکل ۱۱) این غلاف‌ها با پسوند C در شماره فنی خود مشخص می‌شوند.

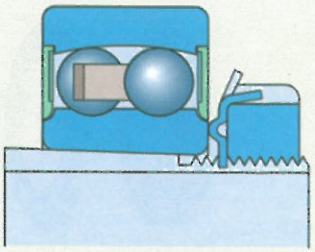
شکل ۸

شکل ۹



شکل ۱۰

شکل ۱۱



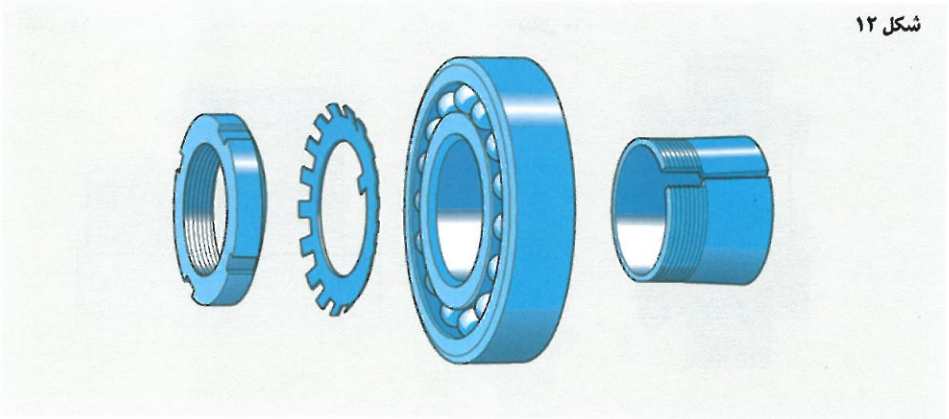
مجموعه بلبیرینگ‌های خود تنظیم و غلاف

برای سادگی در تهیه و جلوگیری از خرید غلاف اشتباه، بلبیرینگ‌ها خود تنظیم با مصرف زیاد به صورت مجموعه کامل ارائه می‌شوند (شکل ۱۲). برای نصب آسان این بیرینگ‌ها می‌توان از مجموعه آچارهای مهره قفلی با شماره فنی TMHN 7، مرجع [1] استفاده کرد. در جدول ۳ لیست بیرینگ‌های موجود به صورت مجموعه با ذکر شماره فنی آنها آورده شده است.

جدول ۳ مجموعه بلبیرینگهای خود تنظیم/ غلاف واسطه

شماره مجموعه	قطعات مجموعه		قطر شفت
	شماره فنی بیرینگ	شماره فنی غلاف	mm
KAM 1206	1206 EKTN9/C3	H 206	25
KAM 1207	1207 EKTN9/C3	H 207	30
KAM 1208	1208 EKTN9/C3	H 208	35
KAM 1209	1209 EKTN9/C3	H 209	40
KAM 1210	1210 EKTN9/C3	H 210	45
KAM 1211	1211 EKTN9/C3	H 211	50

شکل ۱۲



نشیمنگاه‌های مناسب بیرینگ‌ها

بلبیرینگ‌های خود تنظیم با رینگ داخلی استوانه‌ای و یا مخروطی به همراه غلاف واسطه، را می‌توان در نشیمنگاه‌های مختلف زیر نصب کرد.

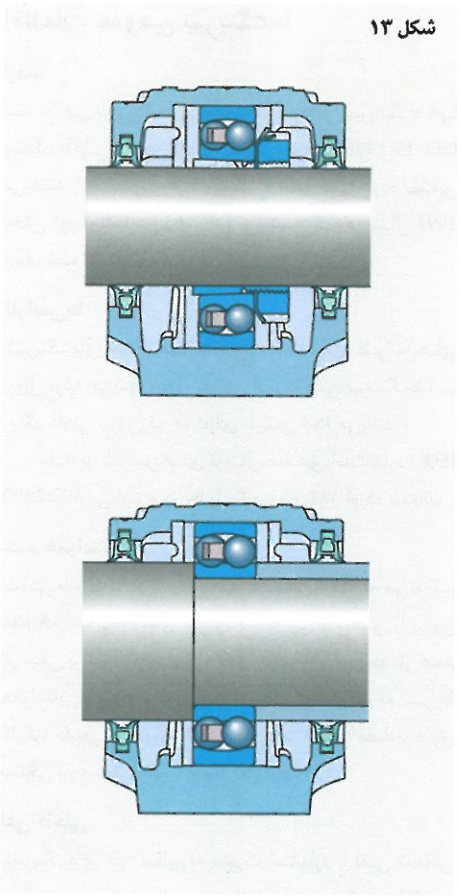
- نشیمنگاه دو تکه نوع SNL سری 2، 3، 5 و 6 (شکل۱۳)
- نشیمنگاه نوع TVN
- نشیمنگاه فلنجی نوع 7225(00)
- نشیمنگاه دو تکه نوع SAF برای شفت‌های اینچی

بیرینگ‌ها با رینگ داخلی بیرون‌زده را می‌توان در نشیمنگاه‌هایی خاص زیر نصب کرد.

- نشیمنگاه نوع TN
- نشیمنگاه فلنجی نوع I-1200(00)

خلاصه‌ای از مشخصات نشیمنگاه‌های مختلف در بخش نشیمنگاه‌های بیرینگ در صفحه ۵۴۳ آورده شده‌اند. برای اطلاعات بیشتر به کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب یا مرجع [2] مراجعه کنید.

شکل ۱۳



اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی بلبیرینگ‌های خود تنظیم بجز بلبیرینگ‌ها با رینگ داخلی بیرون‌زده، مطابق استاندارد ISO 15:1998 می‌باشند. ابعاد بیرینگ‌ها با رینگ داخلی بیرون‌زده مطابق بخش دوم استاندارد DIN 630 می‌باشند که در سال 1993 حذف شده است.

تلرانس‌ها

بلبیرینگ‌های خود تنظیم به صورت استاندارد با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. بجز تلرانس قطر داخلی بیرینگ‌ها با رینگ داخلی بیرون‌زده که دارای تلرانس JS7 می‌باشد.

مقادیر تلرانس‌های نرمال مطابق استاندارد ISO 492:2002 می‌باشد و در جدول ۳ صفحه ۱۱۳ آورده شده‌اند.

عدم همراستایی

طراحی بلبیرینگ‌های خود تنظیم به شکلی است که می‌توانند عدم همراستایی زاویه‌ای بین رینگ خارجی و داخلی را بدون اثر منفی بر عملکرد بیرینگ، تحمل کنند. مقادیر مجاز عدم همراستایی زاویه‌ای بین رینگ داخلی و خارجی در شرایط کارکرد طبیعی در جدول ۴ آورده شده‌اند. صحت مقادیر فوق بستگی به چیدمان و نوع آب‌بند بکار رفته دارد.

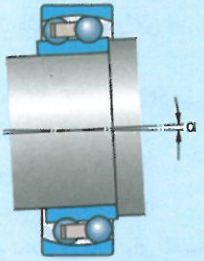
لقی داخلی

بلبیرینگ‌های خود تنظیم به صورت استاندارد با لقی شعاعی نرمال تولید می‌شوند ولی بیشتر آنها با لقی بزرگ‌تر C3 نیز موجود می‌باشند. اکثر بیرینگ‌های با لقی کم C2 و لقی بسیار زیاد C4 نیز موجود هستند.

بیرینگ‌های سری‌های 130 و 139 به صورت استاندارد با لقی C3 تولید می‌شوند. بیرینگ‌ها با رینگ داخلی بیرون‌زده دارای لقی داخلی، بین محدوده مقادیر لقی C2 و نرمال می‌باشند.

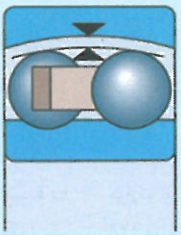
مقادیر لقی در جدول ۵ آورده شده‌اند و مطابق استاندارد ISO 5753:1991 می‌باشند. این مقادیر برای بیرینگ نصب‌نشده و بدون بار صحیح هستند.

جدول ٤ عدم همراستایی زاویه ای مجاز



سریهای بیرینگ	عدم همراستایی α
–	degrees
108, 126, 127, 129, 135	3
12 (E)	2,5
13 (E)	3
22 (E)	2,5
22 E-2RS1	1,5
23 (E)	3
23 E-2RS1	1,5
112 (E)	2,5
130, 139	3

جدول ۵ لقی داخلی شعاعی بلبیرینگهای خود تنظیم



قطر داخلی d		لقی داخلی شعاعی							
		C2		Normal		C3		C4	
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		μm							
بیرینگها با رینگ داخلی استوانه ای									
2,5	6	1	8	5	15	10	20	15	25
6	10	2	9	6	17	12	25	19	33
10	14	2	10	6	19	13	26	21	35
14	18	3	12	8	21	15	28	23	37
18	24	4	14	10	23	17	30	25	39
24	30	5	16	11	24	19	35	29	46
30	40	6	18	13	29	23	40	34	53
40	50	6	19	14	31	25	44	37	57
50	65	7	21	16	36	30	50	45	69
65	80	8	24	18	40	35	60	54	83
80	100	9	27	22	48	42	70	64	96
100	120	10	31	25	56	50	83	75	114
120	140	10	38	30	68	60	100	90	135
140	150	–	–	–	–	70	120	–	–
150	180	–	–	–	–	80	130	–	–
180	200	–	–	–	–	90	150	–	–
200	220	–	–	–	–	100	165	–	–
220	240	–	–	–	–	110	180	–	–
بیرینگها با رینگ داخلی مخروطی									
18	24	7	17	13	26	20	33	28	42
24	30	9	20	15	28	23	39	33	50
30	40	12	24	19	35	29	46	40	59
40	50	14	27	22	39	33	52	45	65
50	65	18	32	27	47	41	61	56	80
65	80	23	39	35	57	50	75	69	98
80	100	29	47	42	68	62	90	84	116
100	120	35	56	50	81	75	108	100	139

برای تعریف لقی داخلی شعاعی به صفحه ۱۲۵مراجعه کنید

قفسه‌ها

بلبیرینگ‌های خود تنظیم وابسته به سری و ابعاد بیرینگ به یکی از قفسه زیر مجهز می‌باشند. (شکل ۱۴)

- قفسه فولادی پرسکاری‌شده یک تکه و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ (الف)
- قفسه فولادی پرسکاری‌شده دو تکه و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ (ب)
- قفسه نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک) یک تکه (ج) یا دو تکه و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها با پسوند TN9 در شماره فنی بیرینگ
- قفسه نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6 (ساخته شده به روش تزریق پلاستیک) یک تکه (ج) یا دو تکه و مرکزشده نسبت با ساچمه‌ها با پسوند TN در شماره فنی بیرینگ
- قفسه برنجی ماشینکاری‌شده یک تکه یا دو تکه (د) و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، با پسوند M در شماره فنی بیرینگ، یا بدون پسوند در شماره فنی (بیرینگ‌های بزرگ)

توجه:

بلبیرینگ‌های خود تنظیم با قفسه پلی آمید 6.6 را می‌توان تا دمای کارکرد °C 120+ بکار برد. روانکارهای معمول برای بیرینگ‌ها عموماً اثر تعیین‌کننده‌ای بر خواص قفسه ندارند. بجز انواع محدودی از روغن‌های مصنوعی و گریس‌ها بر پایه این روغن‌ها و روانکارهای محتوی مقادیر زیادی از افزودنی‌های EP که در دمای بالا بکار می‌روند.

برای بیرینگ‌هایی به صورت پیوسته در دمای بالا کار می‌کنند یا شرایط کارکرد سختی دارند، استفاده از قفسه‌های فولادی پرسکاری‌شده یا برنجی ماشینکاری‌شده توصیه می‌شود.

برای جزئیات بیشتر در رابطه با مقاومت قفسه‌ها به حرارت و کاربرد آنها به بخش « جنس قفسه‌ها » در صفحه ۱۲۸ مراجعه کنید.

ظرفیت حمل بار محوری

توانایی یک بلبیرینگ خود تنظیم نصب‌شده بر روی غلاف واسطه که بر روی شفت بدون شانه قرار گرفته است، در تحمل بار محوری، به اصطکاک بین شفت و غلاف بستگی دارد. مقدار بار مجاز محوری به طور تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{ap} = 0.003Bd$$

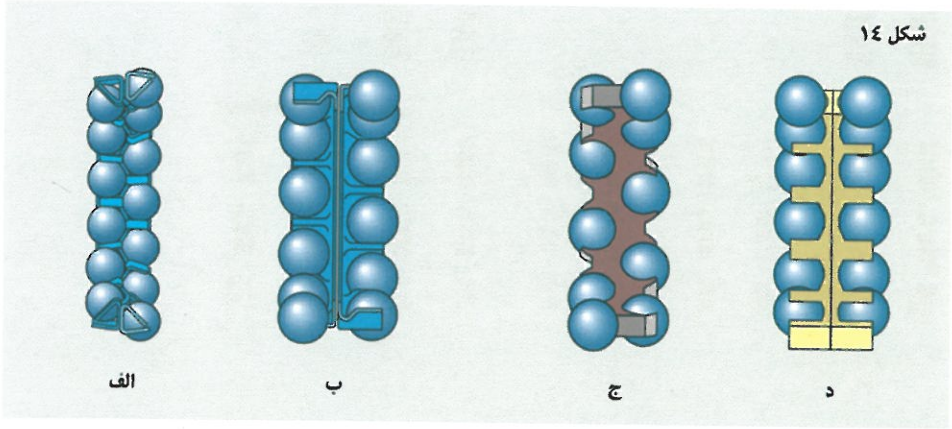
که در آن

F_{ap} = حداکثر بار مجاز محوری، kN

B = پهنای بیرینگ، mm

d = قطر داخلی بیرینگ، mm، است.

شکل ۱۴



بار حداقل

بلبیرینگ‌های خود تنظیم برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد، با اهمیت است. این شرایط نیروی اینرسی ساچمه‌ها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین ساچمه‌ها و سطوح غلتش شود.

بار حداقل مورد نیاز برای بلبیرینگ‌های خود تنظیم به صورت تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_m = 0.01C_0$$

که در آن

P_m = بار حداقل بیرینگ، kN

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN (جداول بیرینگ‌ها)

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین یا هنگامی که لزجت روانکار بالا می‌باشد، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است در غیر این صورت بلبیرینگ‌های خود تنظیم باید تحت بار شعاعی اضافی (با افزایش کشش تسمه یا روش‌های مشابه) قرار گیرند.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ خود تنظیم تحت بار دینامیکی، بار معادل از روابط زیر به دست می‌آید.

اگر $F_a/F_r \le e$ $\quad P = F_r + Y_1F_a$

اگر $F_a/F_r > e$ $\quad P = 0.65F_r + Y_2F_a$

مقادیر ضرایب Y_1 ، Y_2 و e در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای بلبیرینگ خود تنظیم تحت بار استاتیکی، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = F_r + Y_0F_a$$

مقدار ضریب Y_0 در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است.

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی بلبیرینگ‌های خود تنظیم برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند، در زیر شرح داده می‌شوند.

C3	لقی داخلی شعاعی بیشتر از نرمال
E	طرح داخلی بهینه‌شده
K	رینگ داخلی مخروطی، مخروط 1:12
M	قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها
2RS1	آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فلزی در دو طرف بیرینگ
TN	قفسه نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6 (ساخته‌شده با روش تزریق پلاستیک) و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها
TN9	قفسه نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک) و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی

بلبیرینگ‌های خود تنظیم با رینگ داخلی مخروطی همواره با انطباق تداخلی بر روی شفت مخروطی، غلاف واسطه یا غلاف بیرون کشیدنی نصب می‌شوند. برای اندازه‌گیری درجه تداخل انطباق می‌توان کاهش لقی داخلی بیرینگ و یا میزان جابجایی محوری رینگ داخلی بر روی سطح مخروطی را اندازه‌گیری نمود.

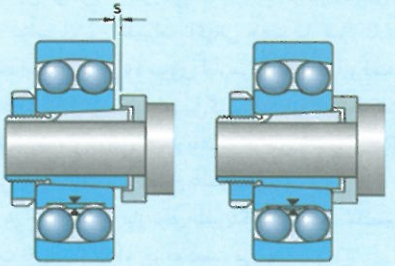
روش‌های مناسب نصب بلبیرینگ‌های خود تنظیم با رینگ داخلی مخروطی عبارتند از،

- اندازه‌گیری کاهش لقی داخلی
- اندازه‌گیری زاویه محکم کردن مهره قفل‌کن
- اندازه‌گیری حرکت محوری

اندازه‌گیری کاهش لقی

هنگام نصب بلبیرینگ‌های خود تنظیم در طرح اصلی و با لقی نرمال معمولاً بررسی کاهش لقی با چرخاندن و پیچاندن رینگ خارجی کافی می‌باشد. وقتی بیرینگ در جای خود نصب شده است می‌توان رینگ خارجی را به آسانی چرخاند ولی در مقابل پیچیدن کمی مقاومت احساس می‌شود. در این شرایط بیرینگ به تداخل مورد نظر رسیده است. در بعضی موارد لقی باقیمانده برای کاربرد مورد نظر کافی نبوده و لازم است بیرینگ با لقی داخلی C3 استفاده شود.

جدول ٦ نصب بلبیرینگهای خود تنظیم با رینگ داخلی مخروطی



قطر داخلی d	زاویه سفت کردن α	بالا روی محوری s
mm	degrees	mm
20	80	0,22
25	55	0,22
30	55	0,22
35	70	0,30
40	70	0,30
45	80	0,35
50	80	0,35
55	75	0,40
60	75	0,40
65	80	0,40
70	80	0,40
75	85	0,45
80	85	0,45
85	110	0,60
90	110	0,60
95	110	0,60
100	110	0,60
110	125	0,70
120	125	0,70

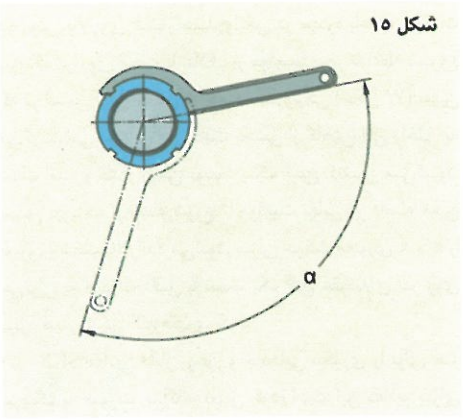
اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن

روش استفاده از زاویه سفت کردن α مهره قفل‌کن (شکل ۱۶)، یک روش ساده و دقیق برای نصب بلبیرینگ‌های خود تنظیم با رینگ داخلی مخروطی است. مقادیر توصیه‌شده زاویه α در جدول ۶ آورده شده‌اند.

قبل از سفت کردن نهایی، بیرینگ را باید در جای خود بر روی شفت مخروطی یا غلاف قرار داده به طوری که کاملاً با محل نشستن خود در تماس بوده و نسبت به شفت حرکت نداشته باشد. با سفت کردن مهره به اندازه زاویه α بیرینگ به سمت بالا حرکت کرده و در جای مناسب قرار می‌گیرد. لقی باقیمانده بیرینگ باید بعد از نصب با چرخاندن و پیچاندن رینگ خارجی بررسی شود.

پس از باز کردن مهره، واشر قفل‌کن را در جای خود قرار داده و مهره را مجدداً سفت‌کرده و با خم کردن یکی از پره‌های واشر قفل‌کن در شیارهای اطراف مهره، آن را قفل کرد.

شکل ۱۵



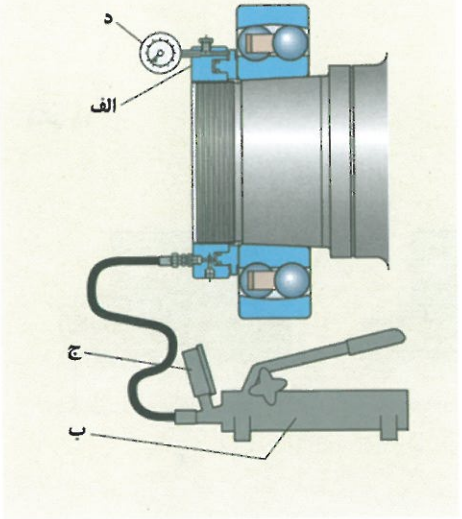
اندازه‌گیری بالاروی محوری

نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی با اندازه‌گیری بالاروی محوری s رینگ داخلی بر روی شفت یا غلاف خود امکان‌پذیر می‌باشد. مقادیر توصیه‌شده بالاروی محوری s برای کاربردهای عمومی در جدول ۶ آورده شده‌اند.

روش مناسب در این حالت استفاده از روش بالاروی محوری SKF است، که یک روش مطمئن و قابل اطمینان برای تعیین موقعیت اولیه شروع بالاروی محوری ارائه می‌کند. برای این منظور تجهیزات نصب زیر (شکل ۱۶) لازم می‌باشند.

- مهره هیدرولیکی، طرح HMV ... E (الف)
- پمپ هیدرولیکی (ب) مناسب
- گیج فشار (ج) (مناسب با شرایط نصب)
- گیج عقربه‌ای (د)

شکل ۱۶



در روش بالاروی فشار هیدرولیکی در مهره باعث حرکت بیرینگ بر روی شفت یا غلاف از موقعیت صفر تا نقطه شروع که بر اساس فشار روغن در مهره هیدرولیکی (شکل ۱۷) تعیین می‌گردد، می‌شود. در این حالت بخشی از کاهش لقی داخلی به دست آمده و فشار روغن توسط یک گیج کنترل می‌شود. سپس بیرینگ از نقطه شروع تا موقعیت نهایی در فاصله معین بر روی شفت بالارانده می‌شود. میزان حرکت محوری « s » را می‌توان به صورت دقیق با نصب یک گیج عقربه‌ای بر روی مهره هیدرولیکی اندازه‌گیری کرد.

SKF مقادیر فشار روغن و جابجایی محوری را برای هر بیرینگ به صورت جداگانه تعیین کرده است. این مقادیر برای چیدمان‌ها با (شکل ۱۸)

- یک سطح لغزشی (الف و ب) و
- دو سطح لغزشی (ج) صحیح می‌باشند.

اطلاعات تکمیلی در رابطه با نصب بیرینگ‌ها

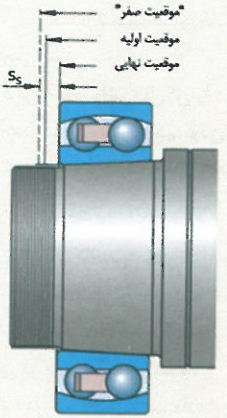
اطلاعات دیگر در رابطه با نصب بلبیرینگ‌های خود تنظیم به روش عمومی یا به کمک روش بالاروی SKF در منابع زیر موجود است.

- مراجع [3] و [4]
- کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب.

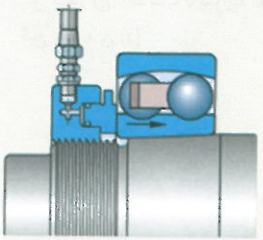
مراجع:

[1] SKF Catalogue "SKF Maintenance and Lubrication Products".
[2] SKF Catalogue "Bearing Housings".
[3] SKF Handbook "SKF Drive-up Method".
[4] www.skf .com/mount.

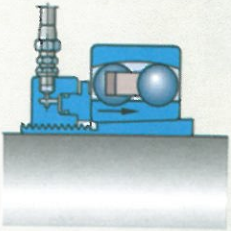
شکل ۱۷



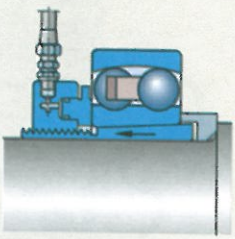
شکل ۱۸



الف



ب



ج

فصل چهارم

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای

فصل (۴ـ۱) ـ رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه ۳۵۵
فصل (۴ـ۲) ـ رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه بدون قفسه ۳۶۹
فصل (۴ـ۳) ـ رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه بدون قفسه ۳۷۵

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای در طرح‌ها، سری‌های ابعادی و اندازه‌های مختلف تولید می‌شوند. اکثر بیرینگ‌های یک ردیفه با قفسه در این جا شرح داده می‌شوند. رولربیرینگ‌های یک و دو ردیفه بدون قفسه مجموعه تولیدات استاندارد را کامل می‌کنند. بیرینگ‌های قفسه‌دار می‌توانند بار شعاعی زیادی تحمل کرده و در سرعت‌های بالا کار کنند. بیرینگ‌های بدون قفسه برای بار بسیار سنگین در سرعت‌های متوسط مناسب هستند.

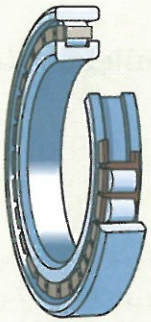
برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای، رولرها جزء اساسی می‌باشند. هندسه رولربیرینگ‌ها، که به پروفیل لگاریتمی معروف است، یک توزیع تنش بهینه در محل تماس رولرها و رینگ‌ها ایجاد می‌کند. صافی سطوح غلتش بیرینگ تشکیل فیلم روانکاری را به حداکثر رسانده و حرکت غلتشی رولرها را بهینه می‌کند. مزایای فوق نسبت به طرح قدیمی باعث افزایش قابلیت اطمینان و حساسیت کم‌تر نسبت به عدم همراستایی می‌شوند.

علاوه بر تولیدات استاندارد محدوده تولیدات رولربیرینگ‌های استوانه‌ای شامل،

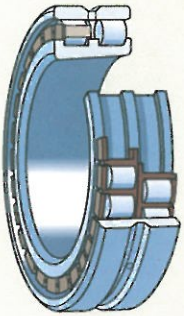
- رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دقیق مختلط یا تماماً فولادی یک ردیفه (شکل ۱)
- رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دقیق مختلط یا تماماً فولادی دو ردیفه (شکل ۲)
- رولربیرینگ‌های استوانه‌ای و مجموعه بیرینگ‌ها برای جعبه محور وسایل نقلیه ریلی (شکل ۳)
- رولربیرینگ‌های استوانه‌ای برای موتور کشنده وسایل نقلیه ریلی
- رولربیرینگ‌ها چند ردیفه باز و آب‌بند برای نورد (شکل ۴)
- بیرینگ پشت بند (Backing Bearing) برای نورد سرد نوع کلاستر (Cluster) (شکل ۵)
- مجموعه رولرهای ایندکسی (Indexing Roller) برای کوره‌های مداوم (Continous Furnaces) (شکل ۶)

جزئیات بیرینگ‌های فوق در کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده است.

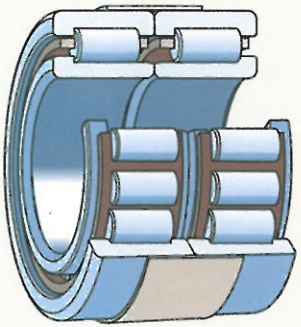
شکل ۱



شکل ۲

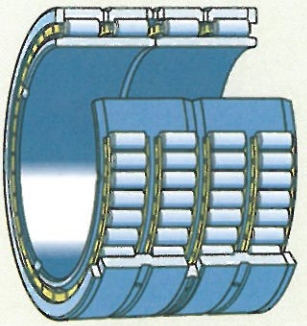


شکل ۳

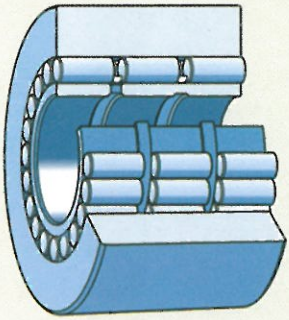


نوع دیگر رولربیرینگ‌ها برای کاربردهای خاص شامل رولربیرینگ‌های عایق الکتریکی معروف به INSOCOAT® می‌باشند. که جزئیات این بیرینگ‌ها در بخش « بیرینگ‌های مهندسی » در صفحه ۴۷۲ آورده شده است.

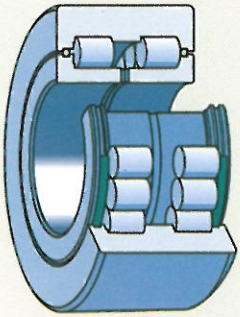
شکل ٤



شکل ٥



شکل ٦



فصل (۴-۱)

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه

طرح‌های بیرینگ ۳۵۶
طرح‌های استاندارد ۳۵۶
رینگ‌های زاویه‌دار ۳۵۷
طرح‌های خاص ۳۵۸
بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر ۳۶۰
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۳۶۰
ابعاد ۳۶۰
تلرانس‌ها ۳۶۰
لقی داخلی شعاعی ۳۶۰
لقی داخلی محوری ۳۶۰
عدم همراستایی ۳۶۰
جابجایی محوری ۳۶۴
تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ‌ها ۳۶۴
قفسه‌ها ۳۶۴
سرعت‌های اسمی ۳۶۵
بار حداقل ۳۶۵
ظرفیت حمل بار محوری دینامیکی ۳۶۶
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۳۶۷
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۳۶۷
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۳۶۸

طرح‌های بیرینگ

طرح‌های استاندارد

در رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه (شکل ۱)، رولرها همیشه بین دو لبه باز یکی از رینگ‌های بیرینگ حرکت می‌کنند.

این لبه‌های باز به همراه طراحی خاص و صافی سطح گوشه‌های رولرها، امکان روانکاری مناسبی را ایجاد کرده که باعث کاهش اصطکاک و در نتیجه دمای کارکرد می‌شوند.

رینگ لبه‌دار، به همراه مجموعه رولرها و قفسه را می‌توان از رینگ دیگر جدا کرد. این موضوع باعث سادگی نصب و بیرون آوردن می‌شود. خصوصاً اگر شرایط بار به صورتی است که لازم باشد هر دو رینگ به صورت تداخلی نصب شوند.

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای می‌توانند بار شعاعی بسیار زیادی را تحمل کرده و در سرعت‌های بالا کار کنند. این بیرینگ‌ها در چندین طرح مختلف ساخته می‌شوند که اختلاف آنها در شکل قرارگیری لبه‌ها می‌باشد. طرح‌هایی که بیشترین کاربرد را دارند (شکل ۲) در زیر شرح داده‌شده و در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند.

طرح NU

رینگ خارجی بیرینگ‌های طرح NU دارای دو لبه می‌باشد و رینگ داخلی آنها بدون لبه است (الف). در این طرح جابجایی محوری شفت نسبت به نشیمنگاه از هر دو جهت امکان‌پذیر است.

طرح N

رینگ داخلی بیرینگ طرح N دارای دو لبه می‌باشد و رینگ خارجی آنها بدون لبه است (ب). جابجایی محوری شفت نسبت به نشیمنگاه از هر دو جهت امکان‌پذیر است.

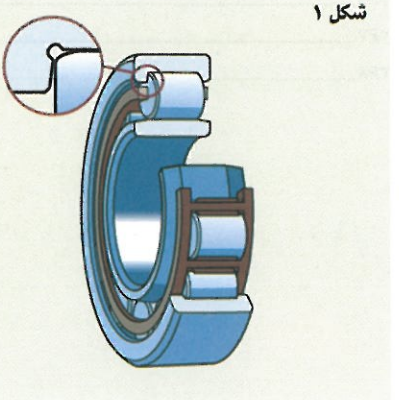
طرح NJ

رینگ خارجی بیرینگ‌های طرح NJ دارای دو لبه می‌باشند و رینگ داخلی دارای یک لبه است (ج). این بیرینگ‌ها می‌توانند شفت را از یک جهت محوری مهار کنند.

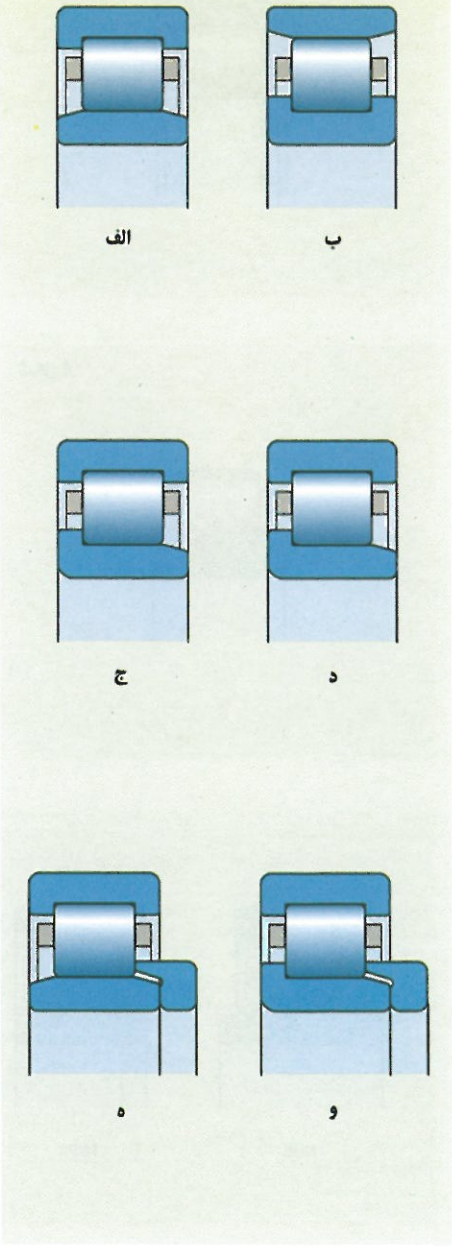
طرح NUP

رینگ‌های خارجی و داخلی بیرینگ‌های طرح NUP دارای دو لبه می‌باشند که یکی از لبه‌های رینگ داخلی قابل جدا شدن (Loose Flange Ring) است (د). این بیرینگ‌ها را می‌توان به عنوان بیرینگ ثابت برای مهار محوری شفت از هر دو جهت بکار برد.

شکل ۱



شکل ۲



رینگ‌های زاویه‌دار

رینگ‌های زاویه‌دار، با شماره فنی HJ، برای ثابت نگه داشتن رولربیرینگ‌های استوانه‌ای طرح NU و NJ در جهت محوری بکار می‌روند (شکل ۲ ه و و). دلایل متعددی برای استفاده از این رینگ‌ها در طراحی وجود دارد،

- بیرینگ‌های NJ یا NU توانایی ثابت کردن محوری شفت را ندارند.
- در کاربردهایی که بار سنگین است به جای بیرینگ‌های طرح NUP می‌توان از بیرینگ طرح NJ به همراه رینگ زاویه‌دار استفاده کرد. در این شرایط بیرینگ NJ به همراه رینگ زاویه‌دار HJ پهنای بیشتر و پایداری بهتری نسبت به رینگ داخلی کوچک و لبه تفکیک‌پذیر بیرینگ‌های NUP دارد.
- طراحی ساده و سادگی نصب و بیرون آوردن

رینگ‌های زاویه‌دار از جنس فولاد کربن ـ کرم بوده که سخت‌شده و سنگ زده شده‌اند. حداکثر لنگی سطح جانبی این رینگ‌ها مطابق تلرانس کلاس نرمال برای بیرینگ‌های شعاعی (جدول ۳ در صفحه ۱۱۳) است. رینگ‌های زاویه‌دار HJ در صورت وجود برای هر بیرینگ در جداول بیرینگ‌ها با شماره فنی آورده شده‌اند.

طرح NU به همراه رینگ زاویه‌دار HJ

طرح NU به همراه رینگ زاویه‌دار HJ (هـ) می‌تواند برای ثابت نگه داشتن شفت در یک جهت محوری بکار رود. استفاده از بیرینگ NU به همراه دو رینگ زاویه‌دار استاندارد در دو طرف بیرینگ توصیه نمی‌شود زیرا ممکن است باعث ایجاد فشار محوری بر روی رولرها شود.

طرح NJ به همراه رینگ زاویه‌دار HJ

طرح NJ به همراه زاویه‌دار HJ (و) را می‌توان برای ثابت کردن شفت از هر دو جهت محوری استفاده کرد.

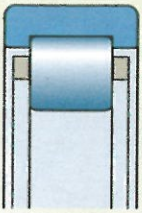
طرح‌های خاص

مجموعه رولربیرینگ‌ها شامل رولربیرینگ‌های طرح NU بدون رینگ داخلی (شکل ۳)، با پیشوند شماره فنی RNU و رولربیرینگ‌های طرح N بدون رینگ خارجی (شکل۴)، با پیشوند شماره فنی RN نیز موجود می‌باشند. این بیرینگ‌ها در شرایطی که سطح غلتش سخت و سنگ زده‌شده بر روی شفت یا نشیمنگاه ایجاد شده است، بکار می‌روند (بخش « سطح غلتش بر روی شفت نشیمنگاه » در صفحه ۱۸۶).

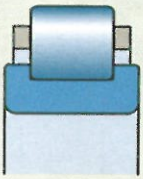
از آن جایی که بیرینگ‌های RNU نیاز به رینگ داخلی ندارند قطر شفت بزرگ‌تر است و در نتیجه چیدمان محکم‌تر و سفتی بالاتری به دست می‌آید. از طرف دیگر امکان جابجایی شفت نسبت نشیمنگاه فقط محدود به پهنای سطح غلتش بر روی شفت (طرح RNU) یا نشیمنگاه (طرح RN) است.

انواع دیگر رولربیرینگ‌های یک ردیفه شامل بیرینگ‌ها با رینگ داخلی پهن‌تر و ترکیب متفاوت لبه‌ها نسبت به طرح‌های استاندارد (شکل ۵) و بیرینگ‌هایی که با شماره نقشه مشخص‌شده و دارای ابعاد غیر استاندارد هستند، می‌باشند. جزئیات این بیرینگ‌ها در کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده‌اند.

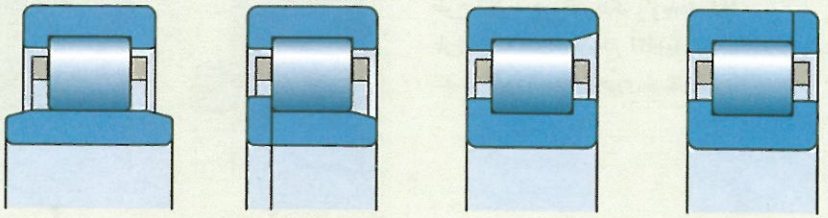
شکل ۳



شکل ٤



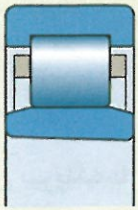
شکل ٥



بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه، عموماً با رینگ داخلی استوانه‌ای تولید می‌شوند. ولی بعضی بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی 1:12 نیز موجود می‌باشند (شکل ۶). رولربیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی دارای لقی داخلی بیشتری نسبت به رولربیرینگ‌های مشابه با رینگ داخلی استوانه‌ای می‌باشند و با پسوند K در شماره فنی مشخص شده‌اند.

شکل ٦

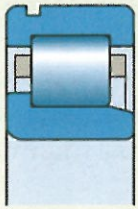


بیرینگ‌ها با شیار خار فنری

بعضی از انواع رولربیرینگ‌های یک ردیفه با شیار خار فنری بر روی رینگ خارجی تولید می‌شوند (شکل ۷). این بیرینگ‌ها با پسوند N در شماره فنی مشخص می‌شوند.

این بیرینگ‌ها را می‌توان به کمک خاز فنری در نشیمنگاه نصب کرد. لذا باعث ساده شدن طرح چیدمان و کوچک شدن آن می‌شوند. ابعاد شیار و پخ کنار آن مطابق استاندارد ISO 464:1995 بوده و ابعاد خار مناسب نیز در این استاندارد مشخص شده است.

شکل ۷



بیرینگ با شیار ثابت‌کننده

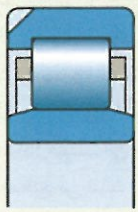
در کاربردهایی که سادگی نصب و در آوردن الزامی است، رینگ خارجی باید با لقی در نشیمنگاه نصب شود. برای جلوگیری از چرخش رینگ خارجی در داخل نشیمنگاه، بعضی رولربیرینگ‌ها با

- یک شیار ثابت‌کننده، پسوند N1 در شماره فنی بیرینگ و یا
- دو شیار ثابت‌کننده با موقعیت ° 180 نسبت به همدیگر، پسوند N2 در شماره فنی بیرینگ

در یک سمت رینگ خارجی (شکل ۸) تولید می‌شوند.

ابعاد شیار ثابت‌کننده مطابق استاندارد DIN 5412-1:2000 است.

شکل ۸



بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر

بیرینگ‌های SKF اکسپلورر با کلاس عملکرد بالا در جداول بیرینگ‌ها با رنگ آبی مشخص شده‌اند. این بیرینگ‌ها دارای شماره فنی مشابه بیرینگ‌های قبلی می‌باشند، نظیر NU 216 ECP ولی بیرینگ و جعبه آن با کلمه « EXPLORER » برای جلوگیری از اشتباه علامت‌گذاری شده‌اند.

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه مطابق استاندارد ISO 15:1998 است.

ابعاد رینگ‌های زاویه‌دار HJ مطابق استاندرد ISO 246:1995 می‌باشد.

تلرانس‌ها

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه به صورت استاندارد با تلرانس نرمال برای دقت‌های ابعادی و تلرانس P6 برای دقت‌های حرکتی ساخته می‌شوند.

تلرانس‌ها مطابق استاندارد ISO 492:2002 بوده در جداول ۳ و ۴ صفحات ۱۱۳ و ۱۱۴ آورده شده‌اند.

لقی داخلی شعاعی

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه به صورت استاندارد و با لقی داخلی نرمال تولید می‌شوند ولی اکثر آنها با لقی بیشتر C3 نیز موجود می‌باشند. بعضی بیرینگ‌ها با لقی کم‌تر C2 یا لقی بیشتر C4 نیز موجود می‌باشند. به علاوه بعضی بیرینگ‌ها با لقی‌های کاهش‌یافته نیز تولید می‌شوند. این لقی‌های خاص شامل بخشی از محدوده لقی نرمال و بخشی از محدوده‌های لقی‌های اطراف می‌باشد.

بیرینگ‌ها با لقی غیر استاندارد یا محدوده لقی کاهش‌یافته با سفارش ساخته می‌شوند. محدوده لقی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای در جدول ۱ آورده شده‌اند و مطابق استاندارد ISO 5753:1991 هستند. این مقادیر برای بیرینگ نصب‌نشده و بدون بار صحیح می‌باشند.

اجزای تفکیک‌پذیر تمام بیرینگ‌ها با لقی استاندارد و لقی کاهش‌یافته، قابل تعویض با یکدیگر می‌باشند.

لقی داخلی محوری

رولربیرینگ‌های طرح NUP که شفت را از هر دو جهت ثابت می‌کنند، با لقی‌های محوری نشان داده شده در جدول ۲ ساخته می‌شوند. لقی محوری بیرینگ‌های طرح NJ وقتی که با رینگ زاویه‌دار HJ بکار می‌روند در جدول ۳ آورده شده‌اند.

حدود لقی‌های محوری در جداول ۲ و ۳ باید به عنوان مقادیر راهنما در نظر گرفته شوند. هنگام اندازه‌گیری لقی داخلی محوری، رولرها ممکن است کج شوند و لقی محوری افزایش یابد که ممکن است به میزان،

- لقی شعاعی بیرینگ‌های سری‌های 2، 3 و 4 یا
- 2/3 لقی شعاعی بیرینگ‌های سری‌های 22 و 23 باشد.

عدم همراستایی

توانایی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه در تحمل عدم همراستایی رینگ داخلی نسبت به رینگ خارجی محدود به چند دقیقه کمان است.

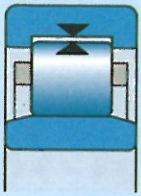
مقادیر واقعی عبارتند از

- 4 دقیقه کمان برای بیرینگ‌های سری 10، 12، 2، 3 و 4
- 3 دقیقه کمان برای بیرینگ‌های سری 20، 22 و 23

مقادیر فوق برای بیرینگ شناور (غیر ثابت) به شرطی که موقعیت محور شفت و نشیمنگاه ثابت بماند، صحیح می‌باشند. عدم همراستایی بیشتر با کاهش عمر بیرینگ امکان‌پذیر است.

وقتی بیرینگ برای ثابت کردن محوری شفت (بیرینگ ثابت) بکار می‌رود مقادیر فوق باید کاهش داده شوند. زیرا بار غیر یکنواخت ناشی از عدم همراستایی بر روی لبه باعث افزایش سایش و حتی شکست لبه می‌شود. مقدار حداکثر عدم همراستایی برای بیرینگ‌های طرح NUP و NJ+HJ صحیح نمی‌باشند. زیرا این بیرینگ‌ها دارای دو لبه بر روی رینگ خارجی و دو لبه بر روی رینگ داخلی بوده و لقی محوری آنها کم می‌باشد لذا عدم همراستایی باعث ایجاد تنش محوری در بیرینگ می‌شود.

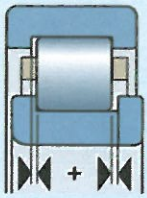
جدول ۱ لقی داخلی شعاعی رولر بیرینگهای استوانه ای با رینگ داخلی استوانه ای



قطر داخلی d		لقی داخلی شعاعی									
		C2		Normal		C3		C4		C5	
بیشتر از	تا وشامل	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		µm									
–	24	0	25	20	45	35	60	50	75	65	90
24	30	0	25	20	45	35	60	50	75	70	95
30	40	5	30	25	50	45	70	60	85	80	105
40	50	5	35	30	60	50	80	70	100	95	125
50	65	10	40	40	70	60	90	80	110	110	140
65	80	10	45	40	75	65	100	90	125	130	165
80	100	15	50	50	85	75	110	105	140	155	190
100	120	15	55	50	90	85	125	125	165	180	220
120	140	15	60	60	105	100	145	145	190	200	245
140	160	20	70	70	120	115	165	165	215	225	275
160	180	25	75	75	125	120	170	170	220	250	300
180	200	35	90	90	145	140	195	195	250	275	330
200	225	45	105	105	165	160	220	220	280	305	365
225	250	45	110	110	175	170	235	235	300	330	395
250	280	55	125	125	195	190	260	260	330	370	440
280	315	55	130	130	205	200	275	275	350	410	485
315	355	65	145	145	225	225	305	305	385	455	535
355	400	100	190	190	280	280	370	370	460	510	600
400	450	110	210	210	310	310	410	410	510	565	665
450	500	110	220	220	330	330	440	440	550	625	735
500	560	120	240	240	360	360	480	480	600	690	810
560	630	140	260	260	380	380	500	500	620	780	900
630	710	145	285	285	425	425	565	565	705	865	1 005
710	800	150	310	310	470	470	630	630	790	975	1 135
800	900	180	350	350	520	520	690	690	860	1 095	1 265

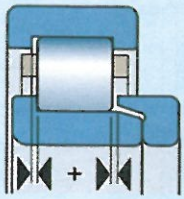
برای تعریف لقی شعاعی داخلی به صفحه ۱۲۵ مراجعه کنید

جدول ۲ لقی داخلی محوری رولر بیرینگهای استوانه ای طرح NUP



بیرینگ		لقی داخلی محوری بیرینگها در سریهای							
قطر داخلی	کد اندازه	NUP 2		NUP 3		NUP 22		NUP 23	
		min	max	min	max	min	max	min	max
mm	–	µm							
15	02	–	–	–	–	–	–	–	–
17	03	37	140	37	140	37	140	47	155
20	04	37	140	37	140	47	155	47	155
25	05	37	140	47	155	47	155	47	155
30	06	37	140	47	155	47	155	47	155
35	07	47	155	47	155	47	155	62	180
40	08	47	155	47	155	47	155	62	180
45	09	47	155	47	155	47	155	62	180
50	10	47	155	47	155	47	155	62	180
55	11	47	155	62	180	47	155	62	180
60	12	47	155	62	180	62	180	87	230
65	13	47	155	62	180	62	180	87	230
70	14	47	155	62	180	62	180	87	230
75	15	47	155	62	180	62	180	87	230
80	16	47	155	62	180	62	180	87	230
85	17	62	180	62	180	62	180	87	230
90	18	62	180	62	180	62	180	87	230
95	19	62	180	62	180	62	180	87	230
100	20	62	180	87	230	87	230	120	315
105	21	62	180	–	–	–	–	–	–
110	22	62	180	87	230	87	230	120	315
120	24	62	180	87	230	87	230	120	315
130	26	62	180	87	230	87	230	120	315
140	28	62	180	87	230	87	230	120	315
150	30	62	180	–	–	87	230	120	315
160	32	87	230	–	–	–	–	–	–
170	34	87	230	–	–	–	–	–	–
180	36	87	230	–	–	–	–	–	–
190	38	87	230	–	–	–	–	–	–
200	40	87	230	–	–	–	–	–	–
220	44	95	230	–	–	–	–	–	–
240	48	95	250	–	–	–	–	–	–
260	52	95	250	–	–	–	–	–	–

جدول ۳ لقی داخلی محوری رولر بیرینگهای استوانه ای طرحNJ + HJ

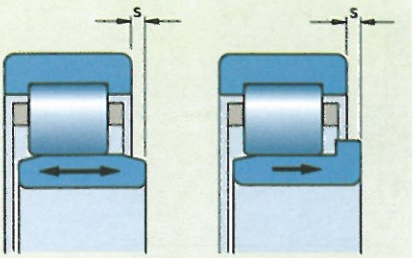


بیرینگ		لقی داخلی محوری بیرینگها در سریهای									
قطر داخلی	کد اندازه	NJ 2+HJ 2		NJ 3+HJ 3		NJ 4+HJ 4		NJ 22+HJ 22		NJ 23+HJ 23	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
mm	–	µm									
15	02	42	165	42	165	–	–	–	–	–	–
17	03	42	165	42	165	–	–	42	165	52	183
20	04	42	165	42	165	–	–	52	185	52	183
25	05	42	165	52	185	–	–	52	185	52	183
30	06	42	165	52	185	60	200	52	185	52	183
35	07	52	185	52	185	60	200	52	185	72	215
40	08	52	185	52	185	60	200	52	185	72	215
45	09	52	185	52	185	60	200	52	185	72	215
50	10	52	185	52	185	80	235	52	185	72	215
55	11	52	185	72	215	80	235	52	185	72	215
60	12	52	185	72	215	80	235	72	215	102	275
65	13	52	185	72	215	80	235	72	215	102	275
70	14	52	185	72	215	80	235	72	215	102	275
75	15	52	185	72	215	80	235	72	215	102	275
80	16	52	185	72	215	80	235	72	215	102	275
85	17	72	215	72	215	110	290	72	215	102	275
90	18	72	215	72	215	110	290	72	215	102	275
95	19	72	215	72	215	110	290	72	215	102	275
100	20	72	215	102	275	110	290	102	275	140	375
105	21	72	215	102	275	110	290	102	275	140	375
110	22	72	215	102	275	110	290	102	275	140	375
120	24	72	215	102	275	110	310	102	275	140	375
130	26	72	215	102	275	110	310	102	275	140	375
140	28	72	215	102	275	140	385	102	275	140	375
150	30	72	215	102	275	140	385	102	275	140	375
160	32	102	275	102	275	–	–	140	375	140	375
170	34	102	275	–	–	–	–	140	375	–	–
180	36	102	275	–	–	–	–	140	375	–	–
190	38	102	275	–	–	–	–	–	–	–	–
200	40	102	275	–	–	–	–	–	–	–	–
220	44	110	290	–	–	–	–	–	–	–	–
240	48	110	310	–	–	–	–	–	–	–	–
260	52	110	310	–	–	–	–	–	–	–	–
280	56	110	310	–	–	–	–	–	–	–	–

جابجایی محوری

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای با رینگ داخلی یا خارجی بدون لبه و بیرینگ‌های طرح NJ که رینگ داخلی آنها فقط یک لبه دارد، می‌توانند جابجایی محوری شفت نسبت به نشیمنگاه ناشی از انبساط حرارتی را در محدوده معینی تحمل کنند (شکل ۹). جابجایی محوری در داخل بیرینگ انجام می‌شود و نه بین بیرینگ و شفت یا نشیمنگاه به همین علت اصطکاک افزایش نمی‌یابد. مقادیر مجاز جابجایی محوری s یک رینگ از موقعیت نرمال نسبت به رینگ دیگر در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است.

شکل ۹



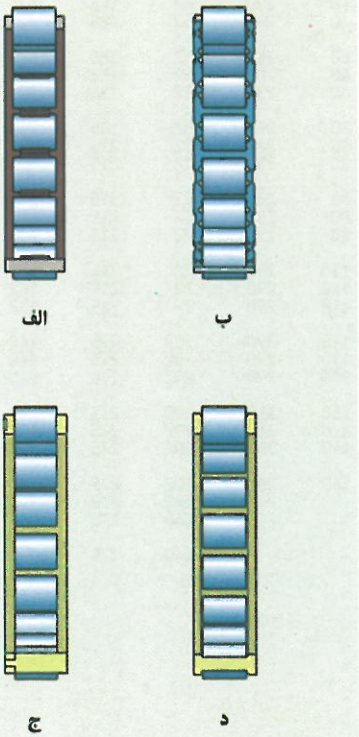
تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ‌ها

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای تحت عملیات حرارتی خاص قرار می‌گیرند. لذا هنگامی که با قفسه‌های فولادی و برنجی استفاده می‌شوند، می‌توانند تا دمای 150 °C+ نیز کار کنند.

قفسه‌ها

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه وابسته به سری، اندازه و طرح آنها با یکی از قفسه‌های شرح داده شده در زیر و نشان داده شده در شکل ۱۰، تولید می‌شوند.

شکل ۱۰



- قفسه نوع پنجره‌ای از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک) و مرکزشده نسبت به رولرها، با پسوند P در شماره فنی بیرینگ (الف)
- قفسه نوع پنجره‌ای از جنس فولاد پرسکاری‌شده سخت‌نشده و مرکزشده نسبت به رولرها، با پسوند J در شماره فنی بیرینگ (ب)
- قفسه برنجی یک تکه نوع پنجره‌ای ماشینکاری و مرکزشده نسبت به رینگ داخلی یا خارجی، با پسوند ML و MP در شماره فنی بیرینگ (ج)
- قفسه برنجی دو تکه ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رولرها، با پسوند M در شماره فنی و یا مرکزشده نسبت به رینگ خارجی، پسوند MA در شماره فنی و یا مرکزشده نسبت به رینگ داخلی، پسوند MB در شماره فنی بیرینگ (د)

تعداد زیادی از بیرینگ‌ها با قفسه استاندارد با انواع دیگر قفسه نیز ممکن است موجود باشند. لذا می‌توان بیرینگ را با

قفسه مناسب برای شرایط کارکرد انتخاب کرد. (جداول بیرینگ‌ها بر روی لوح فشرده همراه کتاب)

برای شرایط کارکرد سخت نظیر کمپرسورها، بیرینگ‌ها یا قفسه پلی اتراترکتون (PEEK) تقویت‌شده با الیاف شیشه (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک) توصیه می‌شوند. خواص منحصر به فرد PEEK ترکیب عالی مقاومت و انعطاف‌پذیری، محدوده دمای کارکرد وسیع، مقاومت عالی در برابر سایش و مواد شیمیایی و فرآیندپذیری خوب می‌باشند.

توجه:

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه با قفسه پلی آمید 6.6 می‌توانند تا دمای 120+ °C کار کنند. روانکارهای معمول برای بیرینگ‌ها عموماً اثر تعیین‌کننده‌ای بر خواص قفسه ندارند، بجز انواع محدودی از روغن‌های مصنوعی و گریس‌ها بر پایه این روغن‌ها و روانکارهای محتوی مقادیر زیادی افزودنی‌های EP که در دمای بالا بکار می‌روند.

در چیدمان‌هایی که بیرینگ‌ها به صورت پیوسته در دمای بالا و تحت شرایط سخت کار می‌کند، استفاده از بیرینگ‌ها با قفسه‌های فلزی توصیه می‌شود. در کاربردهایی که در آنها از گازهای مبرد نظیر آمونیم یا فرئون استفاده شده است، بیرینگ‌ها با قفسه پلی آمید می‌توانند تا دمای کارکرد 70+ °C استفاده می‌شوند. در دماهای بالاتر بیرینگ‌ها با قفسه‌های برنجی، فولادی یا PEEK باید استفاده شوند.

برای جزئیات بیشتر در رابطه با کاربرد قفسه‌ها و مقاومت آنها به حرارت به بخش « جنس قفسه‌ها » در صفحه ۱۲۸ مراجعه کنید.

جدول ٤ ضرایب تبدیل سرعت حدی

بیرینگها با قفسه استاندارد	قفسه های استاندارد جایگزین		
	P, J, M, MR	MA, MB	ML, MP
P, J, M, MR	1	1,3	1,5
MA, MB	0,75	1	1,2
ML, MP	0,65	0,85	1

سرعت‌های اسمی

سرعت‌های حدی بر اساس معیارهای مشخصی نظیر پایداری شکلی و مقاومت قفسه تعیین می‌شوند (بخش « سرعت‌های حدی » صفحه ۱۰۲). مقادیر سرعت حدی در جداول بر اساس قفسه استاندارد می‌باشند. محاسبه سرعت اسمی برای قفسه از جنس دیگر بر اساس ضرایب جدول ۴ است.

بار حداقل

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد، با اهمیت است. در این شرایط نیروی اینرسی رولرها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین رولرها و سطوح غلتش شود.

حداقل بار مورد نیاز برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه به صورت تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{rm} = k_r\left(6 + \frac{4n}{n_r}\right)\left(\frac{d_m}{100}\right)^2$$

که در آن

F_{rm} = بار حداقل شعاعی، kN

k_r = ضریب بار حداقل (جداول بیرینگ‌ها)

n = سرعت دورانی، r/mir

n_r = سرعت مرجع (جداول بیرینگ‌ها)، r/min

d_m = قطر متوسط بیرینگ =0.5(d+D)، mm

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد می‌باشد، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است، در غیر این صورت رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه باید تحت بار شعاعی اضافی قرار گیرند.

ظرفیت حمل بار محوری دینامیکی

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه با هر دو رینگ داخلی و خارجی لبه‌دار می‌توانند علاوه بر بار شعاعی بار محوری را تحمل کنند. ظرفیت حمل بار محوری به توانایی سطوح لغزشی لبه‌ها و انتهای رولرها در حمل بار بستگی دارد. عواملی نظیر روانکاری، دمای کارکرد و انتقال حرارت از بیرینگ به محیط خارج تأثیر زیادی در توانایی فوق دارند.

با فرض شرایطی که در زیر خواهد آمد، بار محوری مجاز را می‌توان با دقت کافی از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$F_{ap} = \frac{k_1 C_0 10^4}{n(d+D)} - k_2 F_r$$

که در آن

F_{ap} = حداکثر بار محوری مجاز، kN

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN

F_r = بار شعاعی بیرینگ، kN

n = سرعت دورانی، r/min

d = قطر داخلی بیرینگ، mm

D = قطر خارجی بیرینگ، mm

k_1 = ضریب،

1.5 برای روانکاری با روغن

1 برای روانکاری با گریس

k_2 = ضریب،

0.15 برای روانکاری با روغن

0.1 برای روانکاری با گریس

معادله فوق برای شرایط زیر که شرایطی طبیعی برای کارکرد بیرینگ‌ها می‌باشند، صحیح است.

- اختلاف دمای 60 °C بین دمای کارکرد بیرینگ و دمای محیط
- ضریب انتقال حرارت ویژه (Specific Heat Loss) 0.5 $mW/mm^2{}^\circ C$ برای سطح بیرونی رینگ خارجی (πDB)
- ضریب لزجت $\kappa \geq 2$

برای روانکاری با گریس باید از لزجت روغن پایه گریس استفاده شود. اگر κ کم‌تر از 2 باشد اصطکاک افزایش‌یافته و سایش بیشتری در بیرینگ ایجاد می‌شود. این اثرات با کاهش سرعت و استفاده از روغن محتوی افزودنی‌های ضد سایش AW و یا EP کاهش می‌یابد.

وقتی از گریس برای روانکاری استفاده شود و بار محوری برای مدت طولانی اعمال می‌شود، استفاده از گریس با خواص بیرون‌دهی روغن زیاد (3٪> مطابق DIN 51817) توصیه می‌شود. همچنین روانکاری‌های متعدد نیز توصیه شده است.

مقادیر بار مجاز F_{ap} که از معادله تعادل حرارتی محاسبه می‌شود برای بار محوری ثابت که به صورت پیوسته عمل می‌کند و در شرایط روانکاری کافی سطوح تماس لبه و انتهای رولرها، صحیح می‌باشد. در شرایطی که بار محوری برای مدت کوتاهی اعمال می‌شود مقادیر محاسبه‌شده را می‌توان در 2 ضرب نمود. همچنین برای بار محوری به صورت شوک مقدار محاسبه‌شده را باید در 3 ضرب نمود، به شرطی که از حدودی که در زیر برای مقاومت لبه ذکر شده است تجاوز نکند.

برای جلوگیری از شکست لبه بار محوری ثابت F_a هرگز نباید از مقدار عددی زیر بیشتر شود.

$F_{a\ max} = 0.0045D^{1.5}$ (بیرینگ‌ها در سری قطر 2)

یا

$F_{a\ max} = 0.0023D^{1.7}$ (بیرینگ‌ها در سری‌های دیگر)

وقتی بار محوری برای مدت محدود و یا کوتاهی عمل می‌کند، مقدار بار محوری وارده بر بیرینگ نباید از مقدار زیر بیشتر شود.

$F_{a\ max} = 0.0013D^{1.5}$ (بیرینگ‌ها در سری قطر 2)

یا

$F_{a\ max} = 0.007D^{1.7}$ (بیرینگ‌ها در سری‌ها دیگر)

دیگر که در آن

$F_{a\ max}$ = بار محوری پیوسته یا ناپیوسته، kN

D = قطر خارجی بیرینگ، mm

برای به دست آمدن توزیع یکنواخت بار بر روی لبه و دقت‌های حرکتی کافی برای شفت، هنگام کاربرد رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه تحت بار محوری زیاد، باید در طراحی به لنگی محوری و اندازه لبه‌های سطوح اجزای دربرگیرنده توجه خاص شود. برای لنگی محوری بخش « دقت‌های ابعادی، فرم و حرکتی شفت و نشیمنگاه بیرینگ و پله‌ها » در صفحه ۱۸۲ را ببینید. ارتفاع پله پیشانی شفت، نصف

ارتفاع لبه رینگ داخلی توصیه می‌شود (شکل ۱۱). برای لبه رینگ داخلی، قطر پله شفت از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$d_{as} = 0.5(d_1 + F)$$

که در آن

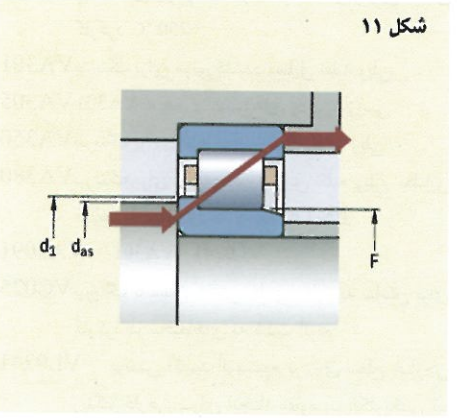
d_{as} = قطر پله شفت، mm

d_1 = قطر لبه رینگ داخلی، mm

F = قطر سطح غلتش رینگ داخلی، mm

وقتی عدم همراستایی بین رینگ داخلی و خارجی از یک دقیقه کمان بیشتر شود، عملکرد بار بر روی لبه به صورت قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند در این شرایط ممکن است ضریب اطمینان در نظر گرفته‌شده در مقادیر فوق کافی نباشد.

شکل ۱۱



بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای بیرینگ‌های شناور بار معادل دینامیکی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P = F_r$$

در شرایطی که هر دو رینگ بیرینگ دارای لبه باشند و بیرینگ برای ثابت کردن شفت از یک یا دو جهت استفاده شود، بار معادل دینامیکی بیرینگ از روابط زیر محاسبه می‌شود.

اگر $F_a/F_r \le e$ $\quad P = F_r$

اگر $F_a/F_r > e$ $\quad P = 0.92F_r + YF_a$

که در آن

e = مقدار حدی

= 0.2 برای بیرینگ‌های در سری‌های 10، 2، 3 و 4

= 0.3 برای بیرینگ‌های سری‌های دیگر

Y = ضریب بار محوری

= 0.6 برای بیرینگ‌ها در سری‌های 10، 2، 3 و 4

= 0.4 برای بیرینگ‌های سری‌های دیگر

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای تحت بار محوری فقط در شرایطی که تحت بار شعاعی نیز بوده و نسبت F_a/F_r از 0.5 بیشتر نباشد، عملکرد رضایت‌بخش دارند.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای رولربیرینگ استوانه‌ای تحت بار استاتیکی، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = F_r$$

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند در زیر شرح داده می‌شوند.

CN لقی داخلی شعاعی نرمال. عموماً به همراه یکی از حروف زیر برای محدوده لقی کاهش‌یافته یا جابجاشده بکار می‌رود.

H محدوده لقی کاهش‌یافته معادل نیمه بالایی محدوده واقعی

L محدوده لقی کاهش‌یافته معادل نیمه پایینی محدوده واقعی

حروف بالا به همراه کلاس‌های لقی C2، C3، C4 و C5 نیز بکار می‌روند.

C2 لقی داخلی شعاعی کم‌تر از نرمال

C3 لقی داخلی شعاعی بیشتر از نرمال

C4 لقی داخلی شعاعی بیشتر از C3

C5 لقی دخلی شعاعی بیشتر از C4

EC طرح داخلی بهینه‌شده، رولرهای بزرگ‌تر و یا بیشتر شده و سطح تماس لبه/ انتهای رولرها اصلاح شده است

HA3 رینگ داخلی از فولاد سخت شونده سطحی

HB1 رینگ داخلی و خارجی سخت‌شده باینیتی

HN1 رینگ داخلی و خارجی با عملیات حرارتی سطحی خاص

J قفسه فولادی پرسکاری‌شده، سخت‌نشده و مرکزشده نسبت به رولرها

K رینگ داخلی مخروطی، مخروط 1:12

M قفسه برنجی ماشینکاری‌شده دو تکه و مرکزشده نسبت به رولرها

MA قفسه برنجی ماشینکاری‌شده دو تکه و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی

MB قفسه برنجی ماشینکاری‌شده دو تکه و مرکزشده نسبت به رینگ داخلی

ML قفسه برنجی یک تکه نوع پنجره‌ای تراشکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ داخلی یا خارجی

MP قفسه برنجی یک تکه نوع پنجره‌ای فرزکاری (Milled) یا برقو کاری‌شده (Reamed or Broched) و مرکزشده نسبت به رینگ داخلی یا خارجی

MR قفسه برنجی یک تکه نوع پنجره‌ای تراشکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رولرها

N شیار خار فنری در رینگ خارجی

NR شیار خار فنری در رینگ خارجی به همراه خار فنری مناسب آن

N1 یک شیار ثابت‌کننده در سطح جانبی رینگ خارجی

N2 دو شیار ثابت‌کننده با موقعیت 180° نسبت به یکدیگر در سطح جانبی رینگ خارجی

P قفسه پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه، ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک و مرکزشده نسبت به رولرها

PH قفسه از جنس پلی اتراترکتون (PEEK) تقویت‌شده با الیاف شیشه ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک و مرکزشده نسبت به رولرها

PHA قفسه از جنس پلی اتراترکتون (PEEK) تقویت‌شده با الیاف شیشه ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک و مرکزشده نسبت به رینگ خارجی

S1 رینگ‌های پایدارشده از نظر ابعادی برای دمای کارکرد 200+ °C

S2 رینگ‌های پایدارشده از نظر ابعادی برای دمای کارکرد 250+ °C

VA301 بیرینگ برای موتورکشنده وسایل نقلیه ریلی

VA305 VA301 به همراه روتین‌های خاص بازرسی

VA350 بیرینگ برای جعبه محور وسایل نقلیه ریلی

VA380 بیرینگ برای جعبه محور وسایل نقلیه ریلی مطابق کلاس 1 استاندارد EN 12080:1998

VA3091 VL0241 +VA301

VC025 بیرینگ با سطح غلتش خاص مقاوم به سایش برای کارکرد در محیط‌های به شدت آلوده

VL0241 پوشش اکسید آلومینیوم بر روی سطح خارجی رینگ خارجی برای ایجاد مقاومت الکتریکی تا 1000 VDC

VL2071 پوشش اکسید آلومینیوم بر روی سطح داخلی رینگ داخلی برای ایجاد مقاومت الکتریکی تا 1000 VDC

VQ015 رینگ داخلی با سطح غلتش قوسی برای افزایش عدم همراستایی مجاز

فصل (۴-۲)

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای

یک ردیفه بدون قفسه

طرح‌های بیرینگ ۳۷۰
طرح NCF ۳۷۰
طرح NJG ۳۷۰
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۳۷۱
ابعاد ۳۷۱
تلرانس‌ها ۳۷۱
لقی داخلی شعاعی ۳۷۱
عدم همراستایی ۳۷۱
تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ ۳۷۱
بار حداقل ۳۷۱
ظرفیت حمل بار محوری دینامیکی ۳۷۲
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۳۷۳
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۳۷۳
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۳۷۳

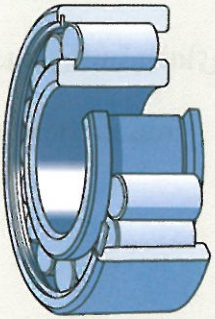
طرح‌های بیرینگ

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای بدون قفسه حداکثر تعداد رولرها را داشته و به همین علت برای بارهای سنگین شعاعی مناسب هستند. ولی این بیرینگ‌ها نمی‌توانند در سرعت‌های مشابه با سرعت‌های بیرینگ‌های قفسه‌دار کار کنند. محدوده استاندارد رولربیرینگ‌های یک ردیفه بدون قفسه شامل طرح‌های NCF و NJG می‌باشد.

طرح NCF

بیرینگ‌های طرح NCF (شکل ۱) دارای دو لبه بر روی رینگ داخلی و یک لبه بر روی رینگ خارجی می‌باشند. بنابراین بار محوری را فقط از یک جهت تحمل کرده و می‌توانند شفت از در یک جهت ثابت کنند. یک رینگ نگه دارنده در سمت بدون لبه رینگ خارجی کل مجموعه را به هم پیوسته نگه می‌دارد. لقی محوری بیرینگ در جداول بیرینگ‌ها آورده شده و این لقی به شفت اجازه حرکت محوری نسبت به نشیمنگاه (که می‌تواند ناشی از انبساط حرارتی شفت باشد) را می‌دهد.

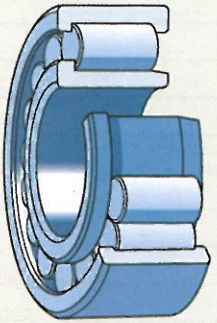
شکل ۱



طرح NJG

بیرینگ‌های طرح NJG (شکل ۲) که شامل سری ابعادی سنگین 23 می‌باشد، برای کاربردهای سنگین در سرعت‌های پایین بکار می‌روند. رینگ خارجی این بیرینگ‌ها دارای دو لبه و رینگ داخلی آنها داری یک لبه است. بنابراین بار محوری را در یک جهت تحمل کرده و شفت را در یک جهت ثابت می‌کنند. در مقایسه با دیگر بیرینگ‌های بدون قفسه بیرینگ‌های طرح NJG نیاز به رینگ نگهدارنده ندارند و اصطلاحاً خودنگهدارنده هستند. لذا رینگ خارجی به همراه مجموعه رولرها را می‌توان از رینگ داخلی جدا کرد بدون آن که نگران بیرون ریختن رولرها بود. این موضوع باعث سادگی نصب و بیرون آوردن بیرینگ می‌شود.

شکل ۲



اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه بدون قفسه مطابق استاندارد ISO 15:1998 می‌باشند.

تلرانس‌ها

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه بدون قفسه به صورت استاندارد با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. مقادیر تلرانس‌ها مطابق استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جدول ۳ در صفحه ۱۱۳ آورده شده‌اند.

لقی داخلی شعاعی

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه بدون قفسه به صورت استاندارد با لقی نرمال تولید می‌شوند. اکثر بیرینگ‌ها با لقی داخلی بیشتر C3 نیز موجود می‌باشند. مقادیر لقی مطابق استاندارد ISO 5753:1991 بوده و در جدول ۱ صفحه ۳۶۱ آورده شده‌اند. لقی‌های ذکرشده برای بیرینگ نصب‌نشده و بدون بار صحیح می‌باشند.

عدم همراستایی

توانایی رولربیرینگ‌های یک ردیفه استوانه‌ای بدون قفسه در تحمل عدم همراستایی زاویه‌ای رینگ داخلی نسبت به رینگ خارجی محدود به چند دقیقه کمان است. مقادیر دقیق عبارتند از،

- 4 دقیقه کمان برای بیرینگ‌ها با پهنای کوچک، سری 18 و
- 3 دقیقه کمان برای بیرینگ‌ها با پهنای بزرگ سری‌های 22، 23، 28، 29 و 30

مقادیر فوق به شرطی صحیح می‌باشند که موقعیت محور شفت و نشیمنگاه ثابت بماند. عدم همراستایی بیشتر نیز امکان‌پذیر است ولی باعث کاهش عمر بیرینگ می‌شود.

تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه بدون قفسه تحت عملیات حرارتی خاص قرار می‌گیرند لذا می‌توانند تا دمای 150 °C+ نیز کار کنند.

بار حداقل

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه بدون قفسه برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ در سرعت‌های بالا تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد، با اهمیت است. در این شرایط نیروی اینرسی رولرها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین رولرها و سطوح غلتش شود.

حداقل بار مورد نیاز برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه به صورت تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{rm} = k_r(6 + \frac{4n}{n_r})(\frac{d_m}{100})^2$$

که در آن

F_{rm} = بار حداقل شعاعی، kN

k_r = ضریب بار حداقل

0.1 برای بیرینگ‌های سری 18

0.11 برای بیرینگ‌های سری 28

0.2 برای بیرینگ‌های سری 29

0.3 برای بیرینگ‌های سری 30 و 22

0.35 برای بیرینگ‌های سری 23

n = سرعت دورانی، r/min

n_r = سرعت مرجع، r/min (جداول بیرینگ‌ها)

d_m = قطر متوسط بیرینگ = 0.5(d+D)، mm

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است، در غیر این صورت رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه بدون قفسه باید تحت بار شعاعی اضافی قرار گیرند.

ظرفیت حمل بار محوری دینامیکی

بیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه بدون قفسه با لبه بر روی هر دو رینگ داخلی و خارجی می‌توانند علاوه بر بار شعاعی بار محوری را نیز تحمل کنند. ظرفیت حمل بار محوری به توانایی سطوح لغزشی لبه‌ها و انتهای رولرها در حمل بار بستگی دارد. عواملی نظیر روانکاری، دمای کارکرد و انتقال حرارت از بیرینگ به محیط خارج تأثیر زیادی در توانایی فوق دارند.

با فرض شرایطی که در زیر خواهد آمد، بار محوری مجاز را می‌توان با دقت کافی از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$F_{ap} = \frac{k_1 C_0 10^4}{n(d+D)} - k_2 F_r$$

که در آن

F_{ap} = حداکثر بار محوری مجاز، kN

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN

F_r = بار شعاعی بیرینگ، Kn

n = سرعت دورانی، r/min

d = قطر داخلی بیرینگ، mn

D = قطر خارجی بیرینگ، mm

k_1 = ضریب،

1 برای روانکاری با روغن

0.5 برای روانکاری با گریس

k_2 = ضریب،

0.3 برای روانکاری با روغن

0.15 برای روانکاری با گریس

معادله فوق بر اساس شرایط زیر که شرایط طبیعی برای کارکرد بیرینگ‌ها می‌باشند، صحیح است.

- اختلاف دمایی 60 °C بین دمای کارکرد بیرینگ و دمای محیط
- ضریب انتقال حرارت ویژه 0.5 $mW/mm^2{}^\circ C$ برای سطح بیرونی رینگ خارجی (πDB)
- ضریب لزجت $\kappa \geq 2$

در روانکاری با گریس از لزجت روغن پایه استفاده می‌شود. اگر κ کم‌تر از 2 باشد اصطکاک افزایش‌یافته و سایش بیشتری در بیرینگ ایجاد می‌شود. این اثرات با کاهش سرعت و استفاده از روغن محتوی افزودنی‌های ضد سایش AW و یا EP کاهش می‌یابد.

وقتی از گریس به عنوان روانکار استفاده می‌شود و بار محوری برای مدت طولانی اعمال می‌شود. استفاده از گریس با خواص بیرون‌دهی روغن زیاد (3%> مطابق DIN 51817) توصیه می‌شود. همچنین روانکارهای متعدد نیز توصیه شده است.

مقدار بار مجاز F_{ap} که از رابطه فوق محاسبه می‌شود برای بار محوری ثابت که به طور پیوسته عمل می‌کند و در شرایط روانکاری کافی سطوح تماس لبه و انتهای رولرها صحیح می‌باشد. در شرایطی که بار محوری برای مدت کوتاهی اعمال می‌شود، مقادیر محاسبه‌شده را می‌توان در 2 ضرب نمود. همچنین برای بار محوری به صورت شوک مقدار محاسبه‌شده را باید در 3 ضرب نمود. به شرطی که از حد مقاومت لبه که در زیر آمده است تجاوز نشود.

برای جلوگیری از شکست لبه بار محوری ثابت F_a هرگز نباید از مقدار عددی زیر بیشتر شود.

$$F_{a\ max} = 0.0023D^{1.7}$$

وقتی بار محوری برای مدت محدود یا کوتاهی عمل می‌کند، مقدار بار محوری وارده بر بیرینگ نباید از مقدار زیر بیشتر شود.

$$F_{a\ max} = 0.007D^{1.7}$$

که در آن

$F_{a\ max}$ = حداکثر بار محوری پیوسته یا ناپیوسته، kN

D = قطر خارجی بیرینگ، mm

است. برای به دست آمدن توزیع یکنواخت بار بر روی لبه و دقت‌های حرکتی کافی برای شفت، هنگام کاربرد رولربیرینگ‌های استوانه‌ای تحت بار محوری زیاد، باید در طراحی به لنگی محوری و اندازه لبه‌های سطوح اجزای دربرگیرنده بیرینگ توجه خاص شود.

در صورت تغییر شکل شفت و اعمال همزمان بار محوری، لبه رینگ داخلی باید فقط در نصف ارتفاع خود (شکل ۳) توسط لبه پله شفت حمایت‌شده تا خرابی ناشی از تنش‌های متغیر ایجاد نشود. مقادیر توصیه‌شده ارتفاع لبه پله شفت d_{as} در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است.

وقتی عدم همراستایی بین رینگ داخلی و خارجی از یک دقیقه کمان بیشتر شود عملکرد بار بر روی لبه به صورت قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. در این شرایط ضریب اطمینان در نظر گرفته‌شده در مقادیر فوق ممکن است کافی نباشد.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای بیرینگ‌های شناور بار معادل دینامیکی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P = F_r$$

در شرایطی که هر دو رینگ بیرینگ دارای لبه باشند و بیرینگ برای ثابت کردن شفت در یک یا دو جهت استفاده شود، بار معادل دینامیکی بیرینگ از روابط زیر محاسبه می‌شود.

اگر $F_a/F_r \le e$ $\quad P = F_r$

اگر $F_a/F_r > e$ $\quad P = 0.92F_r + YF_a$

که در آن

e = مقدار حدی

= 0.2 برای بیرینگ‌های سری 18

= 0.3 برای بیرینگ‌های سری‌های 22، 23، 28، 29 و 30

Y = ضریب بار محوری

= 0.6 برای بیرینگ‌های سری 18

= 0.4 برای بیرینگ‌های سری‌های 22، 23، 28، 29 و 30

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای بدون قفسه تحت بار محوری فقط در شرایطی که تحت بار شعاعی باشند و نسبت F_a/F_r از 0.5 بیشتر نباشد، عملکرد رضایت‌بخش دارند.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای رولربیرینگ یک ردیفه بدون قفسه تحت بار استاتیکی، بار معادل استاتیکی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = F_r$$

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه بدون قفسه برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند، در زیر شرح داده می‌شوند.

CV طرح داخلی اصلاح‌شده، مجموعه رولرها بدون قفسه

C3 لقی داخلی شعاعی بیشتر از نرمال

HA1 رینگ‌های داخلی و خارجی از فولاد سخت شونده سطحی

HB1 رینگ‌های داخلی و خارجی سخت کاری باینیتی شده‌اند

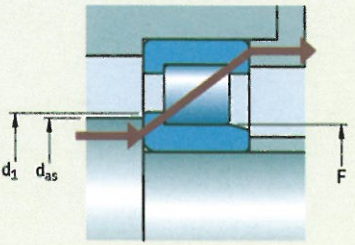
L4B رینگ‌های بیرینگ و رولرها با پوشش سطحی خاص

L5B رولرها با پوشش سطحی خاص

V مجموعه رولرها بدون قفسه

VH مجموعه رولرها بدون قفسه، خود نگهدارنده

شکل ۳



فصل (۴-۳)

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای

دو ردیفه بدون قفسه

طرح‌های بیرینگ ۳۷۶
طرح NNCL ۳۷۶
طرح NNCF ۳۷۶
طرح NNC ۳۷۶
طرح NNF ۳۷۷
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۳۷۸
ابعاد ۳۷۸
تلرانس‌ها ۳۷۸
لقی داخلی ۳۷۸
جابجایی محوری ۳۷۸
عدم همراستایی ۳۷۸
تأثیر دمای کارکرد بر عمر بیرینگ ۳۷۸
بار حداقل ۳۷۹
ظرفیت حمل بار محوری دینامیکی ۳۷۹
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۳۸۰
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۳۸۰
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۳۸۱

طرح‌های بیرینگ

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه بدون قفسه دارای حداکثر تعداد رولر بوده و به همین علت برای بارهای شعاعی بسیار سنگین مناسب هستند. ولی نمی‌توانند در سرعت‌های مشابه با سرعت رولربیرینگ‌های استوانه‌ای قفسه‌دار کار کنند. رولربیرینگ‌های دو ردیفه بدون قفسه به صورت استاندارد در چهار طرح که سه طرح آن باز و یک طرح آن آب‌بند شده است، تولید می‌شوند (شکل ۱). همه طرح‌ها تفکیک‌ناپذیر بوده و دارای شیار و سه سوراخ روانکاری در رینگ خارجی برای کمک به روانکاری مؤثر می‌باشند.

طرح NNCL

بیرینگ‌های طرح NNCL (الف) دارای سه لبه در رینگ داخلی بوده و رینگ خارجی بدون لبه می‌باشد. اجزای بیرینگ به کمک یک رینگ نگهدارنده، که در رینگ خارجی بین دو ردیف رولرها قرار می‌گیرد، به هم پیوسته نگه داشته می‌شوند. جابجایی محوری شفت نسبت به نشیمنگاه در هر دو جهت امکان‌پذیر بوده و این جابجایی در داخل بیرینگ انجام می‌گیرد. لذا بیرینگ‌های فوق برای موقعیت بیرینگ شناور مناسب هستند.

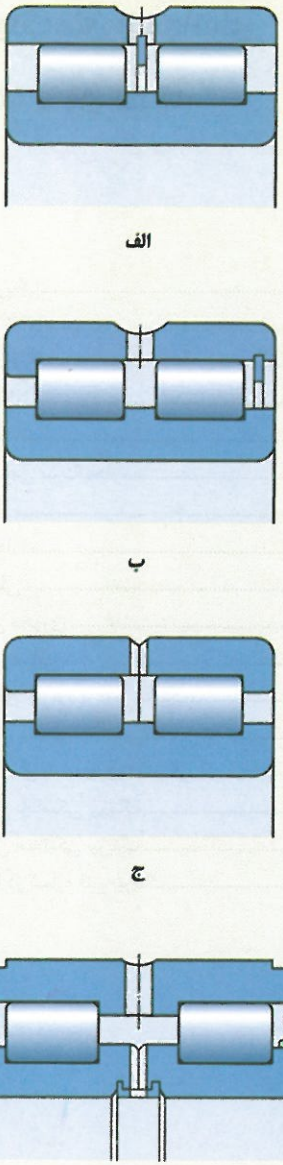
طرح NNCF

بیرینگ‌های طرح NNCF (ب) دارای سه لبه در رینگ داخلی و یک لبه در رینگ خارجی می‌باشند. لذا بیرینگ می‌تواند شفت را در یک جهت ثابت نگه دارد. اجزای بیرینگ به کمک یک رینگ نگهدارنده که در رینگ خارجی در سمت مقابل لبه قرار می‌گیرد، به هم پیوسته نگه داشته می‌شوند.

طرح NNC

بیرینگ‌های طرح NNC (ج) دارای رینگ داخلی مشابه طرح‌های NNCL و NNCF است. رینگ خارجی دو تکه بوده و به کمک اجزای نگهدارنده به هم پیوسته نگه داشته می‌شود و به همین علت نباید تحت بار محوری قرار گیرد. هر دو جزء رینگ خارجی مشابه بوده و هر یک داری یک لبه می‌باشد، لذا بیرینگ می‌تواند شفت را در هر دو جهت محوری ثابت نگه دارد.

شکل ۱



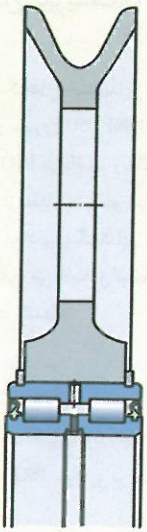
الف

ب

ج

د

شکل ۲



طرح NNF

بیرینگ طرح NNF (د) در سری‌های NNF 50 و 3194(00) همیشه با آب‌بند دو طرفه به همراه گریس تولید می‌شوند. رینگ داخلی این بیرینگ‌ها دو تکه و دارای سه لبه بوده که به کمک یک رینگ نگه دارنده به هم پیوسته نگه داشته می‌شوند. رینگ خارجی دارای یک لبه مرکزی می‌باشد. بیرینگ می‌تواند شفت را در دو جهت محوری ثابت نگه دارد. همچنین به علت فاصله نسبتاً زیاد دو ردیف رولرها، بیرینگ می‌تواند ممان خمشی را نیز تحمل کند.

پهنای رینگ خارجی 1 mm کم‌تر از رینگ داخلی بوده و دارای دو شیار خار فنری می‌باشد. لذا می‌توان رینگ‌های فاصله‌انداز بین رینگ داخلی و اجزای مجاور را حذف کرد [برای مثال چرخ قرقره (Rope Sheaves) شکل ۲ را ببینید].

بیرینگ‌ها دارای آب‌بند تماسی از جنس پلی یورتان (AU) در هر دو طرف می‌باشند. آب‌بندها در شیارهایی در رینگ داخلی قرار گرفته و آب‌بندی کاملی در این محل ایجاد می‌کنند. لبه خارجی آب‌بند فشار کمی بر سطح غلتش رینگ خارجی وارد می‌کند.

بیرینگ‌ها از گریس با غلیظ‌کننده لیتیمی و روغن پایه دی استر پر شده‌اند، که خواص ضد زنگ خوبی دارد. لزجت روغن پایه 15 mm^2/s در 40 °C و 3.7 mm^2/s در 100 °C است. این گریس می‌تواند در محدوده دمای 55- °C تا 110+ °C کارکرد کند. ولی جنس آب‌بند دمای کارکرد مجاز را به 40- °C تا 80+ °C محدود می‌کند.

در بعضی شرایط خاص بیرینگ‌های آب‌بند شده طرح NNF نیاز به تعمیر، نگهداری و روانکاری مجدد ندارند. ولی اگر در محیط آلوده یا مرطوب و یا سرعت‌های متوسط و زیاد کار کنند، باید روانکاری مجدد شوند. روانکاری مجدد می‌تواند از طریق رینگ داخلی یا خارجی انجام گیرد.

در صورتی که به بیرینگی با یک آب‌بند و یا بدون آب‌بند نیاز باشد می‌توان آب‌بندها را به کمک آچار پیچ گوشتی از جای خود در آورد. در کاربردهایی که روانکاری با روغن انجام می‌شود ممکن است بتوان بیرینگ را بدون آب‌بند سفارش داد. در غیر این صورت آب‌بندها باید برداشته شده و بیرینگ قبل از استفاده شسته شود. اگر روانکاری با روغن انجام شود سرعت‌های حدی در جداول بیرینگ‌ها را می‌توان تا 30٪ افزایش داد.

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه بدون قفسه بجز بیرینگ‌های سری NNF 50 و 3194(00) مطابق استاندارد ISO 15:1998 می‌باشند. رینگ خارجی بیرینگ‌های NNF، 1 mm کم‌تر از مقدار مشخص‌شده در استاندارد ISO برای سری 50 است. ابعاد بیرینگ‌های سری 3194(00) بر اساس کاربردهای عملی می‌باشند و توسط هیچ استاندارد ملی یا بین المللی استاندارد نشده‌اند.

تلرانس‌ها

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه به صورت استاندارد با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. این تلرانس‌ها مطابق استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جدول ۳ صفحه ۱۱۳ آورده شده‌اند.

لقی داخلی

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه به صورت استاندارد با لقی نرمال تولید می‌شوند. بیرینگ‌ها با لقی بیشتر C3 و کم‌تر C2 نیز بنا به درخواست تولید می‌شوند.

حدود لقی‌ها مطابق استاندارد ISO 5753:1991 بوده و در جدول ۱ صفحه ۳۶۱ آورده شده‌اند. مقادیر فوق برای بیرینگ نصب‌نشده و بدون بار صحیح می‌باشند.

لقی محوری بیرینگ‌های طرح‌های NNC و NNF که می‌توانند شفت را در جهت محوری ثابت کنند، 0.1 mm و 0.2 mm برای تمام اندازه‌ها می‌باشد.

جابجایی محوری

بیرینگ‌های طرح NNCL و NNCF می‌توانند جابجایی محوری شفت ناشی از انبساط حرارتی را در محدوده مشخصی تحمل کنند (شکل ۳). از آن جایی این که جابجایی محوری در داخل بیرینگ و نه بین رینگ‌های بیرینگ و شفت یا نشیمنگاه انجام می‌گیرد هیچ گونه اصطکاک اضافی ایجاد نمی‌شود. مقدار جابجایی مجاز « s » از وضعیت نرمال یک رینگ نسبت به رینگ دیگر در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است.

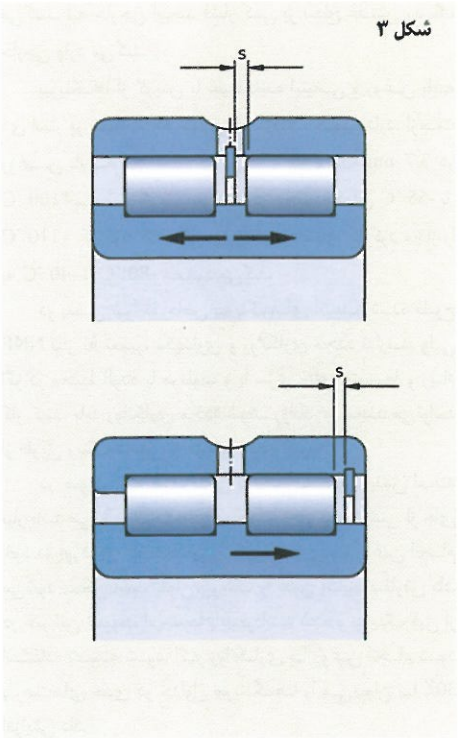
عدم همراستایی

هر گونه عدم همراستایی زاویه‌ای بین رینگ داخلی و خارجی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه بدون قفسه باعث ایجاد ممان خمشی در بیرینگ می‌شود، که در نتیجه آن بار افزایش و عمر بیرینگ کاهش می‌یابد.

تأثیر دمای کارکرد بر عمر بیرینگ

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه بدون قفسه تحت عملیات حرارتی خاص قرار می‌گیرند، لذا می‌توانند تا دمای 150+ °C نیز کار کنند.

شکل ۳



بار حداقل

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه بدون قفسه برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ در سرعت‌های بالا (سرعت و مرجع $n>0.5$)، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد، با اهمیت است. در این شرایط نیروی اینرسی رولرها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین رولرها و سطوح غلتش شود.

بار حداقل مورد نیاز برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه بدون قفسه به صورت تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{rm} = k_r(6+\frac{4n}{n_r})(\frac{d_m}{100})^2$$

که در آن

F_{rm} = بار حداقل شعاعی، kN

k_r = ضریب بار حداقل

0.2 برای بیرینگ‌های سری 48

0.25 برای بیرینگ‌های سری 49

0.4 برای بیرینگ‌های سری NNF 50 و 3194(00)

0.5 برای بیرینگ‌های سری NNCF 50

n = سرعت دورانی، r/min

n_r = سرعت مرجع (جداول بیرینگ‌ها)، r/min

برای بیرینگ‌های باز: سرعت مرجع

برای بیرینگ‌های آب‌بند: سرعت حدی × 1.3

d_m = قطر متوسط بیرینگ = $0.5(d+D)$، mm

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد می‌باشد ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است، در غیر این صورت رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه بدون قفسه باید تحت بار شعاعی اضافی قرار گیرند.

ظرفیت حمل بار محوری دینامیکی

بیرینگ‌های لبه‌دار بر روی هر دو رینگ داخلی و خارجی می‌توانند علاوه بر بار شعاعی بار محوری را نیز تحمل کنند. ظرفیت حمل بار محوری به توانایی سطوح لغزشی لبه‌ها و انتهای رولرها در حمل بار بستگی دارد. عواملی نظیر روانکاری، دمای کارکرد و انتقال‌حرارت از بیرینگ به محیط خارج تأثیر زیادی در توانایی فوق دارند.

با فرض شرایطی که در زیر خواهد آمد، بار محوری مجاز را می‌توان با دقت کافی از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$F_{ap} = \frac{k_1 C_0 10^4}{n(d+D)} - k_2 F_r$$

که در آن

F_{ap} = حداکثر بار مجاز محوری، kN

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN

F_r = بار شعاعی بیرینگ، kN

n = سرعت دورانی، r/mim

d = قطر داخلی بیرینگ، mm

D = قطر خارجی بیرینگ، mm

k_1 = ضریب،

0.35 برای روانکاری با روغن

2 برای روانکاری با گریس

k_2 = ضریب،

0.1 برای روانکاری با روغن

0.06 برای روانکاری با گریس

معادله فوق بر اساس شرایط زیر که شرایطی طبیعی برای کارکرد بیرینگ‌ها می‌باشند، صحیح است.

- اختلاف دمایی $60+$ °C بین دمای کارکرد بیرینگ و دمای محیط
- ضریب انتقال حرارت ویژه $0.5\ mW/mm^2{}^\circ C$ برای سطح بیرونی رینگ خارجی (πDB)
- ضریب لزجت $\kappa \geq 2$

برای روانکاری با گریس از لزجت روغن پایه گریس استفاده می‌شود. اگر κ کم‌تر از 2 باشد اصطکاک افزایش‌یافته و سایش بیشتری در بیرینگ ایجاد می‌شود. این اثرات با

کاهش سرعت، استفاده از روغن محتوی افزودنی‌های ضد سایش AW و یا EP کاهش می‌یابد.

وقتی از گریس به عنوان روانکار استفاده می‌شود و بار محوری برای مدت طولانی اعمال می‌شود. استفاده از گریس با خواص بیرون‌دهی روغن زیاد (3٪> مطابق DIN 51817) توصیه می‌شود. همچنین روانکارهای متعدد نیز توصیه شده است.

مقادیر بار مجاز F_{ap} که از رابطه فوق محاسبه می‌شود برای بار محوری ثابت که به صورت پیوسته عمل می‌کند و در شرایط روانکاری کافی سطوح تماس لبه و انتهای رولرها صحیح می‌باشند. در شرایطی که بار محوری برای مدت کوتاهی اعمال می‌شوند مقادیر محاسبه‌شده را می‌توان در 2 ضرب نمود. همچنین برای بار محوری به صورت شوک، مقدار محاسبه‌شده را باید در 3 ضرب نمود به شرطی که از حدود مقاومت لبه که در زیر آمده است تجاوز نکند.

برای جلوگیری از شکست لبه، بار محوری ثابت F_a هرگز نباید از مقدار عددی زیر بیشتر شود.

$$F_{a\ max} = 0.0023D^{1.7}$$

وقتی بار محوری برای مدت محدود یا کوتاهی عمل می‌کند، مقدار بار محوری وارده بر بیرینگ نباید از مقدار زیر بیشتر باشد.

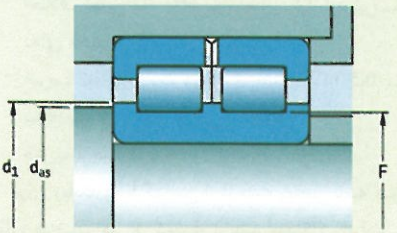
$$F_{a\ max} = 0.007D^{1.7}$$

که در آن

$F_{a\,max}$ = حداکثر بار محوری پیوسته یا ناپیوسته، N

D = قطر خارجی بیرینگ، mm

شکل ٤



است. برای به دست آمدن توزیع یکنواخت بار بر روی لبه و دقت‌های حرکتی کافی برای شفت، هنگام کاربرد رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه بدون قفسه تحت بار محوری زیاد، باید در طراحی به لنگی محوری و اندازه لبه سطوح اجزای دربرگیرنده بیرینگ توجه خاصی شود.

در صورت تغییر شکل شفت به همراه بار محوری، لبه رینگ داخلی باید فقط در نصف ارتفاع خود حمایت شود (شکل ۴) تا خرابی ناشی از تنش‌های متغیر ایجاد نشود. مقادیر توصیه شده قطر پله شفت d_{as} در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای بیرینگ‌های شناور بار معادل دینامیکی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P = F_r$$

در شرایطی که هر دو رینگ بیرینگ دارای لبه باشند و بیرینگ برای ثابت کردن شفت از یک یا دو جهت استفاده شود، بار معادل دینامیکی بیرینگ از روابط زیر محاسبه می‌شود.

اگر $F_a/F_r \le 0.15$ $\quad P = F_r$

اگر $F_a/F_r > 0.15$ $\quad P = 0.92F_r + 0.4F_a$

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه تحت بار محوری فقط در شرایطی که تحت بار شعاعی نیز باشند و نسبت F_a/F_r از 0.25 بیشتر نباشد، کارکرد رضایت‌بخش دارند.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای رولربیرینگ‌های دو ردیفه بدون قفسه تحت بار استاتیکی، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = F_r$$

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای دو ردیفه بدون قفسه برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند، در زیر شرح داده می‌شوند.

ADA شیار خار فنری اصلاح‌شده در رینگ خارجی، رینگ داخلی دو تکه که به کمک یک رینگ نگه‌دارنده یکپارچه می‌شود

CV طرح داخلی اصلاح‌شده، مجموعه رولرها بدون قفسه

C2 لقی داخلی کم‌تر از نرمال

C3 لقی داخلی بیشتر از نرمال

DA شیار خار فنری اصلاح‌شده در رینگ خارجی، رینگ داخلی دو تکه به کمک رینگ نگه دارنده یکپارچه می‌شود

L4B رینگ‌ها و رولرهای بیرینگ با پوشش سطحی خاص

L5B رولرهای بیرینگ با پوشش سطحی خاص

2LS آب‌بند تماسی از جنس پلی یورتان (AU) در دو طرف بیرینگ

V مجموعه رولرهای بدون قفسه

فصل پنجم

رولربیرینگ‌های مخروطی

فصل (۵ ـ ۱) ـ رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه ۳۸۷
فصل (۵ ـ ۲) ـ رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه جفت‌شده ۴۰۱

رولربیرینگ‌های مخروطی در طرح‌ها و ابعاد مختلف برای کاربردهای گوناگون تولید می‌شوند. بیرینگ‌ها با بیشترین کاربرد در این کتاب شرح داده شده‌اند که شامل،

- رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه (شکل ۱)
- رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه جفت شده (شکل ۲)، می‌باشند.

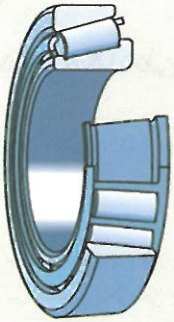
رولربیرینگ‌های مخروطی دو یا چهار ردیفه (شکل ۳) که در چیدمان بیرینگ‌های نورد در صنایع فولاد سازی بکار می‌روند، محدوده تولیدات را کامل می‌کنند. جزئیات این بیرینگ‌ها در کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده است.

بیرینگ‌های مخروطی به صورت آب‌بند و گریس زده شده نیز تولید می‌شوند. این بیرینگ‌ها به صورت مجموعه و از پیش تنظیم‌شده می‌باشند. نظیر،

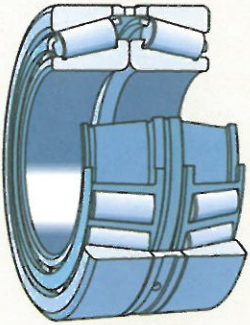
- مجموعه بیرینگ توپی چرخ ماشین (شکل ۴)
- مجموعه بیرینگ توپی چرخ کامیون (شکل ۵)
- مجموعه بیرینگ‌های مخروطی برای وسایل نقلیه ریلی (شکل ۶)

جزئیات این بیرینگ‌ها در این کتاب آورده نشده‌اند.

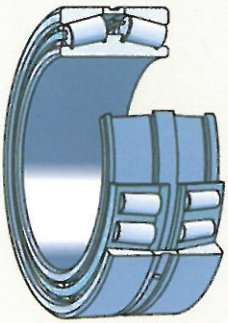
شکل ۱

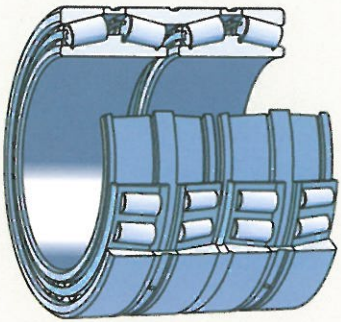


شکل ۲



شکل ۳





مزایای طراحی

رولربیرینگ‌های مخروطی دارای سطح غلتش مخروطی بر روی رینگ‌های داخلی و خارجی و رولرهای مخروطی می‌باشند. امتداد خطوط تمام سطوح مخروطی در یک نقطه بر روی محور بیرینگ به هم می‌رسند. طراحی این بیرینگ‌ها آنها را برای حمل بار ترکیبی محوری و شعاعی مناسب می‌کند. ظرفیت حمل بار محوری به زاویه تماس α بستگی (شکل ۷) دارد. هر چه زاویه α بیشتر باشد، ظرفیت حمل بار محوری نیز بیشتر است. یک مشخصه نشان‌دهنده زاویه تماس ضریب محاسباتی e می‌باشد، هر چه مقدار e بیشتر باشد زاویه تماس بیشتر و بیرینگ برای تحمل بار محوری مناسب‌تر است.

رولربیرینگ‌های مخروطی عموماً تفکیک‌پذیر هستند. مجموعه رینگ داخلی و رولرها که به آن مخروط (Cone) نیز گفته می‌شود، را می‌توان از رینگ خارجی که کاپ (Cup) نیز گفته می‌شود جدا کرد.

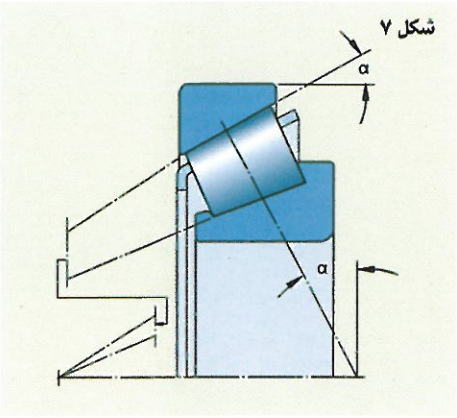
رولربیرینگ‌های مخروطی دارای پروفیل تماس لگاریتمی می‌باشند که باعث توزیع بهینه تنش در سطح تماس رولرها و سطح غلتش می‌شود. طراحی خاص سطوح لغزش در لبه راهنما و انتهای بزرگ‌تر رولرها باعث توزیع مناسب روانکار و تشکیل فیلم روانکاری در محل تماس لبه و انتهای رولرها می‌شود. مزایای طرح فوق افزایش قابلیت اطمینان و کاهش حساسیت به عدم همراستایی می‌باشند.

شکل ٤

شکل ٥

شکل ٦

شکل ۷



فصل (۵-۱)

رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه

طرح‌های بیرینگ ۳۸۸
طرح استاندارد ۳۸۸
بیرینگ‌ها با مشخصه CL7C ۳۸۸
بیرینگ‌ها با رینگ خارجی فلنج‌دار ۳۸۹
بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر ۳۸۹
شماره‌های فنی بیرینگ‌ها ۳۸۹
بیرینگ‌های متریک ۳۸۹
بیرینگ‌های اینچی ۳۹۰
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۳۹۱
ابعاد ۳۹۱
تلرانس‌ها ۳۹۱
لقی داخلی و پیش بار ۳۹۲
عدم همراستایی ۳۹۲
قفسه‌ها ۳۹۲
بار حداقل ۳۹۳
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۳۹۴
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۳۹۴
تعیین بار محوری برای بیرینگ‌های تکی یا جفتی پشت سر هم ۳۹۴
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۳۹۶
طراحی چیدمان بیرینگ‌ها ۳۹۷
انطباقات بیرینگ‌های اینچی ۳۹۷

طرح‌های بیرینگ

محدوده تولیدات استاندارد شامل بیرینگ‌های متریک مطابق استاندارد ISO 355:1977 و بیرینگ‌های اینچی مطابق استاندارد ANSI ABMA 19.2-1994 است. محدوده تولیدات را می‌توان به مجموعه‌های زیر تقسیم کرد.

- بیرینگ‌ها برای کاربرد عمومی
- بیرینگ‌ها با عملکرد بالا که مطابق مشخصات CL7C ساخته می‌شوند
- بیرینگ‌ها با رینگ خارجی فلنج‌دار

به موارد فوق باید رولربیرینگ‌های مخروطی جفت‌شده را که در صفحه ۴۰۱ آورده شده‌اند، اضافه کرد.

برای چیدمان‌هایی که شرایط کارکرد سخت و محیط آلوده است (برای مثال وقتی که روغن روانکاری به شدت آلوده می‌باشد) و در شرایطی که بارهای سنگین وجود دارد و یا دما بالاست، باید از رولربیرینگ‌های مخروطی خاص مقاوم به سایش استفاده کرد.

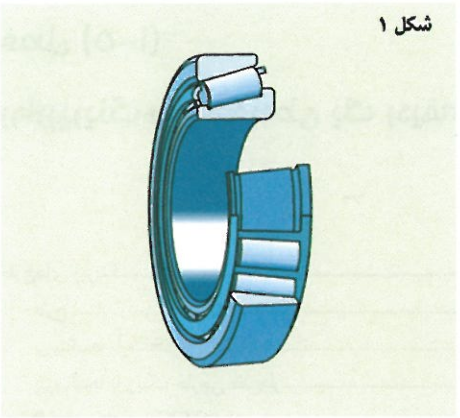
طرح استاندارد

رولربیرینگ‌های مخروطی برای کاربردهای عمومی که شامل بیرینگ‌ها با مشخصه Q نیز می‌باشند، دارای مشخصه‌های بهینه‌شده زیر هستند.

- سطح تماس لغزشی لبه راهنما بر روی رینگ داخلی
- انتهای رولرها و
- پروفیل تماس در سطح غلتش

همچنین به علت دقت‌های بالا ساخت، تنظیم بیرینگ‌ها نسبت به همدیگر را می‌توان با قابلیت اطمینان زیاد انجام داد، که به طور قابل ملاحظه‌ای راندمان بیرینگ‌ها را خصوصاً در ساعت اولیه کارکرد افزایش می‌دهد.

شکل ۱



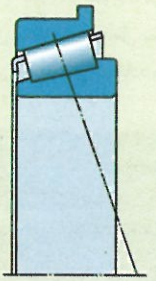
بیرینگ‌ها با مشخصه CL7C

رولربیرینگ‌های مخروطی که با مشخصه CL7C تولید می‌شوند برای چیدمان‌هایی که بار محوری سنگین در آنها وجود دارد نظیر چیدمان بیرینگ‌های پنیون جعبه دنده‌ها، بکار می‌روند. این بیرینگ‌ها که با پیش بار نصب می‌شوند دارای مشخصه اصطکاکی خاص، دقت حرکتی بهتر و ظرفیت حمل بار محوری زیاد بوده به طوری که درگیری ثابت و دقیق دنده‌ها را تضمین می‌کنند.

در مقایسه با بیرینگ‌ها برای کاربرد عمومی، بیرینگ‌ها با مشخصه CL7C را می‌توانند با دقت بالا با روش ممان اصطکاکی تنظیم نمود، که به طور قابل ملاحظه‌ای فرآیند تنظیم را ساده می‌کند.

در بیرینگ‌ها با مشخصه CL7C سایش هنگام راه‌اندازی اولیه وجود ندارد. از آن جایی که فیلم روانکاری هیدرو دینامیک در محل تماس لبه رینگ و انتهای رولرها تشکیل می‌شود، پیش بار از بین نرفته و می‌توان آن را در مقدار ثابت و زیاد در حین کارکرد حفظ کرد.

شکل ۲



بیرینگ‌ها با رینگ خارجی فلنج‌دار

بعضی از بیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه دارای رینگ خارجی فلنج‌دار می‌باشند (شکل ۲). بیرینگ‌ها با رینگ خارجی فلنج‌دار را می‌توان به صورت محوری در نشیمنگاه ثابت کرده وچیدمان ساده و جمع و جوری را ایجاد کرد. سوراخ نشیمنگاه نیاز به دقت بالا نداشته و نیازی به پله نیز نمی‌باشد.

بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر

رولربیرینگ‌های مخروطی با کلاس عملکرد بالای SKF اکسپلورر در جداول بیرینگ‌ها با رنگ آبی مشخص شده‌اند. بیرینگ‌های SKF اکسپلورر دارای شماره فنی یکسانی با بیرینگ‌های قبلی هستند (برای مثال 30310 J2/Q) ولی بیرینگ و جعبه آن با کلمه « EXPLORER » مشخص شده‌اند.

شماره‌های فنی بیرینگ‌ها

بیرینگ‌های متریک

شماره فنی رولربیرینگ‌های مخروطی که ابعاد آنها توسط ISO استاندارد شده است، از یکی از اصول زیر پیروی می‌کنند.

- شماره سری بر اساس استاندارد ISO 355:1977 شامل سه مشخصه است. یک عدد که نشان‌دهنده زاویه تماس و دو حرف که سری‌های پهنا و قطر را نشان می‌دهند. در ادامه سه عدد که نشان‌دهنده قطر داخلی است آورده می‌شود (d برحسب mm). شماره‌های فنی SKF دارای حرف T نیز در شروع می‌باشند. برای مثال T2ED 045.
- شماره‌های فنی که قبل از 1977 بنا شده‌اند و بر اساس سیستم نشان داده شده در نمودار ۳ صفحه ۱۳۷ می‌باشند. برای مثال 32206.

بیرینگ‌های متریک با پیشوند J از سیستم شماره‌های فنی ABMA پیروی می‌کنند. این سیستم مشابه روش بکار رفته در شماره‌های فنی بیرینگ‌های اینچی مطابق استاندارد ANSI/ ABMA 19.2-1994 است.

بیرینگ‌های اینچی

شماره‌های فنی رولربیرینگ‌های مخروطی اینچی بر اساس استاندارد ANSI/ABMA است.

بیرینگ‌های متریک که متعلق به سری مشابه می‌باشند سطح مقطع نسبتاً یکسانی مستقل از ابعادشان دارند. ولی این موضوع در رابطه با بیرینگ‌های اینچی صادق نمی‌باشند. تمام بیرینگ‌های اینچی در سری‌های مشابه دارای قفسه و مجموعه رولرهای مشابهی می‌باشند ولی رینگ‌های خارجی و داخلی دارای طرح‌ها و ابعاد متفاوت است. هر مخروط (رینگ داخلی با مجموعه رولرها و قفسه) را می‌توان با هر کاپ (رینگ خارجی) که متعلق به سری‌های مشابه می‌باشند، بکار برد. به همین علت مخروط و کاپ دارای شماره‌های فنی مستقل بوده و می‌توان آنها را جداگانه یا به صورت بیرینگ کامل سفارش دارد (شکل ۳).

شماره فنی مخروط یا کاپ و همچنین سری بیرینگ از سه تا شش عدد که قبل از آن یکی از حرف یا ترکیبی از حروف EL، LL، L، LM، M، HM، H، HH و EH می‌آید، تشکیل شده است. پیشوند مشخص‌کننده سری بیرینگ از فوق سبک تا فوق سنگین است اصول این شماره‌گذاری در استاندارد ANSI/ABMA شماره 19.2-1994 آورده شده است.

شماره فنی کامل بیرینگ شامل شماره فنی مخروط و شماره فنی کاپ می‌باشد که با یک / از هم جدا می‌شوند (جدول ۱).

برای کوتاه کردن شماره فنی کامل بیرینگ‌ها در بعضی موارد از شماره‌های فنی اختصاری استفاده می‌شود. (جدول ۱).

شکل ۳

جدول ۱ شماره فنی رولر بیرینگهای مخروطی اینچی

شماره فنی (مثالها) سریها	بیرینگ کامل	کاپ	مخروط
بیرینگهای کامل که شماره فنی آنها خلاصه نشده است (شماره‌های فنی قدیمی ABMA)			
4500 9200	4580/2/4535/2/Q 9285/9220/CL7C	4535/2/Q 9220/CL7C	4580/2/Q 9285/CL7C
بیرینگهای کامل که شماره فنی آنها خلاصه شده است (شماره‌های فنی جدید ABMA)			
LM 11700 L 69300 HM 89400 H 913800	LM 11749/710/QVC027 JL 69349A/310/Q HM 89449/2/410/2/QCL7C H 913842/810/CL7C	LM 11710/QVC027 JL 69310/Q HM 89410/2/QCL7C H 913810/CL7C	LM 11749/QVC027 JL 69349A/Q HM 89449/2/QCL7C H 913842/CL7C

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

بیرینگ‌های متریک

ابعاد خارجی رولربیرینگ‌های مخروطی متریک بجز بیرینگ‌هایی که پیشوند J در شماره فنی آنها آمده است مطابق استاندارد ISO 355:1977 است. بیرینگ‌هایی که پسوند J دارند، دارای ابعادی مطابق استاندارد ANSI/ABMA 19.1-1987 می‌باشند.

بیرینگ‌های اینچی

ابعاد خارجی این بیرینگ‌ها مطابق استاندارد AFBMA 19-1974 است. این استاندارد با استاندارد ANSI/ABMA 19.2-1994 جایگزین شده است و استاندارد جدید دیگر شامل ابعاد بیرینگ‌ها نمی‌باشد.

تلرانس‌ها

رینگ داخلی با قفسه و مجموعه رولرها و رینگ خارجی رولربیرینگ‌های مخروطی با شماره فنی یکسان قابل جایگزینی با یکدیگر می‌باشند در صورت این جایگزینی تلرانس پهنای کل T حفظ خواهد شد.

بیرینگ‌های متریک

رولربیرینگ‌های مخروطی متریک به صورت استاندارد با تلرانس نرمال ساخته می‌شوند. بعضی بیرینگ‌ها با تلرانس کاهش‌یافته پهنا مطابق کلاس CLN نیز تولید می‌شوند. بیرینگ‌هایی که دارای پیشوند J می‌باشند به صورت استاندارد با تلرانس‌های کلاس CLN ساخته می‌شوند.

کلیه بیرینگ‌ها با قطر خارجی بزرگ‌تر از 420 mm میلیمتر دارای دقت‌های ابعادی مطابق با کلاس تلرانس نرمال می‌باشند ولی دقت‌های حرکتی آنها دقیق‌تر و مطابق کلاس تلرانس P6 است.

مقادیر تلرانس‌های نرمال و CLN مطابق استاندارد ISO 492:2002 (کلاس‌های نرمال و 6X) می‌باشند و در جداول ۶ و ۷ صفحات ۱۱۶و ۱۱۷ آورده شده‌اند. مقادیر تلرانس P6 برای دقت‌های حرکتی مطابق استاندارد DIN 620-3:1964 می‌باشند که این استاندارد از سال 1998 حذف شده است.

بیرینگ‌های اینچی

رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه اینچی به صورت استاندارد با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. بیرینگ‌ها با تلرانس‌های دقیق‌تر یا تلرانس کاهش‌یافته پهنا نظیر تلرانس‌های CL3 و CL0 نیز بنا به در خواست تولید می‌شوند. اگر مخروط و کاپ دارای تلرانس پهنای متفاوتی با تلرانس‌های نرمال باشند پسوندی مطابق جدول ۲ که نشان‌دهنده مقادیر واقعی تلرانس است در شماره فنی بیرینگ آورده می‌شود.

مقادیر تلرانس‌های CL3، CL0 و نرمال مطابق استاندارد ANSI / ABMA 19.2-1994 بوده و در جدول ۹ صفحه ۱۱۹ آورده شده‌اند. استاندارد ISO 578:1987 نیز شامل این تلرانس‌ها بوده که از سال 1997 این استاندارد حذف شده است.

بیرینگ‌ها با مشخصه CL7C

بیرینگ‌ها با مشخصه CL7C مطابق تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. ولی دقت‌های حرکتی در این بیرینگ‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای دقیق‌تر می‌باشند. مقادیر این تلرانس‌ها به همراه تلرانس‌های نرمال در جدول ۶ صفحه ۱۱۶ آورده شده‌اند.

جدول ۲ تلرانس پهنای اصلاح شده مخروط و کاپ بیرینگهای اینچی

پسوند شماره فنی	تلرانس پهنا [1]	
	max	min
–	mm	
/1	+0,025	0
/1A	+0,038	+0,013
/-1	0	–0,025
/11	+0,025	–0,025
/15	+0,038	–0,038
/2	+0,051	0
/2B	+0,076	+0,025
/2C	+0,102	+0,051
/-2	0	–0,051
/22	+0,051	–0,051
/3	+0,076	0
/-3	0	–0,076
/4	+0,102	0

۱) تلرانس پهنای کل برای بیرینگ کامل برابر مجموع تلرانسهای مخروط و کاپ می باشد برای مثال برای بیرینگ K-47686/2/K-47620/3 تلرانس پهنا +0,127/0 mm است.

لقی داخلی و پیش بار

لقی داخلی رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه پس از نصب و تنظیم آن نسبت به بیرینگ دیگر تعیین می‌شود. جزئیات بیشتر در این رابطه در بخش « پیش بار بیرینگ‌ها » در صفحه ۱۹۴ آورده شده است.

تنظیم و راه‌اندازی اولیه

هنگام تنظیم بیرینگ‌های مخروطی نسبت به یکدیگر بیرینگ‌ها باید چرخانده شوند تا رولرها در موقعیت مناسب (انتهای بزرگ رولرها باید با لبه راهنما در تماس باشد) قرارگیرند.

رولربیرینگ‌های مخروطی طرح قدیمی ممان اصطکاکی نسبتاً زیادی در ساعات اولیه کارکرد داشته که پس از دوره راه‌اندازی اولیه کاهش می‌یابد، در طی دوره راه‌اندازی اولیه دمای بیرینگ به طور ناگهانی به علت اصطکاک اولیه افزایش پیدا می‌کند و پس از آن دما کاهش‌یافته و به حالت تعادل می‌رسد. این دوره راه‌اندازی اولیه برای بیرینگ‌هایی که با مشخصه « Q » تولید می‌شوند به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش‌یافته است. در این بیرینگ‌ها اصطکاک اولیه بسیار کم بوده لذا افزایش دما محسوس نیست. این موضوع برای بیرینگ‌ها با مشخصه CL7C نیز صادق است.

عدم همراستایی

توانایی رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه با طرح قدیمی در تحمل عدم همراستایی زاویه‌ای رینگ داخلی نسبت به رینگ خارجی محدود به چند دقیقه کمان است. بیرینگ‌های دارای پروفیل تماس لگارتیمی می‌توانند عدم همراستایی ۲ تا ۴ دقیقه کمان را تحمل کنند.

مقادیر فوق برای شرایطی است که موقعیت محورهای شفت و نشیمنگاه ثابت باشند. عدم همراستایی بیشتر نیز امکان‌پذیر است که بستگی به بار و عمر مورد نیاز دارد.

قفسه‌ها

رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه دارای یکی از قفسه‌های زیر (شکل ۴) می‌باشند.

- قفسه نوع پنجره‌ای از جنس فولاد پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رولرها بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ یا پسوندهای J1، J2 یا J3 (الف)
- قفسه نوع پنجره‌ای از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک) و مرکزشده نسبت به رولرها با پسوند TN9 در شماره فنی بیرینگ.

توجه:

رولربیرینگ‌های مخروطی با قفسه پلی آمید می‌توانند تا دمای 120+ °C کار کنند. روانکارهای معمول برای بیرینگ‌ها عموماً اثر تعیین‌کننده‌ای بر خواص قفسه ندارند، بجز انواع محدودی از روغن‌های مصنوعی، گریس‌ها بر پایه این روغن‌ها و روانکارهای محتوی مقادیر زیادی افزودنی‌های EP که در دمای بالا به کار می‌روند.

در چیدمان‌هایی که بیرینگ‌ها به صورت پیوسته در دمای بالا و تحت شرایط سخت کار می‌کنند استفاده از بیرینگ‌ها با قفسه فولادی پرسکاری‌شده یا قفسه پلی آمید برای دمای بالا، توصیه می‌شود.

برای جزئیات بیشتر در رابطه با کاربرد قفسه‌ها و مقاومت آنها به حرارت به بخش « جنس قفسه‌ها » در صفحه ۱۲۸ مراجعه کنید.

بار حداقل

رولربیرینگ‌های مخروطی برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد با اهمیت است. در این شرایط نیروی اینرسی رولرها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین رولرها و سطوح غلتش شود.

حداقل بار مورد نیاز برای رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه به صورت تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{rm} = 0.02C$$

برای بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر

$$F_{rm} = 0.017C$$

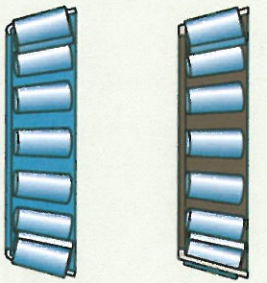
که در آن

F_{rm} = بار حداقل شعاعی، kN

C = ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی، kN (جداول بیرینگ‌ها)

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است. در غیر این صورت رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه باید تحت بار شعاعی اضافی که می‌تواند به صورت پیش بار اعمال شود، قرار گیرند. برای اطلاعات بیشتر به بخش « پیش بار بیرینگ‌ها » در صفحه ۱۹۴ مراجعه کنید.

شکل ٤



بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای رولربیرینگ‌های مخروطی تحت بار دینامیکی، بار معادل دینامیکی از روابط زیر به دست می‌آید.

اگر $F_a/F_r \le e$ $\quad P = F_r$

اگر $F_a/F_r > e$ $\quad P = 0.4F_r + YF_a$

مقادیر ضرایب محاسباتی e و Y در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای رولربیرینگ‌های مخروطی تحت بار استاتیکی، بار معادل استاتیکی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = 0.5F_r + Y_0F_r$$

و اگر $P_0 < F_r$ باشد، از باید $P_0 = F_r$ استفاده شود. مقادیر ضریب محاسباتی Y_0 در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است.

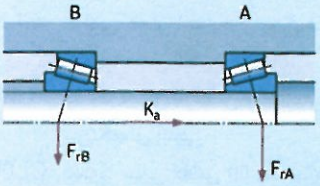
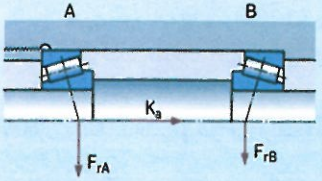
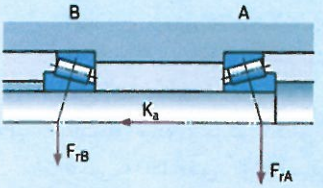
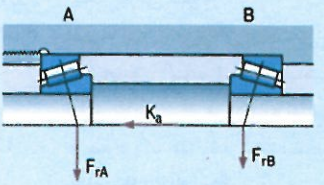
تعیین بار محوری برای بیرینگ‌های تکی یا جفتی پشت سر هم

هنگامی که رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه تحت بار شعاعی قرار می‌گیرند، بار از یک سطح غلتش به سطح دیگر با زاویه‌ای نسبت به محور بیرینگ منتقل می‌شود، لذا یک بار داخلی محوری در بیرینگ ایجاد می‌شود. این نیرو را باید در محاسبات بار معادل بیرینگ، وقتی که دو بیرینگ تکی یا بیرینگ‌ها جفت‌شده پشت سر هم در چیدمان استفاده شده‌اند، در نظر گرفت.

معادلات برای چیدمان‌ها و شرایط بارگذاری مختلف در جدول ۳ آورده شده‌اند. معادلات فقط در شرایطی که دو بیرینگ نسبت به هم تنظیم شده‌اند و لقی صفر است صحیح می‌باشند (بدون پیش بار). در چیدمان‌های نشان داده شده بیرینگ A تحت بار F_{rA} و بیرینگ B تحت بار F_{rB} است. بارهای F_{rA} و F_{rB} همیشه مثبت در نظر گرفته می‌شوند، حتی اگر در جهت خلاف جهت نشان داده شده در شکل وارد شوند. بار شعاعی بوده و بر مرکز فشار بیرینگ (که موقعیت آن در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است) وارد می‌شود.

علاوه بر بارهای فوق بار محوری خارجی K_a نیز به شفت یا نشیمنگاه وارد می‌شود. وضعیت‌های 1c و 2c برای شرایط $K_a = 0$ نیز صحیح می‌باشند. مقادیر ضریب Y در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند.

جدول ۳ بار محوری در چیدمان بیرینگها شامل دو رولر بیرینگ مخروطی یک ردیفه و/یا رولر بیرینگهای جفت شده بصورت پشت سرهم

چیدمان	بار گذاری	نیروهای محوری	
پشت به پشت 	1a) $\frac{F_{rA}}{Y_A} \geq \frac{F_{rB}}{Y_B}$ $K_a \geq 0$	$F_{aA} = \frac{0,5\,F_{rA}}{Y_A}$	$F_{aB} = F_{aA} + K_a$
	1b) $\frac{F_{rA}}{Y_A} < \frac{F_{rB}}{Y_B}$ $K_a \geq 0,5\left(\frac{F_{rB}}{Y_B} - \frac{F_{rA}}{Y_A}\right)$	$F_{aA} = \frac{0,5\,F_{rA}}{Y_A}$	$F_{aB} = F_{aA} + K_a$
جلو به جلو 	1c) $\frac{F_{rA}}{Y_A} < \frac{F_{rB}}{Y_B}$ $K_a < 0,5\left(\frac{F_{rB}}{Y_B} - \frac{F_{rA}}{Y_A}\right)$	$F_{aA} = F_{aB} - K_a$	$F_{aB} = \frac{0,5\,F_{rB}}{Y_B}$
پشت به پشت 	2a) $\frac{F_{rA}}{Y_A} \leq \frac{F_{rB}}{Y_B}$ $K_a \geq 0$	$F_{aA} = F_{aB} + K_a$	$F_{aB} = \frac{0,5\,F_{rB}}{Y_B}$
	2b) $\frac{F_{rA}}{Y_A} > \frac{F_{rB}}{Y_B}$ $K_a \geq 0,5\left(\frac{F_{rA}}{Y_A} - \frac{F_{rB}}{Y_B}\right)$	$F_{aA} = F_{aB} + K_a$	$F_{aB} = \frac{0,5\,F_{rB}}{Y_B}$
جلو به جلو 	2c) $\frac{F_{rA}}{Y_A} > \frac{F_{rB}}{Y_B}$ $K_a < 0,5\left(\frac{F_{rA}}{Y_A} - \frac{F_{rB}}{Y_B}\right)$	$F_{aA} = \frac{0,5\,F_{rA}}{Y_A}$	$F_{aB} = F_{aA} - K_a$

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند در زیر شرح داده می‌شوند.

B زاویه تماس بزرگ‌تر از طرح استاندارد

CLN تلرانس کاهش‌یافته پهنای رینگ‌ها و پهنای کل، مطابق تلرانس کلاس ISO 6X

CL0 دقت‌ها مطابق با کلاس 0 استاندارد ABMA برای بیرینگ‌های اینچی

CL00 دقت‌ها مطابق کلاس 00 استاندارد ABMA برای بیرینگ‌های اینچی

CL7A بیرینگ با عملکرد بالا برای چیدمان بیرینگ‌های پنیون چرخدنده (با پسوند CL7C جایگزین‌شده)

CL7C بیرینگ با عملکرد بالا برای چیدمان بیرینگ‌های پنیون چرخدنده

HA1 رینگ داخلی و خارجی از فولاد سخت شونده سطحی

HA3 رینگ داخلی از فولاد سخت شونده سطحی

HN1 رینگ داخلی و خارجی تحت عملیات حرارتی سطحی خاص قرار گرفته‌اند

HN3 رینگ داخلی تحت عملیات حرارتی سطحی خاص قرار گرفته است

J قفسه نوع پنجره از جنس فولادی پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رولرها، عدد بعد از J نشان‌دهنده طرح قفسه متفاوت است

P6 دقت‌های ابعادی و حرکتی مطابق کلاس تلرانس قدیمی ISO 6 (دقیق‌تر از تلرانس نرمال)

Q صافی سطح و هندسه تماس بهینه شده است

R رینگ خارجی فلنج‌دار

TN9 قفسه نوع پنجره‌ای از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک) و مرکز شده نسبت به رولرها

U. به همراه یک عدد نشان‌دهنده تلرانس کاهش‌یافته پهنا می‌باشد. برای مثال

U2 تلرانس پهنای کل 0.05/0 mm+

U4 تلرانس پهنای کل 0.10/0 mm+

VA321 طرح داخلی بهینه‌شده

VA606 رینگ‌ها با سطح غلتش قوسی و عملیات حرارتی خاص

VA607 رینگ‌ها با سطح غلتش قوسی و عملیات حرارتی خاص

VB022 ابعاد پخ در سطح جانبی بزرگ‌تر رینگ خارجی برابر 0.3 mm

VB026 ابعاد پخ در سطح جانبی بزرگ‌تر رینگ داخلی برابر 3 mm

VB061 ابعاد پخ در سطح جانبی بزرگ‌تر رینگ داخلی برابر 8 mm

VB134 ابعاد پخ در سطح جانبی بزرگ‌تر رینگ داخلی برابر 1 mm

VB406 ابعاد پخ در سطح جانبی بزرگ‌تر رینگ داخلی برابر 3 mm و در سمت بزرگ‌تر رینگ خارجی برابر 2 mm

VB481 ابعاد پخ در سطح جانبی بزرگ‌تر رینگ داخلی برابر 8.5 mm

VC027 هندسه داخلی اصلاح‌شده برای افزایش عدم همراستایی مجاز

VC068 دقت‌های حرکتی و عملیات حرارتی خاص

VE174 یک شیار ثابت‌کننده در سطح جانبی بزرگ‌تر رینگ خارجی، دقت‌های حرکتی افزایش‌یافته

VQ051 هندسه داخلی اصلاح‌شده برای افزایش عدم همراستایی مجاز

VQ267 تلرانس پهنای کاهش‌یافته رینگ داخلی ±0.025 mm

VQ495 مانند CL7C ولی با تلرانس قطر خارجی کاهش‌یافته یا جابجاشده

VQ506 تلرانس پهنای کاهش‌یافته رینگ داخلی

VQ507 مانند CL7C ولی با تلرانس قطر خارجی کاهش‌یافته یا جابجاشده

VQ523 مانند CL7C ولی با تلرانس پهنای کاهش‌یافته رینگ داخلی یا تلرانس قطر خارجی کاهش‌یافته یا جابجاشده

VQ601 تلرانس مطابق کلاس 0 استاندارد ABMA برای بیرینگ‌های اینچی

W تلرانس اصلاح‌شده رینگ‌ها 0.05/0 mm+

X ابعاد خارجی تغییر یافته برای هماهنگی با استاندارد ISO

طراحی چیدمان بیرینگ‌ها

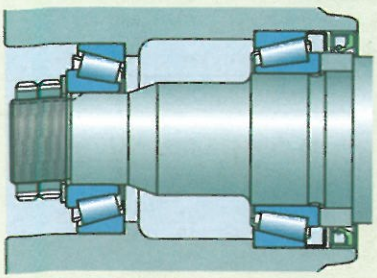
در طراحی چیدمان رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه باید به مشخصه‌های خاص این بیرینگ‌ها توجه شود. به علت طراحی داخلی این بیرینگ‌ها، آنها را نمی‌توان به صورت تکی استفاده کرد و همواره به بیرینگ دیگری از نوع مشابه مورد نیاز است. (شکل ۵) همچنین می‌توان از مجموعه‌های جفت‌شده استفاده کرد (شکل ۶). وقتی چیدمانی دارای دو رولربیرینگ مخروطی یک ردیفه باشد باید آنها را مطابق توصیه‌های بخش « لقی داخلی و پیش بار » (صفحه ۳۹۲) نسبت به یکدیگر تنظیم نمود.

تنظیم دقیق لقی یا پیش بار برای کارکرد صحیح و مطمئن رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه حیاتی می‌باشد. اگر لقی در حین کارکرد بیش از اندازه زیاد باشد نمی‌توان از تمامی ظرفیت حمل بار بیرینگ استفاده نمود. و اگر پیش بار بیش از اندازه باشد، اصطکاک و در نتیجه آن دما افزایش می‌یابد. در هر دو حالت عمر کارکرد بیرینگ به شدت کاهش پیدا می‌کند.

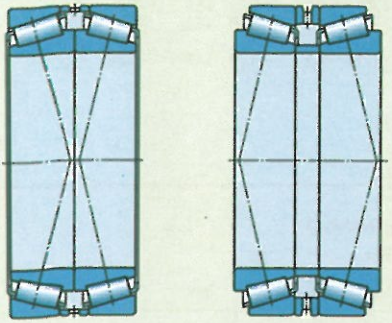
انطباقات بیرینگ‌های اینچی

انطباق مناسب برای بیرینگ‌های اینچی را می‌توان بر اساس انطباقات بیرینگ‌های متریک به دست آورد. ولی از آن جایی که بیرینگ‌های اینچی در مقایسه با بیرینگ‌های متریک تلرانس‌های مثبت دارند نمی‌توان انطباقات شفت و نشیمنگاه را برای بیرینگ‌های متریک مستقیماً بکار برد و باید آنها را بر اساس این تلرانس مثبت اصلاح نمود. در جداول صفحه بعد این اصلاحات انجام گرفته است، به نحوی که درجه تداخل و لقی مشابه مقادیر توصیه شده برای بیرینگ‌های متریک به دست می‌آید.

شکل ۵



شکل ٦



جدول ٤ انحرافات اصلاح شده شفت برای استفاده با بیرینگهای اینچی

قطر نامی قطر شفت یا قطر داخلی بیرینگ		انحرافات اصلاح شده برای انطباقات لق / تداخلی مطابق											
		g6		h6		j5		j6		js6		k5	
بیشتر از	تا و شامل	high	low	high	low	high	low	high	low	high	low	high	low
mm		µm											
10	18	+2	−4	+8	+2	+13	+10	+16	+10	+14	+7	+17	+14
18	30	+3	−7	+10	0	+15	+9	+19	+9	+17	+6	+21	+15
30	50	+3	−12	+12	−3	+18	+8	+23	+8	+20	+5	+25	+15
50	76,2	+5	−16	+15	−6	+21	+6	+27	+6	+25	+3	+30	+15
76,2	80	+5	−4	+15	+6	+21	+18	+27	+18	+25	+15	+30	+27
80	120	+8	−9	+20	+3	+26	+16	+33	+16	+31	+14	+38	+28
120	180	+11	−14	+25	0	+32	+14	+39	+14	+38	+12	+46	+28
180	250	+15	−19	+30	−4	+37	+12	+46	+12	+45	+10	+54	+29
250	304,8	+18	−24	+35	−7	+42	+9	+51	+9	+51	+9	+62	+29
304,8	315	+18	+2	+35	+19	+42	+35	+51	+35	+51	+35	+62	+55
315	400	+22	−3	+40	+15	+47	+33	+58	+33	+58	+33	+69	+55
400	500	+25	−9	+45	+11	+52	+31	+65	+31	+65	+31	+77	+56
500	609,6	+28	−15	+50	+7	–	–	+72	+29	+72	+29	+78	+51
609,6	630	+28	+10	+50	+32	–	–	+72	+54	+72	+54	+78	+76
630	800	+51	+2	+75	+26	–	–	+100	+51	+100	+51	+107	+76
800	914,4	+74	−6	+100	+20	–	–	+128	+48	+128	+48	+136	+76

قطر نامی قطر شفت یا قطر داخلی بیرینگ		انحرافات اصلاح شده برای انطباقات لق / تداخلی مطابق									
		k6		m5		m6		n6		p6	
بیشتر از	تا و شامل	high	low	high	low	high	low	high	low	high	low
mm		µm									
10	18	+20	+14	+23	+20	+26	+20	+31	+25	+37	+31
18	30	+25	+15	+27	+21	+31	+21	+38	+28	+45	+35
30	50	+30	+15	+32	+22	+37	+22	+45	+30	+54	+39
50	76,2	+36	+15	+39	+24	+45	+24	+54	+33	+66	+45
76,2	80	+36	+27	+39	+36	+45	+36	+54	+45	+66	+57
80	120	+45	+28	+48	+38	+55	+38	+65	+48	+79	+62
120	180	+53	+28	+58	+40	+65	+40	+77	+52	+93	+68
180	250	+63	+29	+67	+42	+76	+42	+90	+56	+109	+75
250	304,8	+71	+29	+78	+45	+87	+45	+101	+59	+123	+81
304,8	315	+71	+55	+78	+71	+87	+71	+101	+85	+123	+107
315	400	+80	+55	+86	+72	+97	+72	+113	+88	+138	+113
400	500	+90	+56	+95	+74	+108	+74	+125	+91	+153	+119
500	609,6	+94	+51	+104	+77	+120	+77	+138	+95	+172	+129
609,6	630	+94	+76	+104	+102	+120	+102	+138	+120	+172	+154
630	800	+125	+76	+137	+106	+155	+106	+175	+126	+213	+164
800	914,4	+156	+76	+170	+110	+190	+110	+212	+132	+256	+176

جدول ۵ انحرافات اصلاح شده قطر داخلی نشیمنگاه برای استفاده با بیرینگهای اینچی

قطر نامی: قطر داخلی نشیمنگاه / قطر خارجی بیرینگ — بیشتر از	تا و شامل	انحرافات اصلاح شده برای انطباقات لق / تداخلی مطابق: H7 high	H7 low	J7 high	J7 low	J6 high	J6 low	K6 high	K6 low	K7 high	K7 low
mm		µm									
30	50	+36	+25	+25	+14	+21	+19	+14	+12	+18	+7
50	80	+43	+25	+31	+13	+26	+19	+17	+10	+22	+4
80	120	+50	+25	+37	+12	+31	+19	+19	+7	+25	0
120	150	+58	+25	+44	+11	+36	+18	+22	+4	+30	−3
150	180	+65	+25	+51	+11	+43	+18	+29	+4	+37	−3
180	250	+76	+25	+60	+9	+52	+18	+35	+1	+43	−8
250	304,8	+87	+25	+71	+9	+60	+18	+40	−2	+51	−11
304,8	315	+87	+51	+71	+35	+60	+44	+40	+24	+51	+15
315	400	+97	+51	+79	+33	+69	+44	+47	+22	+57	+11
400	500	+108	+51	+88	+31	+78	+44	+53	+19	+63	+6
500	609,6	+120	+51	–	–	–	–	+50	+7	+50	−19
609,6	630	+120	+76	–	–	–	–	+50	+32	+50	+6
630	800	+155	+76	–	–	–	–	+75	+26	+75	−4
800	914,4	+190	+76	–	–	–	–	+100	+20	+100	−14
914,4	1 000	+190	+102	–	–	–	–	+100	+46	+100	+12
1 000	1 219,2	+230	+102	–	–	–	–	+125	+36	+125	−3

قطر نامی: قطر داخلی نشیمنگاه / قطر خارجی بیرینگ — بیشتر از	تا و شامل	انحرافات اصلاح شده برای انطباقات لق / تداخلی مطابق: M6 high	M6 low	M7 high	M7 low	N7 high	N7 low	P7 high	P7 low
mm		µm							
30	50	+7	+5	+11	0	+3	−8	−6	−17
50	80	+8	+1	+13	−5	+4	−14	−8	−26
80	120	+9	−3	+15	−10	+5	−20	−9	−34
120	150	+10	−8	+18	−15	+6	−27	−10	−43
150	180	+17	−8	+25	−15	+13	−27	−3	−43
180	250	+22	−12	+30	−21	+16	−35	−3	−54
250	304,8	+26	−16	+35	−27	+21	−41	−1	−63
304,8	315	+26	+10	+35	−1	+21	−15	−1	−37
315	400	+30	+5	+40	−6	+24	−22	−1	−47
400	500	+35	+1	+45	−12	+28	−29	0	−57
500	609,6	+24	−19	+24	−45	+6	−63	−28	−97
609,6	630	+24	+6	+24	−20	+6	−38	−28	−72
630	800	+45	−4	+45	−34	+25	−54	−13	−92
800	914,4	+66	−14	+66	−48	+44	−70	0	−114
914,4	1 000	+66	+12	+66	−22	+44	−44	0	−88
1 000	1 219,2	+85	−4	+85	−43	+59	−69	+5	−123

فصل (۵-۲)

رولربیرینگ‌های مخروطی

یک ردیفه جفت‌شده

بیرینگ‌های جفت‌شده ۴۰۲
چیدمان جلو به جلو ۴۰۳
چیدمان پشت به پشت ۴۰۳
چیدمان پشت سر هم ۴۰۳
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۴۰۴
ابعاد ۴۰۴
تلرانس‌ها ۴۰۴
لقی داخلی محوری ۴۰۵
عدم همراستایی ۴۰۶
قفسه‌ها ۴۰۶
بار حداقل ۴۰۶
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۴۰۶
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۴۰۶
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۴۰۷
انطباقات بیرینگ‌های جفت‌شده ۴۰۷
تعیین بار وارده بر بیرینگ‌های جفت‌شده ۴۰۸
بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت جلو به جلو ۴۰۸
بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت به پشت ۴۰۸

بیرینگ‌های جفت‌شده

در چیدمان‌هایی که ظرفیت حمل بار محوری یک رولربیرینگ مخروطی کافی نمی‌باشد و یا لازم است که شفت را با لقی مثبت یا منفی مشخص در از جهت محوری ثابت کرد، می‌توان از رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه جفت‌شده (شکل ۱) در طرح‌های زیر استفاده نمود.

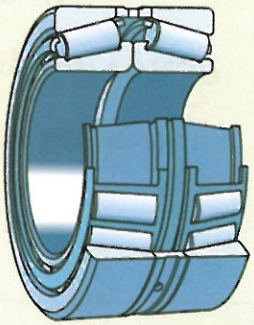
- جلو به جلو
- پشت به پشت
- پشت سر هم

بیرینگ‌های جفت‌شده یک راه‌حل اقتصادی برای مشکلات چیدمان‌های مختلف بوده و دارای مزایا زیر هستند.

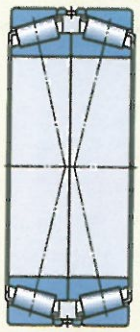
- سادگی در نصب، زیرا رینگ‌های میانی (Intermediate Rings) نیاز به تنظیم نداشته و به همین علت از خطاهای نصب جلوگیری می‌شود
- تعیین دقیق موقعیت محوری، لقی یا پیش بار محوری در حین ساخت مشخص می‌شود
- ظرفیت حمل بار محوری و شعاعی زیاد
- تعمیر و نگهداری ساده، روانکاری را می‌توان از طریق شیار و سوراخ‌های موجود بر روی رینگ میانی انجام داد.

بیرینگ‌های جفت‌شده در سه چیدمان مختلف که در (شکل ۲) نشان داده شده است، موجود می‌باشند.

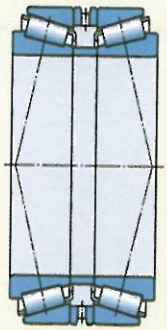
شکل ۱



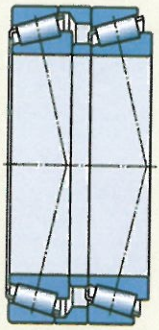
شکل ۲



الف



ب



ج

چیدمان جلو به جلو

در بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت جلو به جلو، یک رینگ میانی بین دو رینگ خارجی قرار می‌گیرد (شکل ۲ الف). لذا تولید این بیرینگ‌ها نسبتاً ساده است. در چیدمان جلو به جلو خطوط بار به سمت محور بیرینگ همگرا می‌باشند. بار محوری از هر دو جهت تحمل می‌شود ولی در هر جهت فقط یک بیرینگ آن را تحمل می‌کند.

چیدمان پشت به پشت

در بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت به پشت رینگ‌های میانی ما بین رینگ‌های خارجی و داخلی قرار می‌گیرند (شکل ۲ ب). این چیدمان نسبت به چیدمان جلو به جلو هزینه بیشتری دارد. در چیدمان پشت به پشت خطوط بار به سمت محور بیرینگ واگرا می‌باشند و به همین علت چیدمانی با سفتی بالا ایجاد می‌کنند که می‌تواند بار خمشی را نیز تحمل کند. بار محوری از هر دو جهت تحمل می‌شود ولی در هر جهت فقط یک بیرینگ آن را تحمل می‌کند.

چیدمان پشت سر هم

در چیدمان پشت سر هم نیز نیاز به رینگ‌های میانی مابین رینگ‌های داخلی و خارجی است ولی این چیدمان به ندرت استفاده می‌شود (شکل ۲ ج). خطوط بار هر دو بیرینگ موازی هم بود. و به همین دلیل بارهای محوری و شعاعی به صورت مساوی بین هر دو بیرینگ تقسیم می‌شوند. بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت سر هم بار محوری را فقط در یک جهت تحمل می‌کنند و لازم است نسبت به بیرینگ سومی که می‌تواند بار محوری را در جهت مخالف تحمل کند، تنظیم شوند.

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی هر بیرینگ در مجموعه‌های جفت‌شده با شماره فنی سری مجموعه، مطابق استاندارد ISO 355:1977 است.

تلرانس‌ها

در بیرینگ‌های جفت‌شده هر بیرینگ با تلرانس نرمال تولید می‌شود. مقادیر تلرانس‌های نرمال مطابق استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جدول ۸ صفحه ۱۱۸ آورده شده‌اند. تلرانس پهنای کل بیرینگ‌های جفت‌شده استاندارد نشده است و در جدول ۱ آورده شده است. در این جدول Δ_{TsD} نشان‌دهنده انحراف پهنای کلی یک جفت بیرینگ از مقدار نامی می‌باشد.

جدول ۱ تلرانس پهنای کل برای بیرینگهای جفت شده یک ردیفه

قطر داخلی d		تلرانس پهنای کل Δ_{TsD} برای بیرینگهای جفت شده در سریهای											
		329		320 X		330		331, 302, 322, 332		303, 323		313 (X)	
بیشتر از	تا و شامل	high	low	high	low	high	low	high	low	high	low	high	low
mm		µm											
–	30	–	–	+550	+100	–	–	+550	+100	+600	+150	+500	+50
30	40	–	–	+550	+100	–	–	+600	+150	+600	+150	+550	+50
40	50	–	–	+600	+150	–	–	+600	+200	+600	+200	+550	+50
50	65	–	–	+600	+150	–	–	+600	+200	+650	+200	+550	+100
65	80	–	–	+600	+200	–	–	+650	+200	+700	+200	+600	+100
80	100	+750	−150	+650	−250	+800	−50	+700	−200	+700	−100	+600	−300
100	120	+750	−150	+700	−200	+800	−100	+700	−200	+750	−150	+600	−300
120	140	+1 100	−200	+1 000	−300	+1 100	−200	+1 000	−300	+1 100	−200	+950	−350
140	160	+1 150	−150	+1 050	−250	+1 100	−200	+1 050	−250	+1 150	−150	+950	−350
160	180	+1 150	−150	+1 100	−200	–	–	+1 100	−200	+1 150	−150	–	–
180	190	+1 150	−150	+1 100	−200	–	–	+1 100	−200	+1 200	−100	–	–
190	200	+1 150	−150	+1 100	−200	–	–	+1 100	−200	+1 200	−100	–	–
200	225	+1 200	−100	+1 150	−150	–	–	+1 150	−150	+1 250	−50	–	
225	250	+1 200	−100	+1 200	−100	–	–	+1 200	−100	+1 300	0	–	–
250	280	+1 300	0	+1 250	−50	–	–	+1 250	−50	–	–	–	–
280	300	+1 400	+100	+1 300	0	–	–	+1 300	0	–	–	–	–
300	315	+1 400	+100	+1 350	+50	–	–	+1 350	+50	–	–	–	–
315	340	+1 500	−200	+1 450	−250	–	–	+1 450	+200				

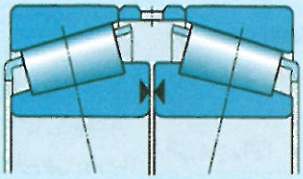
لقی داخلی محوری

بیرینگ‌های جفت‌شده از بیرینگ‌های متریک، به صورت استاندارد با لقی محوری نشان داده شده در جدول ۲ تولید می‌شوند. مقادیر جدول برای بیرینگ نصب‌نشده تحت بار

- 0.1 kN برای بیرینگ‌های با قطر خارجی $D \leq 90$ mm
- 0.3 kN برای بیرینگ‌های با قطر خارجی $90 \text{ mm} < D \leq 240$ mm
- 0.5 kN برای بیرینگ‌های با قطر خارجی $D > 240$ mm

صحیح می‌باشند. بیرینگ‌های جفت‌شده با لقی غیر استاندارد با پسوند C در شماره فنی‌که بعد از آن دو یا سه رقم نشان‌دهنده لقی متوسط محوری برحسب µm می‌آید، نشان داده می‌شوند. محدوده لقی خاص مشابه محدوده لقی‌های استاندارد می‌باشد. برای مثال در بیرینگ جفت‌شده 32232 J2/DFC230 که دارای لقی محوری متوسط +230 µm است، محدوده لقی بین +200 µm تا +260 µm است.

جدول ۲ لقی داخلی محوری رولر بیرینگهای جفت شده مخروطی یک ردیفه



قطر داخلی d		لقی داخلی محوری بیرینگهای جفت شده در سریهای											
		329		320 X		330		331, 302, 322, 332		303, 323		313 (X)	
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		µm											
–	30	–	–	80	120	–	–	100	140	130	170	60	100
30	40	–	–	100	140	–	–	120	160	140	180	70	110
40	50	–	–	120	160	180	220	140	180	160	200	80	120
50	65	–	–	140	180	200	240	160	200	180	220	100	140
65	80	–	–	160	200	250	290	180	220	200	260	110	170
80	100	270	310	190	230	350	390	210	270	240	300	110	170
100	120	270	330	220	280	340	400	220	280	280	340	130	190
120	140	310	370	240	300	340	400	240	300	330	390	160	220
140	160	370	430	270	330	340	400	270	330	370	430	180	240
160	180	370	430	310	370	–	–	310	370	390	450	–	–
180	190	370	430	340	400	–	–	340	400	440	500	–	–
190	200	390	450	340	400	–	–	340	400	440	500	–	–
200	225	440	500	390	450	–	–	390	450	490	550	–	–
225	250	440	500	440	500	–	–	440	500	540	600	–	–
250	280	540	600	490	550	–	–	490	550	–	–	–	–
280	300	640	700	540	600	–	–	540	600	–	–	–	–
300	340	640	700	590	650	–	–	590	650				

عدم همراستایی

هرگونه عدم همراستایی بین رینگ‌های خارجی نسبت به رینگ‌های داخلی بیرینگ‌های جفت‌شده فقط با ایجاد نیرو بین رولرها و سطح غلتش امکان‌پذیر است. از افزایش تنش ناشی از عدم همراستایی در بیرینگ باید جلوگیری کرد. در صورتی که عدم همراستایی اجتناب‌ناپذیر است استفاده از چیدمان جلو به جلو، که سفتی کم‌تری نیز دارد، توصیه می‌شود.

قفسه‌ها

رولربیرینگ‌ها مخروطی یک ردیفه که در بیرینگ‌های جفت‌شده استفاده می‌شوند دارای قفسه نوع پنجره‌ای از جنس فولاد پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رولرها می‌باشند (شکل ۳).

بار حداقل

رولربیرینگ‌های مخروطی جفت‌شده برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ در سرعت‌های بالا تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد با اهمیت است. در این شرایط نیروی اینرسی رولرها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین رولرها و سطوح غلتش شود.

حداقل بار مورد نیاز برای رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه جفت‌شده به صورت تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{rm} = 0.02C$$

برای بیرینگ‌های جفت‌شده کلاس SKF اکسپلورر

$$F_{rm} = 0.017C$$

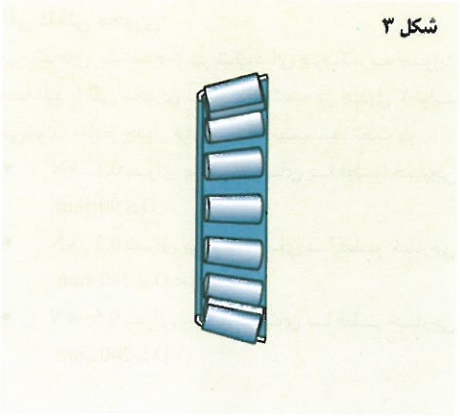
که در آن

F_{rm} = بار حداقل شعاعی، kN

C = ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی، kN (جداول بیرینگ‌ها)

است. هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است. در غیر این صورت

شکل ۳



رولربیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه جفت‌شده باید تحت بار شعاعی اضافی قرار گیرند.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

برای بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت به پشت و جلو به جلو تحت بار دینامیکی، بار معادل از روابط زیر به دست می‌آید.

اگر $F_a/F_r \le e$ $\quad P = F_r + Y_1F_a$

اگر $F_a/F_r > e$ $\quad P = 0.67F_r + Y_2F_a$

و برای بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت سر هم،

اگر $F_a/F_r \le e$ $\quad P = F_r$

اگر $F_a/F_r > e$ $\quad P = 0.4F_r + YF_a$

F_a و F_r نیروهای وارده بر بیرینگ‌های جفت‌شده می‌باشند. مقادیر ضرایب محاسباتی e، Y، Y_1 و Y_2 در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند.

برای تعیین بار محوری وارده بر بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت سر هم به بخش « تعیین بار محوری برای بیرینگ‌های تکی یا جفتی پشت سر هم » در صفحه ۳۹۴ مراجعه کنید.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت به پشت و جلو به جلو تحت بار استاتیکی، بار معادل استاتیکی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = F_r + Y_0F_a$$

و برای بیرینگ‌های جفت شده به صورت پشت سرهم ،

$$P_0 = 0.5F_r + Y_0F_a$$

وقتی که $P_0 < F_r$ است، باید از رابطه $P_0 = F_r$ استفاده شود. F_r و F_a نیروهای وارده بر بیرینگ‌های جفت‌شده می‌باشند.

برای تعیین بار محوری وارده بر بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت سر هم به بخش « تعیین بار محوری برای بیرینگ‌های تکی یا جفتی پشت سر هم » در صفحه ۳۹۴ مراجعه کنید.

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی بیرینگ‌های مخروطی یک ردیفه جفت‌شده برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند، در زیر شرح داده می‌شوند.

CL7C بیرینگ با عملکرد بالا برای چیدمان بیرینگ‌های پنیون

C ... لقی خاص. دو یا سه عدد بعد از حرف C میزان لقی محوری متوسط را بر حسب µm نشان می‌دهد

DB بیرینگ جفت‌شده به صورت پشت به پشت. یک عدد بعد از DB نشان‌دهنده طرح رینگ‌های میانی است

DF بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت جلو به جلو. یک عدد بعد از DF نشان‌دهنده طرح رینگ میانی است

DT بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت سر هم. یک عدد بعد از DT نشان‌دهنده طرح رینگ‌های میانی است

HA1 رینگ داخلی و خارجی از فولاد سخت شونده سطحی

HA3 رینگ داخلی از فولاد سخت شونده سطحی

J قفسه نوع پنجره‌ای از جنس فولاد پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رولرها، یک عدد بعد از J نشان‌دهنده طرح قفسه متفاوت می‌باشد

Q هندسه تماس و صافی سطح بهینه‌شده

T T به همراه یک عدد مشخص‌کننده پهنای کل بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت به پشت و پشت سر هم است

X ابعاد خارجی تغییر یافته تا مطابق استاندارد ISO شوند

انطباقات بیرینگ‌های جفت‌شده

مقادیر لقی داخلی محوری در جدول ۲ به نحوی تعیین شده‌اند که پس از نصب بیرینگ بر روی شفت‌های ماشینکاری‌شده مطابق تلرانس‌های

- m5 برای شفت‌ها تا قطر داخلی 140 mm
- n6 برای شفت‌ها از قطر 140 mm تا 200 mm یا
- p6 برای شفت‌ها با قطر بزرگ‌تر از 200 mm

لقی کارکرد مناسبی به دست خواهد آمد. این تلرانس‌ها برای بارهای متوسط تا سنگین و در شرایطی که بار دورانی بر رینگ داخلی وارد شود، صحیح می‌باشند. در صورتی که انطباقات محکم‌تری انتخاب شوند باید از مهار نبودن بیرینگ اطمینان حاصل شود.

برای رینگ خارجی تحت بار ثابت تلرانس‌های J6 یا H7 برای سوراخ نشیمنگاه توصیه می‌شوند.

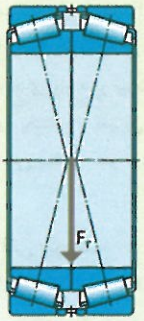
تعیین بار وارده بر بیرینگ‌های جفت‌شده

اگر رولربیرینگ‌های مخروطی جفت‌شده به صورت پشت به پشت و جلو به جلو با بیرینگ سومی در چیدمان بکار برده شوند چیدمان از نظر استاتیکی نامعین خواهد بود. در این شرایط لازم است ابتدا بار شعاعی F_r وارده بر بیرینگ‌های جفت‌شده تعیین شود.

بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت جلو به جلو

برای بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت جلو به جلو (شکل ۴) می‌توان فرض کرد که بار شعاعی در مرکز هندسی بیرینگ‌های جفت‌شده وارد می‌شود زیرا فاصله بین مراکز فشار دو بیرینگ در مقایسه با فاصله بین مراکز هندسی بیرینگ‌های جفت‌شده و بیرینگ دیگر، کوچک است. در این شرایط می‌توان چیدمان بیرینگ را از نظر استاتیکی معین فرض نمود.

شکل ٤



بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت به پشت

در مجموعه بیرینگ‌های جفت‌شده به صورت پشت به پشت، فاصله بین مراکز فشار در بیرینگ جفت‌شده در مقایسه با فاصله L بین مراکز هندسی بیرینگ‌های جفت‌شده و بیرینگ دیگر (شکل ۵) بزرگ است. در این شرایط لازم است میزان بار وارده بر مجموعه بیرینگ‌ها و فاصله a_1 نقطه اثر بار را تعیین نمود. مقدار بار شعاعی را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد.

$$F_r = \frac{L_1}{L - a_1} K_r$$

که در آن

F_r = بار شعاعی وارده بر بیرینگ‌های جفت‌شده، kN

K_r = بار شعاعی وارد بر شفت، kN

L = فاصله بین مراکز هندسی دو موقعیت بیرینگ، mm

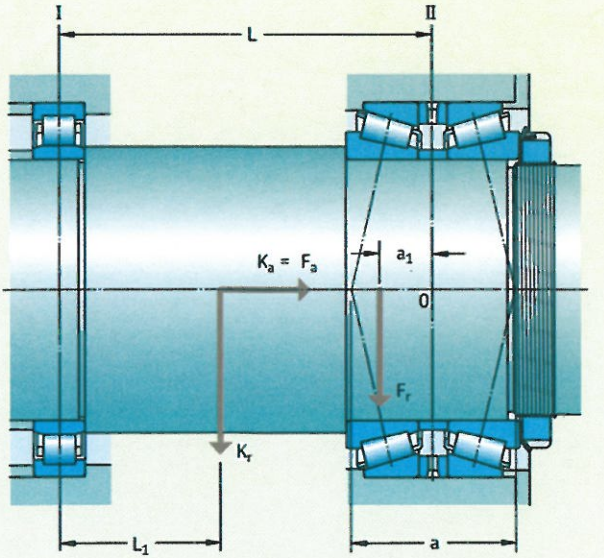
L_1 = فاصله بین مرکز بیرینگ واقع در موقعیت I تا نقطه اثر نیروی K_r ، mm

a = فاصله بین مراکز فشار بیرینگ‌ها

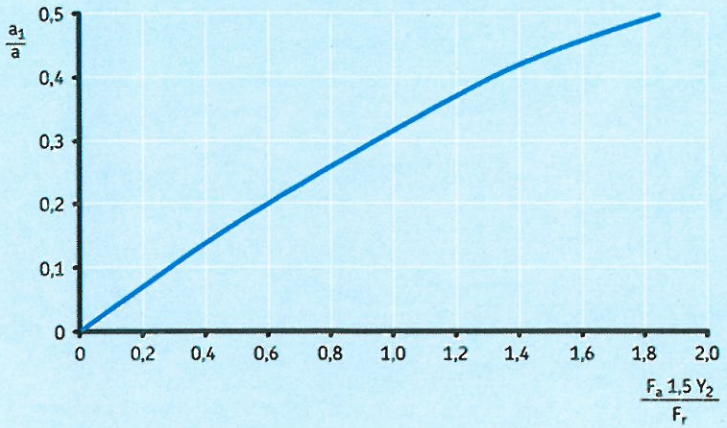
a_1 = فاصله بین مرکز هندسی بیرینگ‌های جفت‌شده و بار شعاعی F_r ، mm

فاصله a را می‌توان با استفاده از دیاگرام ۱ تعیین نمود. فاصله بین مراکز فشار a و فاکتور محاسباتی Y_2 در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند.

شکل ۵



نمودار ۱

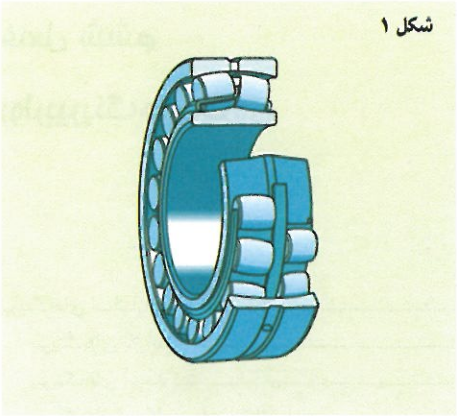


فصل ششم

رولربیرینگ‌های کروی

بیرینگ‌های استاندارد ۴۱۲
بیرینگ‌های باز (بدون آب‌بند) ۴۱۲
بیرینگ‌های آب‌بند شده ۴۱۴
بیرینگ‌ها برای کاربردهای ارتعاشی ۴۱۶
بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر ۴۱۷
بیرینگ‌های خاص ۴۱۷
بیرینگ‌ها بر روی غلاف ۴۱۸
نشیمنگاه‌های مناسب بیرینگ‌ها ۴۱۹
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۴۲۰
ابعاد ۴۲۰
تلرانس‌ها ۴۲۰
لقی داخلی ۴۲۰
عدم همراستایی ۴۲۳
تأثیر دمای کارکرد برجنس بیرینگ ۴۲۴
ظرفیت حمل بار محوری ۴۲۴
بار حداقل ۴۲۴
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۴۲۴
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۴۲۵
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۴۲۵
نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی ۴۲۶
اندازه‌گیری کاهش لقی ۴۲۶
اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن ۴۲۸
اندازه‌گیری بالاروی محوری ۴۲۸
اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی ۴۳۰
اطلاعات تکمیلی در رابطه با نصب بیرینگ‌ها ۴۳۰

شکل ۱



رولربیرینگ‌های کروی دارای دو ردیف رولر با سطح غلتش مشترک بر روی رینگ خارجی و دو سطح غلتش، مایل نسبت به محور بیرینگ، بر روی رینگ داخلی (شکل ۱) می‌باشند. طرح فوق دارای مزایایی می‌باشند که جایگزین کردن این بیرینگ‌ها با انواع دیگر را در بسیاری از کاربردها غیرممکن می‌سازد. این بیرینگ‌ها خود تنظیم بوده و به عدم همراستایی شفت نسبت به نشیمنگاه و تغییر شکل شفت و خمش آن حساسیتی ندارند.

رولربیرینگ‌های کروی از نظر طراحی بی‌همتا بوده و علاوه بر تحمل بار شعاعی زیاد بار محوری زیادی را نیز از هر دو جهت تحمل می‌کنند.

بیرینگ‌های استاندارد

محدوده تولیدات استاندارد رولربیرینگ‌های کروی شامل،

- بیرینگ‌های باز،
- بیرینگ‌های آب‌بند شده و
- بیرینگ‌ها برای کاربردهای ارتعاشی، می‌باشد.

علاوه بر تولیدات استاندارد، محدوده وسیعی از رولربیرینگ‌های کروی برای کابردهای‌خاص تولید می‌شوند.

بیرینگ‌های باز (بدون آب‌بند)

رولربیرینگ‌های کروی در چندین طرح مختلف که به سری و ابعاد بیرینگ بستگی دارند، تولید می‌شوند.

اختلاف طرح‌های مختلف در

- محل قرارگیری رینگ راهنمای شناور (Floating Guide Ring)
- طراحی رینگ داخلی و قفسه می‌باشد.

این طرح‌ها در زیر شرح داده شده‌اند (شکل۲).

CC ،C(J) دو قفسه فولادی نوع پنجره‌ای، رینگ داخلی بدون لبه و رینگ راهنما نسبت به رینگ داخلی مرکز شده است (الف)

EC(J) ،ECC(J) دو قفسه فولادی نوع پنجره‌ای، رینگ داخلی بدون لبه رینگ راهنما مرکزشده نسبت به رینگ داخلی و مجموعه رولرهای تقویت‌شده (الف)

CA قفسه برنجی یک تکه ماشینکاری‌شده نوع چنگکی دوبل، لبه‌های مهارکننده بر روی رینگ داخلی و رینگ راهنما مرکزشده نسبت به رینگ داخلی (ب)

CAF مشابه CA اما با قفسه فولادی

ECA ،ECAC قفسه برنجی یک تکه ماشینکاری‌شده نوع چنگکی دوبل، لبه‌های مهارکننده بر روی رینگ داخلی، رینگ راهنما مرکزشده نسبت به رینگ داخلی و مجموعه رولرهای تقویت‌شده (ب).

ECAF مشابه ECA اما با قفسه فولادی

E برای بیرینگ‌ها با قطر داخلی $d \leq 65$ mm:
دو قفسه فولادی نوع پنجره‌ای، رینگ داخلی بدون لبه و رینگ راهنما مرکزشده نسبت به رینگ داخلی (ج).
برای بیرینگ‌ها با قطر داخلی $d > 65$ mm:
دو قفسه فولادی نوع پنجره‌ای، رینگ داخلی بدون لبه و رینگ راهنما مرکزشده نسبت به قفسه (د)

CAFA قفسه فولادی یک تکه ماشینکاری‌شده نوع چنگکی دوبل مرکزشده بر روی رینگ خارجی، لبه‌های مهارکننده بر روی رینگ داخلی و رینگ راهنما مرکزشده نسبت به رینگ داخلی (هـ)

CAMA مشابه CAFA اما با قفسه برنجی

کلیه رولربیرینگ‌های کروی بجز در چند مورد با رینگ داخلی استوانه‌ای و مخروطی تولید می‌شوند. بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی

- در سری‌های 240، 241، 248 و 249 دارای مخروط 1:30 با پسوند K30 در شماره فنی بیرینگ و
- در دیگر سری‌ها، با مخروط 1:12، با پسوند K در شماره فنی بیرینگ، تولید می‌شوند.

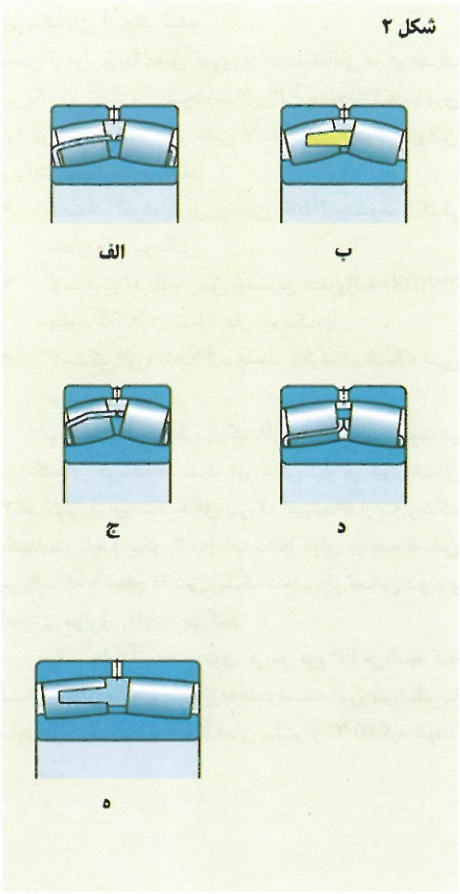
شیار محیطی و سوراخ‌های روانکاری

برای روانکاری مؤثر بیرینگ، رولربیرینگ‌های کروی دارای امکانات زیر می‌باشند.

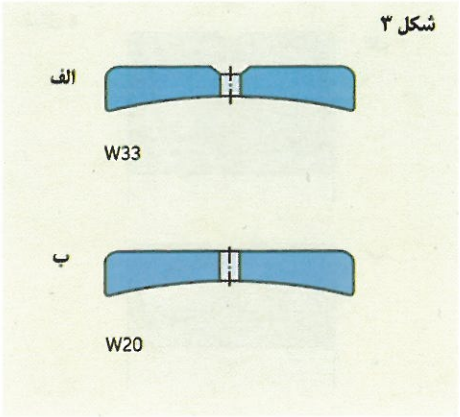
- یک شیار محیطی و سه سوراخ روانکاری در رینگ خارجی (شکل ۳ الف) پسوند W33 در شماره فنی بیرینگ و یا
- سه سوراخ روانکاری در رینگ خارج (شکل ۳ ب)، پسوند W20 در شماره فنی بیرینگ

رولربیرینگ‌های کروی طرح E به صورت استاندارد دارای شیار محیطی و سه سوراخ روانکاری می‌باشند لذا پسوند W33 از شماره فنی این بیرینگ‌ها حذف شده است.

شکل ۲



شکل ۳



بیرینگ‌های آب‌بند شده

بعضی از رولربیرینگ‌های کروی با آب‌بند تماسی در دو طرف بیرینگ نیز تولید می‌شود (شکل ۴). آب‌بندها که با ورق فولادی تقویت شده‌اند، از جنس لاستیک‌های مقاوم به روغن و سایش زیر تولید می‌شوند.

- لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR)، پسوند 2CS در شماره فنی بیرینگ
- لاستیک اکریلونیتریل بوتادین هیدروژنه (HNBR)، پسوند 2CS5 در شماره فنی بیرینگ، یا
- لاستیک فلورو (FKM) با پسوند 2CS2 در شماره فنی بیرینگ

آب‌بندها در فرورفتگی رینگ خارجی نصب می‌شوند. در بیرینگ‌های کوچک آب‌بند در فرورفتگی قرار می‌گیرد (شکل ۴ الف) ولی در بیرینگ‌های بزرگ آب‌بند نیاز به رینگ نگهدارنده دارد (شکل ۴ ب). آب‌بندها دارای دو لبه تماس می‌باشد که با سطح غلتش رینگ داخلی در تماس بوده و آب‌بندی مؤثری را ایجاد می‌کنند.

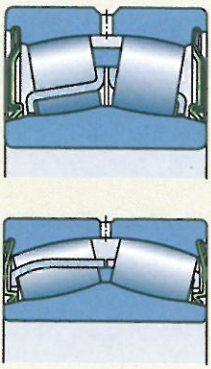
بیرینگ‌های آب‌بند محتوی گریس نوع EP می‌باشند که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است. این بیرینگ‌ها نباید قبل از نصب شسته و تا دمای بیشتر از 80 °C گرم شوند.

جدول ۱ گریس های استاندارد SKF

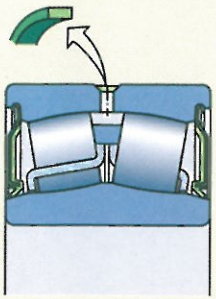
گریس برای بیرینگ های کروی آب بند شده آب نوع 2CS, 2CS2/VT143 and 2CS5/VT143	برای رولر بیرینگ های مشخصه های فنی
گریس EP	نوع
لیتیم	غلیظ کننده
معدنی	نوع روغن پایه
2	کلاس غلظت NLGI
−20 to +110	محدوده دما، °C [1]
	لزجت روغن پایه، mm^2/s
200	در 40 °C
16	در 100 °C
	میزان پر شدگی % از فضای خالی بیرینگ
25 to 35	

۱) برای محدوده دمای کارکرد قابل اطمینان به بخش "محدوده دما - مفهوم چراغ راهنما SKF" در صفحه ۲۲۰ را ببینید.

شکل ٤



شکل ٥



بیرینگ‌های آب‌بند شده در صورتی که دمای کارکرد از 70 °C بیشتر نباشد و سرعت از 50% سرعت حدی در جداول بیرینگ‌ها کم‌تر باشد، نیاز به روانکاری مجدد ندارند. وقتی دما و سرعت بالا باشند روانکاری مجدد با گریس مشابه با غلیظ‌کننده لیتیمی (جدول ۱) توصیه می‌شود.

در این شرایط باید نوار پلیمری که در رینگ خارجی سوراخ‌های روانکاری را پوشانده است قبل از نصب برداشته شود (شکل ۵). توجه کنید که فقط مقدار کمی گریس برای روانکاری بیرینگ‌های آب‌بند شده نیاز است. گریس باید به آرامی از طریق سوراخ‌های موجود در رینگ خارجی به بیرینگ تزریق شود. (در شرایطی که بیرینگ در حال کار است) در حین تزریق گریس نباید فشار زیادی اعمال شود تا آب‌بندها صدمه نبینند.

طرح داخلی بیرینگ‌های آب‌بند شده مشابه بیرینگ‌های باز است. ابعاد خارجی نیز مشابه می‌باشد، بجز برای بیرینگ‌های سری‌های 222 و 223 که پهن‌تر از بیرینگ‌های باز بوده و دارای شماره سری 22 -BS2 و 23-BS2 می‌باشند.

بیرینگ‌های آب‌بند شده به صورت استاندارد با رینگ داخلی استوانه‌ای ساخته می‌شوند. ولی اکثر بیرینگ‌های سری 22 -BS2 با رینگ داخلی مخروطی نیز موجود می‌باشند.

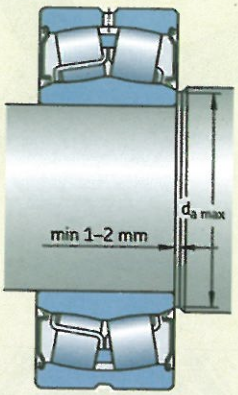
کلیه بیرینگ‌های آب‌بند شده را می‌توان با رینگ داخلی مخروطی نیز تولید کرد. برای جلوگیری از تماس پله شفت با آب‌بندها در فاصله حداقل 1 mm تا 2 mm، قطر پله شفت نباید از $d_{a\ max}$ بیشتر باشد. (شکل ۶ الف).

در صورتی که لازم است بیرینگ بر روی شفت با مهره قفل‌کننده در جهت محوری مهار شود استفاده از مهره نوع KMFE (شکل ۶ ب) و یا قرار دادن یک رینگ میانی بین بیرینگ و مهره (شکل ۶ ج) توصیه می‌شود.

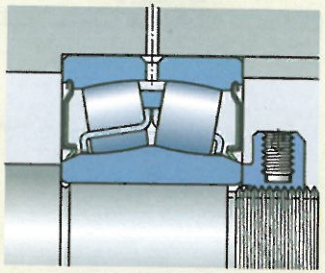
اخطار

آب‌بندها از جنس لاستیک فلورو در دمای بالاتر از 300 °C بخار خطرناکی تولید می‌کنند. بنابراین باید توصیه‌های ایمنی بخش « جنس آب‌بندها » در صفحه ۱۳۱ رعایت شوند.

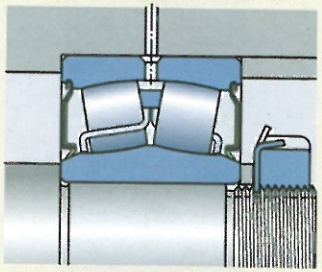
شکل ٦



الف

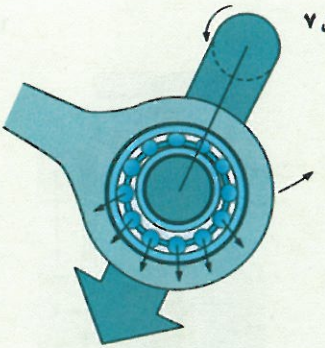


ب

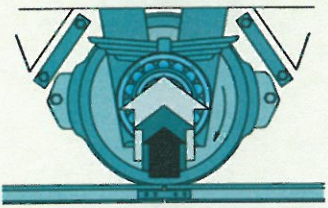


ج

شکل ۷



الف



ب

بیرینگ‌ها برای کاربردهای ارتعاشی

در کاربردهای ارتعاشی نظیر سرندهای ارتعاشی یا تحریک‌کننده‌ها (Exciters) شتاب ناشی از ارتعاش به قفسه و رولرها القاء می‌شود. این موضوع لازم است در طراحی بیرینگ در نظر گرفته شود. رولربیرینگ‌های کروی برای کاربردهای ارتعاشی می‌تواند در مقابل این شتاب‌های نسبتاً بالا مقاومت کنند. مقدار شتاب مجاز به روانکار و نوع شتاب (دورانی یا خطی) بستگی دارد.

شتاب دورانی

رینگ خارجی بیرینگ تحت بار دورانی و یک میدان شتاب دورانی قرار می‌گیرد. در این شرایط بار متغیر بر روی قفسه از طریق رولرها اعمال می‌شود. مثال‌هایی از این نوع کاربرد سرندهای ارتعاشی و چرخنده‌های خورشیدی می‌باشند. ماشین‌آلات راه‌سازی نظیر جاده صاف کن‌ها (Road Rollers) تحت ترکیبی از شتاب‌های خطی و دورانی می‌باشند (شکل ۷ الف).

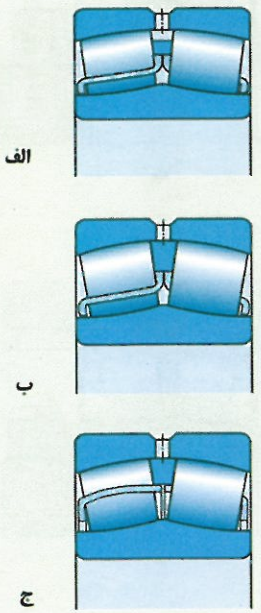
مقادیر مجاز شتاب دورانی در جداول بیرینگ‌ها آورده شده و برای روانکاری با روغن صحیح می‌باشند. مقادیر بر حسب g بیان شده‌اند و برای مثال 28g نشان‌دهنده شتاب $28 \times 9.81 = 275\ m/s^2$ است.

شتاب خطی

در این شرایط بیرینگ تحت بار ضربه‌ای و در نتیجه شتاب خطی می‌باشد. در این حالت رولرهای بدون بار به قفسه ضربه وارد می‌کنند. یک مثال از شتاب خطی هنگامی است که چرخ واگن قطار از محل اتصال ریل‌ها عبور می‌کند (شکل ۷ ب) یک مثال بهتر حرکت جاده صاف کن بر روی یک سطح نسبتاً سخت است.

مقادیر مجاز شتاب خطی در جداول بیرینگ آورده شده‌اند که برای روانکاری با روغن صحیح می‌باشند. مقادیر برحسب g می‌باشند و برای مثال 90g شتابی معادل $90 \times 9.81 = 883\ m/s^2$ است.

شکل ۸



الف

ب

ج

طرح بیرینگ‌ها

رولربیرینگ‌های کروی برای کاربردهای ارتعاشی دارای ابعاد و مشخصات مشابه با بیرینگ‌های سری 223 می‌باشند ولی لقی داخلی آنها به صورت استاندارد C4 است. این بیرینگ‌ها با رینگ داخلی استوانه‌ای و مخروطی موجود می‌باشند. برای روانکاری مؤثر، بیرینگ‌ها دارای شیار محیطی و سه سوراخ روانکاری در رینگ خارجی می‌باشند.

رولربیرینگ‌های کروی برای کاربردهای ارتعاشی وابسته به ابعاد در یکی از طرح‌های زیر (شکل ۸) ساخته می‌شوند.

طرح E/VA405 (بیرینگ‌ها با $d \leq 65$ mm)

دو قفسه نوع پنجره‌ای که سختی سطحی شده‌اند با رینگ داخلی بدون لبه و رینگ راهنما مرکزشده نسبت به رینگ داخلی از مشخصه‌های این بیرینگ‌ها می‌باشند.

E/VA405 (بیرینگ‌ها با $d > 65$ mm)

دو قفسه نوع پنجره‌ای که سختی سطحی شده‌اند با رینگ داخلی بدون لبه و رینگ راهنما مرکزشده نسبت به قفسه‌ها (الف) از مشخصه‌های این بیرینگ‌ها می‌باشند.

طرح‌های EJA/VA405 و CCJA/W33VA405

دو قفسه نوع پنجره‌ای که سختی سطحی شده‌اند با طرح قفسه EJA (ب) یا طرح CCJA (ج)، رینگ داخلی بدون لبه و رینگ راهنما مرکزشده نسبت به رینگ خارجی از مشخصه‌های این بیرینگ می‌باشند.

طرح‌های EJA/VA406 و CCJA/W33VA406

سطح داخلی رینگ داخلی این بیرینگ‌ها با لایه‌ای از PTFE پوشش داده شده است. مشخصات این بیرینگ‌ها مشابه طرح‌های VA405 است. بیرینگ‌های فوق برای شفت از قطر 85 mm تا 200 mm موجود می‌باشند و برای استفاده در موقعیت شناور در کاربردهای ارتعاشی طراحی شده‌اند تا از خوردگی ناشی از اصطکاک بین شفت و رینگ داخلی جلوگیری کنند. شفت نیاز به عملیات حرارتی خاص یا پوشش ندارد.

بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر

بیرینگ‌های با عملکرد بالای SKF اکسپلورر در جداول با رنگ آبی مشخص شده‌اند. بیرینگ‌های اکسپلورز شماره فنی بیرینگ‌های قبلی را حفظ کرده‌اند (برای مثال 22220 E) ولی جعبه و بیرینگ برای جلوگیری از اشتباه با کلمه « EXPLORER » مشخص شده‌اند.

بیرینگ‌های خاص

محدوده وسیعی از رولربیرینگ‌های کروی خاص برای نیازهای مختلف تولید می‌شوند.

برای مثال

- بیرینگ با دقت‌های بالا برای ماشین‌های چاپ، صنایع کاغذسازی یا Coaters
- بیرینگ برای شرایط بسیار سخت نظیر ماشین ریخته‌گری پیوسته
- بیرینگ برای کارکرد در دمای بالا
- بیرینگ برای نصب به صورت لق بر روی گردن غلتک (Roll Neck) نورد
- بیرینگ برای وسایل نقلیه ریلی

بیرینگ‌ها بر روی غلاف

رولربیرینگ‌های کروی با رینگ داخلی مخروطی را می‌توان بر روی شفت استوانه‌ای با یا بدون پله نصب کرد. برای این منظور از غلاف‌های زیر استفاده می‌شود.

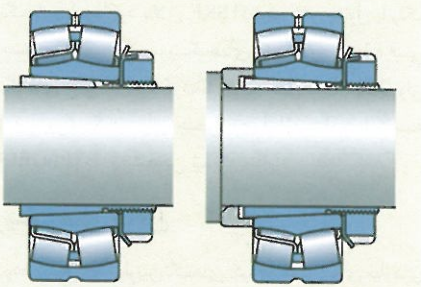
- غلاف واسطه (شکل ۹)،
- غلاف بیرون کشیدنی (شکل ۱۰)،

غلاف‌ها نصب و بیرون آوردن بیرینگ‌ها را ساه می‌کنند.

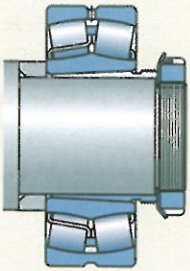
هنگامی که بیرینگ‌های آب‌بند بر روی غلاف واسطه نصب می‌شوند باید لبه آب‌بند از صدمه دیدن توسط مهره محافظت شود، برای این منظور می‌توان

- از غلاف واسطه طرح E استفاده کرد (بخش « غلاف‌های واسطه » صفحه ۵۲۳) و یا
- یک رینگ میانی بین بیرینگ و واشر قفل‌کن قرار داد (شکل ۱۱)

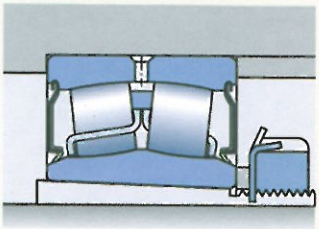
شکل ۹



شکل ۱۰



شکل ۱۱



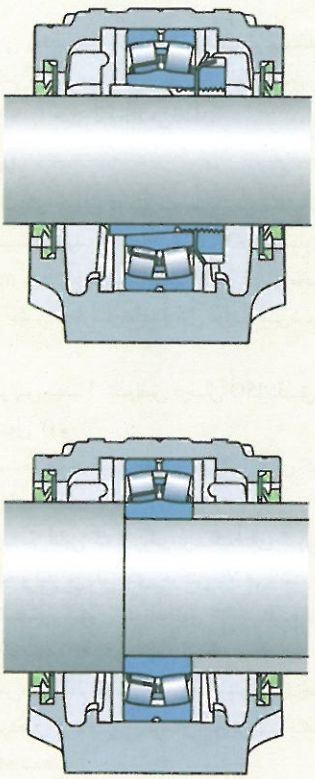
نشیمنگاه‌های مناسب بیرینگ‌ها

ترکیب رولربیرینگ‌های کروی با نشیمنگاه مناسب یک چیدمان اقتصادی، تعویض‌پذیر با قابلیت اطمینان بالا می‌باشند، که به تعمیر و نگهداری کمی نیاز دارند. نشیمنگاه‌های مختلفی با ابعاد و طرح‌های مختلف برای کاربردهای مختلف تولید می‌شوند. این طرح‌ها شامل

- نشیمنگاه دو تکه،
- نشیمنگاه یک تکه،
- نشیمنگاه فلنجی و
- نشیمنگاه نوع Take up می‌باشند.

اطلاعات کامل در رابطه با نشیمنگاه‌های دو تکه سری‌های 6، 5، 3، SNL 2 (شکل ۱۲) در بخش « نشیمنگاه‌های بیرینگ » در صفحه ۵۴۳ آورده شده‌اند. همچنین خلاصه‌ای از تمام انواع نشیمنگاه‌ها در این بخش آورده شده است (شامل مشخصه و طرح آنها بوده ولی مراجع مناسب برای اطلاعات بیشتر نیز ذکر شده‌اند).

شکل ۱۲



اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی رولربیرینگ‌های کروی مطابق استاندارد ISO 15:1998می‌باشند. ابعاد غلاف‌های واسطه و بیرون کشیدنی مطابق ISO 2982- 1:1995 می‌باشند.

تلرانس‌ها

رولربیرینگ‌های کروی به صورت استاندارد با تلرانس نرمال تولید می‌شوند. رولربیرینگ‌های کروی SKF اکسپلورر تا قطر داخلی 300 mm با رینگ داخلی استوانه‌ای و مخروطی با دقت‌های بیشتر از تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. برای مثال

- تلرانس پهنا از تلرانس نرمال ISO دقیق‌تر است (جدول ۲) و
- دقت‌های حرکتی مطابق تلرانس‌های کلاس P5 می‌باشند.

در چیدمان‌هایی که از رولربیرینگ‌های کروی بزرگ استفاده‌شده و نیاز به دقت‌های حرکتی بالا می‌باشد، می‌توان از رولربیرینگ‌های کروی با تلرانس P5 استفاده نمود. این بیرینگ‌ها با پسوند C08 مشخص شده‌اند.

تلرانس‌های قطر داخلی و خارجی رولربیرینگ‌های کروی برای کاربردهای ارتعاشی از نرمال به ترتیب به P6 و P5 کاهش داده شده‌اند.

مقادیر تلرانس‌ها مطابق ISO 492:2002 بوده و در جداول ۳ تا ۵ از صفحه ۱۱۳ آورده شده‌اند.

جدول ۲ تلرانس پهنا برای رولر بیرینگهای کروی کلاس SKF اکسپلورر با قطر داخلی تا 300 mm

قطر داخلی d		تلرانس پهنا مطابق			
		استاندارد SKF		استاندارد ISO	
بیشتر از	تا و شامل	Δ_{Bs} high	low	Δ_{Bs} high	low
mm		µm			
18	50	0	-60	0	-120
50	80	0	-60	0	-150
80	120	0	-80	0	-200
120	180	0	-80	0	-250
180	250	0	-80	0	-300
250	300	0	-100	0	-350

لقی داخلی

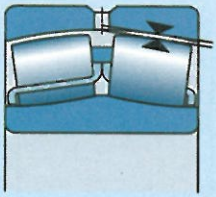
رولربیرینگ‌های کروی به صورت استاندارد با لقی شعاعی نرمال تولید می‌شوند ولی اکثر آنها با لقی بیشتر C3 نیز موجود هستند. بیشتر بیرینگ‌ها با لقی کم‌تر از نرمال C2 و لقی‌های بیشتر C4 یا C5 نیز موجود می‌باشند.

رولربیرینگ‌های کروی برای کاربردهای ارتعاشی به صورت استاندارد با لقی داخلی C4 تولید می‌شوند. لقی داخلی شعاعی بیرینگ‌ها در جداول زیر آورده شده‌اند.

- جدول ۳ برای بیرینگ‌ها با رینگ داخلی استوانه‌ای و
- جدول ۴ برای بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی

حدود لقی ذکر شده در جداول مطابق استاندارد ISO 5753:1991 بوده و برای بیرینگ‌ها قبل از نصب و بدون بار صحیح می‌باشند.

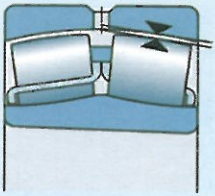
جدول ۳ لقی داخلی شعاعی رولر بیرینگهای کروی با رینگ داخلی استوانه ای



قطر داخلی d		لقی داخلی شعاعی									
		C2		Normal		C3		C4		C5	
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		µm									
18	24	10	20	20	35	35	45	45	60	60	75
24	30	15	25	25	40	40	55	55	75	75	95
30	40	15	30	30	45	45	60	60	80	80	100
40	50	20	35	35	55	55	75	75	100	100	125
50	65	20	40	40	65	65	90	90	120	120	150
65	80	30	50	50	80	80	110	110	145	145	185
80	100	35	60	60	100	100	135	135	180	180	225
100	120	40	75	75	120	120	160	160	210	210	260
120	140	50	95	95	145	145	190	190	240	240	300
140	160	60	110	110	170	170	220	220	280	280	350
160	180	65	120	120	180	180	240	240	310	310	390
180	200	70	130	130	200	200	260	260	340	340	430
200	225	80	140	140	220	220	290	290	380	380	470
225	250	90	150	150	240	240	320	320	420	420	520
250	280	100	170	170	260	260	350	350	460	460	570
280	315	110	190	190	280	280	370	370	500	500	630
315	355	120	200	200	310	310	410	410	550	550	690
355	400	130	220	220	340	340	450	450	600	600	750
400	450	140	240	240	370	370	500	500	660	660	820
450	500	140	260	260	410	410	550	550	720	720	900
500	560	150	280	280	440	440	600	600	780	780	1 000
560	630	170	310	310	480	480	650	650	850	850	1 100
630	710	190	350	350	530	530	700	700	920	920	1 190
710	800	210	390	390	580	580	770	770	1 010	1 010	1 300
800	900	230	430	430	650	650	860	860	1 120	1 120	1 440
900	1 000	260	480	480	710	710	930	930	1 220	1 220	1 570
1 000	1 120	290	530	530	780	780	1 020	1 020	1 330	1 330	1 720
1 120	1 250	320	580	580	860	860	1 120	1 120	1 460	1 460	1 870
1 250	1 400	350	640	640	950	950	1 240	1 240	1 620	1 620	2 060
1 400	1 600	400	720	720	1 060	1 060	1 380	1 380	1 800	1 800	2 300
1 600	1 800	450	810	810	1 180	1 180	1 550	1 550	2 000	2 000	2 550

برای تعریف لقی داخلی شعاعی به صفحه ۱۲۵ مراجعه کنید.

جدول ٤ لقی داخلی شعاعی برای رولر بیرینگهای کروی با رینگ داخلی مخروطی



قطر داخلی d		لقی داخلی شعاعی									
		C2		Normal		C3		C4		C5	
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		μm									
24	30	20	30	30	40	40	55	55	75	–	–
30	40	25	35	35	50	50	65	65	85	85	105
40	50	30	45	45	60	60	80	80	100	100	130
50	65	40	55	55	75	75	95	95	120	120	160
65	80	50	70	70	95	95	120	120	150	150	200
80	100	55	80	80	110	110	140	140	180	180	230
100	120	65	100	100	135	135	170	170	220	220	280
120	140	80	120	120	160	160	200	200	260	260	330
140	160	90	130	130	180	180	230	230	300	300	380
160	180	100	140	140	200	200	260	260	340	340	430
180	200	110	160	160	220	220	290	290	370	370	470
200	225	120	180	180	250	250	320	320	410	410	520
225	250	140	200	200	270	270	350	350	450	450	570
250	280	150	220	220	300	300	390	390	490	490	620
280	315	170	240	240	330	330	430	430	540	540	680
315	355	190	270	270	360	360	470	470	590	590	740
355	400	210	300	300	400	400	520	520	650	650	820
400	450	230	330	330	440	440	570	570	720	720	910
450	500	260	370	370	490	490	630	630	790	790	1 000
500	560	290	410	410	540	540	680	680	870	870	1 100
560	630	320	460	460	600	600	760	760	980	980	1 230
630	710	350	510	510	670	670	850	850	1 090	1 090	1 360
710	800	390	570	570	750	750	960	960	1 220	1 220	1 500
800	900	440	640	640	840	840	1 070	1 070	1 370	1 370	1 690
900	1 000	490	710	710	930	930	1 190	1 190	1 520	1 520	1 860
1 000	1 120	530	770	770	1 030	1 030	1 300	1 300	1 670	1 670	2 050
1 120	1 250	570	830	830	1 120	1 120	1 420	1 420	1 830	1 830	2 250
1 250	1 400	620	910	910	1 230	1 230	1 560	1 560	2 000	2 000	2 450
1 400	1 600	680	1 000	1 000	1 350	1 350	1 720	1 720	2 200	2 200	2 700
1 600	1 800	750	1 110	1 110	1 500	1 500	1 920	1 920	2 400	2 400	2 950

برای تعریف لقی داخلی شعاعی به صفحه ۱۲۵ مراجعه کنید.

عدم همراستایی

طراحی رولربیرینگ‌های کروی به شکلی است که می‌توانند عدم همراستایی را تحمل کنند. به عبارت دیگر عدم همراستایی زاویه‌ای بین رینگ داخلی و خارجی بدون هیچ اثری بر عملکرد بیرینگ قابل تحمل است. مقادیر عدم همراستایی مجاز در جدول ۵ آورده شده‌اند. این مقادیر در شرایط کارکرد طبیعی و بار نرمال ($C/P>10$) و در شرایطی‌که موقعیت عدم همراستایی نسبت به رینگ خارجی ثابت است، صحیح می‌باشند. صحت مقادیر ذکرشده در جداول به طراحی چیدمان بیرینگ و نوع آب‌بند بکار رفته بستگی دارد.

وقتی که موقعیت عدم همراستایی نسبت به رینگ خارجی ثابت نیست برای مثال در

- سرندهای ارتعاشی با جرم نامتوازن دورانی (Rotating Imbalance) و در نتیجه دوران تغییر شکل شفت (شکل ۱۳)، و یا
- غلتک‌های جبران‌کننده تغییر شکل (Defelection-Compensation Rolls) در ماشین کاغذسازی که در آنها شفت ثابت انحنا دارد،

لغزش اضافی در بیرینگ ایجاد می‌شود. بنابراین به علت اصطکاک و گرمای ناشی از آن توصیه می‌شود که عدم همراستایی رینگ داخلی نسبت به رینگ خارجی از چند دهم درجه بیشتر نشود.

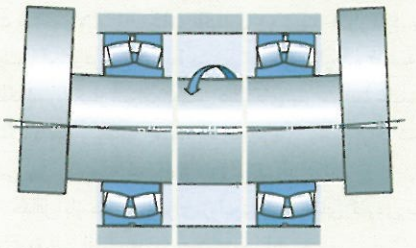
بیرینگ‌های آب‌بند شده می‌توانند عدم همراستایی زاویه‌ای شفت نسبت به نشیمنگاه را تا 0.5° تحمل کنند. در صورتی که مقادیر توصیه شده رعایت شوند، عدم همراستایی اثر تعیین‌کننده‌ای بر راندمان آب‌بند ندارند.

جدول ۵ عدم همراستایی زاویه ای مجاز

سریهای بیرینگ اندازه[1]	عدم همراستایی زاویه ای مجاز
–	degrees
Series 213	2
Series 222	
Sizes < 52	2
Sizes ≥ 52	1,5
Series 223	3
Series 230	
Sizes < 56	2
Sizes ≥ 56	2,5
Series 231	
Sizes < 60	2
Sizes ≥ 60	3
Series 232	
Sizes < 52	2,5
Sizes ≥ 52	3,5
Series 238	1,5
Series 239	1,5
Series 240	2
Series 241	
Sizes < 64	2,5
Sizes ≥ 64	3,5
Series 248	1,5
Series 249	2,5

۱) دو رقم آخر شماره فنی بیرینگ

شکل ۱۳



تأثیر دمای کارکرد برجنس بیرینگ

کلیه رولربیرینگ‌های کروی تحت عملیات حرارتی خاصی قرار می‌گیرند لذا می‌توانند برای مدت طولانی در دمای بالا بدون این که تغییر ابعادی در آنها ایجاد شود، کار کنند. برای مثال دمای 200+ °C برای 2500 ساعت و یا دمای بیشتر برای مدت کوتاه‌تر مجاز می‌باشند.

ظرفیت حمل بار محوری

رولربیرینگ‌های کروی به علت طراحی داخلی خاص خود می‌توانند بارهای نسبتاً سنگین محوری و حتی بار خالص محوری را نیز تحمل کنند.

ظرفیت حمل بار محوری بیرینگ‌های نصب‌شده بر روی غلاف

در صورتی که رولربیرینگ‌های کروی توسط غلاف واسطه بر روی شفت استوانه‌ای بدون پله نصب شده باشند، ظرفیت حمل بار محوری به اصطکاک بین شفت و غلاف بستگی دارد. با فرض نصب صحیح بیرینگ بار محوری مجاز را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$F_{ap} = 0.003\ B\ d$$

که در آن

F_{ap} = حداکثر بار محوری مجاز، kN

B = پهنای بیرینگ، mm

d = قطر داخلی بیرینگ، mm است.

بار حداقل

رولربیرینگ‌های کروی برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد، با اهمیت‌تر است در این شرایط نیروی اینرسی رولرها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین رولرها و سطوح غلتش شوند.

حداقل بار مورد نیاز برای رولربیرینگ‌های کروی به صورت تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_m = 0.01C_o$$

P_m = بار حداقل معادل، kN

C_o = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN (جداول بیرینگ‌ها)

در بعضی کاربردها رسیدن به مقدار فوق غیرممکن است. ولی برای بیرینگ‌هایی که با روغن روانکاری می‌شوند بار حداقل کم‌تر نیز امکان‌پذیر است. در شرایط $n/n_r \le 0.3$،

$$P_m = 0.003C_o$$

و برای $0.3 < n/n_r \le 2$

$$P_m = 0.003C_o\left(1+2\sqrt{\frac{n}{n_r}-0.3}\right)$$

که در آن

P_m = بار حداقل معادل، kN

C_o = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN (جداول بیرینگ‌ها)

n = سرعت دورانی، r/min

n_r = سرعت مرجع، r/min (جداول بیرینگ‌ها)

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است، ممکن است به بار حداقلی بیشتر از $P_m = 0.01C_o$ نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است. در غیر این صورت رولربیرینگ‌های کروی باید تحت بار شعاعی اضافی قرار گیرند.

رولربیرینگ‌های کروی بدون سایش NoWear® کارکرد قابل اطمینانی در سرعت‌های خیلی کم دارند. این بیرینگ‌ها می‌توانند در شرایط روانکاری ضعیف و تغییرات ناگهانی بار و سرعت، برای مدت طولانی کار کنند. (صفحه ۵۰۱)

بار معادل دینامیکی بیرینگ

بار معادل دینامیکی برای بیرینگی که تحت بار دینامیکی است، از رابطه زیر به دست می‌آید.

اگر $F_a/F_r \le e$ $\quad P = F_r + Y_1F_a$

اگر $F_a/F_r > e$ $\quad P = 0.67F_r + Y_2F_a$

مقادیر ضرایب محاسباتی e، Y_1 و Y_2 در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

بار معادل استاتیکی برای بیرینگی که تحت بار استاتیکی است، از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = F_r + Y_0 F_a$$

مقدار ضریب محاسباتی Y_0 در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است.

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی رولربیرینگ‌های کروی برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند در زیر شرح داده می‌شوند. پسوندهایی که مشخص‌کننده طرح بیرینگ و نوع قفسه می‌باشند نظیر CC یا E در زیر آورده نشده‌اند (به بخش « بیرینگ‌های استاندارد » در صفحه ۴۱۲ مراجعه کنید).

C2 لقی داخلی شعاعی کم‌تر از نرمال

C3 لقی داخلی شعاعی بیشتر از نرمال

C4 لقی داخلی شعاعی بیشتر از C3

C5 لقی داخلی شعاعی بیشتر از C4

C08 دقت‌های حرکتی بهتر مطابق کلاس 5 استاندارد ISO

C083 C08+C3

C084 C08+C4

2CS آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولای در دو طرف بیرینگ، شیار محیطی و سه سوراخ روانکاری در رینگ خارجی با یک نوار پلیمری مسدود شده‌اند. گریس داخل بیرینگ از نوع EP طبق مشخصات جدول ۱ صفحه ۴۱۴ است

2CS2 آب‌بند تماسی از جنس لاستیک فلورو (FKM) تقویت‌شده با ورق فولای در دو طرف بیرینگ، شیار محیطی و سه سوراخ روانکاری در رینگ خارجی با یک نوار پلیمری مسدود شده‌اند. گریس داخل بیرینگ از نوع پلی اوره مقاوم به حرارت

2CS5 آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین هیدروژنه (HNBR) تقویت‌شده با ورق فولادی خصوصیات دیگر مشابه 2CS2

HA3 رینگ داخلی از فولاد سخت شونده سطحی

K رینگ داخلی مخروطی با مخروط 1:12

K30 رینگ داخلی مخروطی با مخروط 1:30

P5 دقت‌های حرکتی و ابعادی مطابق کلاس 5 استاندارد ISO

P6 دقت‌های حرکتی و ابعادی مطابق کلاس 6 استاندارد ISO

P62 P6+C2

VA405 بیرینگ برای کاربردهای ارتعاشی با قفسه سخت‌شده سطحی

VA406 VA405 که رینگ داخلی آن پوشش PTFE داده شده است

VE552(E) رینگ خارجی با سه سوراخ در کناره رینگ برای نصب قلاب جرثقیل. E نشان‌دهنده همراه بودن پیچ‌های قلاب‌دار (Eye bolt) مناسب با بیرینگ است

VE553(E) مانند VE552 ولی با سوراخ‌های رزوه‌شده در دو طرف

VG114 قفسه سخت‌شده از فولاد پرسکاری‌شده

VQ424 دقت‌های حرکتی بهتر از C08

VT143 بیرینگ پرشده از گریس EP مطابق جدول ۱ صفحه ۴۱۴

W بدون شیار محیطی و سوراخ روانکاری در رینگ خارجی

W20 سه سوراخ روانکاری در رینگ خارجی

W26 شش سوراخ روانکاری در رینگ داخلی

W33 شیار محیطی و سه سوراخ روانکاری در رینگ خارجی

W64 بیرینگ محتوی روغن جامد

W77 W33 با سوراخ‌های پر شده

W513 W26+W33

235220 رینگ داخلی از جنس فولاد سخت شونده سطحی با شیار مارپیچی در داخل رینگ داخلی

نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی

بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی همیشه با انطباق تداخلی نصب می‌شوند. میزان تداخل با کاهش لقی داخلی بیرینگ یا حرکت محوری رینگ داخلی بر روی سطح مخروط اندازه‌گیری می‌شود.

روش‌های مناسب نصب رولربیرینگ‌های کروی با رینگ داخلی مخروطی عبارتند از،

- اندازه‌گیری کاهش لقی
- اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن
- اندازه‌گیری بالا روی محوری
- اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی

بیرینگ‌های کوچک تا قطر 100 mm را می‌توان به آسانی با اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن نصب کرد. برای بیرینگ‌های بزرگ‌تر روش بالاروی محوری توصیه می‌شود. این روش دقیق‌تر بوده و زمان کم‌تری نسبت به روش کاهش لقی یا اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره نیاز دارد. روش اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی، نصب بیرینگ‌های بزرگ را ساده، سریع و دقیق می‌کند. در این روش که روش SensorMount® نامیده می‌شود، سنسوری بر روی رینگ داخلی بیرینگ نصب می‌شود.

اندازه‌گیری کاهش لقی

در این روش از فیلر برای اندازه‌گیری لقی قبل و بعد از نصب بیرینگ‌های متوسط و بزرگ استفاده می‌شود. همیشه باید لقی داخلی بین رولرها بدون بار و رینگ خارجی را اندازه‌گیری کرد (شکل ۱۴). قبل از اندازه‌گیری رینگ داخلی و خارجی را چند مرتبه بچرخانید. در حین اندازه‌گیری باید مجموعه رولرهای و هر دو رینگ نسبت به هم به طور صحیح مرکز شده باشند.

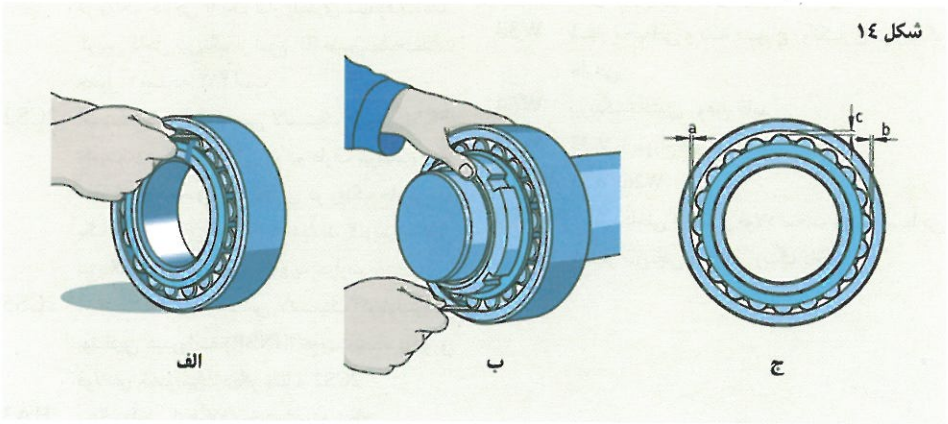
برای اندازه‌گیری اولیه باید فیلری با ضخامت کمی کم‌تر از حداقل مقدار لقی انتخاب شود در حین اندازه‌گیری فیلر را باید به عقب و جلو حرکت داد تا این که در مرکز رولر قرار گیرد. این روش باید با انتخاب فیلرهای ضخیم‌تر تکرار شود تا این که مقاومتی در مقابل حرکت فیلر بین

- رینگ خارجی و رولرهای بالای (الف) قبل از نصب
- رینگ خارجی و رولرهای پایینی (ب) بعد از نصب احساس شود.

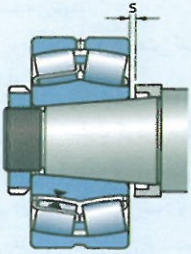
برای بیرینگ‌های بزرگ‌تر، خصوصاً بیرینگ‌هایی که رینگ خارجی نازک دارند اندازه‌گیری ممکن است تحت تأثیر تغییر شکل لاستیک رینگ‌ها، ناشی از وزن بیرینگ و یا نیروی ناشی از کشیدن فیلر در شکاف بین رولرها بدون بار و سطح غلتش قرار گیرد. برای اندازه‌گیری دقیق لقی قبل و بعد از نصب روش زیر توصیه می‌شود.

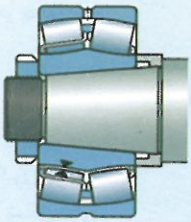
- لقی « c » در موقعیت ساعت ۱۲ برای بیرینگی که در وضعیت ساعت ۶ بر روی شفت قرار گرفته است را اندازه‌گیری کنید.
- لقی « a » در موقعیت ساعت ۹ و لقی « b » در موقعیت ساعت ۳ را بدون این که بیرینگ را حرکت کند، اندازه‌گیری کنید.

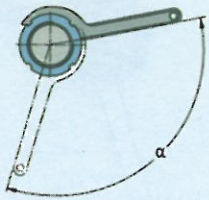
شکل ۱۴



جدول ٦ مقادیر توصیه شده برای کاهش لقی شعاعی داخلی، بالا روی محوری و زاویه سفت کردن مهره قفل کن







قطر داخلی d		کاهش لقی داخلی شعاعی		بالا روی محوری[1] s مخروط 1:12				لقی شعاعی داخلی باقیمانده[2] مجاز بعد از نصب بیرینگ با لقی داخلی اولیه			زاویه سفت کردن مهره قفل کن α
						مخروط 1:30					
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max	Normal	C3	C4	مخروط 1:12
mm		mm		mm				mm			degrees
24	30	0,015	0,020	0,3	0,35	–	–	0,015	0,020	0,035	110
30	40	0,020	0,025	0,35	0,4	–	–	0,015	0,025	0,040	120
40	50	0,025	0,030	0,4	0,45	–	–	0,020	0,030	0,050	130
50	65	0,030	0,040	0,45	0,6	3	4	0,025	0,035	0,055	110
65	80	0,040	0,050	0,6	0,7	3,2	4,2	0,025	0,040	0,070	130
80	100	0,045	0,060	0,7	0,9	1,7	2,2	0,035	0,050	0,080	150
100	120	0,050	0,070	0,75	1,1	1,9	2,7	0,050	0,065	0,100	–
120	140	0,065	0,090	1,1	1,4	2,7	3,5	0,055	0,080	0,110	–
140	160	0,075	0,100	1,2	1,6	3	4	0,055	0,090	0,130	–
160	180	0,080	0,110	1,3	1,7	3,2	4,2	0,060	0,100	0,150	–
180	200	0,090	0,130	1,4	2	3,5	5	0,070	0,100	0,160	–
200	225	0,100	0,140	1,6	2,2	4	5,5	0,080	0,120	0,180	–
225	250	0,110	0,150	1,7	2,4	4,2	6	0,090	0,130	0,200	–
250	280	0,120	0,170	1,9	2,7	4,7	6,7	0,100	0,140	0,220	–
280	315	0,130	0,190	2	3	5	7,5	0,110	0,150	0,240	–
315	355	0,150	0,210	2,4	3,3	6	8,2	0,120	0,170	0,260	–
355	400	0,170	0,230	2,6	3,6	6,5	9	0,130	0,190	0,290	–
400	450	0,200	0,260	3,1	4	7,7	10	0,130	0,200	0,310	–
450	500	0,210	0,280	3,3	4,4	8,2	11	0,160	0,230	0,350	–
500	560	0,240	0,320	3,7	5	9,2	12,5	0,170	0,250	0,360	–
560	630	0,260	0,350	4	5,4	10	13,5	0,200	0,290	0,410	–
630	710	0,300	0,400	4,6	6,2	11,5	15,5	0,210	0,310	0,450	–
710	800	0,340	0,450	5,3	7	13,3	17,5	0,230	0,350	0,510	–
800	900	0,370	0,500	5,7	7,8	14,3	19,5	0,270	0,390	0,570	–
900	1 000	0,410	0,550	6,3	8,5	15,8	21	0,300	0,430	0,640	–
1 000	1 120	0,450	0,600	6,8	9	17	23	0,320	0,480	0,700	–
1 120	1 250	0,490	0,650	7,4	9,8	18,5	25	0,340	0,540	0,770	–
1 250	1 400	0,550	0,720	8,3	10,8	21	27	0,360	0,590	0,840	–
1 400	1 600	0,600	0,800	9,1	11,9	22,7	29,8	0,400	0,650	0,920	–
1 600	1 800	0,670	0,900	10,2	13,4	25,4	33,6	0,440	0,720	1,020	–

۱) برای شفت فولادی توپر و کاربردهای عمومی صحیح می باشند. برای روش بالا روی SKF صحیح نمی باشند.

۲) لقی باقی مانده باید در شرایطی که لقی اولیه داخلی در محدوده پایینی تلرانس بوده و اختلاف دما بین رینگهای بیرینگ زیاد باشد، بررسی شود. لقی باقیمانده نباید کمتر از مقادیر فوق باشد.

- مقدار لقی را از رابطه 0.5(a+b+c) با دقت کافی محاسبه می‌شود.

مقادیر توصیه شده کاهش لقی شعاعی در جدول ۶ صفحه ۴۲۷ آورده شده است.

اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن

نصب بیرینگ‌های کوچک و متوسط را می‌توان به سادگی با روشی که در زیر شرح داده می‌شود و شامل اندازه‌گیری زاویه سفت کردن α مهره قفل‌کن است، انجام داد (شکل ۱۵) مقادیر زاویه α در جدول ۶ آورده شده‌اند.

قبل از سفت کردن مهره تا موقعیت نهایی باید بیرینگ را بر روی سطح مخروطی شفت یا غلاف به بالا فشار داده تا رینگ داخلی به طور کامل با محل نشستن خود تماس داشته و رینگ داخلی نتواند بر روی شفت حرکت کند. با چرخاندن مهره به اندازه زاویه معین بیرینگ از جای خود حرکت کرده و در موقعیت نهایی قرار می‌گیرد. در صورت امکان لقی باقیمانده باید اندازه‌گیری شود.

اگر از مهره نوع KM استفاده می‌شود، باید مهره را باز کرده، واشر قفل‌کن را در جای خود قرار داده و مهره را مجدداً سفت‌کرده آن را با خم کردن یکی از پره‌های واشر در شیارهای مهره قفل کرد. در صورت استفاده از مهره KMFE می‌توان مهره را با سفت کردن پیچ مغزی با گشتاور توصیه‌شده محکم می‌شود.

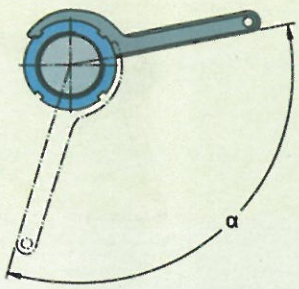
اندازه‌گیری بالاروی محوری

بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی را می‌توان با اندازه‌گیری بالاروی محوری s رینگ داخلی بر روی سطح مخروطی نصب کرد. مقادیر بالاروی محوری s برای کاربرهای عمومی در جدول ۶ صفحه ۴۲۷ آورده شده‌اند.

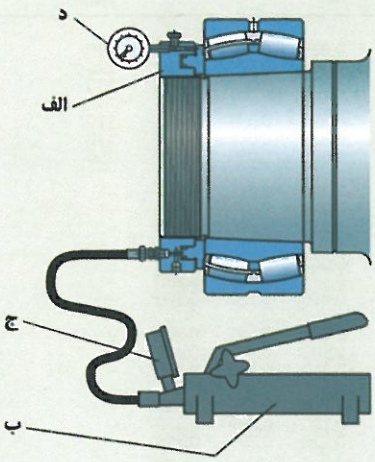
روش بالاروی محوری SKF مناسب‌ترین روش نصب است، که روش قابل اطمینان و ساده را برای تعیین موقعیت اولیه که بالاروی محوری باید از این موقعیت اندازه‌گیری شود، ارائه می‌کند. برای این منظور به ابزارهای زیر نیاز است (شکل ۱۶).

- یک مهره هیدرولیکی طرح HMV ... E (الف)
- یک پمپ هیدرولیکی (ب) با
- فشار سنج (ج)، مناسب برای شرایط نصب و
- گیج عقربه‌ای (د)

شکل ۱۵



شکل ۱۶

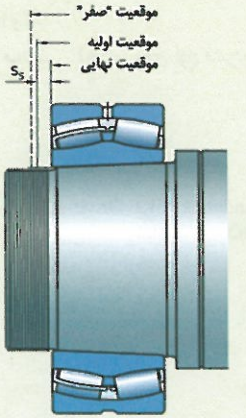


در این روش بیرینگ تا یک موقعیت اولیه مشخص بر روی سطح مخروطی بالا رانده می‌شود (شکل ۱۷). این موقعیت با میزان فشار روغن در مهره هیدرولیکی تعیین می‌شود. در این شرایط بخشی از لقی داخلی کاهش می‌یابد. فشار روغن با یک فشار سنج کنترل می‌شود. پس از این مرحله بیرینگ از موقعیت اولیه به موقعیت نهایی در فاصله مشخص بر روی سطح مخروطی بالارانده می‌شود. حرکت محوری s را می‌توان به طور دقیق با گیج عقربه‌ای که بر روی مهره هیدرولیکی نصب‌شده تعیین کرد.

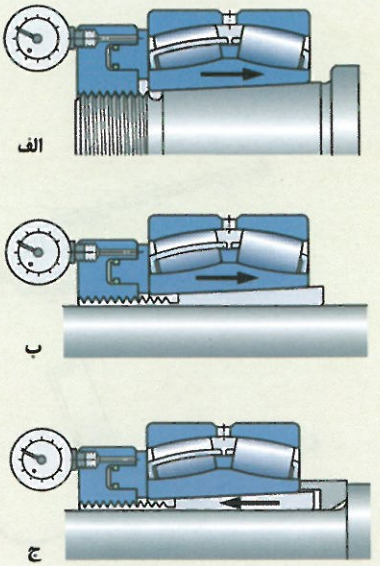
مقادیر فشار روغن و جابجایی محوری برای هر بیرینگ تعیین شده است. این مقادیر برای چیدمان‌هایی که (شکل ۱۸)

- یک سطح تماس لغزشی (الف) و (ب) و یا
- دو سطح تماس لغزشی (ج) دارند، صحیح می‌باشند.

شکل ۱۷



شکل ۱۸



اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی

روش اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی، روشی ساده، سریع و دقیق برای نصب بیرینگ‌های بزرگ با رینگ داخلی مخروطی می‌باشد که نیاز به اندازه‌گیری لقی داخلی قبل و بعد از نصب را بر طرف می‌کند. در روش SensorMount® رینگ داخلی بیرینگ به سنسوری مجهز است که به یک نشان‌دهنده دیجیتالی متصل می‌باشد (شکل ۱۹). بیرینگ به کمک ابزار مناسب بر روی سطح مخروطی بالا رانده می‌شود و سنسور مقدار انبساط رینگ داخلی که به قطر داخلی (m) و کاهش لقی (mm) مرتبط است، را نشان می‌دهد. جنبه‌هایی نظیر اندازه بیرینگ، صافی سطوح، جنس و طرح شفت و توخالی یا توپر بودن شفت در این روش مهم نمی‌باشند.

اطلاعات تکمیلی در رابطه با نصب بیرینگ‌ها

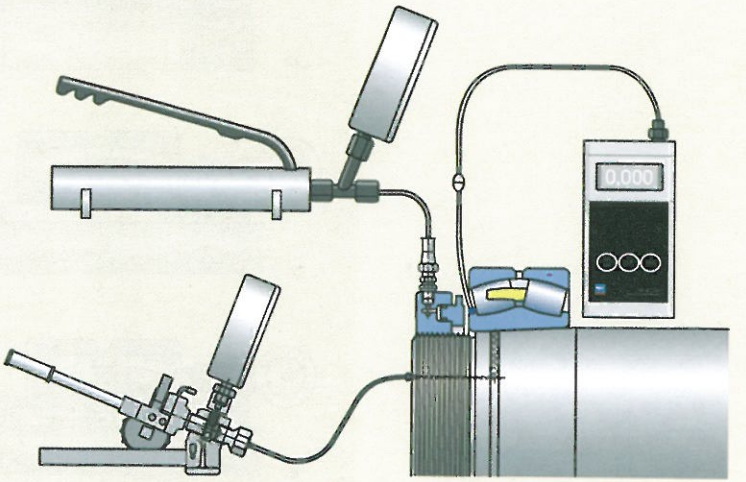
اطلاعات تکمیلی در رابطه با نصب رولربیرینگ‌های کروی یا روش بالاروی SKF را می‌توان در مراجع زیر یافت.

- مرجع [1] و [2]
- کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب

مراجع:

[1] SKF Handbook "SKF Drive-up".
[2] www.skf.com/mount.

شکل ۱۹



فصل هفتم

رولربیرینگ‌های توریدال CARB ®

طرح‌های بیرینگ ۴۳۲
بیرینگ‌های باز (بدون آب‌بند) ۴۳۲
بیرینگ‌های آب‌بند شده ۴۳۳
بیرینگ‌ها برای کاربردهای ارتعاشی ۴۳۳
بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر ۴۳۳
بیرینگ‌ها بر روی غلاف ۴۳۴
نشیمنگاه‌های مناسب بیرینگ‌ها ۴۳۵
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۴۳۶
ابعاد ۴۳۶
تلرانس‌ها ۴۳۶
لقی داخلی ۴۳۶
عدم همراستایی ۴۳۶
جابجایی محوری ۴۳۹
تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ ۴۴۲
قفسه‌ها ۴۴۲
بار حداقل ۴۴۲
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۴۴۳
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۴۴۳
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۴۴۳
فضای خالی در اطراف بیرینگ ۴۴۴
نصب بیرینگ‌ها ۴۴۴
نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی ۴۴۵
اندازه‌گیری کاهش لقی ۴۴۵
اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن ۴۴۶
اندازه‌گیری بالاروی محوری ۴۴۶
اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی ۴۴۹
اطلاعات تکمیلی در رابطه با نصب بیرینگ‌ها ۴۴۹

طرح‌های بیرینگ

رولربیرینگ توریدال CARB® یک رولربیرینگ شعاعی کاملاً جدید است (شکل ۱). CARB مخفف Compact Self-Aligning Roller Bearing می‌باشد که به معنی رولربیرینگ فشرده خود تنظیم است. این بیرینگ برای اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط SKF معرفی شد. این بیرینگ دارای طرحی استثنائی می‌باشد که توانایی خود تنظیم بودن رولربیرینگ‌های کروی را با توانایی تحمل جابجایی محوری رولربیرینگ‌های استوانه‌ای ترکیب کرده است. این بیرینگ همچنین می‌تواند سطح مقطع کمی نظیر رولربیرینگ‌های سوزنی داشته باشد.

بیرینگ CARB برای کاربردهای مختلفی که در آنها بار شعاعی وجود دارد، می‌تواند بکار رود. این بیرینگ‌ها برای موقعیت شناور در چیدمان بیرینگ‌ها مناسب می‌باشند و به علت توانایی تحمل عدم همراستایی و جابجایی شفت باعث صرفه‌جویی در فضا، وزن و هزینه تولید می‌شود. با امکان جابجایی محوری رینگ‌ها نسبت به همدیگر می‌توان لقی شعاعی داخلی را به طور دقیق تنظیم نمود.

این بیرینگ‌ها طراحی چیدمانی بیرینگ‌ها را ساده‌تر و سبک‌تر کرده و دارای عملکرد مشابه یا بهتری نسبت به چیدمان‌های قبلی می‌باشند (نظیر جعبه دنده‌های خورشیدی) این بیرینگ‌ها طراحی چیدمان بیرینگ‌های شامل شفت‌های بلند را که تحت تغییرات دمای زیاد می‌باشند را نیز بسیار ساده می‌کنند. همچنین در کاربردهایی نظیر ماشین کاغذسازی یا فن‌ها، ارتعاش کم این بیرینگ‌ها ثابت شده است.

بیرینگ‌های CARB دارای یک ردیف رولر بلند شبکه‌ای شکل (با قوس کم) و متقارن هستند. سطح غلتش هر دو رینگ داخلی و خارجی مقعر و متقارن نسبت به مرکز بیرینگ است. سطوح غلتش هر دو رینگ دارای پروفیل بهینه شده‌ای می‌باشند لذا توزیع بار مناسب بوده و اصطکاک کم در بیرینگ ایجاد می‌شود.

رولربیرینگ‌های CARB خود راهنما (Self-Guiding) هستند و لذا در هر موقعیت بار، مستقل از موقعیت جابجاشده یا کج‌شده رینگ داخلی نسبت به رینگ خارجی، خود را تنظیم کرده و بار به صورت یکنواخت در طول رولرها توزیع می‌شود.

ظرفیت حمل بار بیرینگ‌های CARB حتی در شرایطی که جابجاشده و یا تحت عدم همراستایی هستند، بسیار بالا می‌باشد. لذا چیدمان بیرینگ‌ها دارای قابلیت اطمینان بالا و عمر بیرینگ‌ها طولانی است.

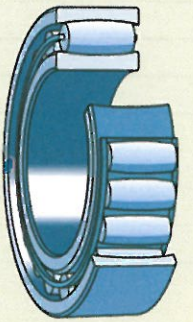
بیرینگ‌های باز (بدون آب‌بند)

رولربیرینگ‌های توریدال CARB وابسته به اندازه و سری، در دو طرح اصلی زیر تولید می‌شوند (شکل ۲).

- بیرینگ‌ها با قفسه (الف)
- بیرینگ‌های بدون قفسه (ب)

ظرفیت حمل بار بیرینگ‌های بدون قفسه به طور قابل ملاحظه‌ای از بیرینگ‌های با قفسه بیشتر است. هر دو طرح با رینگ داخلی استوانه‌ای و مخروطی موجود می‌باشند. رینگ‌های مخروطی وابسته به سری بیرینگ دارای مخروط 1:12 (پسوند K در شماره فنی بیرینگ) یا مخروط 1:30 (پسوند K30 در شماره فنی بیرینگ) هستند.

شکل ۱



بیرینگ‌های آب‌بند شده

در حال حاضر محدوده تولیدات بیرینگ‌های آب‌بند شده (شکل۳) شامل بیرینگ‌های کوچک و متوسط بدون قفسه برای سرعت‌های پایین می‌باشد. این بیرینگ‌ها در دو طرف دارای آب‌بند بوده و از گریس با عمر طولانی برای دمای بالا پر شده‌اند. این بیرینگ‌ها نیاز به تعمیر و نگهداری ندارند.

آب‌بندهای دو لبه و از جنس لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین هیدروژنه (HNBR) تقویت‌شده با ورق فولادی بوده و برای کارکرد در دمای بالا مناسب می‌باشند. آب‌بند در فرورفتگی رینگ خارجی نصب می‌شود و آب‌بندی مناسبی در شرایطی که رینگ خارجی دوران می‌کند ایجاد می‌کند. آب‌بندها می‌توانند در محدوده دمای ۴۰- °C تا ۱۵۰+ °C کار کنند.

بیرینگ‌های آب‌بند شده از گریس با غلیظ‌کننده پلی اوره و روغن پایه مصنوعی استر که کیفیت بسیار بالایی دارد، پر شده‌اند. این گریس خواص ضد زنگ خوبی داشته می‌تواند در محدوده دمای ۲۵- °C تا ۱۸۰+ °C کار کند. لزجت روغن پایه ۴۴۰ mm^2/s در ۴۰ °C و ۳۸ mm^2/s در ۱۰۰ °C است. بیش از ۷۰٪ تا ۱۰۰٪ فضای خالی داخل بیرینگ با گریس پر شده است.

بیرینگ‌های آب‌بند با انواع دیگر گریس یا در صد پرشدگی متفاوت نیز تولید می‌شوند.

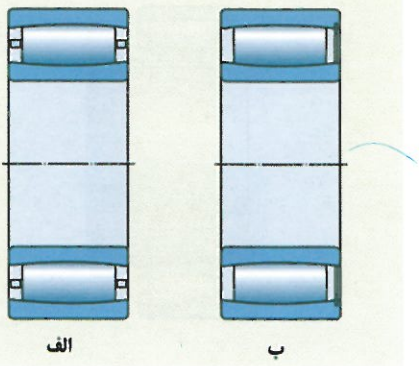
بیرینگ‌ها برای کاربردهای ارتعاشی

برای موقعیت شناور در کاربردهای ارتعاشی رولربیرینگ‌های CARB با قفسه فولادی سخت‌شده در سری C23/C4VG114 با رینگ داخلی استوانه‌ای تولید می‌شوند. این بیرینگ‌ها دارای ابعاد و مشخصات مشابه بیرینگ‌های C23 هستند. این بیرینگ‌ها را می‌توان به صورت تداخلی نصب کرد و لذا از خوردگی اصطکاکی که ناشی از انطباق لق است، جلوگیری می‌شود. استفاده از CARB در موقعیت شناور کاربردهای ارتعاشی یک چیدمان خود تنظیم با عملکرد بهتر و قابلیت اطمینان بالا ایجاد می‌کند.

بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر

کلیه بیرینگ‌های CARB با کلاس عملکرد SKF اکسپلورر تولید می‌شوند.

شکل ۲



شکل ۳

بیرینگ‌ها بر روی غلاف

بیرینگ‌های CARB با رینگ داخلی مخروطی را می‌توان بر روی شفت مستقیم یا پله‌دار به کمک

- یک غلاف واسطه (شکل ۴) (جداول بیرینگ‌ها) یا
- یک غلاف بیرون کشیدنی (شکل ۵) (جداول بیرینگ‌ها)

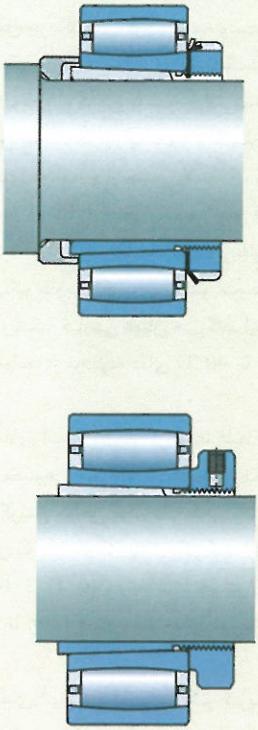
نصب کرد.

غلاف واسطه اصلاح‌شده (شکل ۶) در طرح‌های E، L و TL نیز برای بیرینگ‌های CARB موجود می‌باشند. طراحی سیستم قفل‌کن در مهره‌های این غلاف‌ها به صورتی است که با قفسه بیرینگ بر خورد نکند.

- در غلاف‌های طرح E، مهره قفل‌کن استاندارد KM با واشر قفل‌کن MB با مهره KMFE (الف) و مهره قفل‌کن استاندارد HM 30 با مهره HME 30 (ب) با فرورفتگی در قطر خارجی جایگزین شده‌اند (ب).
- در غلاف‌های طرح L مهره طرح KM و واشر قفل‌کن طرح MB با مهره KML و واشر قفل‌کن MBL که ارتفاع مقطع کم‌تری می‌دارند جایگزین شده‌اند (ج).
- در غلاف‌های طرح TL، مهره قفل‌کن استاندارد طرح HM ... T با واشر طرح MB با مهره HM 30 و واشر MS 30 با ارتفاع سطح مقطع کم‌تر جایگزین شده است. (د)

وقتی جابجایی محوری زیاد است، توصیه می‌شود به مطالب بخش « فضای خالی در اطراف بیرینگ » در صفحه ۴۴۴ مراجعه کنید.

شکل ٤



شکل ٥

نشیمنگاه‌های مناسب بیرینگ‌ها

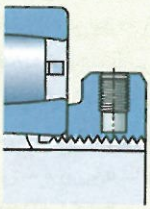
ترکیب رولربیرینگ‌های CARB با نشیمنگاه مناسب یک چیدمان اقتصادی، تعویض‌پذیر با قابلیت اطمینان بالا می‌باشد، که به تعمیر و نگهداری کمی نیاز دارد. نشیمنگاه‌های استاندارد، تقریباً برای همه بیرینگ‌های CARB سری قطر 0، 1، 2 و 3 موجود می‌باشند. دو نوع چیدمان بدون نیاز به اندازه‌گیری خاص امکان‌پذیر است.

- بیرینگ CARB بر روی یک غلاف واسطه بر روی شفت بدون پله، یا
- بیرینگ CARB بر روی شفت استوانه‌ای با پله.

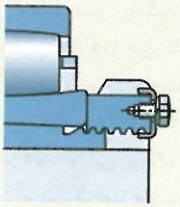
اطلاعات کامل در رابطه با نشیمنگاه‌های دو تکه SNL سری‌های 2، 3، 5 و 6 در بخش« نشیمنگاه‌های بیرینگ » در صفحه ۵۴۳ آورده شده است.

همچنین خلاصه‌ای از انواع دیگر نشیمنگاه‌ها در بخش « نشیمنگاه‌های بیرینگ » آورده شده است (فقط شامل مشخصه‌ها و طرح آنها می‌باشد، ولی مراجع مناسب برای اطلاعات بیشتر نیز ذکر شده‌اند).

شکل ٦

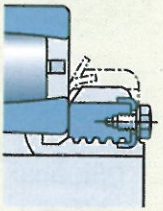


الف



ب

ج



د

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی رولربیرینگ‌ها CARB مطابق استاندارد ISO 15:1998 می‌باشند. ابعاد غلاف واسطه و غلاف بیرون کشیدنی مطابق استاندارد ISO 2982-1:1995 می‌باشند.

تلرانس‌ها

رولربیرینگ‌های CARB به صورت استاندارد با تلرانس‌های نرمال ساخته می‌شوند. رولربیرینگ‌های CARB با قطر داخلی بزرگ‌تر از 300 mm با رینگ داخلی استوانه‌ای و یا مخروطی با تلرانس‌های دقیق‌تر از تلرنس‌های نرمال ISO نیز تولید می‌شوند. برای مثال،

- تلرانس‌های پهنا بسیار دقیق‌تر از ترانس نرمال ISO است. به طوری که مشابه تلرانس‌های رولربیرینگ‌های کروی کلاس SKF اکسپلورر می‌باشند. (جدول ۲ در صفحه ۴۲۰)
- دقت‌های حرکتی مطابق تلرانس کلاس P5 می‌باشند.

برای چیدمان‌هایی که در آن از بیرینگ‌های بزرگ استفاده می‌شود رولربیرینگ‌های CARB با دقت‌های حرکتی P5 نیز موجود می‌باشند. این بیرینگ‌ها با پسوند C08 در شماره فنی بیرینگ مشخص می‌شوند

مقادیر تلرانس‌ها مطابق استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جداول ۳ تا ۵ صفحات ۱۱۳ تا ۱۱۵ آورده شده‌اند

لقی داخلی

رولربیرینگ‌های CARB به صورت استاندارد با لقی نرمال تولید می‌شوند ولی اکثر آنها با لقی بیشتر C3 نیز موجود می‌باشند. همچنین بعضی بیرینگ‌ها با لقی‌های کم‌تر C2 و بسیار زیاد C4 و C5 نیز موجود هستند.

لقی داخلی بیرینگ‌های در جداول زیر آورده شده‌اند،

- جدول ۱ برای بیرینگ‌ها با رینگ داخلی استوانه‌ای
- جدول ۲ برای بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی

مقادیر برای بیرینگ نصب‌نشده و بدون بار و در شرایطی که جابجایی محوری بین رینگ‌ها وجود ندارد، صحیح می‌باشند.

جابجایی محوری یک رینگ نسبت به رینگ دیگر در بیرینگ‌های CARB باعث کاهش لقی داخلی می‌شود. تأثیر این جابجایی محوری، در شرایطی که منبع حرارت خارجی در شفت یا نشیمنگاه وجود ندارد، بر لقی داخلی بسیار کم است. (بخش « جابجایی محوری » در صفحه ۴۳۹ را ببینید)

بیرینگ‌های CARB اغلب با رولربیرینگ‌های کروی بکار برده می‌شوند و لقی آنها در کلاس مشابه بیشتر از رولربیرینگ‌های کروی است. جابجایی محوری رینگ داخلی نسبت به رینگ خارجی به میزان 6٪ تا 8٪ پهنای بیرینگ، لقی بیرینگ‌های CARB را کاهش داده و به میزان لقی رولربیرینگ‌های کروی با اندازه مشابه می‌رساند.

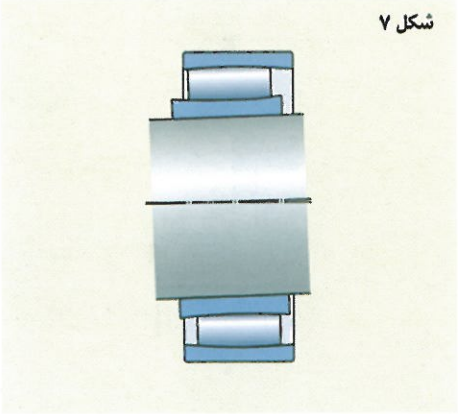
عدم همراستایی

عدم همراستایی قابل تحمل بین رینگ داخلی و خارجی (شکل ۷) در بیرینگ‌های CARB در حین کارکرد بدون این که اثر منفی در بیرینگ ایجاد شود، ° 0.5 است.

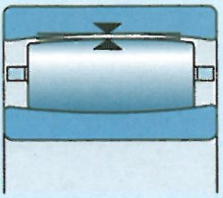
عدم همراستایی از ° 0.5 بیشتر باعث افزایش اصطکاک و کاهش عمر بیرینگ می‌شود. توانایی بیرینگ در تحمل عدم همراستایی در حالت استاتیک نیز محدود است. برای بیرینگ‌های CARB با قفسه نوع برنجی ماشینکاری‌شده (پسوند MB در شماره فنی بیرینگ) هرگز نباید از ° 0.5 بیشتر شود.

عدم همراستایی باعث جابجایی محوری رولرها و نزدیک شدن آنها به کناره یکی از رینگ‌های بیرینگ شود. لذا عدم همراستایی ممکن است باعث کاهش مقدار جابجایی محوری مجاز شود. (بخش بعدی ببینید)

شکل ۷



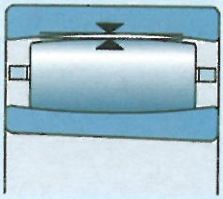
جدول ۱ لقی داخلی شعاعی رولر بیرینگهای CARB با رینگ داخلی استوانه ای



قطر داخلی d		لقی داخلی شعاعی									
		C2		Normal		C3		C4		C5	
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		µm									
18	24	15	27	27	39	39	51	51	65	65	81
24	30	18	32	32	46	46	60	60	76	76	94
30	40	21	39	39	55	55	73	73	93	93	117
40	50	25	45	45	65	65	85	85	109	109	137
50	65	33	54	54	79	79	104	104	139	139	174
65	80	40	66	66	96	96	124	124	164	164	208
80	100	52	82	82	120	120	158	158	206	206	258
100	120	64	100	100	144	144	186	186	244	244	306
120	140	76	119	119	166	166	215	215	280	280	349
140	160	87	138	138	195	195	252	252	321	321	398
160	180	97	152	152	217	217	280	280	361	361	448
180	200	108	171	171	238	238	307	307	394	394	495
200	225	118	187	187	262	262	337	337	434	434	545
225	250	128	202	202	282	282	368	368	478	478	602
250	280	137	221	221	307	307	407	407	519	519	655
280	315	152	236	236	330	330	434	434	570	570	714
315	355	164	259	259	360	360	483	483	620	620	789
355	400	175	280	280	395	395	528	528	675	675	850
400	450	191	307	307	435	435	577	577	745	745	929
450	500	205	335	335	475	475	633	633	811	811	1 015
500	560	220	360	360	518	518	688	688	890	890	1 110
560	630	245	395	395	567	567	751	751	975	975	1 215
630	710	267	435	435	617	617	831	831	1 075	1 075	1 335
710	800	300	494	494	680	680	920	920	1 200	1 200	1 480
800	900	329	535	535	755	755	1 015	1 015	1 325	1 325	1 655
900	1 000	370	594	594	830	830	1 120	1 120	1 460	1 460	1 830
1 000	1 120	410	660	660	930	930	1 260	1 260	1 640	1 640	2 040
1 120	1 250	450	720	720	1 020	1 020	1 380	1 380	1 800	1 800	2 240

برای تعریف لقی داخلی شعاعی به صفحه ۱۲۵ مراجعه کنید.

جدول ۲ لقی داخلی شعاعی رولر بیرینگهای CARB با رینگ داخلی مخروطی



قطر داخلی d		لقی داخلی شعاعی									
		C2		Normal		C3		C4		C5	
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		µm									
18	24	19	31	31	43	43	55	55	69	69	85
24	30	23	37	37	51	51	65	65	81	81	99
30	40	28	46	46	62	62	80	80	100	100	124
40	50	33	53	53	73	73	93	93	117	117	145
50	65	42	63	63	88	88	113	113	148	148	183
65	80	52	78	78	108	108	136	136	176	176	220
80	100	64	96	96	132	132	172	172	218	218	272
100	120	75	115	115	155	155	201	201	255	255	321
120	140	90	135	135	180	180	231	231	294	294	365
140	160	104	155	155	212	212	269	269	338	338	415
160	180	118	173	173	238	238	301	301	382	382	469
180	200	130	193	193	260	260	329	329	416	416	517
200	225	144	213	213	288	288	363	363	460	460	571
225	250	161	235	235	315	315	401	401	511	511	635
250	280	174	258	258	344	344	444	444	556	556	692
280	315	199	283	283	377	377	481	481	617	617	761
315	355	223	318	318	419	419	542	542	679	679	848
355	400	251	350	350	471	471	598	598	751	751	920
400	450	281	383	383	525	525	653	653	835	835	1 005
450	500	305	435	435	575	575	733	733	911	911	1 115
500	560	335	475	475	633	633	803	803	1 005	1 005	1 225
560	630	380	530	530	702	702	886	886	1 110	1 110	1 350
630	710	422	590	590	772	772	986	986	1 230	1 230	1 490
710	800	480	674	674	860	860	1 100	1 100	1 380	1 380	1 660
800	900	529	735	735	955	955	1 215	1 215	1 525	1 525	1 855
900	1 000	580	814	814	1 040	1 040	1 340	1 340	1 670	1 670	2 050
1 000	1 120	645	895	895	1 165	1 165	1 495	1 495	1 875	1 875	2 275
1 120	1 250	705	975	975	1 275	1 275	1 635	1 635	2 055	2 055	2 495

برای تعریف لقی داخلی شعاعی به صفحه ۱۲۵ مراجعه کنید.

جابجایی محوری

بیرینگ‌های CARB می‌تواند جابجایی محوری شفت نسبت به نشیمنگاه را در داخل بیرینگ تحمل کنند. این جابجایی محوری می‌تواند ناشی از انبساط حرارتی یا انحراف در وضعیت بیرینگ ایجاد شود.

در بیرینگ‌های CARB عدم همراستایی و جابجایی محوری به موقعیت محوری رولرها بستگی دارد. همچنین جابجایی محوری باعث کاهش لقی داخلی شعاعی می‌شود. توصیه می‌شود که امکان جابجایی محوری در محدوده مجاز برای هر کاربرد بررسی شود. به عبارت دیگر لقی کافی باید برای ایجاد این جابجایی در بیرینگ وجود داشته باشد تا رولرها از کناره رینگ‌ها بیرون نزنند (شکل ۸ الف) و با رینگ قفل‌کن یا آب‌بند تماس پیدا نکنند (شکل ۸ ب). برای این جابجایی محوری باید فضای خالی کافی در اطراف بیرینگ وجود داشته باشد (بخش « فضای خالی در اطراف بیرینگ » در صفحه ۴۴۴ را ببینید).

جابجایی محوری از موقعیت نرمال رینگ‌های بیرینگ نسبت به یکدیگر به

- جابجایی محوری مجموعه رولرها و
- کاهش لقی، بستگی دارد و

حداکثر جابجایی مجاز به مقدار کوچک‌تر ناشی از دو شرط فوق محدود می‌شود.

محدودیت ناشی از جابجایی محوری مجموعه رولرها

مقادیر راهنما s_1 و s_2 برای جابجایی محوری (شکل ۸) که در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند، در شرایط زیر صحیح می‌باشند.

- لقی داخلی کافی در حین کارکرد و قبل از انبساط شفت در بیرینگ وجود داشته باشد و
- رینگ‌ها تحت عدم همراستایی نباشند.

کاهش جابجایی محوری مجاز ناشی از عدم همراستایی را می‌توان از رابطه تقریبی زیر تعیین کرد.

$$S_{mis} = k_1 B \alpha$$

که در آن

S_{mis} = کاهش جابجایی محوری مجاز ناشی از عدم همراستایی، mm

k_1 = ضریب عدم همراستایی (جداول بیرینگ‌ها)

B = پهنای بیرینگ، mm

α = عدم همراستایی، درجه

با فرض لقی کارکرد داخلی کافی، حداکثر جابجایی محوری مجاز از روابط زیر به دست می‌آید.

$$s_{lim} = s_1 - s_{mis}$$

یا

$$s_{lim} = s_2 - s_{mis}$$

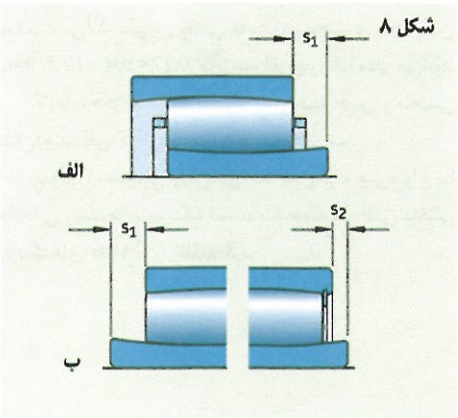
که در آن

s_{lim} = جابجایی محوری مجاز برای مجموعه رولرهای جابجاشده ناشی از عدم همراستایی، mm

s_1 = میزان جابجایی محوری بیرینگ با قفسه یا بدون قفسه وقتی جابجایی در جهت مخالف خار فنری انجام می‌شود (جداول بیرینگ‌ها)، mm

s_2 = میزان جابجایی محوری بیرینگ آب‌بند با یا بدون قفسه وقتی که جابجایی در جهت آب‌بند یا خار فنری انجام می‌شود (جداول بیرینگ‌ها)، mm

s_{mis} = کاهش جابجایی محوری مجاز ناشی از عدم همراستایی، mm



شکل ۸

محدودیت‌های ناشی از کاهش لقی

کاهش لقی ناشی از جابجایی محوری مشخص نسبت به موقعیت مرکزی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$C_{red} = \frac{k_2 s_{cle}^{\ 2}}{B}$$

در شرایطی که کاهش لقی بیشتر از لقی قبل از انبساط شفت باشد، بیرینگ پیش بار می‌شود. اگر میزان کاهش لقی مشخص است، می‌توان میزان جابجایی محوری از موقعیت مرکزی را از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$s_{cle} = \sqrt{\frac{B\ C_{red}}{k_2}}$$

که در آن

s_{cle} = جابجایی محوری از موقعیت مرکزی که کاهش لقی مشخص C_{red} را ایجاد می‌کند، mm

C_{red} = کاهش لقی داخلی ناشی از جابجایی محوری نسبت به موقعیت مرکزی، mm

k_2 = ضریب لقی کارکرد (جداول بیرینگ‌ها)

B = پهنای بیرینگ، mm (جداول بیرینگ‌ها)

قابلیت جابجایی محوری را می‌توان از نمودار ۱ نیز که برای کلیه بیرینگ‌های CARB صحیح است، تعیین نمود. جابجایی محوری و لقی در این نمودار به عنوان تابعی از پهنای بیرینگ نشان داده شده‌اند.

از نمودار ۱ (خط چین) برای بیرینگ C 3052 K/HA3C4، با لقی کارکرد 0.15 mm که تقریباً معادل ٪ 15 پهنای بیرینگ است، جابجایی محوری مجاز ٪12 در صد پهنا به دست می‌آید. بنابراین وقتی جابجایی محوری به میزان $0.12 \times 104 = 12.5$ mm می‌رسد، لقی بیرینگ صفر می‌شود.

لازم به ذکر است که فاصله بین خط چین و منحنی نشان‌دهنده لقی کارکرد باقیمانده در بیرینگ است.

نمودار ۱ همچنین نشان می‌دهد که چگونه می‌توان با جابجایی رینگ‌های بیرینگ نسبت به همدیگر لقی داخلی بیرینگ‌های CARB را تنظیم کرد.

مثال محاسباتی ۱

برای بیرینگ C 3052 با

- پهنای $B = 104$ mm
- ضریب عدم همراستایی $k_1 = 0.122$
- و میزان جابجایی محوری $s_1 = 19.3$ mm

با عدم همراستایی $\alpha = 0.3°$ بین رینگ داخلی و خارجی، میزان جابجایی محوری را می‌توان با محاسبات زیر به دست آورد.

$$s_{lim} = s_1 - s_{mis}$$

$$s_{lim} = s_1 - k_1 B\ \alpha$$

$$s_{lim} = 19.3 - 0.122 \times 104 \times 0.3 = 19.3 - 3.8$$

$$s_{lim} = 15.5 \text{ mm}$$

مثال محاسباتی ۲

برای بیرینگ C 3052 K/HA3C4 با

- پهنای $B = 104$ mm
- ضریب لقی کارکرد $k_2 = 0.096$
- و لقی داخلی 0.15 mm

میزان جابجایی مجاز از موقعیت مرکزی تا رسیدن به لقی صفر از محاسبات زیر به دست می‌آید.

$$s_{cle} = \sqrt{\frac{B\ C_{red}}{k_2}}$$

$$s_{cle} = \sqrt{\frac{104 \times 0.15}{0.096}}$$

$$s_{cle} = 12.7 \text{ mm}$$

میزان جابجایی محوری 12.7 mm کم‌تر از میزان $s_1 = 19.3$ mm در جداول است. لذا عدم همراستایی $0.30°$ مجاز است (مثال ۱ را ببینید).

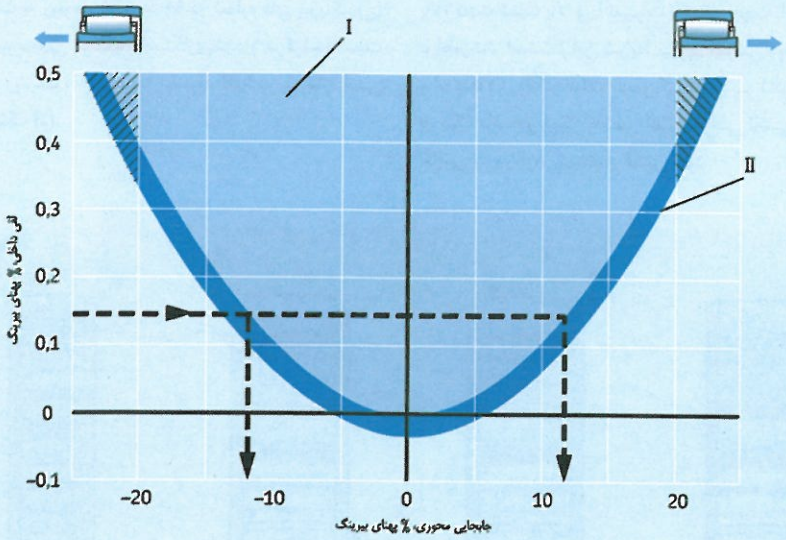
مثال محاسباتی ۳

برای بیرینگ C 3052 که دارای پهنا B=104 mm و ضریب لقی کارکرد $k_2 = 0.096$ است. کاهش لقی ناشی از جابجایی محوری $s_{cle} = 6.5$ mm از موقعیت مرکزی، در زیر محاسبه شده است.

$$C_{red} = \frac{k_2 s_{cle}^{\ 2}}{B}$$

$$C_{red} = \frac{0.096 \times 6.5^2}{104} = 0.039 \text{ mm}$$

نمودار ۱ جابجایی محوری بر اساس % پهنای بیرینگ



I محدوده کارکرد با لقی داخلی کارکرد

II محدوده کارکردی که در آن بیرینگ پیش بار شده و اصطکاک تا % 50 افزایش می یابد ولی بیرینگ به عمر L_{10} خواهد رسید

تأثیر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ

کلیه بیرینگ‌های CARB تحت عملیات حرارتی خاص قرار می‌گیرند لذا می‌توانند برای مدت طولانی در دمای بالا (به شرط این که از دمای مجاز کارکرد قفسه بیشتر نباشد) بدون این که تغییر ابعادی در آنها ایجاد شود، کار کنند. برای مثال دمای 200°C+ برای 2500 ساعت و یا دمای بیشتر برای مدت کوتاه‌تر مجاز هستند.

قفسه‌ها

بیرینگ‌های CARB با قفسه، وابسته به اندازه خود، دارای یکی از انواع قفسه‌های استاندارد زیر هستند. (شکل ۹)

- قفسه نوع پنجره‌ای از جنس پلی آمید 4.6 (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک) تقویت‌شده با الیاف شیشه و مرکزشده نسبت به رولرها، با پسوند TN9 در شماره فنی بیرینگ (الف)
- قفسه نوع پنجره‌ای از جنس ورق فولادی پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رولرها بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ (ب)
- قفسه برنجی ماشینکاری‌شده نوع پنجره‌ای و مرکزشده نسبت به رولرها، با پسوند M در شماره فنی بیرینگ (ج)
- قفسه برنجی دو تکه ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ داخلی، با پسوند MB در شماره فنی بیرینگ (د)

توجه:

بیرینگ‌های CARB با قفسه پلی آمید می‌توانند تا دمای 120 °C+ کار کنند. روانکارهای معمول برای بیرینگ‌ها عموماً اثر تعیین‌کننده‌ای بر خواص قفسه ندارند، بجز انواع محدودی از روغن‌های مصنوعی و گریس‌ها بر پایه این روغن‌ها و روانکارهای محتوی مقادیر زیادی افزودنی‌های EP که در دمای بالا به کار می‌روند.

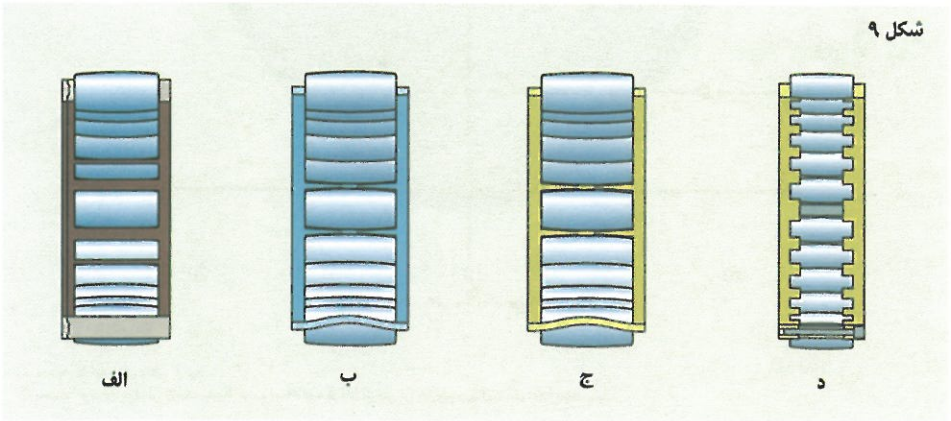
در چیدمان‌هایی که بیرینگ‌ها به صورت پیوسته در دمای بالا و تحت شرایط سخت کار می‌کنند استفاده از بیرینگ‌ها با قفسه فولادی یا برنجی توصیه می‌شوند. بیرینگ‌های بدون قفسه را نیز می‌توان در این شرایط بکار برد.

برای جزئیات بیشتر در رابطه با کاربرد قفسه‌ها و مقاومت آنها به حرارت به بخش « جنس قفسه‌ها » در صفحه ۱۲۸ مراجعه کنید.

بار حداقل

بیرینگ‌های CARB برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که یک بیرینگ در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد، با اهمیت‌تر است. در این شرایط نیروی اینرسی رولرها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین رولرها و سطوح غلتش شود.

شکل ۹



بار حداقل مورد نیاز برای بیرینگ‌های CARB با قفسه به صورت تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{rm} = 0.007\ C_0$$

و برای بیرینگ‌های بدون قفسه

$$F_{rm} = 0.01\ C_0$$

که در آن

F_{rm} = بار حداقل شعاعی بیرینگ، kN

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN (جداول بیرینگ‌ها)

در بعضی از کاربردها رسیدن به مقادیر فوق غیرممکن است. ولی برای بیرینگ‌های دارای قفسه و روانکاری‌شده با روغن بار حداقل کم‌تر نیز امکان‌پذیر است.

این بار حداقل برای $n/n_r \leq 0.3$ از رابطه

$$F_{rm} = 0.002\ C_0$$

و برای $0.3 < n/n_r \leq 2$ از رابطه

$$F_{rm} = 0.003\ C_0\left(1 + 2\sqrt{\frac{n}{n_r} - 0.3}\right)$$

محاسبه می‌شود. که در آنها

F_{rm} = بار حداقل شعاعی بیرینگ، kN

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN (جداول بیرینگ‌ها)

n = سرعت روانی، r/min

nr = سرعت مرجع، r/min (جداول بیرینگ‌ها)

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است، ممکن است به بار حداقلی بیشتر از $0.007C_0$ و $0.01C_0$ نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است در غیر این صورت بیرینگ‌های CARB باید تحت بار شعاعی اضافی قرار گیرند.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

بیرینگ CARB فقط می‌تواند بار شعاعی را تحمل کند، لذا بار معادل دینامیکی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P = F_r$$

بار معادل استاتیکی بیرینگ

بیرینگ‌های CARB فقط می‌توانند بار شعاعی را تحمل کنند، لذا بار معادل استاتیکی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = F_r$$

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی بیرینگ‌های CARB برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند، در زیر شرح داده می‌شوند.

C2	لقی شعاعی داخلی کم‌تر از نرمال
C3	لقی شعاعی داخلی بیشتر از نرمال
C4	لقی شعاعی داخلی بیشتر از C3
C5	لقی شعاعی داخلی بیشتر از C4
CS5	آب‌بند از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین هیدروژنه (HNBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در یک طرف بیرینگ
2CS5	آب‌بند از نوع CS5 دو طرف بیرینگ، فضای خالی داخل بیرینگ بین ٪70 تا ٪100 از گریس مقاوم به حرارت پر شده است
HA3	رینگ داخلی از فولاد سخت شونده سطحی
K	رینگ داخلی مخروطی، مخروط 1:12
K3	رینگ داخلی مخروطی، مخروط 1:30
M	قفسه نوع پنجره‌ای از جنس برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رولرها
MB	قفسه برنجی دو تکه ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رینگ داخلی
TN9	قفسه نوع پنجره‌ای از جنس پلی آمید 4.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه و مرکزشده نسبت به رولرها
V	مجموعه رولرها بدون قفسه
VE240	بیرینگ‌های اصلاح‌شده برای جابجایی محوری بیشتر
VG114	قفسه فولادی سخت‌شده سطحی و مرکزشده نسبت به رولرها

فضای خالی در اطراف بیرینگ

برای جابجایی محوری شفت نسبت به نشیمنگاه لازم است که فضای خالی در هر دو طرف بیرینگ مطابق شکل ۱۰ وجود داشته باشد. پهنای این فضای خالی باید بر اساس مقادیر زیر تعیین شود.

- مقدار C_a در جداول بیرینگ‌ها
- جابجایی محوری رینگ‌های بیرینگ نسبت به موقعیت مرکزی در حین کارکرد
- جابجایی رینگ‌های ناشی از عدم همراستایی

این مقدار را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$C_{areq} = C_a + 0.5(s + s_{mis})$$

یا

$$C_{areq} = C_a + 0.5(s + k_1 B\ \alpha)$$

که در آن

C_{areq} = پهنای فضای خالی مورد نیاز در اطراف بیرینگ، mm

C_a = حداقل پهنای فضای مورد نیاز در اطراف بیرینگ، mm (جداول بیرینگ‌ها)

s = جابجایی محوری رینگ‌ها، برای مثال ناشی از انبساط حرارتی شفت، mm

s_{mis} = جابجایی محوری مجموعه رولرها به علت عدم همراستایی

k_1 = ضریب عدم همراستایی (جداول بیرینگ‌ها)

B = پهنای بیرینگ، mm (جداول بیرینگ‌ها)

α = عدم همراستایی، درجه

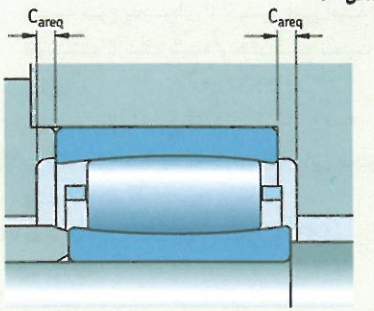
همچنین بخش جابجایی محوری در صفحه ۴۳۹ را ببینید.

معمولاً رینگ‌های بیرینگ در شرایطی که نسبت به هم جابجا نشده‌اند، نصب می‌شوند ولی در صورتی که انبساط حرارتی زیاد وجود داشته باشد، می‌توان رینگ داخلی را با جابجایی محوری به میزان s_1 یا s_2 نسبت به رینگ خارجی در جهت مخالف انبساط حرارتی نصب کرد (شکل ۱۱). در این شرایط مقدار جابجایی محوری مجاز به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. لذا می‌توان از این شرایط در کاربردهایی نظیر سلیندر خشک کن (Drying Cylinders) ماشین‌آلات کاغذسازی بخوبی استفاده کرد.

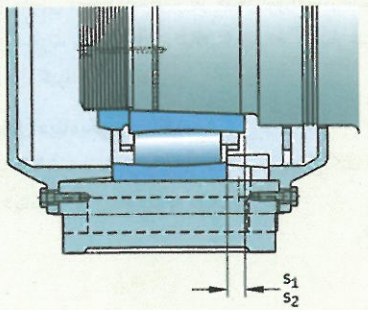
نصب بیرینگ‌ها

هنگام نصب بیرینگ‌های CARB بر روی شفت یا در داخل نشیمنگاه، لازم است رینگ‌ها و مجموعه رولرها نسبت به یکدیگر مرکز شده باشند. لذا توصیه می‌شود که بیرینگ‌ها در حالت افقی نصب شوند.

شکل ۱۰



شکل ۱۱



هنگام نصب بیرینگ‌های CARB بر روی شفت یا نشیمنگاه عمودی مجموعه رولرها به همراه رینگ داخلی یا خارجی به سمت پایین حرکت کرده تا این که لقی داخلی در بیرینگ از بین رود. در صورتی که لقی داخلی مناسب در بیرینگ حفظ نشود، نیروهای انبساط یا انقباض ناشی از تداخل رینگ داخلی و یا خارجی باعث پیش بار در بیرینگ می‌شوند. این پیش بار می‌تواند بر روی سطح غلتش فرورفتگی‌هایی ایجاد کند یا از حرکت بیرینگ جلوگیری کند. برای جلوگیری از این شرایط پیش بار، در هنگام نصب بیرینگ‌های عمودی باید از ابزار مناسب برای جابجایی که اجزای بیرینگ را به صورت مرکزشده نسبت به هم نگه می‌دارد، استفاده کرد.

نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی

بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی همیشه با انطباق تداخلی نصب می‌شوند. میزان تداخل با کاهش لقی داخلی بیرینگ یا حرکت محوری رینگ داخلی بر روی سطح مخروط اندازه‌گیری می‌شود.

روش‌های مناسب برای نصب رولربیرینگ‌های CARB با رینگ داخلی مخروطی عبارتند از،

- اندازه‌گیری کاهش لقی
- اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن
- اندازه‌گیری بالاروی محوری
- اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی

بیرینگ‌های کوچک تا قطر 100 mm را می‌توان به آسانی با اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن نصب کرد.

برای بیرینگ‌های بزرگ‌تر روش بالاروی محوری توصیه می‌شود. این روش دقیق‌تر بوده و زمان کم‌تری نسبت به روش کاهش لقی یا اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره نیاز دارد. روش اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی، نصب بیرینگ‌های بزرگ را ساده، سریع و دقیق می‌کند در این روش که روش SensorMount® نامیده می‌شود، یک سنسور در رینگ داخلی بیرینگ نصب می‌شود.

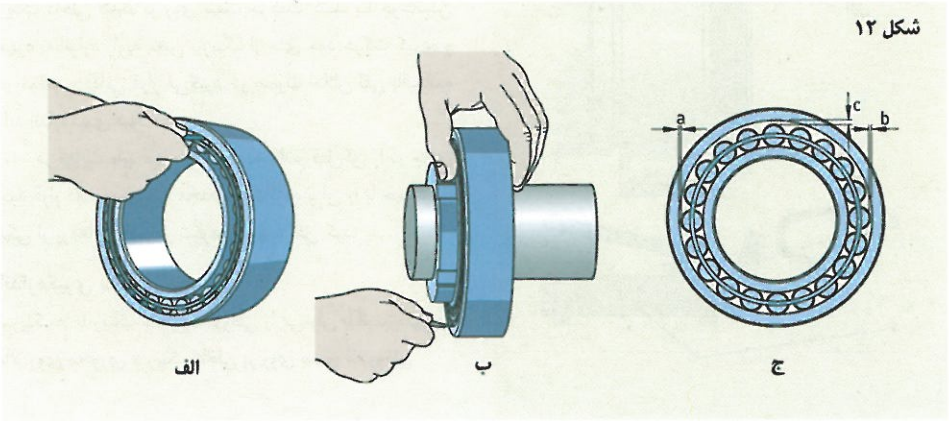
اندازه‌گیری کاهش لقی

در این روش از فیلر برای اندازه‌گیری لقی قبل و بعد از نصب بیرینگ‌های متوسط و بزرگ استفاده می‌شود. همیشه باید لقی داخلی بین رولرها بدون بار و رینگ خارجی را اندازه‌گیری کرد (شکل ۱۲). قبل از اندازه‌گیری رینگ داخلی و خارجی را چند مرتبه بچرخانید. در حین اندازه‌گیری باید مجموعه رولرها و هر دو رینگ نسبت به هم به طور صحیح مرکز شده باشند.

برای اندازه‌گیری اولیه باید فیلری با ضخامت کمی کم‌تر از حداقل مقدار لقی انتخاب شود. در حین اندازه‌گیری فیلر را باید به عقب و جلو حرکت داد تا این که در مرکز رولرها قرار گیرد. این روش باید با انتخاب فیلرهای ضخیم‌تر تکرار شود تا این که مقاومتی در مقابل حرکت فیلر بین

- رینگ خارجی و رولرهای بالای (الف) قبل از نصب
- رینگ خارجی و رولرهای پایینی (ب) بعد از نصب احساس شود.

شکل ۱۲



برای بیرینگ‌های بزرگ‌تر، خصوصاً بیرینگ‌هایی که رینگ خارجی نازک دارند اندازه‌گیری ممکن است تحت تأثیر تغییر شکل الاستیک رینگ‌ها، ناشی از وزن بیرینگ و یا نیروی ناشی از کشیدن فیلر در شکاف بین رولرها بدون بار و سطح غلتش قرار گیرد. برای اندازه‌گیری دقیق لقی قبل و بعد از نصب روش زیر توصیه می‌شود.

- لقی « c » در موقعیت ساعت ۱۲ برای بیرینگی که در وضعیت ساعت ۶ بر روی شفت قرار گرفته است را اندازه‌گیری کنید.
- لقی « a » در موقعیت ساعت ۹ و لقی « b » در موقعیت ساعت ۳ را، بدون این که بیرینگ حرکت کند، اندازه‌گیری کنید.
- مقدار لقی را از رابطه $0.5(a+b+c)$ با دقت کافی محاسبه می‌شود

مقادیر توصیه شده کاهش لقی شعاعی در جدول ۳ صفحه ۴۴۷ آورده شده است.

اندازه‌گیری زاویه سفت کردن مهره قفل‌کن

نصب بیرینگ‌های کوچک و متوسط را می‌توان به سادگی با روشی که در زیر شرح داده می‌شود و شامل اندازه‌گیری زاویه سفت کردن α مهره قفل‌کن است، انجام داد (شکل ۱۳) مقادیر زاویه α در جدول ۳ آورده شده‌اند.

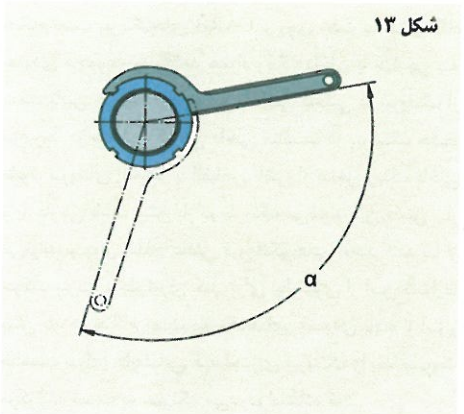
قبل از سفت کردن مهره تا موقعیت نهایی باید بیرینگ را بر روی سطح مخروطی شفت یا غلاف به بالا فشار داده تا رینگ داخلی به طور کامل با محل نشستن خود تماس داشته و رینگ داخلی نتواند بر روی شفت حرکت کند. با چرخاندن مهره به اندازه زاویه معین بیرینگ از جای خود حرکت کرده و در موقعیت نهایی قرار می‌گیرد. در صورت امکان لقی باقیمانده باید اندازه‌گیری شود.

در نهایت باید مهره را باز کرده، واشر قفل‌کن را در جای خود قرار داده و مهره را مجدداً سفت‌کرده و آن را با خم کردن یکی از پره‌های واشر در شیارهای مهره قفل کرد.

اندازه‌گیری بالاروی محوری

بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی را می‌توان با اندازه‌گیری بالا روی محوری s رینگ داخلی بر روی سطح مخروطی

شکل ۱۳

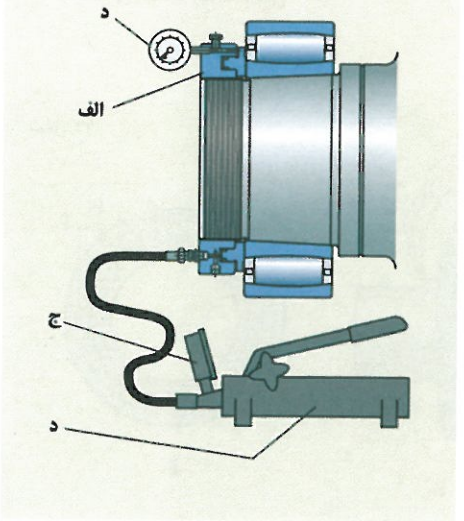


نصب کرد. مقادیر بالاروی محوری s برای کاربرهای عمومی در جدول ۳ صفحه ۴۴۷ آورده شده‌اند.

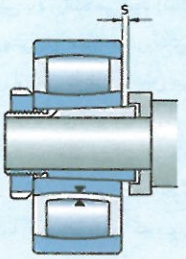
روش بالاروی محوری SKF مناسب‌ترین روش نصب است، که روش قابل اطمینان و ساده برای تعیین موقعیت اولیه که بالاروی محوری باید از این موقعیت اندازه‌گیری شود، ارائه می‌کند. برای این منظور به ابزارهای زیر نیاز است (شکل ۱۴).

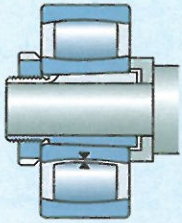
- یک مهره هیدرولیکی طرح HMV ... E (الف)
- یک پمپ هیدرولیکی (ب) با
- فشار سنج (ج)، مناسب برای شرایط نصب و
- گیج عقربه‌ای (د)

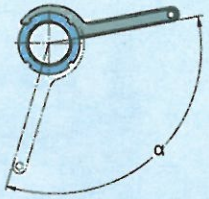
شکل ۱۴



جدول ۳ مقادیر توصیه شده کاهش لقی داخلی شعاعی، بالا روی محوری و زاویه سفت کردن مهره قفل کن







قطر داخلی d		کاهش لقی داخلی شعاعی		بالا روی محوری[1] s مخروط 1:12				لقی باقیمانده مجاز[2] لقی داخلی شعاعی بعد از نصب بیرینگ با لقی اولیه			زاویه سفت کردن مهره قفل کن α
						مخروط 1:30					مخروط 1:12
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max	min	max	Normal	C3	C4	
mm		mm		mm				mm			degrees
24	30	0,012	0,018	0,25	0,34	0,64	0,85	0,025	0,033	0,047	100
30	40	0,015	0,024	0,30	0,42	0,74	1,06	0,031	0,038	0,056	115
40	50	0,020	0,030	0,37	0,51	0,92	1,27	0,033	0,043	0,063	130
50	65	0,025	0,039	0,44	0,64	1,09	1,59	0,038	0,049	0,074	115
65	80	0,033	0,048	0,54	0,76	1,36	1,91	0,041	0,055	0,088	135
80	100	0,040	0,060	0,65	0,93	1,62	2,33	0,056	0,072	0,112	150
100	120	0,050	0,072	0,79	1,10	1,98	2,75	0,065	0,083	0,129	–
120	140	0,060	0,084	0,93	1,27	2,33	3,18	0,075	0,106	0,147	–
140	160	0,070	0,096	1,07	1,44	2,68	3,60	0,085	0,126	0,173	–
160	180	0,080	0,108	1,21	1,61	3,04	4,02	0,093	0,140	0,193	–
180	200	0,090	0,120	1,36	1,78	3,39	4,45	0,100	0,150	0,210	–
200	225	0,100	0,135	1,50	1,99	3,74	4,98	0,113	0,163	0,230	–
225	250	0,115	0,150	1,67	2,20	4,18	5,51	0,123	0,175	0,250	–
250	280	0,125	0,170	1,85	2,46	4,62	6,14	0,133	0,186	0,275	–
280	315	0,140	0,190	2,06	2,75	5,15	6,88	0,143	0,200	0,290	–
315	355	0,160	0,215	2,31	3,09	5,77	7,73	0,161	0,225	0,330	–
355	400	0,175	0,240	2,59	3,47	6,48	8,68	0,173	0,250	0,360	–
400	450	0,200	0,270	2,91	3,90	7,27	9,74	0,183	0,275	0,385	–
450	500	0,225	0,300	3,26	4,32	8,15	10,8	0,210	0,295	0,435	–
500	560	0,250	0,335	3,61	4,83	9,04	12,1	0,225	0,325	0,465	–
560	630	0,280	0,380	4,04	5,42	10,1	13,6	0,250	0,365	0,510	–
630	710	0,315	0,425	4,53	6,10	11,3	15,3	0,275	0,385	0,560	–
710	800	0,355	0,480	5,10	6,86	12,7	17,2	0,320	0,430	0,620	–
800	900	0,400	0,540	5,73	7,71	14,3	19,3	0,335	0,465	0,675	–
900	1 000	0,450	0,600	6,44	8,56	16,1	21,4	0,365	0,490	0,740	–
1 000	1 120	0,500	0,670	7,14	9,57	17,9	23,9	0,395	0,545	0,825	–
1 120	1 250	0,560	0,750	8	10,7	20	26,7	0,415	0,595	0,885	–

۱) فقط برای شفت فولادی توپر و کاربرد های عمومی صحیح می باشند. برای روش بالا روی SKF صحیح نمی باشند.

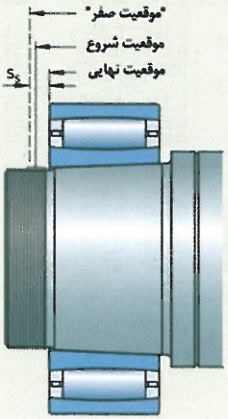
۲) وقتی لقی داخلی اولیه در نیمه پایینی محدوده تلرانس بوده یا اختلاف دمای بین رینگهای بیرینگ در حین کارکرد زیاد باشد لقی باقیمانده باید بررسی شود. لقی باقیمانده نباید از کلیه مقادیر فوق کمتر باشد. هنگام اندازه گیری لقی از همراستا بودن و مرکز بودن رولرها و رینگها اطمینان پیدا کنید.

در این روش بیرینگ تا یک موقعیت اولیه مشخص بر روی سطح مخروطی بالا رانده می‌شود (شکل ۱۵). این موقعیت با میزان فشار روغن در مهره هیدرولیکی تعیین می‌شود. در این شرایط بخشی از لقی داخلی کاهش می‌یابد. فشار روغن با یک فشار سنج کنترل می‌شود. پس از این مرحله بیرینگ از موقعیت اولیه به موقعیت نهایی در فاصله مشخص بر روی سطح مخروطی بالا رانده می‌شود. حرکت محوری s را می‌توان به طور دقیق با گیج عقربه‌ای که بر روی مهره هیدرولیکی نصب‌شده تعیین کرد.

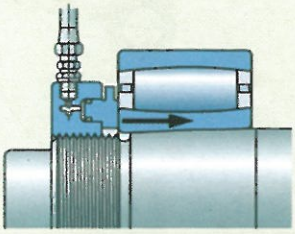
مقادیر فشار روغن و جابجایی محوری برای هر بیرینگ تعیین شده است. این مقادیر برای چیدمان‌هایی که (شکل ۱۶)

- یک سطح تماس لغزشی (الف) و (ب) و یا
- دو سطح تماس لغزشی (ج) دارند، صحیح می‌باشند.

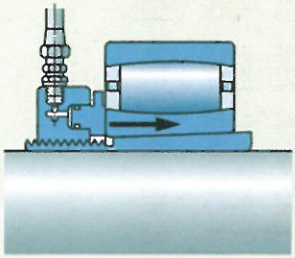
شکل ۱۵



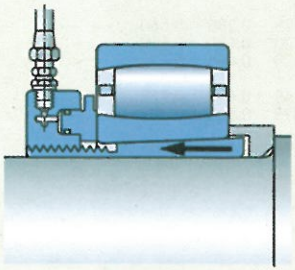
شکل ۱۶



الف



ب



ج

اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی

روش اندازه‌گیری انبساط رینگ داخلی روشی ساده، سریع و دقیق برای نصب بیرینگ‌های بزرگ با رینگ داخلی مخروطی می‌باشد، که نیاز به اندازه‌گیری لقی داخلی قبل و بعد از نصب را بر طرف می‌کند. در روش® SensorMount رینگ داخلی بیرینگ به سنسوری مجهز است که به یک نشان‌دهنده دیجیتالی متصل می‌باشد (شکل ۱۷). بیرینگ به کمک ابزار مناسب بر روی سطح مخروطی بالا رانده می‌شود و سنسور مقدار انبساط رینگ داخلی که به قطر داخلی (m) و کاهش لقی (mm) مرتبط است، را نشان می‌دهد. جنبه‌هایی نظیر اندازه بیرینگ، صافی سطوح، جنس و طرح شفت و توخالی یا توپر بودن شفت در این روش مهم نمی‌باشند.

اطلاعات تکمیلی در رابطه با نصب بیرینگ‌ها

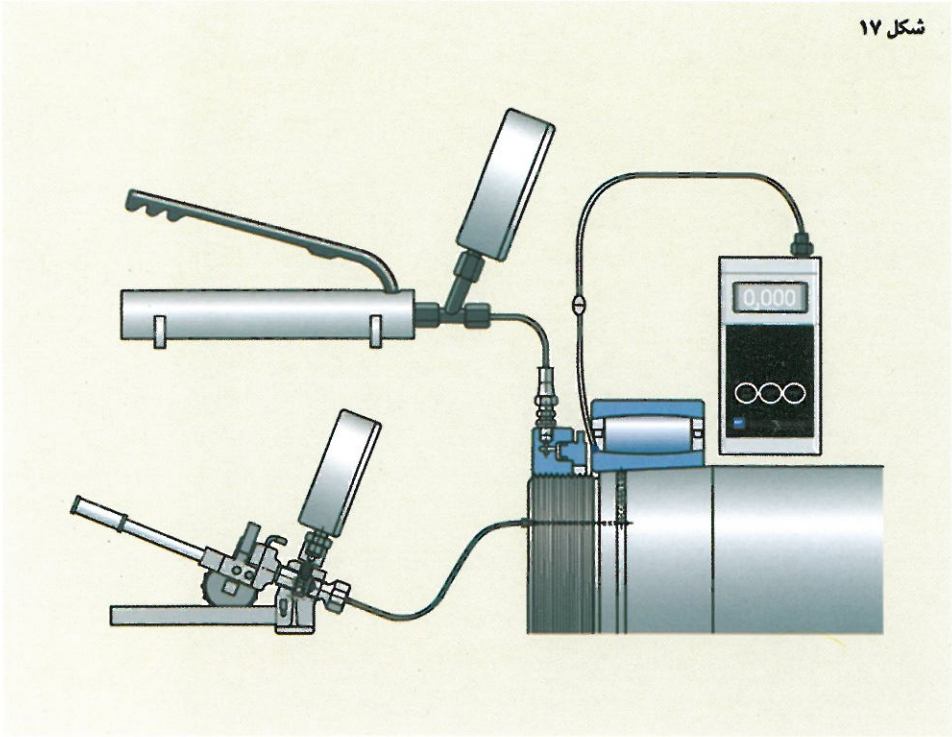
اطلاعات تکمیلی در رابطه با نصب رولربیرینگ‌های CARB یا روش بالاروی محوری SKF را می‌توان در مراجع زیر یافت.

- مرجع [1] و [2]
- کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب

مراجع:

[1] SKF Handbook "SKF Drive-up"
[2] www.skf.com/mount

شکل ۱۷



فصل هشتم

بلبیرینگ‌های کف‌گرد

بلبیرینگ‌های کف‌گرد یکطرفه ۴۵۲
بلبیرینگ‌های کف‌گرد دوطرفه ۴۵۳
اطلاعات عمومی بلبیرینگ‌ها ۴۵۴
ابعاد ۴۵۴
تلرانس‌ها ۴۵۴
عدم همراستایی ۴۵۴
قفسه‌ها ۴۵۴
بار حداقل ۴۵۵
بار معادل دینامیکی بلبیرینگ ۴۵۵
بار معادل استاتیکی بلبیرینگ ۴۵۵
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۴۵۵

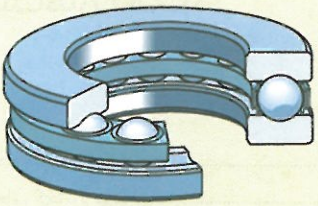
بلبیرینگ‌های کف‌گرد یکطرفه

بلبیرینگ‌های کف‌گرد یکطرفه دارای یک واشر شفت، یک واشر نشیمنگاه و مجموعه قفسه و ساچمه‌ها می‌باشند. این بیرینگ‌ها تفکیک‌پذیر بوده و واشرها را می‌توان مستقل از مجموعه ساچمه‌ها نصب کرد.

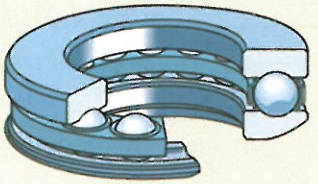
بیرینگ‌های کوچک‌تر با واشر نشیمنگاه تخت (شکل ۱) و واشر نشیمنگاه کروی (شکل ۲) موجود می‌باشند. بیرینگ‌ها با واشر نشیمنگاه کروی می‌توانند بر روی واشر کروی دیگر نصب شوند (شکل ۳)، به طوری که بتوانند عدم همراستایی بین شفت و نشیمنگاه را تحمل کنند. این واشرهای کروی را باید به طور جداگانه سفارش داد.

بلبیرینگ‌های کف‌گرد یکطرفه همان طور که از نام آنها پیداست بار محوری را فقط از یک جهت تحمل می‌کنند و لذا شفت را فقط از یک جهت مهار می‌کنند. این بلبیرینگ‌ها نباید تحت بار شعاعی قرار گیرند.

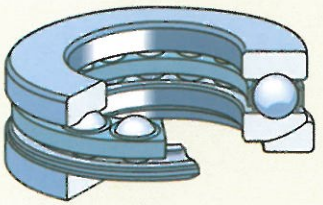
شکل ۱



شکل ۲



شکل ۳



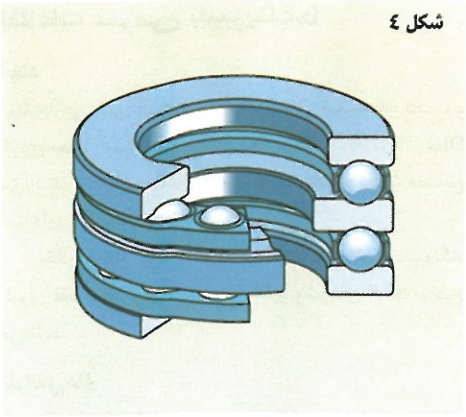
بلبیرینگ‌های کف‌گرد دوطرفه

بلبیرینگ‌های کف‌گرد دوطرفه دارای یک واشر شفت، دو واشر نشیمنگاه و دو مجموعه ساچمه‌ها و قفسه می‌باشند. این بلبیرینگ‌ها تفکیک‌پذیر بوده و به همین علت نصب آنها ساده است. اجزای مختلف را می‌توان مستقل از هم نصب کرد. واشرهای نشیمنگاه و مجموعه قفسه و ساچمه‌ها مشابه بیرینگ‌های بلبیرینگ‌های کف‌گرد یکطرفه می‌باشند.

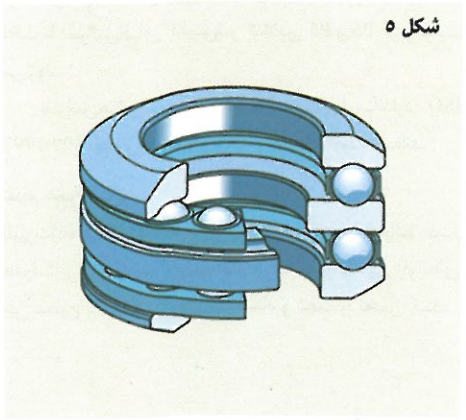
بیرینگ‌های کوچک با واشر نشیمنگاه تخت (شکل ۴) و کروی (شکل ۵) موجود می‌باشند. بیرینگ‌ها با واشر نشیمنگاه کروی می‌توانند بر روی واشر کروی دیگر قرارگیرند (شکل ۶)، به طوری که می‌توانند عدم همراستایی بین شفت و نشیمنگاه را تحمل کنند. این واشرهای کروی را باید به طور جداگانه سفارش داد.

بلبیرینگ‌های کف‌گرد دوطرفه بار محوری را از دو جهت تحمل می‌کنند و می‌توانند شفت را از هر دو جهت محوری مهار کنند. این بیرینگ‌ها نباید تحت بار شعاعی قرار گیرند.

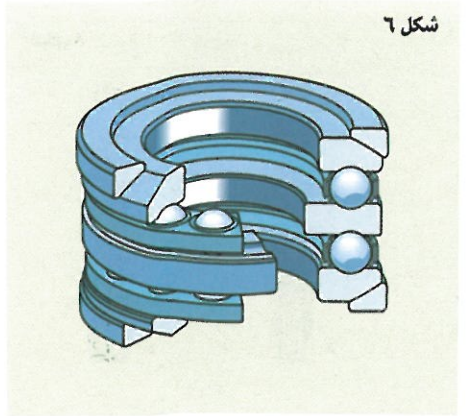
شکل ٤



شکل ٥



شکل ٦



اطلاعات عمومی بلبیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی بلبیرینگ‌های کف‌گرد با واشر نشیمنگاه تخت و کروی مطابق استاندارد DIN 711:1988 و DIN 715:1987 می‌باشند. ابعاد بلبیرینگ‌ها با واشر نشیمنگاه تخت مطابق استاندارد ISO 104:2002 می‌باشد.

مقادیر ارتفاع H_1 برای بیرینگ‌ها با واشر نشیمنگاه کروی فقط برای بیرینگ‌های SKF با واشرهای SKF صحیح می‌باشند.

تلرانس‌ها

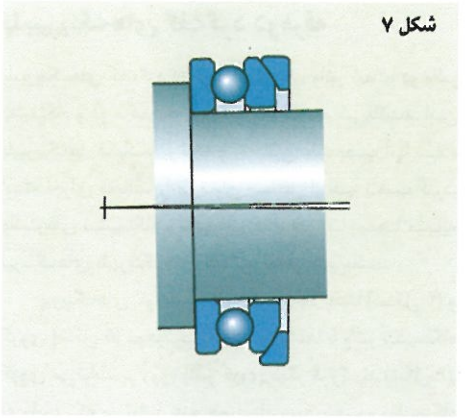
بلبیرینگ‌های کف‌گرد به صورت استاندارد با تلرانس نرمال تولید می‌شوند. بعضی بلبیرینگ‌های یکطرفه با واشر نشیمنگاه تخت با تلرانس‌های دقیق‌تر کلاس P6 و P5 نیز تولید می‌شوند.

تلرانس‌های نرمال، P5 و P6 مطابق استاندارد ISO 199:1997 بوده و در جدول ۱۰صفحه ۱۲۰ آورده شده‌اند.

عدم همراستایی

بلبیرینگ‌های کف‌گرد با واشر نشیمنگاه تخت نمی‌توانند عدم همراستایی بین شفت و نشیمنگاه و عدم همراستایی زاویه‌ای بین سطوح تکیه‌گاه بر روی نشیمنگاه و شفت را تحمل کنند.

شکل ۷



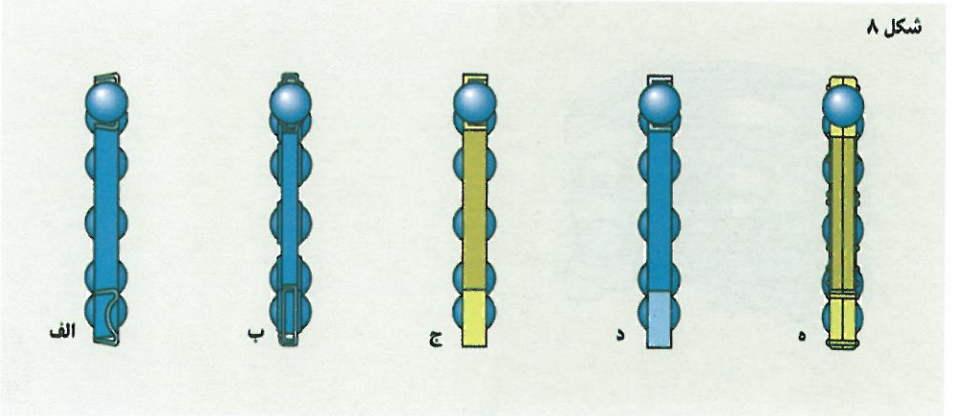
بلبیرینگ‌ها با واشر نشیمنگاه کروی که بر روی واشرهای کروی دیگر قرار می‌گیرند، معمولاً عدم همراستایی اولیه بین سطوح تکیه‌گاه بر روی نشیمنگاه و شفت (شکل ۷) را جبران می‌کنند.

قفسه‌ها

بلبیرینگ‌های کف‌گرد وابسته به سری و ابعاد با یکی از قفسه‌های استاندارد زیر ساخته می‌شوند. (شکل ۸)

- قفسه از جنس فولاد پرسکاری‌شده، بدون پسوند در شماره فنی بلبیرینگ (الف و ب)
- قفسه برنجی ماشینکاری‌شده یک تکه، پسوند M در شماره فنی بلبیرینگ (ج)
- قفسه فولادی ماشینکاری‌شده یک تکه، پسوند F در شماره فنی بلبیرینگ (د)
- قفسه برنجی ماشینکاری‌شده دو تکه، پسوند M در شماره فنی بلبیرینگ (ه)

شکل ۸



بار حداقل

بلبیرینگ‌های کف‌گرد برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بلبیرینگ در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد با اهمیت‌تر است. در این شرایط نیروی اینرسی ناشی از ساچمه‌ها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین ساچمه‌ها و سطوح غلتش شود.

حداقل بار مورد نیاز برای بلبیرینگ‌های کف‌گرد به صورت تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{am} = A(\frac{n}{1000})^2$$

که در آن

F_{am} = بار حداقل محوری، kN

A = ضریب بار حداقل (جداول بلبیرینگ‌ها)

n = سرعت دورانی، r/min

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است. در غیر این صورت بلبیرینگ‌های کف‌گرد باید تحت بار محوری اضافی، برای مثال توسط فنر، قرار گیرند.

بار معادل دینامیکی بلبیرینگ

برای بلبیرینگ کف‌گرد تحت بار دینامیکی، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P = F_a$$

بار معادل استاتیکی بلبیرینگ

برای بلبیرینگ کف‌گرد تحت بار استاتیکی، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = F_a$$

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی بلبیرینگ‌های کف‌گرد برای مشخص کردن امکانات خاص یک بلبیرینگ بکار می‌روند، در زیر شرح داده می‌شوند.

F	قفسه فولادی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها
JR	قفسه متشکل از دو واشر فولادی پرسکاری‌شده تخت و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها
M	قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها
P5	تلرانس‌های ابعادی و حرکتی دقیق‌تر مطابق کلاس 5 استاندارد ISO
P6	تلرانس‌های ابعادی و حرکتی دقیق‌تر مطابق کلاس 6 استاندارد ISO
TN9	قفسه پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک) و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

فصل نهم

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد

طرح‌های بیرینگ ۴۵۸
اجزای بیرینگ ۴۵۹
بیرینگ‌های دوطرفه ۴۶۰
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۴۶۱
ابعاد ۴۶۱
تلرانس‌ها ۴۶۱
عدم همراستایی ۴۶۲
قفسه‌ها ۴۶۲
بار حداقل ۴۶۲
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۴۶۳
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۴۶۳
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۴۶۳
طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ ۴۶۳
سطوح غلتش بر روی شفت یا نشیمنگاه ۴۶۳

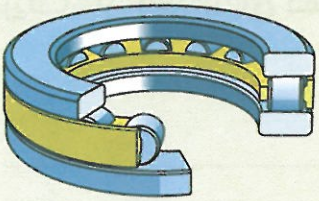
طرح‌های بیرینگ

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد برای کاربردهایی که در آنها بار محوری سنگین وجود دارد مناسب هستند. به علاوه این بیرینگ‌ها نسبتاً به بارهای شوک حساس نبوده، سفتی بالایی داشته و فضای کمی را اشغال می‌کنند. این بیرینگ‌ها به صورت استاندارد یکطرفه بوده و بار محوری را فقط در یک جهت تحمل می‌کنند.

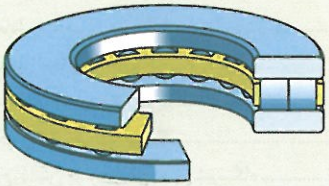
رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد طرح ساده‌ای داشته و به صورت یک ردیفه (شکل ۱) و دو ردیفه (شکل ۲) تولید می‌شوند. بیرینگ‌ها در سری‌های 811 و 812 عموماً در شرایطی که ظرفیت حمل بار بلبیرینگ‌های کف‌گرد کم است، بکار می‌روند.

سطح استوانه‌ای رولرها در انتها کمی منحنی می‌باشند لذا پروفیل تماس به شکلی است که از ایجاد تنش در لبه‌ها جلوگیری می‌کند. این بیرینگ‌ها تفکیک‌پذیر بوده و می‌توان اجزای آن را به صورت مستقل نصب کرد.

شکل ۱



شکل ۲



اجزای بیرینگ

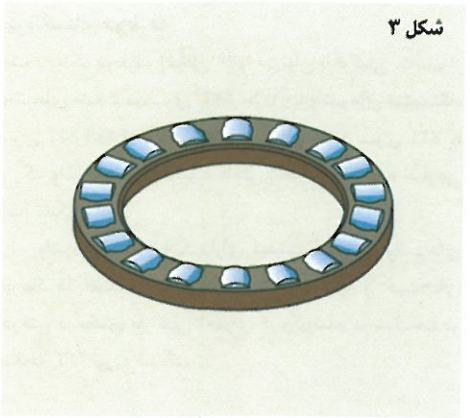
برای کاربردهایی که در آنها

- سطوح اجزای مجاور ماشین را می‌توان به عنوان سطح غلتش بکار برد و یا بیرینگ با پهنای کم لازم باشد، یا
- دیگر ترکیبات مجموعه رولرهای، رولربیرینگ استوانه‌ای کف‌گرد و واشرهای آن (با دو واشر شفت یا واشرهای نشیمنگاه)، لازم می‌باشد.

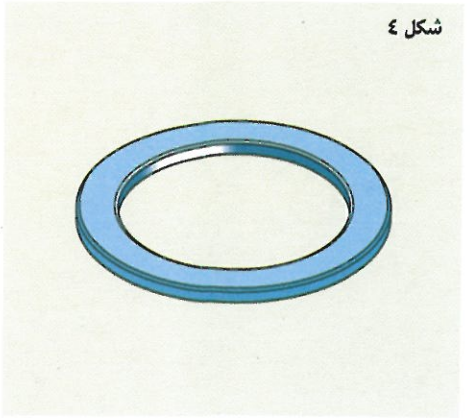
می‌توان اجزای زیر را جداگانه سفارش داد.

- مجموعه فقسه و رولرها، با قرار دادن پیشوند K قبل از شماره فنی بیرینگ (شکل ۳)
- واشرهای شفت، با قرار دادن پیشوند WS قبل از شماره فنی بیرینگ (شکل ۴)
- واشرهای نشیمنگاه، با قرار دادن پیشوند GS قبل از شماره فنی بیرینگ (شکل ۵)

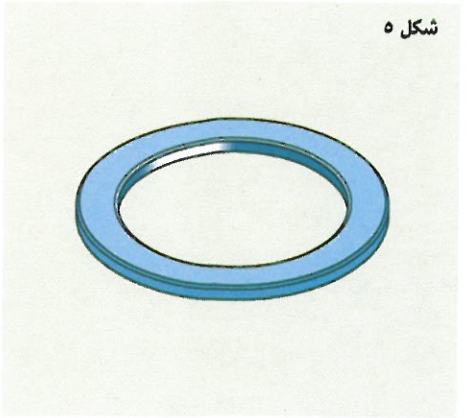
شکل ۳



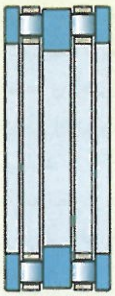
شکل ٤



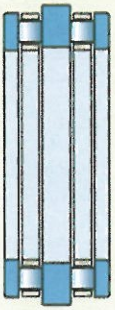
شکل ٥



شکل ٦



الف



ب

بیرینگ‌های دوطرفه

یک بیرینگ دوطرفه (شکل ۶) را می‌توان با ترکیبی مناسب از واشرهای شفت درسری WS 811 یا واشرهای نشیمنگاه سری GS 811 با دو مجموعه از رولرها و قفسه سری K 811 و یک واشر میانی مرکزشده داخلی (الف) یا مرکزشده خارجی (ب) تشکیل‌داد.

واشرهای میانی باید دارای کیفیت و سختی واشرهای بیرینگ‌ها باشند. مقادیر مربوط به ابعاد، فرم و دقت‌های حرکتی در بخش طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ‌ها در صفحه ۴۶۳ آورده شده‌اند.

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد مطابق استاندارد ISO 104:2002 است.

تلرانس‌ها

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد به صورت استاندارد با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. بیرینگ‌های بزرگ‌تر با تلرنس‌های دقیق‌تر از نرمال نظیر کلاس P5 نیز تولید می‌شوند.

تلرانس‌های نرمال P5 مطابق استاندارد ISO 199:1999 بوده و در جدول ۱۰ صفحه ۱۲۰ آورده شده‌اند.

مجموعه قفسه و رولرها، واشر شفت و واشر نشیمنگاه رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد مطابق تلرانس‌های آورده شده در جدول ۱ ساخته می‌شوند. مقادیر متفاوت با تلرانس‌های استاندارد ISO در جدول ۲ آورده شده‌اند. رولرهای یک مجموعه دارای کلاس مشابه بوده و حداکثر تلرانس تغییرات قطر آنها 1 µm است.

جدول ۱ تلرانسهای اجزای بیرینگ

اجزای بیرینگ ابعاد		تلرانسها
مجموعه رولرهای استوانه ای و قفسه، K		
قطر داخلی	d	E11
قطر خارجی	D	a13
قطر رولرها	D_w	DIN 5402-1:1993
واشر شفت، WS		
قطر داخلی	d	Normal tolerances
قطر خارجی	d_1	–
ضخامت	B	h11
لنگی محوری	S_i	Normal tolerances
واشر نشیمنگاه، GS		
قطر خارجی	D	Normal tolerances
قطر داخلی	D_1	–
ضخامت	B	h11
لنگی محوری	S_e	Normal tolerances

جدول ۲ تلرانسهای ISO

قطر نامی d, D		تلرانسها					
بیشتر از	تا و شامل	a13		h11		E11	
		high	low	high	low	high	low
mm		µm					
10	18	-290	-560	0	-110	+142	+32
18	30	-300	-630	0	-130	+170	+40
30	40	-310	-700	0	-160	+210	+50
40	50	-320	-710	0	-160	+210	+50
50	65	-340	-800	0	-190	+250	+60
65	80	-360	-820	0	-190	+250	+60
80	100	-380	-920	0	-220	+292	+72
100	120	-410	-950	0	-220	+292	+72
120	140	-460	-1 090	0	-250	+335	+85
140	160	-520	-1 150	0	-250	+335	+85
160	180	-580	-1 210	0	-250	+335	+85
180	200	-660	-1 380	0	-290	+390	+100
200	225	-740	-1 460	0	-290	+390	+100
225	250	-820	-1 540	0	-290	+390	+100
250	280	-920	-1 730	0	-320	+430	+110
280	315	-1 050	-1 860	0	-320	+430	+110
315	355	-1 200	-2 090	0	-360	+485	+125
355	400	-1 350	-2 240	0	-360	+485	+125
400	450	-1 500	-2 470	0	-400	+535	+135
450	500	-1 650	-2 620	0	-400	+535	+135
500	630	-1 900	-3 000	0	-440	+585	+145
630	800	-2 100	-3 350	0	-500	+660	+150

عدم همراستایی

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد نمی‌توانند هیچ گونه عدم همراستایی زاویه‌ای بین شفت و نشیمنگاه را تحمل کنند. همچنین عدم همراستایی ناشی از ساخت سطوح تکیه‌گاه در شفت و نشیمنگاه نیز قابل تحمل نیست.

قفسه‌ها

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد وابسته به ابعاد و سری با یکی از قفسه‌های زیر تولید می‌شود.

- قفسه پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک)، با پسوند TN در شماره فنی بیرینگ و یا
- قفسه برنجی ماشینکاری‌شده، با پسوند M در شماره فنی بیرینگ

توجه:

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای با قفسه پلی آمید 6.6 می‌توانند تا دمای 120+ °C کار کنند. روانکارهای معمول برای بیرینگ‌ها عموماً اثر تعیین‌کننده‌ای بر خواص قفسه ندارند، بجز انواع محدودی از روغن‌های مصنوعی و گریس‌ها بر پایه این روغن‌ها و روانکارهای محتوی مقادیر زیادی افزودنی‌های EP که در دمای بالا بکار می‌روند.

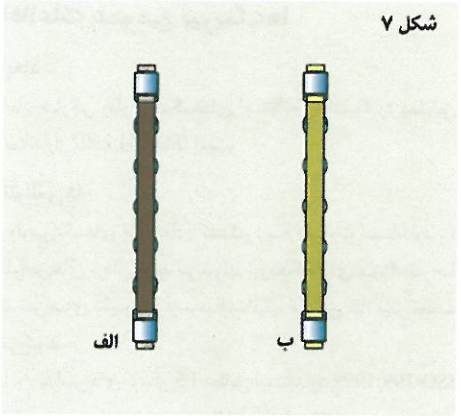
در چیدمان‌هایی که بیرینگ‌ها به صورت پیوسته در دمای بالا تحت شرایط سخت کار می‌کنند استفاده از بیرینگ‌ها با قفسه‌های فلزی توصیه می‌شوند.

برای جزئیات بیشتر در رابطه با کاربرد قفسه‌ها و مقاومت آنها به حرارت به بخش « جنس قفسه‌ها » در صفحه ۱۲۸ مراجعه کنید.

بار حداقل

رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همواره تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی‌که بیرینگ در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا و یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد با اهمیت‌تر است. در این شرایط نیروی اینرسی ناشی از رولرها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از حرکت لغزشی بین رولرها و سطوح غلتش شود.

شکل ۷



حداقل بار مورد نیاز برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد به صورت تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{am} = 0.0005C_0 + A(\frac{n}{1000})^2$$

که در آن،

F_{am} = بار حداقل محوری، kN

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN (جداول بیرینگ‌ها)

A = ضریب بار حداقل (جداول بیرینگ‌ها)

n = سرعت دورانی، r/ min

هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً بیشتر از بار حداقل مورد نیاز است. در غیر این صورت رولربیرینگ‌های استوانه‌ای باید تحت بار محوری اضافی، برای مثال توسط فنر یا مهره شفت قرار گیرند.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

بار معادل دینامیکی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد، از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P = F_a$$

بار معادل استاتیکی بیرینگ

بار معادل استاتیکی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد، از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = F_a$$

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای کف‌گرد برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند، در زیر شرح داده شده‌اند.

HB1 واشرهای شفت و نشیمنگاه سخت‌شده باینیتی

M قفسه برنجی ماشینکاری‌شده و مرکزشده نسبت به رولرها

P5 تلرانس ابعادی و حرکتی مطابق کلاس 5 استاندارد ISO

TN قفسه پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک) و مرکزشده نسبت رولرها

طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ

سطوح تکیه‌گاه بر روی نشیمنگاه و شفت باید عمود بر شفت بوده و یک سطح تکیه‌گاه یکنواخت برای واشرهای بیرینگ در طول و پهنای سطح غلتش ایجاد کنند. (شکل ۸)

در جدول ۳ تلرانس‌های شفت و نشیمنگاه برای کارکرد رضایت‌بخش برای اجزای مختلف آورده شده‌اند.

مجموعه قفسه و رولرهای کف‌گرد بر روی شفت به شکلی در جهت شعاعی هدایت می‌شوند که کم‌ترین سرعت لغزش را نسبت به سطوح راهنما داشته باشند. در سرعت‌های بالا هدایت شعاعی باید بر روی شفت ایجاد شود و سطوح تکیه‌گاه باید سنگ زده شوند.

سطوح غلتش بر روی شفت یا نشیمنگاه

سطوح غلتش بر روی شفت یا نشیمنگاه باید سختی و صافی سطح مشابه با سطوح غلتش رینگ‌های بیرینگ داشته باشند تا از تمام ظرفیت حمل بار مجموعه رولرهای استوانه‌ای کف‌گرد بتوان استفاده نمود.

جزئیات مربوط به جنس، سختی و صافی سطوح در بخش « سطوح غلتش بر روی شفت یا نشیمنگاه » در صفحه ۱۸۶ آورده شده است.

شکل ۸

جدول ۳ تلرانسهای شفت و نشیمنگاه

اجزای بیرینگ		تلرانسها	
توضیح	پیشوند	شفت	قطر داخلی نشیمنگاه
مجموعه رولرهای استوانه ای و قفسه	K	h8	–
واشر شفت	WS	h8	–
واشر نشیمنگاه	GS	–	H9

فصل دهم

رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد

طرح‌های بیرینگ ۴۶۶
بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر ۴۶۶
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۴۶۷
ابعاد ۴۶۷
تلرانس‌ها ۴۶۷
عدم همراستایی ۴۶۷
اثر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ ۴۶۷
بار حداقل ۴۶۸
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۴۶۸
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۴۶۸
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۴۶۸
طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ ۴۶۹
روانکاری ۴۷۰
نصب ۴۷۱

طرح‌های بیرینگ

در رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد بار از یک سطح غلتش به سطح غلتش دیگر تحت زاویه‌ای نسبت به محور بیرینگ منتقل می‌شود. (شکل ۱) بنابراین این بیرینگ‌ها برای تحمل بار شعاعی که همزمان با بار محوری اعمال می‌شود، مناسب هستند. دیگر مشخصه مهم رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد قابلیت خود تنظیم بودن آنهاست که باعث می‌شود نسبت به تغییر شکل شفت و عدم همراستایی آن نسبت به نشیمنگاه حساسیت نداشته باشند.

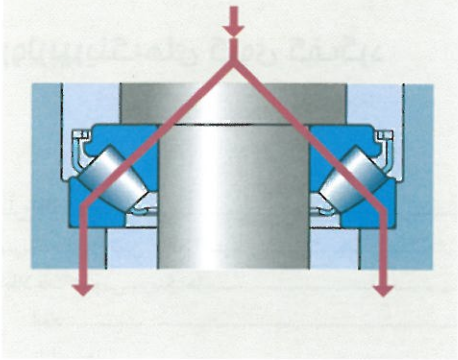
رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد دارای تعداد زیادی رولر نامتقارن و سطح غلتش خاص با طراحی بهینه‌شده می‌باشند. لذا می‌توانند بارهای سنگین محوری را در سرعت‌های نسبتاً بالا تحمل کنند.

رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد وابسته به سری و ابعاد در دو طرح تولید می‌شوند. بیرینگ‌ها تا اندازه 68 که با پسوند E در شماره فنی مشخص می‌شوند دارای قفسه نوع پنجره‌ای از جنس فولاد پرسکاری‌شده هستند که در آنها رولرها و واشر شفت تشکیل یک مجموعه غیرقابل تفکیک را می‌دهند (شکل ۲). مابقی بیرینگ‌ها دارای قفسه ماشینکاری‌شده برنجی یا فولادی هستند که توسط یک رینگ در داخل واشر شفت در مسیر خود هدایت می‌شود. در این بیرینگ‌ها واشر شفت و قفسه به همراه رولرها یک مجموعه غیرقابل تفکیک را تشکیل می‌دهند.

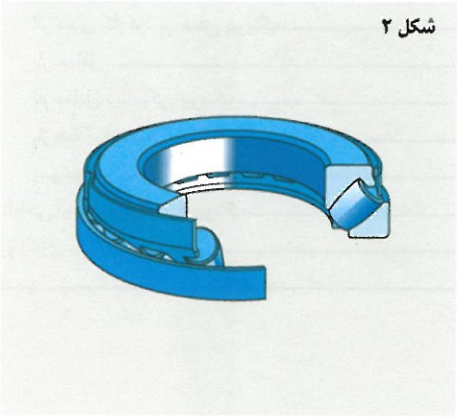
بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر

بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپورر با عملکرد بالا در جداول با رنگ آبی مشخص شده‌اند. بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر دارای شماره فنی مشابه بیرینگ‌های قبلی هستند، مانند E 29330، هر چند که بیرینگ و جعبه آن با کلمه « EXPLORER » مشخص شده‌اند.

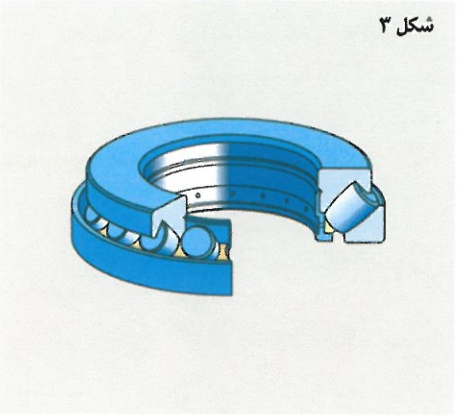
شکل ۱



شکل ۲



شکل ۳



اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد مطابق استاندارد ISO 104:2002 می‌باشند.

تلرانس‌ها

رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد به صورت استاندارد با تلرانس‌های مطابق ISO 199:1997 تولید می‌شوند. تلرانس ارتفاع بیرینگ برای

- بیرینگ‌های استاندارد بیش از ٪50 دقیق‌تر و برای
- بیرینگ‌های کلاس SKF اکسپلورر بیش از ٪75، دقیق‌تر از مقادیر استاندارد ISO هستند.

مقادیر تلرانس‌ها در جدول ۱۰ صفحه ۱۲۰ آورده شده‌اند.

عدم همراستایی

رولرها در بیرینگ‌های کروی کف‌گرد به علت طراحی مناسب خود تنظیم می‌باشند. به عبارت دیگر می‌توانند عدم همراستایی شفت نسبت به نشیمنگاه، و تغییر شکل شفت را در حین کارکرد، تحمل کنند. (شکل ۴) مقادیر عدم همراستایی مجاز به طراحی چیدمان بیرینگ، نوع آب‌بند و شرایط دیگر دارد.

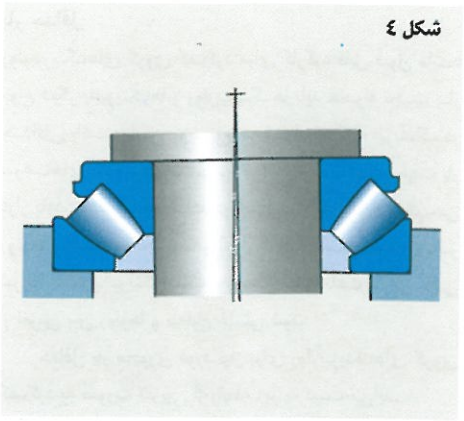
عدم همراستایی مجاز با افزایش بار کاهش می‌یابد. مقادیر جدول ۱ در شرایط ثابت بودن عدم همراستایی و دوران واشر شفت صحیح می‌باشند. هنگام طراحی چیدمان بیرینگ‌ها شرایط زیر نیاز به توجه خاص دارند.

- واشر نشیمنگاه دوارن می‌کند و عدم همراستایی نیز وجود دارد.
- شفت نسبت به نشیمنگاه لنگی (Wobblos) داشته باشد.

اثر دمای کارکرد بر جنس بیرینگ

رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد تحت عملیات حرارتی خاصی قرار می‌گیرند لذا می‌توانند برای مدت طولانی در دمای بالا کار کنند، بدون این که تغییر ابعادی در آنها ایجاد شود. برای مثال 2500 ساعت در دمای 200+ °C یا مدت کوتاه‌تر در دمای بیشتر مجاز می‌باشند.

شکل ٤



جدول ۱ عدم همراستایی زاویه ای مجاز

سریهای بیرینگ	عدم همراستایی مجاز وقتی بار P_0[1] وارده به بیرینگ		
	< 0,05 C_0	> 0,05 C_0	> 0,3 C_0
–	degrees		
292 (E)	2	1,5	1
293 (E)	2,5	1,5	0,3
294 (E)	3	1,5	0,3

[1] $P_0 = F_a + 2,7\ F_r$

بار حداقل

رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد برای کارکرد قابل قبول مانند انواع دیگر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها باید همراه تحت بار حداقلی باشند. این موضوع در شرایطی که بیرینگ در سرعت‌های بالا، تحت شتاب بالا، یا تغییرات ناگهانی جهت بار قرار دارد، با اهمیت‌تر است. در این شرایط نیروی اینرسی رولرها و قفسه و اصطکاک روانکار اثرات تعیین‌کننده‌ای بر شرایط غلتش بیرینگ داشته و ممکن است باعث خرابی ناشی از لغزش بین رولرها و سطوح غلتش شود.

حداقل بار محوری مورد نیاز برای رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد به صورت تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F_{am} = 1.8F_r + A(\frac{n}{1000})^2$$

که در آن

F_{am} = بار حداقل محوری، kN

F_r = مؤلفه شعاعی بار در بیرینگ تحت بار ترکیبی، kN

C_0 = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی، kN (جداول بیرینگ‌ها)

A = ضریب بار حداقل (جداول بیرینگ‌ها)

n = سرعت دورانی، r/ min

اگر $1.8F_r < 0.0005C_0$ باشد باید مقدار $0.0005C_0$ را بجای $1.8\ F_r$ استفاده کرد.

در سرعت‌های بالاتر از سرعت مرجع، هنگام راه‌اندازی در دمای پایین و یا هنگامی که لزجت روانکار زیاد است، ممکن است به بار حداقل بیشتری نیاز باشد. وزن اجزای چیدمان به همراه بارهای خارجی معمولاً از بار حداقل مورد نیاز بیشتر است. در غیر این صورت رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد باید برای مثال توسط فنر پیش بار شوند.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد عموماً به شکلی در نشیمنگاه نصب می‌شوند که لنگی بیرینگ اثری بر توزیع بار در بیرینگ نداشته باشد. برای رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد تحت بار دینامیکی، بار معادل در شرایطی که $F_r \le 0.55F_a$ است از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P = 0.88(F_a + 1.2F_r)$$

وقتی لنگی در چیدمان بیرینگ بر توزیع بار در رولربیرینگ کروی کف‌گرد مؤثر باشد و $F_r \le 0.55F_a$ باشد، بار معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P = F_a + 1.2F_r$$

بار معادل استاتیکی بیرینگ

برای رولربیرینگ کروی کف‌گرد تحت بار استاتیکی، بار معادل استاتیکی، در شرایطی که $F_r \le 0.55F_a$ است از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_0 = F_a + 2.7F_r$$

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد برای مشخص کردن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند، در زیر شرح داده می‌شوند.

E	طرح داخلی بهینه‌شده و قفسه نوع پنجره‌ای از جنس فولادی پرسکاری‌شده
EF	طرح داخلی بهینه‌شده و قفسه فولادی ماشینکاری‌شده
EM	طرح داخلی بهینه‌شده و قفسه برنجی ماشینکاری‌شده
N1	یک شیار ثابت‌کننده در واشر نشیمنگاه
N2	دو شیار ثابت‌کننده با فاصله 180 نسبت به هم در واشر نشیمنگاه
VE 447	واشر شفت دارای سه سوراخ رزوه‌شده جهت اتصال قلاب جرثقیل
VE447E	واشر شفت دارای سه سوراخ رزوه‌شده جهت اتصال قلاب جرثقیل به همراه پیچ‌های قلاب‌دار مناسب آن
VE632	واشر نشیمنگاه دارای سه سوراخ رزوه‌شده جهت اتصال قلاب جرثقیل

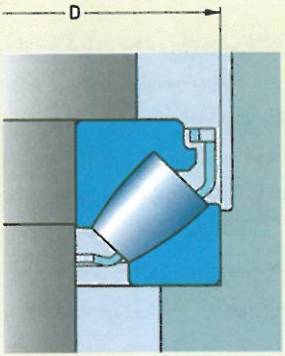
طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ

ابعاد قطرهای d_a و D_a پله‌های شفت و نشیمنگاه در جداول بیرینگ‌ها برای بار تا $F_a = 0.1C_0$ صحیح می‌باشند. در شرایطی که بیرینگ تحت بار سنگین‌تر است ممکن است لازم باشد که واشر شفت و نشیمنگاه به طور کامل حمایت شوند ($d_a = d_1$ و $D_a = D_1$) و واشر نشیمنگاه نیز در جهت محوری حمایت شود.

برای بیرینگ‌های طرح E با قفسه از جنس فولادی پرسکاری‌شده، نشیمنگاه باید دارای فرو رفتگی باشد تا قفسه در اثر عدم همراستایی با نشیمنگاه برخورد نکند. مقادیر قطر این فرو رفتگی باید برابر مقادیر زیر باشد.

- D+15 mm برای بیرینگ‌ها تا قطر خارجی 380 mm
- D+20 mm برای بیرینگ‌ها بزرگ‌تر

شکل ۵



روانکاری

روانکاری با روغن یا گریس محتوی افزودنی‌های EP برای رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد توصیه می‌شود.

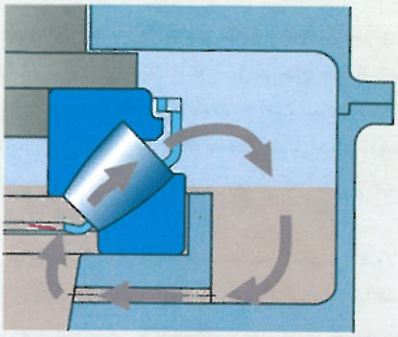
هنگام روانکاری با گریس باید محل تماس انتهای رولرها و لبه رینگ داخلی به نحوی از روانکار تغذیه شود. وابسته به نوع کاربرد، بهترین روش پر کردن بیرینگ و نشیمنگاه با گریس و یا روانکاری مجدد به طور منظم است.

به علت نوع طراحی داخلی، رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد دارای عملکرد پمپی می‌باشند که می‌توانند به چرخش روغن در شرایط

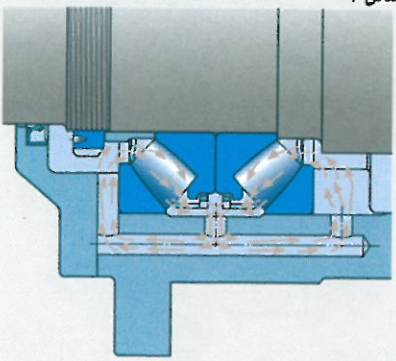
- شفت عمودی (شکل ۶) یا
- شفت افقی (شکل ۷)، کمک کنند

عملکرد پمپی باید هنگام انتخاب روانکار و آب‌بند در نظر گرفته شود.

شکل ٦



شکل ۷



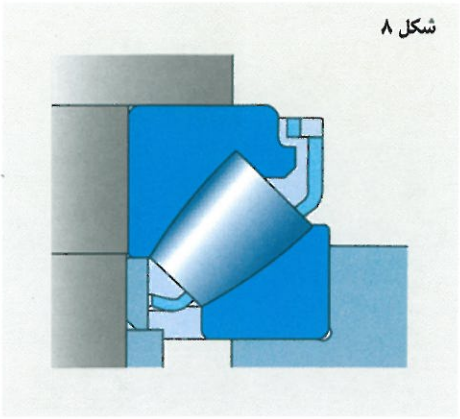
نصب

رولربیرینگ‌های کروی کف‌گرد تفکیک‌پذیر بوده و می‌توان واشر شفت به همراه مجموعه قفسه و رولرها را مستقل از واشر نشمینگاه نصب کرد.

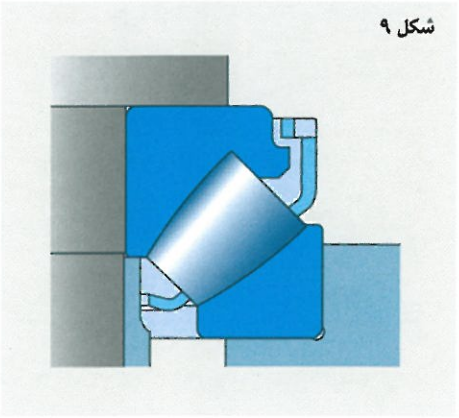
اگر بیرینگی با طرح قدیمی که دارای قفسه برنجی بوده و رینگ راهنماکننده در آنها نقش بوش فاصله‌انداز را نیز دارد با بیرینگ طرح جدید E جایگزین شود یک بوش فاصله‌انداز بین واشر شفت و پیشانی شفت لازم است (شکل ۸).

اگر لازم است که بیرینگ قدیمی طرح B، که با یک بوش فاصله‌انداز نصب می‌شوند، جایگزین شود باید بوش را بررسی و در صورت لزوم ماشینکاری کرد (شکل ۹). بوش باید سخت‌شده باشد و انتهای آن سنگ زده شود. قطر خارجی بوش برای هر بیرینگ در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است.

شکل ۸



شکل ۹



فصل یازدهم

بیرینگ‌های مهندسی

فصل (۱۱-۱) ـ بیرینگ‌های مختلط ۴۷۵
فصل (۱۱-۲) ـ بیرینگ‌های عایق الکتریکی INSOCOAT® ۴۸۵
فصل (۱۱-۳) ـ بیرینگ‌ها، مجموعه بیرینگ‌ها و نشیمنگاه‌ها برای دماهای بالا ۴۹۱
فصل (۱۱-۴) ـ بیرینگ‌های بدون سایش NoWear® ۵۰۱
فصل (۱۱ـ ۵) ـ بیرینگ‌ها و مجموعه بیرینگ‌ها با روغن جامد ۵۰۷

فصل (۱۱-۱)

بیرینگ‌های مختلط

بیرینگ‌های مختلط ۴۷۶
بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط ۴۷۷
بیرینگ‌های آب‌بند شده ۴۷۷
بیرینگ‌های طرح باز ۴۷۸
انواع دیگر بیرینگ‌های مختلط ۴۷۸
بیرینگ‌های مختلط دقیق ۴۷۸
بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌های مختلط، مجموعه بیرینگ‌های مختلط ۴۷۸
بیرینگ‌های مختلط با رینگ از جنس فولاد خاص و با پوشش‌های خاص ۴۷۸
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۴۷۹
ابعاد، تلرانس‌ها، لقی داخلی ۴۷۹
عدم همراستایی ۴۷۹
قفسه‌ها ۴۸۰
بار حداقل ۴۸۰
پیش بار محوری ۴۸۰
ظرفیت حمل بار محوری ۴۸۱
بار معادل دینامیکی بیرینگ ۴۸۱
بار معادل استاتیکی بیرینگ ۴۸۱
قابلیت سرعت ۴۸۱
خواص نیترید سیلیکون ۴۸۱
خواص الکتریکی ۴۸۱
پسوندها در شماره فنی بیرینگ ۴۸۲
انتخاب ابعاد بیرینگ ۴۸۳
روانکاری ۴۸۳

بیرینگ‌های مختلط

بیرینگ‌های مختلط دارای رینگ‌های فولادی و اجزای غلتنده از جنس نیترید سیلیکون[1] (Si_3N_4) گرید بیرینگ می‌باشند. علاوه بر خاصیت عایق بودن الکتریکی، بیرینگ‌های مختلط دارای توانایی کارکرد در سرعت بالا بوده و عمر بیشتری نسبت به بیرینگ‌های فولادی در اکثر کاربردها دارند.

خاصیت عایق بودن یکی از ویژگی‌های مهم نیترید سیلیکون است. این موضوع باعث جلوگیری از عبور جریان الکتریکی و صدمات ناشی از آن شده و عمر بیرینگ افزایش می‌یابد.

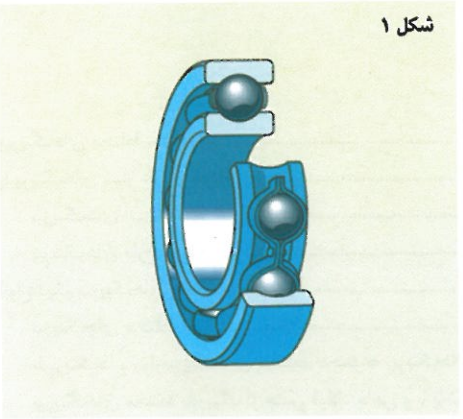
چگالی نیترید سیلیکون تنها 40٪ چگالی فولاد بیرینگ است. بنابراین اجزای غلتنده وزن و اینرسی کم‌تری دارند و لذا تنش در قفسه هنگام راه‌اندازی و توقف ناگهانی کم‌تر و اصطکاک نیز در سرعت‌های بالا به طور قابل ملاحظه کم‌تر است (بخش اصطکاک در صفحه ۷۵). اصطکاک کم‌تر به معنی دمای کارکرد کم‌تر و عمر بیشتر روانکار است. بنابر دلایل فوق بیرینگ‌های مختلط برای سرعت‌های بالا مناسب هستند.

در شرایط روانکاری ناکافی، سایشی بین نیترید سیلیکون و فولاد ایجاد نمی‌شود. بنابراین بیرینگ‌های مختلط در شرایط سخت دینامیکی یا شرایط روانکاری با لزجت کم ($\kappa < 1$) دوام بیشتری دارند. برای بیرینگ‌های مختلط در شرایطی که $\kappa < 1$ است، از $\kappa = 1$ در محاسبات عمر استفاده می‌شود. بیرینگ‌های مختلط در شرایط روانکاری با موادی که تشکیل فیلم روانکاری با ضخامت فوق‌العاده کم نظیر مبردها را می‌دهند، بخوبی کار می‌کند و می‌توان تجهیزات بدون روغن (Oil-free) را طراحی نمود. ولی در انتخاب جنس مواد لازم است دقت بیشتری شود.

نیترید سیلیکون دارای سختی و مدول الاستیسیته بیشتری از فولاد است که باعث افزایش سفتی و عمر بیرینگ در محیط‌های آلوده می‌شود.

نتیرید سیلیکون همچنین دارای ضریب انبساط حرارتی کم‌تر از فولاد می‌باشد که باعث حساسیت کم‌تر آنها به توزیع دما در بیرینگ‌شده و می‌توان پیش بار را با دقت بیشتری در آنها کنترل کرد.

شکل ۱



---

۱. سرامیک

بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط

محدوده استاندارد بیرینگ‌های مختلط شامل بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه می‌باشند (شکل ۱). که علت آن کاربرد وسیع این بیرینگ‌ها در بین انواع دیگر بیرینگ‌ها خصوصاً در موتورهای الکتریکی و کاربردهای ساده که به بیرینگ‌ها بدون نیاز به تعمیر و نگهداری دارند، است. شیار عمیق و تطابق نزدیک بین سطوح غلتش و ساچمه‌ها، بلبیرینگ‌های شیار عمیق را برای تحمل بارهای شعاعی و محوری از دو طرف، مناسب می‌کند.

بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط از قطر 5 تا 110 mm برای کاربردهای مختلف تولید می‌شوند.

برای مثال بیرینگ‌ها با قطر بزرگ‌تر از 45 mm برای موتورهای الکتریکی با توان 0.15 تا 15 KW، ژنراتورها، ابزارهای برقی (Power Tools) و محرک‌های دور بالا (High-Speed Drives) مناسب می‌باشند.

کاربردهای زیادی برای بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط وجود دارد. لذا این بیرینگ‌ها به صورت

- آب‌بند شده به همراه گریس و
- طرح باز

تولید شوند.

بیرینگ‌های آب‌بند شده

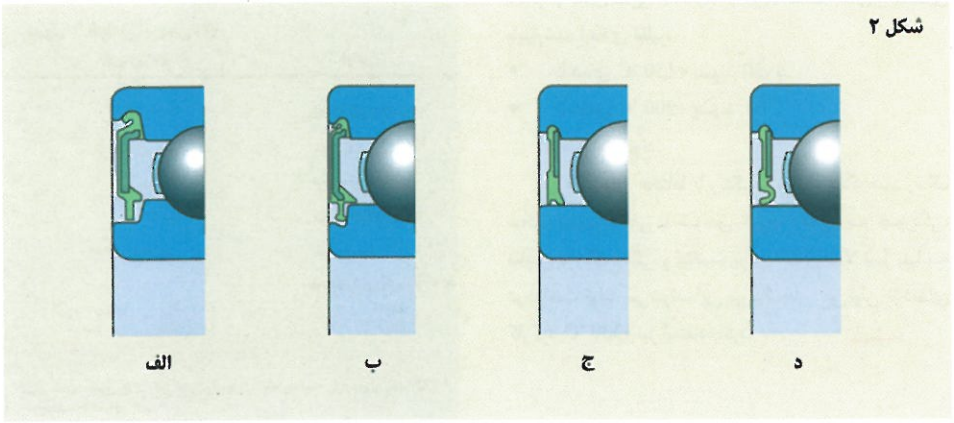
بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط آب‌بند شده دارای مشخصاتی به شرح زیر می‌باشند.

- آب‌بند کم اصطکاک طرح RSL (الف) که در بیرینگ‌ها با قطر خارجی تا 25 mm استفاده می‌شود، پسوند 2RSL در شماره فنی بیرینگ
- آب‌بند کم اصطکاک طرح RSL (ب) که در بیرینگ‌ها با قطر خارجی بیشتر از 25 mm تا 52 mm استفاده می‌شود، پسوند 2RSL در شماره فنی بیرینگ
- آب‌بند کم اصطکاک طرح RZ (ج) که در بیرینگ‌ها با قطر خارجی بیشتر از 52 mm استفاده می‌شود، پسوند 2RZ در شماره فنی بیرینگ
- آب‌بند تماسی طرح RS1 (د) با پسوند 2RS1 در شماره فنی بیرینگ

جزئیات مربوط به مناسب بودن آب‌بندهای فوق برای شرایط کارکرد مختلف در بخش بلبیرینگ‌های شیار عمیق در صفحه ۲۶۷ آورده شده است.

آب‌بندها از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) می‌باشند که با ورق فولادی تقویت شده‌اند. دمای مجاز کارکرد این آب‌بندها -40 °C تا +100 °C می‌باشد و می‌توانند برای مدت کوتاه دمای +120 °C را نیز تحمل کنند.

شکل ۲



بیرینگ‌های آب‌بند به صورت استاندارد از گریس با روغن پایه استر مصنوعی و غلیظ‌کننده پلی اوره پر شده‌اند و شماره فنی بیرینگ محتوی این گریس دارای پسوند WT است. این گریس در محدوده دمای °C 70+ تا °C 120+ دارای خواص روانکاری عالی می‌باشد و عمر آن نسبت به بیرینگ‌های آب‌بند با انواع گریس دیگر بسیار بیشتر بوده و نیازهای ماشین‌های الکتریکی را بر آورده می‌کنند. مهم‌ترین خواص گریس WT در جدول ۱ آورده شده‌اند.

حداکثر دمای مجاز کارکرد بیرینگ‌های شیار عمیق مختلط توسط قفسه و آب‌بندهای آن تعیین می‌شود. بیرینگ‌های مختلط با آب‌بند از جنس لاستیک فلورو تا دمای °C 180+ مقاوم می‌باشند.

بیرینگ‌های طرح باز

علاوه بر بیرینگ‌های آب‌بند، بیرینگ‌ها در طرح اصلی و بدون آب‌بند نیز موجود می‌باشند. در صورتی که به تعداد کمی از بیرینگ‌های کوچک بدون آب‌بند نیاز است که موجود نمی‌باشند، توصیه می‌شود از بیرینگ‌های آب‌بند شده استفاده کرده و آب‌بندهای آنها برداشته شود، این عمل به سادگی امکان‌پذیر است.

جدول ۱ خواص گریس WT

گریس WT	خواص
K2P-40	کد DIN 51825
پلی اوره (دی اوره)	غلیظ کننده
استر مصنوعی	نوع روغن پایه
2-3	کلاس غلظت NLGI
-40 to +160	محدوده دما، °C
	لزجت روغن پایه، mm^2/s
70	در 40 °C
9,4	در 100 °C

۱) برای محدوده دمای کارکرد قابل اطمینان به بخش "محدوده دما - مفهوم چراغ راهنما SKF" در صفحه ۲۲۰ مراجعه کنید.

انواع دیگر بیرینگ‌های مختلط

بیرینگ‌های مختلط دقیق

محدوده تولیدات برای این بیرینگ‌ها شامل

- بلبیرینگ‌های تماس زاویه مختلط دقیق،
- رولربیرینگ‌های استوانه‌ای مختلط دقیق و
- بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای کف‌گرد مختلط دقیق یک طرفه و دو طرفه، می‌باشد.

جزئیات این بیرینگ‌های در مرجع [1] آورده شده است.

بلبیرینگ‌های مختلط تماس زاویه‌ای یک ردیفه یا دو ردیفه و چهار نقطه تماس نیز با سفارش قابل تولید می‌باشد.

بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌های مختلط، مجموعه بیرینگ‌های مختلط

بیرینگ‌های مختلط دیگر در ابعاد مختلف به شرح زیر نیز تولید می‌شوند.

- بلبیرینگ‌های مختلط تماس زاویه‌ای
- رولربیرینگ‌های مختلط استوانه‌ای
- مجموعه بیرینگ‌ها به همراه نشیمنگاه

بیرینگ‌های مختلط با رینگ از جنس فولاد خاص و با پوشش‌های خاص

بیرینگ‌های مختلط به صورت استاندارد با رینگ از جنس فولاد بیرینگ ساخته می‌شوند. دمای پایداری این فولاد در بلبیرینگ‌های شیار عمیق °C 120+ و در بلبیرینگ‌های تماس زاویه‌ای °C 150+ است. برای کارکرد مداوم در دمای بالاتر از دمای فوق استفاده از بیرینگ‌ها با رینگ‌های پایدارشده ابعادی نظیر،

- تا دمای °C 150+ پسوند S0، یا
- تا دمای °C 200+ پسوند S1

توصیه می‌شوند.

بیرینگ‌های مختلط با رینگ از جنس فولاد ضد زنگ سخت شونده عمقی با خواص خوب مقاوم به خوردگی، سایس و زنگ زدگی و مناسب برای دمای بالا نیز بنا به درخواست تولید می‌شوند. این بیرینگ‌ها را می‌توان تا دمای کارکرد °C 300+ نیز استفاده کرد.

رینگ‌ها را می‌توان برای جلوگیری از خوردگی با روی - کرم یا کرم کم چگالی (Thin Dense Chromium) پوشش داد. پوشش‌های کم اصطکاک بر پایه مولیبدن را می‌توان برای کاربردهایی نظیر گاز و خلاء بکار برد.

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد، تلرانس‌ها، لقی داخلی

بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط مطابق استانداردهای زیر ساخته می‌شوند.

- ابعاد خارجی مطابق استاندارد ISO 15:1998
- تلرانس‌های نرمال مطابق استاندارد ISO 492:2002
- لقی داخلی C3 مطابق استاندارد ISO 5753:1991 (جدول ۲)

عدم همراستایی

بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط قابلیت محدودی در تحمل عدم همراستایی دارند. عدم همراستایی مجاز که باعث ایجاد تنش‌های اضافی ناخواسته نشود به عوامل زیر بستگی دارد،

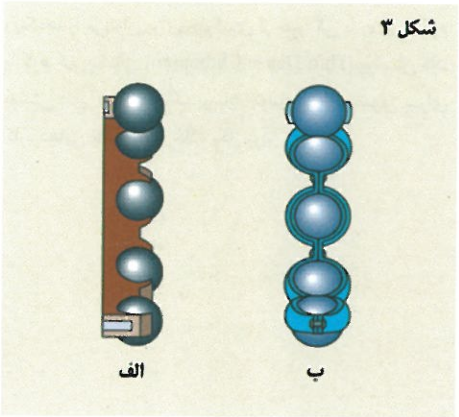
- لقی شعاعی داخلی بیرینگ
- ابعاد بیرینگ
- نیروها و ممان‌های وارده بر بیرینگ

وابسته به تأثیر عوامل فوق عدم همراستایی مجاز بین 2 تا 10 دقیقه کمان می‌باشد. عدم همراستایی باعث افزایش سر و صدا و کاهش عمر بیرینگ می‌شود.

جدول ۲ لقی داخلی شعاعی

قطر داخلی d		لقی شعاعی داخلی C3	
بیشتر از	تا و شامل	min	max
mm		µm	
	10	8	23
10	18	11	25
18	30	13	28
30	40	15	33
40	50	18	36
50	65	23	43
65	80	25	51
80	100	30	58
100	120	36	66

شکل ۳



قفسه‌ها

بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط وابسته به ابعاد با یکی از انواع قفسه زیر تولید می‌شوند.

- قفسه از نوع Snap از جنس پلی آمید 6.6، تقویت‌شده با الیاف شیشه (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک) و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها با پسوند TN9 در شماره فنی بیرینگ (شکل ۳ الف)
- قفسه پرچ‌شده از جنس فولاد پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ (شکل ۳ ب)

بیرینگ‌های مختلط با قفسه از جنس پلی آمید 6.6 را می‌توان تا حداکثر دمای $120^{\circ}+$ بکار برد.

بار حداقل

به منظور کارکرد رضایت‌بخش بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط مانند بیرینگ‌های استاندارد باید همواره تحت بار حداقلی باشند. برای تعیین این بار حداقل به بخش « بار حداقل » در فصل مربوط به بلبیرینگ‌ها شیار عمیق استاندارد در صفحه ۲۷۶ مراجعه کنید.

بیرینگ‌های مختلط عموماً مقاومت خوبی در مقابل خرابی ناشی از خراشیدگی سطوح غلتش به علت بار کم دارند و به همین علت این بیرینگ‌ها برای شرایط بار متغیر که شامل بارهای کم نیز می‌باشند، مناسب هستند.

پیش بار محوری

برای کاهش سر و صدا و عملکرد بهتر در سرعت‌های بالا عموماً در چیدمان‌هایی که شامل دو بیرینگ شیار عمیق مختلط می‌باشند، بیرینگ‌ها را پیش بار محوری می‌کنند. یک روش ساده برای اعمال پیش بار محوری استفاده از واشر فنری می‌باشد که در بخش « پیش بارگذاری به کمک فنر » در صفحه ۲۰۴ شرح داده شده است. مقدار پیش بار محوری توصیه‌شده را می‌توان از روش شرح‌داده در بخش فوق محاسبه کرد. برای اطلاعات بیشتر به بخش « پیش بار بیرینگ‌ها » در صفحه ۱۹۴ مراجعه کنید.

ظرفیت حمل بار محوری

در صورتی که بلبیرینگ‌های مختلط شیار عمیق تحت بار محوری خالص قرار گیرند مقدار بار نباید از $0.5C_0$ بیشتر باشد. بیرینگ‌های کوچک‌تر (قطر داخلی تا 12 mm) و بیرینگ‌های سری قطر سبک 0 نباید تحت بار محوری بیشتر از $0.25C_0$ قرار گیرند. بار محوری اضافی باعث کاهش عمر بیرینگ می‌شود.

بار معادل دینامیکی بیرینگ

اگر $F_a/F_r \le e$ $\quad P = F_r$

اگر $F_aF_r/ > e$ $\quad P = 0.46F_r + YF_a$

ضریب e و Y به رابطه f_0F_a/C_0 بستگی داشته که در آن f_0 ضریب محاسباتی (جداول بیرینگ‌ها)، F_a مؤلفه محوری بار و C_0 ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی می‌باشد.

همچنین این ضرایب به لقی داخلی شعاعی نیز بستگی دارند. برای بیرینگ‌ها با لقی C3 که با استفاده از انطباقات جدول ۲ و ۴ و ۵ صفحات ۱۵۷ تا ۱۵۹ نصب شده‌اند. مقادیر e و Y در جدول ۳ آورده شده‌اند.

بار معادل استاتیکی بیرینگ

$$P_0 = 0.6F_r + 0.5F_a$$

اگر $P_0 < F_r$ باشد، باید $P_0 = F_r$ استفاده کرد.

جدول ۳ ضرایب محاسباتی برای بلبیرینگهای شیار عمیق مختلط با لقی داخلی شعاعی C3

f_0F_a/C_0	e	Y
0.172	0.29	1.88
0.345	0.32	1.71
0.689	0.36	1.52
1.03	0.38	1.41
1.38	0.40	1.34
2.07	0.44	1.23
3.45	0.49	1.10
5.17	0.54	1.01
6.89	0.54	1.00

قابلیت سرعت

بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط با قفسه پلی آمید می‌توانند در سرعت‌های بالاتری نسبت به بیرینگ‌های فولادی کار کنند. سرعت‌های حدی در جداول بیرینگ‌ها برای قفسه، آب‌بند و گریس استاندارد مطابق شماره فنی ذکرشده مناسب می‌باشند بیرینگ‌های مختلط با قفسه نوع پلی اتراترکتون (PEEK) می‌توانند در سرعت‌ها و دماهای بالاتر بکار برده شوند.

مقادیر سرعت مرجع نشان داده‌شده در جداول بیرینگ‌های آب‌بند برای بیرینگ‌های باز نیز صحیح می‌باشند و فقط نشان‌دهنده قابلیت سرعت این بیرینگ‌ها هستند. برای بیرینگ‌های آب‌بند سرعت کارکرد باید از مقدار سرعت حدی در جداول کم‌تر باشد.

عملکرد بیرینگ‌های مختلط در شرایطی که ارتعاش و لرزش وجود دارد بسیار عالی است. بنابراین برای کارکرد در این شرایط بیرینگ‌ها نیازی به گریس خاص یا پیش بار ندارند.

خواص نیترید سیلیکون

خواص نیتریدسیلیکون (سرامیک) گرید بیرینگ (Si_3N_4) در بخش « جنس بیرینگ‌ها » در صفحه ۱۲۶ آورده شده است.

خواص الکتریکی

بیرینگ‌های مختلط به طور مؤثر از خرابی گریس و سطوح غلتش ناشی از قوس الکتریکی به علت عبور جریان DC یا AC جلوگیری می‌کنند، امپدانس بیرینگ‌های مختلط بسیار بالا می‌باشد و حتی در فرکانس‌های بالا نیز حفاظت خوبی در مقابل جریان الکتریکی ایجاد می‌کند. در بیرینگ‌های کوچک با آب‌بند اکریلو نیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فلزی حد ولتاژ برای ایجاد اولین قوس الکتریکی بین آب‌بند و رینگ‌ها بیش از 2.5kVDC است.

پسوندها در شماره فنی بیرینگ

پسوندهایی که در شماره فنی بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط برای نشان دادن امکانات خاص یک بیرینگ بکار می‌روند، در زیر آورده شده‌اند.

C3 لقی داخلی بیشتر از نرمال

F1 مقدار گریس 15٪ - 10 فضای خالی بیرینگ

HC5 اجزاء غلتنده (ساچمه‌ها) از جنس نیترید سیلیکون

2RS1 آب‌بند تماسی از جنس لاستیک اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در دو طرف بیرینگ

2RSH2 آب‌بند کم اصطکاک جنس لاستیک فلورو (FKM) تقویت‌شده با ورق فولادی در دو طرف بیرینگ

THN قفسه نوع Snap از جنس پلی اتراترکتون (PEEK) تقویت‌شده با الیاف شیشه، ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

2RSL آب‌بند کم اصطکاک از جنس اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در دو طرف بیرینگ

2RZ آب‌بند کم اصطکاک از جنس اکریلونیتریل بوتادین (NBR) تقویت‌شده با ورق فولادی در دو طرف بیرینگ

TN9 قفسه جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها

WT گریس با روغن پایه پلی اوره و غلظت ۲-۳ مطابق مقیاس NLGI برای دمای 40- °C تا 160+ °C (میزان گریس در حد نرمال)

شکل ٤

انتخاب ابعاد بیرینگ

روش انتخاب ابعاد بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط مشابه بیرینگ‌های فولادی می‌باشد و لازم است مطابق راهنمایی‌های بخش « انتخاب ابعاد بیرینگ » در صفحه ۴۱ انجام شود. به علت مدول الاستیسته بالای ساچمه‌های سرامیکی ضریب اطمینان استاتیکی s_0 باید به میزان زیر

$$s_{hybrid} = 1.1 s_{0\ all-steel}$$

نسبت به بیرینگ‌های‌فولادی افزایش داده شود.

مقادیر توصیه شده s_0 برای بیرینگ‌های فولادی در جدول ۱۰ صفحه ۶۹ آورده شده‌اند.

روانکاری

اکثر بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط به صورت آب‌بند به همراه گریس می‌باشند. برای بیرینگ‌های باز گریس نوع SKF LGHP2 برای موتورهای الکتریکی توصیه می‌شود. برای سرعت‌های بالا و در دمای پایین‌تر از 70 °C استفاده از گریس SKF LGLC2 یا SKF LGLT2 توصیه می‌شود. برای اطلاعات بیشتر در رابطه با گریس‌های فوق به بخش « روانکاری » در صفحه ۲۱۷ مراجعه‌کنید.

در کاربردهایی که عمر زیاد در سرعت‌های کارکرد بالا الزامی است، باید از روانکار روغن استفاده شود. روش‌های زیر برای روانکاری توصیه می‌شوند.

- روانکاری به روش جت روغن
- روانکاری به روش مخلوط روغن و هوا

روانکاری به روش مخلوط روغن و هوا کمک سیستم VOGEL OLA Oil + Air (شکل ۴) [2] روانکاری مطمئن با میزان روغن کم را تضمین می‌کند این سیستم باعث کاهش دمای کارکرد در سرعت‌های بالا و کاهش انتشار روغن به محیط زیست می‌شود.

برای اطلاعات بیشتر در رابطه با طراحی سیستم‌های روانکاری مخلوط روغن و هوا به مراجع [3] مراجعه کنید.

مراجع:

[1] SKF Catalogue "High-Precision Bearings"
[2]VOGEL Publication l-SO12-3 "Oil + Art Systems"
[3] www.vogelag.com

فصل (۱۱-۲)

بیرینگ‌های عایق الکتریکی INSOCOAT ®

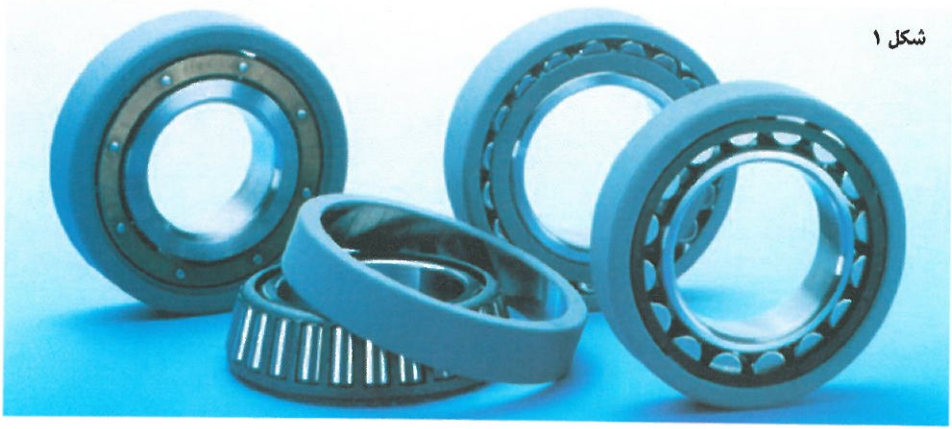
طرح‌های بیرینگ‌های INSOCOAT ۴۸۷
بیرینگ‌های INSOCOAT با پوشش رینگ خارجی ۴۸۷
بیرینگ‌های INSOCOAT با پوشش رینگ داخلی ۴۸۷
انواع دیگر بیرینگ‌ها INSOCOAT ۴۸۷
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۴۸۸
ابعاد ۴۸۸
تلرانس‌ها ۴۸۸
لقی داخلی ۴۸۸
قفسه‌ها ۴۸۸
بار حداقل ۴۸۸
ظرفیت حمل بار محوری ۴۸۸
بار معادل بیرینگ ۴۸۸
خواص الکتریکی ۴۸۸
طراحی اجزاء دربرگیرنده بیرینگ ۴۸۹
نصب، تعمیر و نگهداری ۴۸۹

رولربیرینگ‌ها در موتورهای الکتریکی، ژنراتورها و تجهیزات مشابه در معرض خرابی سطوح غلتش، اجزای غلتنده و گریس ناشی از عبور جریان الکتریکی می‌باشد. احتمال خرابی در صورت استفاده از مبدل فرکانسی (Frequency Convertor) برای کنترل دور موتور که استفاده از آن در صنایع رو به افزایش است، بیشتر می‌باشد. در یک موتور القایی کنترل شونده توسط فرکانس، جریان با فرکانس بالا در بیرینگ به علت ظرفیت‌های سرگردان (Stray Capacitance) موتور ایجاد می‌شود.

برای حل این مشکل و جلوگیری از عبور جریان الکتریکی از بیرینگ، بیرینگ‌ها با عایق الکتریکی (شکل ۱) با نام INSOCOAT طراحی شده‌اند. بیرینگ‌های INSOCOAT اقتصادی‌ترین راه‌حل در مقایسه با روش‌های دیگر عایق کاری بیرینگ می‌باشند. با عایق کردن بیرینگ، قابلیت اطمینان و عمر بیرینگ با حذف خطرات بالقوه خرابی بیرینگ، افزایش می‌یابد.

بیرینگ‌های INSOCOAT دارای یک لایه 100 µm از اکسید آلومینیوم (Aluminum Oxide) بر روی سطوح بیرونی رینگ داخلی یا خارجی می‌باشد. این لایه می‌تواند در برابر ولتاژی تا 1000 VDC مقاومت کند. تکنیک اسپری پلاسما (Plasma Spray) یک پوشش چسبنده با ضخامت یکنواخت را تضمین می‌کند. عملیات بیشتری بعداً روی این لایه انجام می‌گیرد تا نسبت به نم و رطوبت غیرحساس شود.

بیرینگ‌های INSOCOAT را می‌توان مانند بیرینگ‌های دیگر نگهداری، جابجایی و نصب کرد.



شکل ۱

طرح‌های بیرینگ‌های INSOCOAT

بیرینگ‌های INSOCOAT در طرح‌های زیر تولید می‌شوند.

- بلبیرینگ شیار عمیق یک ردیفه و
- رولربیرینگ استوانه‌ای یک ردیفه

بیرینگ‌های فوق در ابعاد و طرح‌هایی که مصرف زیادی دارند، تولید می‌شوند. اطلاعات فنی دقت‌های ابعادی و حرکتی، بیرینگ‌های INSOCOAT مانند بیرینگ‌های استاندارد بدون پوشش می‌باشد.

محدوده تولیدات استاندارد شامل بیرینگ‌ها با پوشش رینگ خارجی یا داخلی با طرح باز می‌باشد. بلبیرینگ‌های شیار عمیق با حفاظ فلزی Z یا آب‌بند تماسی RS1 نیز تولید می‌شوند.

بیرینگ‌های INSOCOAT با پوشش رینگ خارجی

بیرینگ‌ها با پوشش عایق بر روی سطح رینگ خارجی بیرینگ بیشترین کاربرد را دارند. این بیرینگ‌ها با پسوند VL0241 در شماره فنی بیرینگ مشخص می‌شوند.

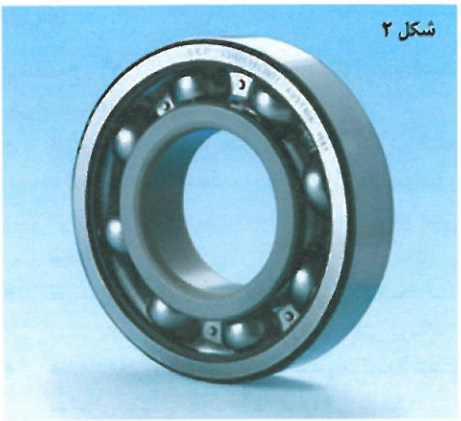
برای کاربردهایی که بیرینگ‌های کوچک‌تر از بیرینگ‌های موجود در جداول لازم است باید از بلبیرینگ‌های شیار عمیق مختلط استفاده کرد.

بیرینگ‌های INSOCOAT با پوشش رینگ داخلی

بیرینگ‌های INSOCOAT با پوشش سطح داخلی رینگ داخلی (شکل ۲) مقاومت الکتریکی بیشتری در برابر عبور جریان الکتریکی ایجاد می‌کنند. زیرا به علت سطح پوشش کوچک‌تر دارای امپدانس بیشتر می‌باشند. این بیرینگ‌ها با پسوند VL2071 در شماره فنی بیرینگ مشخص می‌شوند.

انواع دیگر بیرینگ‌ها INSOCOAT

اگر محدوده استاندارد بلبیرینگ‌های شیار عمیق و رولربیرینگ‌های استوانه‌ای INSOCOAT برای یک کاربرد کافی نباشند، می‌توان ابعاد و انواع دیگر بیرینگ‌ها را با پوشش حداکثر 300 µm اکسیدآلومینیوم بر روی رینگ خارجی سفارش داد.



شکل ۲

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی بلبیرینگ‌های شیار عمیق و رولربیرینگ‌های استوانه‌ای INSOCOAT مطابق استاندارد ISO 15:1998 است.

تلرانس‌ها

بیرینگ‌های INSOCOAT با تلرانس‌های نرمال تولید می‌شوند. بعضی از بلبیرینگ‌های شیار عمیق با تلرانس بهتر P5 نیز موجود می‌باشند. مقادیر تلرانس مطابق استاندارد ISO 492:2002 بوده و در جداول ۳ و ۵ در صفحات ۱۱۳ و ۱۱۵ آورده شده‌اند.

لایه پوشش 100 µm اکسید آلومینیوم بر روی سطوح خارجی یا داخلی بیرینگ اثری بر دقت‌های ابعادی و حرکتی بیرینگ ندارد.

لقی داخلی

بلبیرینگ‌ها شیار عمیق و رولربیرینگ‌های استوانه‌ای به صورت استاندارد و با لقی داخلی شعاعی نشان داده شده در شماره فنی آنها تولید می‌شوند.

حدود لقی در جداول زیر آورده شده‌اند

- جدول ۴ صفحه ۲۷۵ برای بلبیرینگ‌های شیار عمیق
- جدول ۱ صفحه ۳۶۱ برای رولربیرینگ‌های استوانه‌ای

مقادیر لقی در جداول برای بیرینگ نصب‌نشده و بدون بار صحیح می‌باشند.

قفسه‌ها

بیرینگ‌های INSOCOAT وابسته به ابعاد و نوع بیرینگ با یکی از قفسه‌های زیر تولید می‌شوند.

- قفسه نوع پنجره‌ای از جنس پلی آمید 6.6 تقویت‌شده با الیاف شیشه (ساخته‌شده به روش تزریق پلاستیک) و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها، پسوند P در شماره فنی بیرینگ
- قفسه پرچ‌شده از جنس فولاد پرسکاری‌شده و مرکزشده نسبت به ساچمه‌ها بدون پسوند در شماره فنی بیرینگ
- قفسه برنجی ماشینکاری‌شده دو تکه و مرکزشده نسبت به اجزای غلتنده، پسوند M در شماره فنی بیرینگ

برای اطلاعات بیشتر در رابطه با این قفسه به بخش‌های « بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه » در صفحه ۲۶۸ و « رولربیرینگ‌های استوانه‌ای یک ردیفه » در صفحه ۳۵۵ مراجعه کنید.

بار حداقل

به منظور کارکرد قابل قبول، بیرینگ‌های INSOCOAT مانند بیرینگ‌های بدون پوشش باید تحت بار حداقل باشند. میزان بار حداقل توصیه شده برای بیرینگ‌های INSOCOAT از روابط مشابه با بیرینگ‌های بدون پوشش محاسبه می‌شود که در بخش‌های زیر آمده است.

- بلبیرینگ‌های شیار عمیق در صفحه ۲۷۶
- رولربیرینگ‌های استوانه‌ای در صفحه ۳۶۵

ظرفیت حمل بار محوری

ظرفیت حمل بار محوری بیرینگ‌های INSOEOAT مشابه بیرینگ‌های بدون پوشش می‌باشد. و در بخش‌های زیر آورده شده‌اند.

- بلبیرینگ‌های شیار عمیق صفحه ۲۷۷
- رولربیرینگ‌های استوانه‌ای صفحه ۳۶۶

بار معادل بیرینگ

روش‌های محاسبه بار معادل برای بیرینگ‌های INSOCOAT مشابه بیرینگ‌های بدون پوشش می‌باشد که در بخش‌های زیر آورده شده‌اند.

- بلبیرینگ‌های شیار عمیق در صفحه ۲۷۷
- رولربیرینگ‌های استوانه‌ای در صفحه ۳۶۷

خواص الکتریکی

لایه عایق در بیرینگ‌های INSOCOAT مقاومت مؤثری در برابر جریان‌های AC و DC ایجاد می‌کند. حداقل مقاومت اهمی 50 MΩ در 1000 VDC است. آزمایش شکست مقاومت لایه عایق الکتریکی را در 3000 VDC نشان داده است.

طراحی اجزاء دربرگیرنده بیرینگ

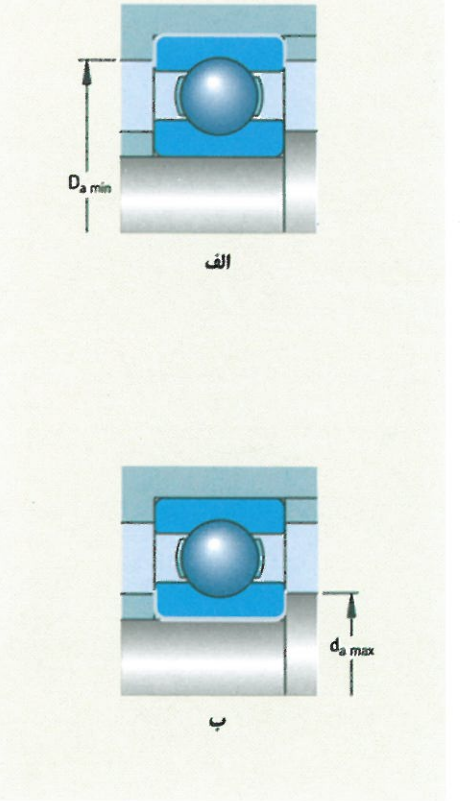
به علت وجود لایه عایق توصیه می‌شود،

- در بیرینگ‌ها با عایق بر روی سطح خارجی رینگ خارجی نوع VL0241، قطر پله یا رینگ فاصله‌اندازه نباید از قطر پله $D_{a\ min}$ (شکل ۳ الف) که در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است، کم‌تر باشد.
- در بیرینگ‌ها با عایق بر روی سطح داخلی رینگ داخلی نوع VL 2071، قطر پله شفت یا رینگ فاصله انداز نباید بزرگ‌تر از قطر پله $d_{a\ max}$ (شکل ۳ ب) که در جداول بیرینگ‌ها آورده شده است، باشد.

نصب، تعمیر و نگهداری

هنگام نصب بیرینگ‌های INSOCOAT، می‌توان مانند انواع دیگر بیرینگ‌ها عمل نمود. روانکاری مناسب برای استفاده از حداکثر عمر این بیرینگ‌ها لازم می‌باشد و بهترین روش گریس کاری مجدد و متناوب است.

شکل ۳



فصل (۱۱-۳)

بیرینگ‌ها، مجموعه بیرینگ‌ها و نشیمنگاه‌ها برای دماهای بالا

بلبیرینگ‌های شیار عمیق برای دماهای بالا ۴۹۳
طرح VA201 برای کاربردهای عمومی ۴۹۳
طرح 2Z/VA201 با حفاظ فلزی ۴۹۳
طرح 2Z/VA208 برای شرایط سخت ۴۹۳
طرح 2Z/VA228 برای بدترین شرایط ۴۹۳
طرح 2Z/VA216 برای محیط‌های خورنده ۴۹۴
Y- بیرینگ‌ها برای دماهای بالا ۴۹۴
Y- بیرینگ‌های طرح VA201 و VA228 ..... ۴۹۴
مجموعه Y ـ بیرینگ‌ها برای دماهای بالا ۴۹۵
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۴۹۶
ابعاد ۴۹۶
تلرانس‌ها ۴۹۶
لقی داخلی ۴۹۶
عدم همراستایی ۴۹۶
سرعت‌ها ۴۹۷
طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ ۴۹۷
انتخاب ابعاد بیرینگ ۴۹۸
تعمیر و نگهداری ۴۹۹

شکل ۱

در چیدمان‌هایی که بیرینگ‌ها باید در دمای 150+ °C تا 350+ °C کار کنند و یا در برابر تغییرات دمای زیاد مقاوم باشند، نظیر واگن‌های کوره، سیستم‌های کوره یا نوار نقاله تجهیزات لیکورینگ (lacquering)، نمی‌توان از بیرینگ‌های معمولی استفاده نمود. لذا بیرینگ‌های زیر را برای دماهای بالا تولید می‌شوند.

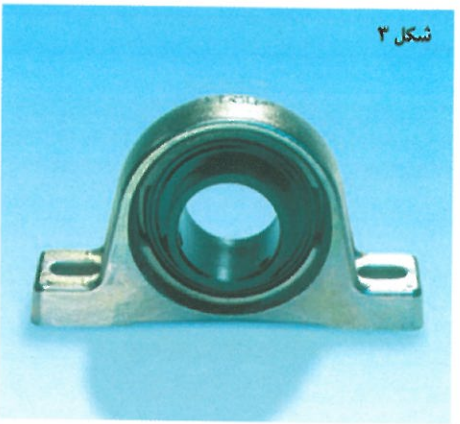
- بلبیرینگ‌های شیار عمیق (شکل ۱)
- Y- بیرینگ‌ها (شکل ۲)
- نشیمنگاه‌های Y- بیرینگ (شکل ۳)
- مجموعه Y- بیرینگ‌های فلنج‌دار

این بیرینگ‌ها نیازهای مهندسی کاربردهای مختلف را بر آورده و موجب

- کاهش هزینه کارکرد ماشین‌آلات،
- افزایش عمر کارکرد بدون نیاز به تعمیر و نگهداری
- و افزایش قابلیت اطمینان کارکرد،

در دمای بالا و حتی در شرایط محیطی سخت می‌شوند. بیرینگ‌ها و مجموعه بیرینگ‌ها و نشیمنگاه‌ها برای دماهای بالا که در محدوده تولیدات استاندارد هستند، در این بخش شرح داده می‌شوند. انواع دیگر بیرینگ‌های خاص برای دماهای خیلی پایین یا خیلی بالا، که مطابق نیازهای خاص مهندسی می‌باشند، بنا به سفارش تولید می‌شوند.

شکل ۲


شکل ۳

بلبیرینگ‌های شیار عمیق برای دماهای بالا

بلبیرینگ‌های شیار عمیق برای دماهای بالا و پایین مطابق با طرح بیرینگ‌های استاندارد شیار عمیق یک ردیفه تولید می‌شوند. این بیرینگ‌ها شیار جازنی ساچمه نداشته و می‌توانند علاوه بر بار شعاعی بار محوری متوسط را نیز تحمل کنند. لقی‌داخلی زیاد و قفسه خاص از مشخصه‌های این بیرینگ‌ها می‌باشند. لقی داخلی بیشتر از ۴ برابر لقی C5 از گریپاژ این نوع بیرینگ‌ها حتی وقتی به طور ناگهانی سرد می‌شوند، جلوگیری می‌کند. تمام سطح بیرینگ و حفاظ فلزی توسط فسفات منگنز (Manganese Phosphated) پوشش داده شده‌اند که از خوردگی‌سطوح جلوگیری و خواص حرکتی بیرینگ را بهبود می‌دهد.

بلبیرینگ‌های شیار عمیق برای دماهای بالا دارای رینگ داخلی استوانه‌ای می‌باشند. و در پنج طرح مختلف که در زیر شرح داده شده‌اند تولید می‌شود.

طرح VA201 برای کاربردهای عمومی

بیرینگ‌های طرح VA201 آب‌بند نبوده و دارای قفسه پرسکاری‌شده فولادی هستند. (شکل ۴ الف) این بیرینگ‌ها با مخلوط پلی الکالین گلایکول و گرافیت (Polyalkylene Glycol / Graphit) که می‌تواند در دمای 40- °C تا 250+ °C بکار برده شوند، روانکاری می‌شوند. در دماهای بالاتر از 200+ °C روانکاری خشک مناسب است.

طرح 2Z/VA201 با حفاظ فلزی

بیرینگ‌های طرح 24/VA201 (شکل ۴ ب) دارای طرح مشابهی با بیرینگ‌های VA201 می‌باشند، ولی دو طرف بیرینگ دارای حفاظ فلزی است به طوری که از ورود آلودگی‌های جامد به داخل بیرینگ جلوگیری می‌کنند. به علاوه این بیرینگ‌ها دو برابر طرح VA201 محتوی مخلوط پلی الکالین گلایکول و گرافیت می‌باشند. این بیرینگ‌ها برای کاربردهای غیر دورانی توصیه نمی‌شوند.

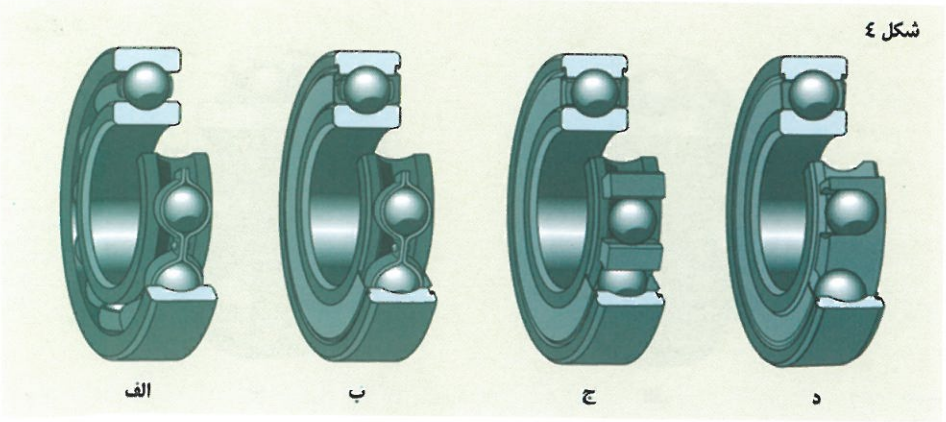
طرح 2Z/VA208 برای شرایط سخت

این بیرینگ‌ها (شکل ۴ ج) دارای قفسه‌های گرافیتی چند تکه می‌باشند که می‌توانند در محدوده دمای 150- °C تا 350+ °C بکار برده شوند. تکه‌های گرافیتی ساچمه‌ها را از هم جدا کرده و عمل روانکاری را انجام می‌دهند. این بیرینگ‌ها دارای دو حفاظ فلزی می‌باشند که ضمن راهنمایی محوری تکه‌های قفسه در مسیر خود از ورود آلودگی‌های‌جامد به بیرینگ جلوگیری می‌کنند. مقدار کمی پودر گرافیت از قفسه در هنگام دوران بیرینگ کنده‌شده که روانکاری مناسبی برای بیرینگ ایجاد می‌کند.

مزیت دیگر این بیرینگ‌ها مضر نبودن آنها برای محیط زیست است. هیچ گونه گاز یا بخار خطر ناکی، حتی در دماهای بالا، از این بیرینگ تولید نمی‌شود.

طرح 2Z/VA228 برای بدترین شرایط

بیرینگ‌های طرح 2Z/VA228 (شکل د) با کیفیت‌ترین بیرینگ‌ها برای دمای بالا می‌باشند. این بیرینگ‌ها دارای قفسه



نوع Coronet از گرافیت خالص می‌باشند که این بیرینگ‌ها را برای کاربردها در بدترین شرایط دمای مناسب می‌کند. با قفسه طرح Coront می‌توان به سرعت r/min 100 با این بیرینگ‌ها دست یافت.

جنبه‌های دیگر این بیرینگ‌ها مشابه طرح VA208 است.

طرح 2Z/VA216 برای محیط‌های خورنده

برای چیدمان‌های که محیط آنها خورنده است بیرینگ‌ها طرح 2Z/VA216 توصیه می‌شوند. این بیرینگ‌ها از گریس کرم مانند سفید (Creamy-White)، چند منظوره بر پایه مخلوط روغن پلی اتر فلورایدشده (Fluorized Polyether) و PTFE پر شده‌اند و برای محدوده دمای C° 40- تا C° 230 مناسب می‌باشند. طرح این بیرینگ‌ها مشابه طرح 2Z/VA201 است. در شرایط طبیعی، بین ٪25 تا ٪35 فضای خالی بیرینگ از گریس پر شده است ولی می‌توان مقدار گریس را بنا به سفارش افزایش داد.

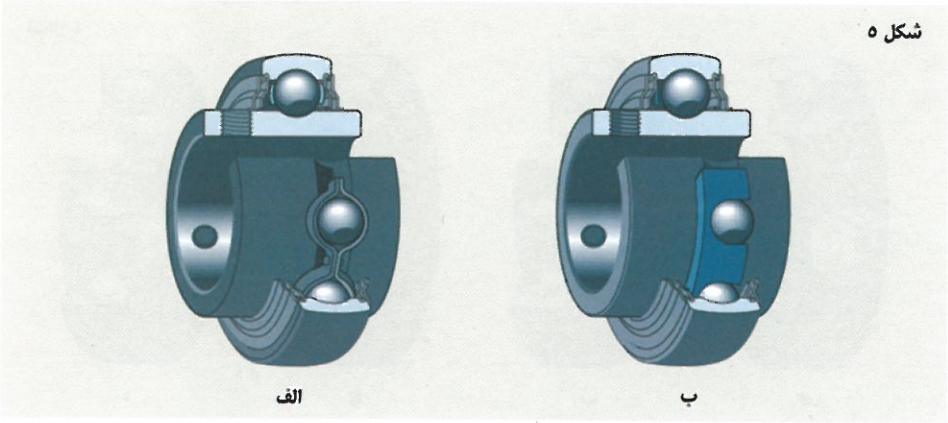
Y- بیرینگ‌ها برای دماهای بالا

Y- بیرینگ‌ها برای دماهای بالا در طرح مشابه Y- بیرینگ‌های سری YAR 2-2FW با پیچ مغزی قفل‌کن تولید می‌شوند. مشخصه‌های این بیرینگ‌ها برای دماهای بالا، لقی داخلی زیاد، قفسه و حفاظ فلزی خاص می‌باشند. مانند بلبیرینگ‌های شیار عمیق برای دماهای بالا کلیه سطوح این بیرینگ‌ها با فسفات منگنز پوشش داده شده‌اند. این موضوع موجب حفاظت در برابر خوردگی و بهبود خواص حرکتی می‌شود. Y- بیرینگ‌ها برای دماهای بالا و پایین در دو طرح مختلف موجود می‌باشند.

Y- بیرینگ‌های طرح VA201 و VA228

Y- بیرینگ‌های طرح VA201 (شکل ۵ الف) و طرح VA228 (شکل ۵ ب) دارای طرحی مشابه بلبیرینگ‌های شیار عمیق با مشخصه V یکسان هستند و فقط لقی داخلی آنها دو برابر لقی C5 است. این Y- بیرینگ‌ها دارای حفاظ فلزی از جنس فولاد پرسکاری‌شده به همراه دو زبانه (Flinger) در طرفین بیرینگ بوده که از ورود آلودگی‌های جامد به داخل بیرینگ جلوگیری می‌کنند.

شکل ۵



ب

الف

مجموعه Y ـ بیرینگ‌ها برای دماهای بالا

مجموعه Y- بیرینگ‌ها برای دماهای بالا دارای نشیمنگاه از جنس چدن خاکستری (Grey Cast Iron) بوده و در طرح‌های مختلف زیر می‌باشند.

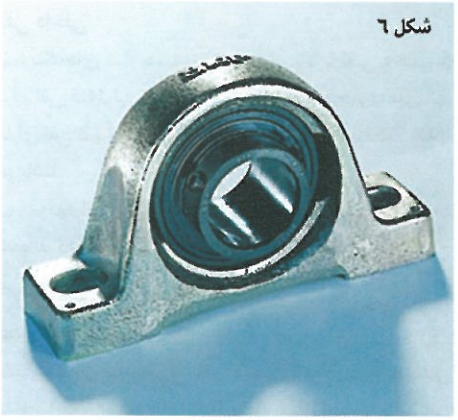
- مجموعه نشیمنگاه Plummber (Pillow) Block (شکل ۶)
- مجموعه نشیمنگاه فلنجی مربع شکل با چهار سوراخ (شکل ۷) و
- مجموعه نشیمنگاه فلنجی بیضی شکل با دو سوراخ (شکل ۸)

بیرینگ‌ها در مجموعه‌های فوق در بخش قبل شرح داده شده‌اند.

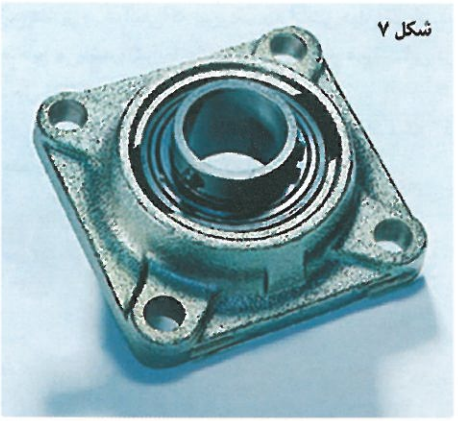
نشیمنگاه چدنی این مجموعه با نشیمنگاه مجموعه‌های Y- بیرینگ‌ها معمولی قابل تعویض می‌باشد. و فقط برای تعدادی از اندازه‌های خاص بعضی از ابعاد کمی متفاوت هستند. نشیمنگاه‌ها دارای پوش روی (Zinc) و کرم زرد (Yellow Chromated) بوده تا حفاظت بهتری در مقابل خوردگی ایجاد کنند.

نشیمنگاه‌ها دارای امکانات گریس کاری نمی‌باشند زیرا بیرینگ داخل آنها برای کل مدت عمر خود گریس کاری شده است. سطح داخلی نشیمنگاه به روانکار آغشته شده است و تلرانس‌ها به صورتی است که عدم همراستایی اولیه حتی در دمای بالا نیز تحمل می‌شود.

شکل ٦



شکل ۷



شکل ۸

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی

- بلبیرینگ‌های شیار عمیق مطابق ISO 15:1998
- Y- بیرینگ‌ها مطابق ISO 9628:1992
- مجموعه Y- بیرینگ‌ها مطابق ISO 3228:1993 می‌باشند.

تلرانس‌ها

بلبیرینگ‌های شیار عمیق و Y- بیرینگ‌ها با تلرانس‌های نرمال مطابق استانداردهای زیر تولید می‌شوند.

- ISO 492:2002 (جدول ۳، صفحه ۱۱۳) برای بلبیرینگ‌ها و
- ISO 9628:1992 (جدول ۱) برای Y- بیرینگ‌ها

البته به علت پوشش سطوح بیرینگ برای حفاظت در برابر خوردگی و بهبود خواص‌حرکتی ممکن است انحرافاتی نسبت به تلرانس‌های استاندارد وجود داشته باشد. این انحرافات تأثیری در نصب و یا کارکرد بیرینگ ندارند.

Y- بیرینگ‌ها برای شفت‌های اینچی با تلرانس‌های مشابه با بیرینگ‌های شفت‌های متریک ساخته می‌شوند.

تلرانس ارتفاع H_1 از محور شفت تا سطح محل نشیمنگاه نوع Plummber Block برابر 0/-0.25 mm است.

لقی داخلی

بلبیرینگ‌های شیار عمیق برای دماهای بالا با لقی داخلی 5 برابر لقی C5 تولید می‌شوند. Y- بیرینگ‌ها و مجموعه‌های آنها دارای لقی 2 برابر لقی C5 مطابق استاندارد ISO 5753:1991 می‌باشند.

حدود لقی برای بیرینگ‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده‌اند که برای بیرینگ نصب‌نشده و بدون بار صحیح می‌باشند.

عدم همراستایی

بلبیرینگ‌های شیار عمیق برای دماهای بالا به علت لقی داخلی زیاد می‌توانند 20 تا 30 دقیقه کمان عدم همراستایی زاویه‌ای رینگ داخلی نسبت به رینگ خارجی را تحمل کنند. این مقادیر در شرایطی که بیرینگ به آرامی دوران می‌کند، صحیح می‌باشد و شرایط غلتش تحت این عدم همراستایی در داخل بیرینگ مناسب نمی‌باشد.

مجموعه Y ـ بیرینگ‌ها در حین نصب می‌توانند تا 5′ عدم همراستایی ناشی از خطای ساخت را جبران کنند.

جدول ۱ تلرانسهای Y- بیرینگها

قطر نامی d,D		قطر داخلی انحراف		قطر خارجی انحراف	
بیشتر از	تا و شامل	high	low	high	low
mm		µm		µm	
18	30	+18	0	–	–
30	50	+21	0	0	-10
50	80	+24	0	0	-10
80	120	+28	0	0	-15

جدول ۲ لقی داخلی شعاعی

قطر داخلی d		لقی داخلی شعاعی بلبیرینگهای شیار عمیق		Y- بیرینگها مجموعه Y- بیرینگها	
بیشتر از	تا و شامل	min	max	min	max
mm		µm		µm	
	10	80	148	–	–
10	18	100	180	–	–
18	24	112	192	56	96
24	30	120	212	60	106
30	40	160	256	80	128
40	50	180	292	90	146
50	65	220	360	110	180
65	80	260	420	–	–
80	100	300	480	–	–
100	120	360	560	–	–

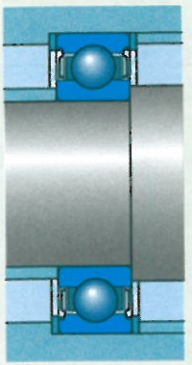
سرعت‌ها

بلبیرینگ‌های شیار عمیق و Y- بیرینگ‌ها برای دماهای بالا (در طرح‌های VA201، VA208 و VA228) برای چیدمان‌هایی که در آنها بیرینگ‌ها به آرامی، با چند دور در دقیقه، دوران می‌کنند، طراحی و توسعه داده شده‌اند. هر چند تجربه نشان داده است که می‌توان این بیرینگ‌ها را برای مدت طولانی و در سرعت‌هایی تا 100 r/min بدون نیاز به تعمیر و نگهداری نیز بکار برد.

طراحی اجزای دربرگیرنده بیرینگ

حفاظ فلزی در بیرینگ‌های 2Z/VA228 تحت فشار محوری از طرف قفسه قرار می‌گیرد، لذا توصیه می‌شود که این حفاظها توسط واشرها و اجزای مجاور حمایت شوند (شکل ۹). بنابراین پله نشیمنگاه یا واشر فاصله اندازه باید قطر کم‌تری نسبت به پیشانی رینگ خارجی (مقدار D2 در جداول بیرینگ‌ها) داشته باشد. در صورتی که این کار امکان‌پذیر نیست می‌توان از واشر حمایت‌کنند با ابعاد مناسب بین بیرینگ و پله نشیمنگاه و واشر فاصله‌انداز استفاده نمود.

شکل ۹



انتخاب ابعاد بیرینگ

از آن جایی که این بیرینگ‌ها و مجموعه Y- بیرینگ‌ها با سرعت خیلی پایین دوران می‌کنند. ابعاد بیرینگ بر اساس ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی C_0 تعیین می‌شود.

در دمای بالا ظرفیت حمل بار بیرینگ کاهش می‌یابد برای این منظور ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی C_0 در ضریب دمای f_T ضرب می‌شود.

ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی مورد نیاز را می‌توان از رابطه زیر تعیین نمود.

$$C_{0\ req} = 2P_0 / f_T$$

که در آن

$C_{0\ req}$ = ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی مورد نیاز، kN

P_0 = بار معادل استاتیکی بیرینگ، kN

f_T = ضریب دما (جدول ۳)

می‌باشند. بار معادل استاتیکی P_0 از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$P_0 = 0.6F_r + 0.5F_a$$

که در آن

F_r = بار شعاعی واقعی بیرینگ، kN

F_a = بار محوری واقعی بیرینگ، kN

در هنگام محاسبه P_0 باید حداکثر باری را که ممکن است اعمال شود، در نظر گرفت و مؤلفه‌های شعاعی و محوری آن در محاسبه وارد کرد. اگر $P_0 < F_r$ باشد، باید از $P_0 = F_r$ استفاده نمود. برای بار و دماهای مختلف مقادیر $C_{0\ req}$ در جدول ۴ آورده شده‌اند با استفاده از ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی محاسبه‌شده یا به دست آمده از جدول ۴ می‌توان بیرینگ مناسب را از جداول بیرینگ‌ها و یا مجموعه بیرینگ‌ها انتخاب نمود.

بیرینگ یا مجموعه Y- بیرینگ انتخابی باید ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی مساوی یا بیشتر از مقدار مورد نیاز داشته باشد.

جدول ۳ ضریب دما f_T

دمای کارکرد	ضریب f_T
°C	–
150	1
200	0,95
250	0,9
300	0,8
350	0,64

جدول ٤ ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی مورد نیاز در شرایط مختلف دما و بار

بار بیرینگ P_0	ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی مورد نیاز C_{0req} برای دمای کارکرد				
	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C
kN	kN				
0,5	1	1,05	1,11	1,2	1,56
1	2	2,1	2,22	2,5	3,12
2	4	4,2	4,44	5	6,25
3	6	6,3	6,67	7,5	9,4
4	8	8,4	8,9	10	12,5
5	10	10,5	11,1	12,5	15,6
6	12	12,6	13,3	15	18,8
7	14	14,7	15,5	17,5	21,9
8	16	16,8	17,8	20	25
9	18	18,9	19,9	22,5	28,1
10	20	21	22,2	25	31,3
11	22	23,1	24,5	27,5	34,4
12	24	25,2	26,7	30	37,5
13	26	27,3	29	32,5	40,5
14	28	29,4	31,1	35	44
15	30	31,5	33,3	37,5	47
16	32	33,6	35	40	50
17	34	35,7	37,8	42,5	53
18	36	37,8	40	45	56
19	38	40	42	47,5	60
20	40	42	44,5	50	62,5
22	44	46	49	55	69
24	48	50,5	53	60	75
26	52	54,5	58	65	81
28	56	59	62	70	87,5
30	60	63	66,5	75	94
32	64	67	71	80	–
34	68	71,5	75,5	85	–
36	72	75,5	80	90	–
38	76	80	84,5	85	–
40	80	84	89	–	–
42	84	88,5	9,5	–	–
44	88	92,5	–	–	–

تعمیر و نگهداری

بیرینگ‌ها و مجموعه Y- بیرینگ‌ها برای دماهای بالا برای تمام مدت عمر کارکرد خود روانکاری شده‌اند و لذا امکانات روانکاری مجدد ندارند. بلبیرینگ شیار عمیق طرح باز VA201 باید بعد از شش ماه کارکرد بازرسی شود. در این شرایط باز کردن نشیمنگاه و یا برای واگن‌های کوره، در آوردن چرخ از روی شفت و تمیز کردن بیرینگ از آلودگی‌ها کافی می‌باشد.

در صورتی که فیلم روانکار خشک بر روی سطوح غلتش وجود نداشته و سطوح براق فلز دیده شود، بیرینگ را باید با گریس دما بالای سیاه رنگ که مخلوطی از پلی الکالین گلیکول و گرافیت است، روانکاری مجدد کرد.

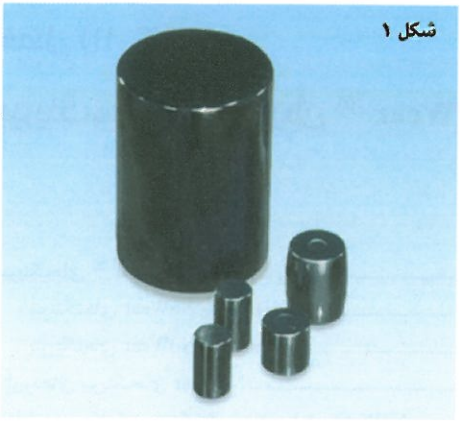
فصل (۱۱-۴)

بیرینگ‌های بدون سایش ® NoWear

بیرینگ‌های ® NoWear ۵۰۲
بیرینگ‌های NoWear طرح L5DA ۵۰۲
بیرینگ‌های NoWear طرح L7DA ۵۰۲
کاربردهای بیرینگ‌های NoWear ۵۰۴
افزایش عمر کارکرد بیرینگ‌های بدون سایش NoWear ۵۰۴
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۵۰۴
ابعاد، تلرانس‌ها و لقی داخلی ۵۰۴
ظرفیت حمل بار ۵۰۴
جنس پوشش NoWear ۵۰۵
روانکاری بیرینگ‌های NoWear ۵۰۵

امروزه بهره‌وری (Productivity) به معنی سرعت بیشتر، دمای کارکرد بالاتر و کاهش تعمیرات است، بیرینگ‌ها باید از مرزهایی که در گذشته در آن محدود بودند فراتر روند. کاربردهای جدید و پیشرفته به بیرینگ‌هایی با کیفیت خاص نیاز دارند که بتوانند تحت شرایط خاص که احتمال سایش، روانکاری مرزی، تغییرات ناگهانی بار، بار کم و یا دمای بالا وجود دارد، بخوبی کار کنند.

برای تحمل این شرایط کارکرد سطوح تماس بیرینگ‌ها را می‌توان با لایه‌ای از سرامیک کم اصطکاک پوشش داد. این پوشش که با نام تجاری NoWear® به وسیله SKF برای رولربیرینگ‌ها توسعه داده شده است و در انحصار شرکت SKF می‌باشد.


شکل ۱

بیرینگ‌های NoWear®

بیرینگ‌های بدون سایش در شرایط کارکرد سخت که بیرینگ‌های معمولی جوابگو نمی‌باشند، بکار می‌روند. این بیرینگ‌ها در شرایطی که روانکار کافی نیست، تغییرات ناگهانی بار، سرعت و ارتعاش وجود دارد. عمر بیشتر نسبت به بیرینگ‌های معمولی دارند.

بیرینگ‌های NoWear® بدون تغییرات زیاد طراحی راه‌حل جدیدی برای کاربردهایی که دارای شرایط سخت می‌باشند بوده و آزادی عمل را برای طرح‌های جدید به دست می‌دهند. این بیرینگ‌ها در شرایط کارکرد خاص در کاربردهایی نظیر ماشین‌آلات کاغذسازی، کشتی‌ها، سکوهای نفتی، فن‌ها، کمپرسورها، پمپ و موتورهای هیدرولیکی مناسب بودن خود به اثبات رسانده‌اند.

اکثر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها را می‌توان با طرح NoWear که در زیر و در جداول شرح داده شده‌اند تولید کرد. طرح‌های دیگر بنا به سفارش ساخته می‌شوند.

بیرینگ‌های NoWear طرح L5DA

بیرینگ‌ها NoWear طرح L5DA بیشترین مصرف را در بین این نوع بیرینگ‌ها دارند. این بیرینگ‌ها دارای اجزای غلتنده (شکل ۱) پوشش داده شده می‌باشند و برای کاربردهایی که در آنها بیرینگ تحت بار کم تا متوسط قرار می‌گیرد و ارتعاش وجود دارد، توصیه می‌شوند.

شکل ۲

بیرینگ‌های NoWear طرح L7DA

بیرینگ‌های NoWear طرح L7DA دارای اجزای غلتنده و سطح غلتش رینگ داخلی پوشش داده شده می‌باشند (شکل ۲). این طرح برای کاربردهایی که مقاومت در برابر سایش ناشی از ذرات ساینده لازم است و یا بار سنگین وجود دارد، توصیه می‌شود.

جدول ۱ محدوده تولیدات بیرینگهای NoWear

نوع بیرینگ نماد	محدوده تولیدات	طرح بیرینگ موجود اجزای غلتنده پوشش داده شده	 اجزای غلتنده + سطح غلتش رینگ داخلی پوشش داده شده
	بلبیرینگهای شیار عمیق – محدوده قطر داخلی d = 15 – 140 mm	L5DA	L7DA
	بلبیرینگهای تماس زاویه ای – محدوده قطر داخلی d = 15 – 140 mm	L5DA	L7DA
	رولر بیرینگهای استوانه ای – محدوده قطر d = 15 – 220 mm – محدوده قطر بیشتر از 220 mm	L5DA L5DA	L7DA –
	رولر بیرینگهای سوزنی – محدوده قطر d = 15 – 220 mm – محدوده قطر بیشتر از 220 mm	L5DA L5DA	L7DA –
	رولر بیرینگهای کروی – محدوده قطر d = 15 – 220 mm – محدوده قطر بیشتر از 220 mm	L5DA L5DA	L7DA –
	رولر بیرینگهایCARB – محدوده قطر d = 15 – 220 mm – محدوده قطر بیشتر از 220 mm	L5DA L5DA	L7DA –
	بلبیرینگهای کف گرد – محدوده قطر داخلی d = 15 – 110 mm	L5DA	–
	رولر بیرینگهای کروی کف گرد – برای کلیه قطرها	L5DA	–

کاربردهای بیرینگ‌های NoWear

در شرایط سختی که بیرینگ‌های NoWear باید بکار روند معمولاً باید چندین پارامتر کارکرد در نظر گرفته‌شده و نسبت به هم سنجیده شوند.

در زیر کاربردهایی که در آنها می‌توان از مزایای بیرینگ NoWear استفاده کرد، شرح داده می‌شوند.

وقتی رولربیرینگ‌های استوانه‌ای، سوزنی، کروی یا توریدال تحت بار کم به همراه سرعت زیاد قرار دارند و عمر محاسبه‌شده بیرینگ قابل دستیابی نیست، استفاده از بیرینگ‌های طرح L5DA توصیه می‌شود.

در بیرینگ‌های طرح L5DA می‌توان دوره روانکاری مجدد، را بدون اثر منفی بر عمر بیرینگ، افزایش داد. البته می‌توان با حفظ دوره روانکاری مجدد سرعت را افزایش داد.

بیرینگ‌های تحت حرکت نوسانی یا ارتعاش خارجی ممکن است به علت عدم روانکاری مناسب دچار از کار افتادگی شوند. در این شرایط استفاده از بیرینگ‌های‌طرح L5DA توصیه می‌شود. هر چند در شرایط سخت‌تر طرح L7DA ترجیح داده می‌شود.

در صورتی که شرایط کارکرد باعث کاهش لزجت در حین کار شود ($\kappa < 1$) و روانکار مناسبی موجود نباشد، بیرینگ‌های NoWear بهترین راه‌حل برای افزایش عمر بیرینگ و افزایش قابلیت اطمینان است. در شرایط فوق استفاده از بیرینگ‌های طرح L5DA توصیه می‌شود. ولی در شرایط روانکاری خاص نظیر روانکاری با ماده فرآیندی، استفاده از طرح پیشرفته‌تر L7DA توصیه می‌شود.

افزایش عمر کارکرد بیرینگ‌های بدون سایش NoWear

بیرینگ‌های بدون سایش برای شرایطی که فیلم روانکاری ناکافی می‌باشد، وقتی که κ کم‌تر از یک است، مناسب هستند. در این شرایط برای محاسبه عمر بیرینگ‌های بدون سایش باید در محاسبات عمر از $\kappa = 1$ استفاده نمود.

افزایش عمر ناشی از استفاده از بیرینگ‌های بدون سایش تحت بار کم و سرعت بالا بستگی به نوع کاربرد دارد ولی بنا بر تجربه افزایش چند برابر را می‌توان انتظار داشت. البته محاسبه عمر تحت این شرایط مشکل می‌باشد.

برای بیرینگ‌های که با گریس روانکاری می‌شوند و در سرعت‌های نزدیک یا بیشتر از سرعت نامی و یا در دماهای بالا کار می‌کنند، دوره روانکاری مجدد بسیار کوتاه می‌باشد. در این شرایط با استفاده از بیرینگ‌های NoWear دوره روانکاری مجدد را می‌توان تا 10 برابر وابسته به شرایط کارکرد افزایش داد.

در شرایط کارکرد با بار زیاد و روانکاری مرزی در صورت نیاز به افزایش‌عمر کارکرد، بیرینگ‌های NoWear می‌توانند راه‌حل مناسبی باشند. پوشش ضدسایش، بیرینگ را در مقابل خرابی ناشی از بار سنگین و ثابت وارده بیرینگ که به علت خستگی ایجاد می‌شود، حفاظت نمی‌کند. تحت بارهای سنگین تنش برشی حداکثر زیر سطح پوشش و در فولاد بیرینگ اتفاق می‌افتد که مشابه فولاد بیرینگ‌های معمولی است.

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد، تلرانس‌ها و لقی داخلی

ابعاد، تلرانس‌ها و لقی داخلی بیرینگ‌های NoWear مشابه بیرینگ‌های استاندارد می‌باشند.

ظرفیت حمل بار

ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی و استاتیکی بیرینگ‌های Nowear مشابه بیرینگ‌های استاندارد می‌باشند.

جنس پوشش NoWear

یک فرایند رسوب بخار برای پوشش سرامیکی کم اصطکاک انجام می‌گیرد. بیرینگ‌هایی که بدین شکل پوشش داده می‌شوند دارای خواص الاستیک ماده زیرین ولی سختی و ضریب اصطکاک کم و مقاومت به سایش پوشش می‌باشند. در حین کارکرد مقداری از پوشش (در حد میکرون) به سطوح مقابل منتقل می‌شود. انتقال به همراه ماندگاری ماده باعث کاهش اصطکاک و افزایش مقاومت در برابر سایش و سائیدگی حتی برای بیرینگ‌هایی که فقط دارای اجزاء غلتنده پوشش داده شده می‌باشند، می‌شود.

خواص اصلی پوشش بیرینگ‌های NoWear در جدول ۲ آورده شده‌اند.

جدول ۲ خواص پوشش NoWear

خواص	NoWear
سختی	1 200 HV10
ضخامت پوشش - وابسته به اندازه بیرینگ (μm)	1 ... 3
ضریب اصطکاک - حرکت لغزشی خشک بر روی فولاد	0,1 ... 0,2
حداکثر دمای کارکرد[1] - پوشش NoWear	+350 °C

۱) پوشش NoWear تا دمای 350 °C+ مقاوم می باشد. نوع فولاد بیرینگ محدود کننده دما است.

روانکاری بیرینگ‌های NoWear

توصیه‌های روانکاری مربوط به بیرینگ‌های معمولی برای بیرینگ‌های NoWear نیز صحیح می‌باشند (بخش روانکاری در صفحه ۲۱۷). ولی بیرینگ‌های NoWear در شرایطی که جداسازی سطوح توسط فیلم روغن کافی نمی‌باشد ($\kappa < 1$) با جلوگیری از تماس مستقیم فلز با فلز بین اجزای غلتنده و رینگ‌ها عملکردی با قابلیت اطمینان بیشتر دارند. همچنین برای بیرینگ‌های NoWear می‌توان از روانکاری با افزودنی‌های کم‌تر EP یا AW استفاده نمود، زیرا پوشش NoWear خود به صورت یک افزودنی قوی عمل می‌کند.

بیرینگ‌های NoWear برای کار در شرایط خلاء و دیگر کاربردهای کاملاً خشک مناسب نمی‌باشند.

فصل (۱۱-۵)

بیرینگ‌ها و مجموعه بیرینگ‌ها

با روغن جامد

بیرینگ‌ها و مجموعه بیرینگ‌ها با روغن جامد ۵۰۸
خصوصیات روغن جامد ۵۰۹
اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها ۵۱۰
ابعاد، تلرانس‌ها و لقی داخلی ۵۱۰
ظرفیت حمل بار ۵۱۰
بار حداقل ۵۱۰
سرعت‌های حدی ۵۱۰
خواص روغن ۵۱۱

در بیشتر کاربردها گریس‌ها و روغن‌های معمولی روانکار رضایت‌بخشی برای بیرینگ بوده و عمر قابل قبولی به دست می‌دهند. ولی در شرایطی که امکان دسترسی برای روانکاری مجدد وجود نداشته و یا جلوگیری از ورود آلودگی اهمیت زیادی دارد، روغن‌های جامد، انتخاب سوم برای روانکاری بوده که راه‌حل مناسبی برای این شرایط می‌باشند. زیرا روانکاری برای کل عمر بیرینگ را تضمین کرده و از ورود آلودگی‌ها جلوگیری می‌کنند.

روغن‌های جامد برای بالابرهای خارج از ساختمان در جرثقیل‌ها و Traverses و چیدمان شفت‌های عمودی و یا در چیدمان‌های که امکان دسترسی برای روانکاری مجدد وجود ندارد، بسیار مناسب می‌باشند.

بیرینگ‌ها و مجموعه بیرینگ‌ها با روغن جامد

اکثر بلبیرینگ‌ها و رولربیرینگ‌ها (شکل ۱) و مجموعه بیرینگ‌ها را می‌توان با روغن جامد تولید کرد. این بیرینگ‌ها دارای پسوند W64 در شماره فنی خود می‌باشند.

بیرینگ‌هایی که دارای قفسه‌های پلی آمید یا برنجی ماشینکاری‌شده با حجم بزرگ می‌باشند، برای روغن جامد مناسب نمی‌باشند. همچنین بیرینگ‌های توریدال CARB نیز برای روغن جامد مناسب نمی‌باشند زیرا خاصیت جابجایی محوری خود را از دست خواهند داد.

شکل ۱

خصوصیات روغن جامد

روغن جامد از ماتریس پلیمری اشباع‌شده با روغن روانکار ساخته می‌شود.

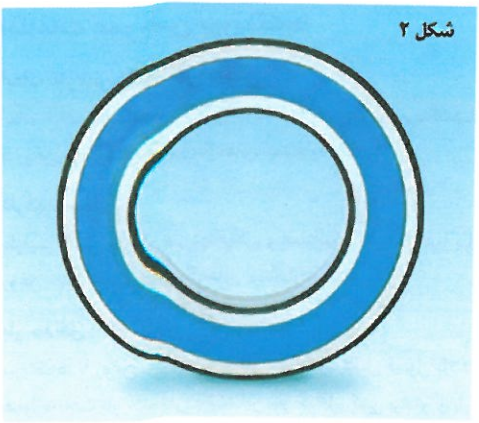
ماده پلیمری دارای ساختاری با میلیون‌ها حفره بسیار کوچک می‌باشد که روغن روانکار را در خود نگه می‌دارند. این حفره‌ها کوچک بوده و روغن در آنها به کمک کشش سطحی باقی می‌ماند. روغن بیش از 70% وزن روغن‌های جامد را تشکیل می‌دهد.

روغن استفاده‌شده از نوع مصنوعی با کیفیت بالا می‌باشد که برای بیشتر کاربردها مناسب است.

پلیمر پر شده از روغن در داخل بیرینگ قالب‌گیری می‌شود در طی فرآیند قالب‌گیری یک شکاف باریک اطراف اجزای غلتنده و سطوح غلتش ایجاد می‌شود که اجازه، حرکت و دوران آزاد را به بیرینگ می‌دهد. روغن که به این شکاف وارد می‌شود روانکاری مناسب را بلافاصله بعد از شروع کار بیرینگ ایجاد می‌کند. روغن جامد تمام فضای داخل بیرینگ را اشغال‌کرده و اطراف قفسه و اجزای غلتنده را در بر می‌گیرد. روغن جامد توسط قفسه نگهداری و تقویت می‌شود و همراه آن دوران می‌کند.

روغن جامد، روغن را در داخل بیرینگ نگه‌داشته و روغن بیشتری نسبت به گریس از خود بیرون می‌دهد. سطوح فلزی در محل تماس خود با روغن جامد به روی یک فیلم روغن یکنواخت و پیوسته حرکت لغزشی دارند. افزایش دما باعث حرکت روغن از داخل پلیمر به سمت سطح آن می‌شود زیرا انبساط حرارتی روغن بیشتر از ماتریس پلیمری است. همچنین لزجت روغن با افزایش دما کاهش می‌یابد. وقتی که بیرینگ از حرکت می‌ایستد ماتریس پلیمری روغن اضافی را مجدداً به خود جذب می‌کند.

روغن‌های جامد برای محیط زیست مضر نمی‌باشد و از ورود آلودگی‌ها حتی بدون وجود آب‌بند نیز جلوگیری می‌کنند (شکل ۲). البته برای کاربردهایی که نیاز است تا هیچ گونه آلودگی وارد بیرینگ نشود بیرینگ‌ها با روغن جامد و آب‌بند تماسی توصیه می‌شوند. اما در هر حالت تعمیر و نگهداری لازم نمی‌باشد زیرا روانکاری مجدد لازم نیست.



شکل ۲

اطلاعات عمومی بیرینگ‌ها

ابعاد، تلرانس‌ها و لقی داخلی

ابعاد، تلرانس‌ها و لقی داخلی بیرینگ‌ها یا مجموعه بیرینگ‌ها با روغن جامد مشابه بیرینگ‌های استاندارد است.

ظرفیت حمل بار

ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی و استاتیکی بیرینگ‌ها با روغن جامد مشابه بیرینگ‌های استاندارد است.

بار حداقل

بیرینگ‌ها با روغن جامد، به منظور عملکرد قابل قبول باید همواره تحت بار حداقلی باشند این بار حداقل کمی بیشتر از بار حداقل مورد نیاز برای بیرینگ‌های استاندارد می‌باشد. میزان بار حداقل مربوط به هر بیرینگ در بخش مربوط به آن بیرینگ آورده شده است.

سرعت‌های حدی

در جدول ۱ سرعت حدی بیرینگ‌ها با روغن جامد بر اساس ضریب سرعت

$$A = n\ d_m$$

ذکر شده است. که در آن

A = ضریب سرعت، mm/min

n = سرعت دورانی r/min

d_m = قطر متوسط بیرینگ = $0.5(d+D)$، mm

سرعت حدی مشخص‌شده بر اساس ضریب A برای بیرینگ‌های باز (بدون آب‌بند) می‌باشد. برای بیرینگ‌های آب‌بند 80٪ مقادیر ذکرشده باید استفاده شوند.

توجه شود که سرعت بیشتر باعث افزایش دمای کارکرد می‌شود. لذا ممکن دمای کارکرد بیرینگ با روغن جامد محدودکننده سرعت بیرینگ باشند.

جدول ۱ حدود سرعت

نوع بیرینگ	ضریب سرعت A
Deep groove ball bearings	
– single row	300 000
– double row	40 000
Angular contact ball bearings	
– with pressed steel cage	150 000
– with polyamide 6,6 cage	40 000
Self-aligning ball bearings	
– with pressed steel cage	150 000
– with polyamide 6,6 cage	40 000
Cylindrical roller bearings	
– with pressed steel cage	150 000
– with polyamide 6,6 cage	40 000
Taper roller bearings	45 000
Spherical roller bearings	
– E design	42 500
– CC design	85 000
Y-bearings, Y-bearing units	40 000

خواص روغن

روغن‌های مورد استفاده در روغن‌های جامد از نوع مصنوعی و با کیفیت بالا می‌باشند. که خواص مهم آنها در جدول ۲ آورده شده است.

روغن‌ها با لزجت‌های متفاوت نیز می‌توانند استفاده شوند، نظیر روغن‌های مهندسی برای صنایع غذایی در کاربردهایی که تحت بار زیاد یا دمای کم و غیره می‌باشند، افزودنی‌هایی نظیر افزودنی‌های ضد زنگ را می‌توان برای ایجاد حفاظت بیشتر به روغن اضافه کرد.

جدول ۲ روغن استاندارد برای روغن جامد

خواص	روغن جامد
لزجت سینماتیکی	
در 40 °C	140 mm^2/s
در 100 °C	19 mm^2/s
دمای مجاز[1]	
– برای کارکرد مداوم	+85 °C
– برای کارکرد ناپیوسته	+95 °C
– برای راه اندازی	−40 °C

۱) بیرینگها با روغن جامد را می توان برای نصب تا 100 °C+ گرم کرد.

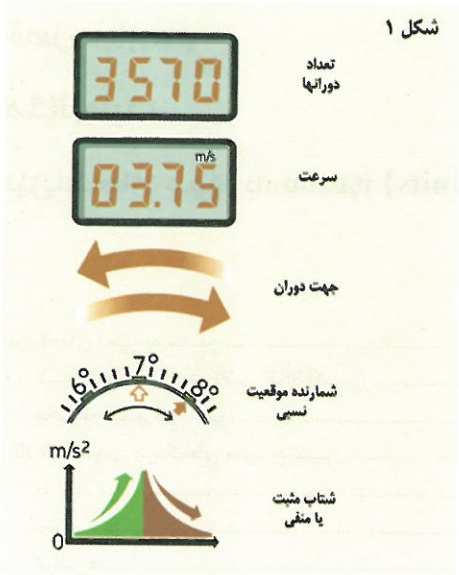
فصل دوازدهم

مکاترونیک

بیرینگ‌های مجهز به سنسور (Sensor-Bearing Units)

بیرینگ‌های مجهز به سنسور ۵۱۴
بلبیرینگ‌ها شیار عمیق کلاس SKF اکسپلورر ۵۱۵
مجموعه سنسورهای اکتیو ۵۱۵
اطلاعات عمومی بیرینگ‌های مجهز به سنسور ۵۱۶
طرح ۵۱۶
ابعاد ۵۱۶
تلرانس‌ها ۵۱۷
لقی داخلی ۵۱۷
سرعت‌های مجاز ۵۱۷
محدوده دما ۵۱۷
ورودی‌ها و خروجی‌های الکتریکی ۵۱۷
قابلیت‌های الکترومغناطیسی ۵۱۷
انتخاب ابعاد بیرینگ ۵۱۸
کاربرد بیرینگ‌های مجهز به سنسور ۵۱۸
موقعیت شعاعی ۵۱۸
موقعیت محوری ۵۱۸
نصب ۵۱۹
روانکاری، تعمیر و نگهداری ۵۱۹

شکل ۱



اطلاعات دقیق در رابطه با وضعیت حرکت دورانی یا حرکت محوری اجزای ماشین‌آلات در بیشتر زمینه‌های مهندسی مهم می‌باشند. افزایش روزمره اتوماسیون فرآیندها نیاز به کنترل دقیق حرکت را بیش از پیش با اهمیت کرده است. به علاوه نیاز به تجهیزات ساده و سبک سر آغاز طراحی سیستم‌های یکپارچه است (شکل ۱)، بیرینگ‌های مجهز به سنسور مثال خوبی برای این تجهیزات می‌باشند که برای ثبت

۱ – تعداد دوران‌ها،

۲ ـ سرعت،

۳ ـ جهت دوران

۴ ـ موقعیت نسبی

۵ ـ شتاب افزاینده یا کاهنده، بکار می‌روند.

بیرینگ‌های مجهز به سنسور

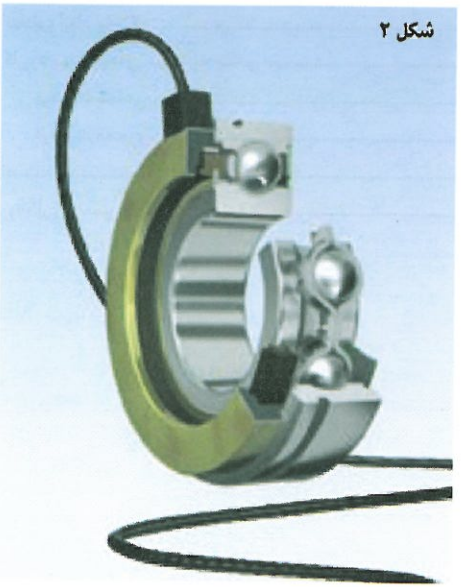
بیرینگ‌های مجهز به سنسور (شکل ۲) اجزای مکاترونیکی ماشین می‌باشند که مهندسی بیرینگ و مهندسی سنسور را با هم ترکیب می‌کنند. این بیرینگ‌ها متشکل از یک بلبیرینگ با یک سنسور می‌باشند. بدنه سنسور، رینگ Impulse و بیرینگ به یکدیگر متصل می‌باشند و به صورت یک مجموعه آماده نصب ارائه می‌شوند.

بیرینگ‌های مجهز به سنسور ساده و محکم بوده و از اجزای زیر تشکیل شده‌اند.

- بلبیرینگ‌های شیار عمیق کلاس SKF اکسپلورر و
- یک مجموعه سنسور اکتیو

بیرینگ‌های مجهز به سنسور به منظور Encoder افزاینده در موتور و یا کنترل ماشین بکار می‌روند. این بیرینگ‌ها برای نصب در موتورهای آسنکرون (Asynchronous) طراحی شده‌اند و یک Encoding جمع جور و قابل اطمینان برای بیشتر نیازهای کنترل می‌باشند. این بیرینگ‌ها برای کاربردهایی که در آنها رینگ داخلی دوران می‌کند و رینگ خارجی آنها ثابت است بکار می‌روند. بیرینگ‌های مجهز به سنسور برای کاربردهایی که رینگ خارجی دوران می‌کند نظیر نوار نقاله، بنا به سفارش تولید می‌شوند.

شکل ۲



بلبیرینگ‌ها شیار عمیق کلاس SKF اکسپلورر

بلبیرینگ‌های شیار عمیق یک ردیفه کلاس SKF اکسپلورر برای سرعت‌های بالا و عملکرد مطمئن بکار می‌روند. این بیرینگ علاوه بر بار محوری سنگین بارهای شعاعی را نیز تحمل‌کرده می‌توانند شفت را در دو جهت محوری مهار کنند. همچنین این بیرینگ‌ها با دقت‌های ساخت بالا، اصطکاک کم تولید می‌شوند و سر و صدای کمی در حین کارکرد دارند. آب‌بندی مؤثر و گریس بیرینگ‌های آب‌بند شده کارکرد بدون نیاز به تعمیر و نگهداری را برای کل دوره عمر بیرینگ‌ها تضمین می‌کند.

مجموعه سنسورهای اکتیو

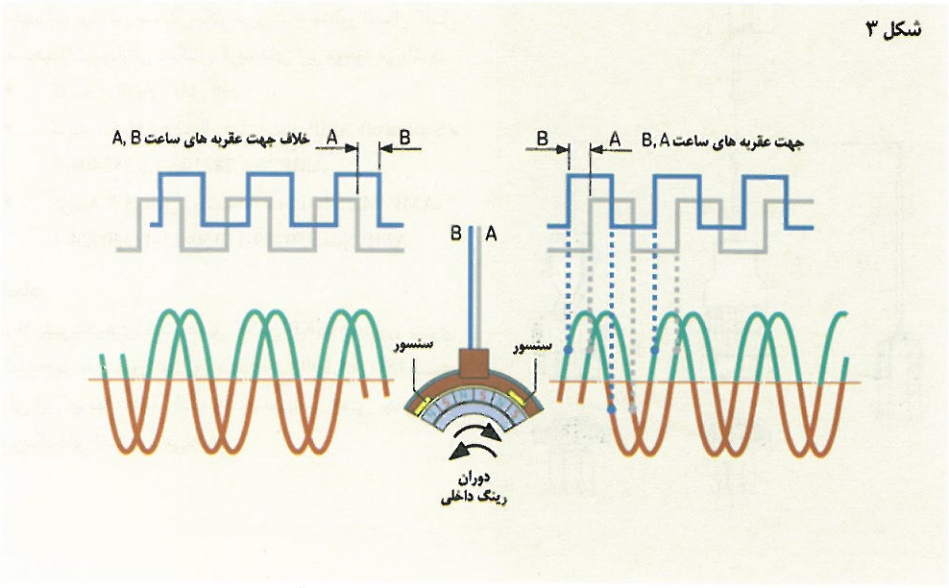
بیرینگ‌های مجهز به سنسور دارای یک سنسور اکتیو جمع جور و محکم می‌باشند، که وظیفه آن بسیار شبیه Encoder افزاینده است. این سنسور اندازه‌گیری دقیق تا سرعت صفر را ارائه می‌کند. اجزای اصلی این سنسورها رینگ Inpulse، بدنه سنسور و کابل اتصال می‌باشند.

رینگ Impalse از کامپوزیت مغناطیس‌شده ساخته شده است و به رینگ داخلی بیرینگ متصل است. این رینگ وابسته به ابعاد بیرینگ به تعداد معینی قطب‌های N و S تقسیم شده است. تعداد پالس‌ها در هر دور در محدوده 32 و 80 می‌باشند.

بدنه سنسور به رینگ خارجی متصل است و بدنه سنسور دارای دو سلول است که به کمک آنها می‌توان جهت دوران را تشخیص داد. دو سلول با فاصله در بدنه سنسور نصب شده‌اند. یک مدار مجتمع IC (Integrated Circuit) که شامل ژنراتورهای هال (Hall) به عنوان یک المان اکتیو و مدارهای الکترونیکی برای تقویت (Amplification) و تبدیل (Conversion) سیگنال است، سیگنال آنالوگ سینوسی ایجادشده توسط سلول‌های هال به کمک یک رها ساز اشمیت (Schmitt) Ttrigger به سیگنال موج مربعی (Square-Wave) تبدیل می‌شود (شکل ۳). سیگنال اولیه جهت دوران را تعیین می‌کند. به علاوه دو سلول به میزان دو برابر پالس تولید می‌کنند (برای مثال ۱۲۸ پالس در هر دور در مقایسه با ۶۴ پالس برای بیرینگ استاندارد) هنگام شمارش لبه‌های بالا و پایین پالس‌ها، حداکثر دقت 256 پالس در هر دور را می‌توان به دست آورد که مطابق تفکیک‌پذیری (Resolution) برابر 1.4 درجه زاویه‌ای است.

سنسور نیاز به ولتاژ تغذیه خارجی دارد. سیگنال خروجی از طریق یک مدار کلکتور باز (Open Collector) دریافت می‌شود.

شکل ۳



اطلاعات عمومی بیرینگ‌های مجهز به سنسور

طرح

بیرینگ‌های مجهز به سنسور (شکل ۴) از اجزای زیر تشکیل شده‌اند.

- یک بلبیرینگ شیار عمیق کلاس SKF اکسپلورر با آب‌بند تماسی نوع 2RS1 و شیار خار فنری در سطح خارجی رینگ خارجی (الف)
- رینگ Inpulse مغناطیس‌شده (ب)
- بدنه سنسور (ج)
- کابل اتصال (د)

در سمت مقابل آب‌بند، رینگ Impulse و بدنه سنسور یک آب‌بند شیاردار مؤثر ایجاد می‌کند.

رینگ Impulse یک رینگ کامپوزیت مغناطیس‌شده می‌باشد. تعداد قطب‌های N و S (بین ۳۲ تا ۸۰) به ابعاد بیرینگ بستگی دارند. رینگ Impulse به رینگ داخلی متصل است.

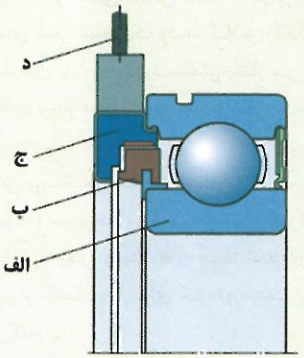
بدنه سنسور که به رینگ خارجی متصل است از دو سلول هال محافظت می‌کند. کابل چند سیمه (Multi-wire) دارای طول استاندارد 500 mm بوده که برای اتصال سنسور به تجهیزات پردازش سیگنال بکار می‌رود. به منظور اتصال کابل به تجهیزات پردازش سیگنال گزینه‌های زیر موجود می‌باشند.

- گزینه ۱: انتهای کابل آزاد
- گزینه ۲: دو شاخه اتصال فوق آب‌بند AMP (Superseal)، 282404-1 و AMP Nos.282106-1
- گزینه ۳: اتصال دو شاخه AMP Mate-N-Lock، 350924-1، 350811-1، AMP Nos.350779-1

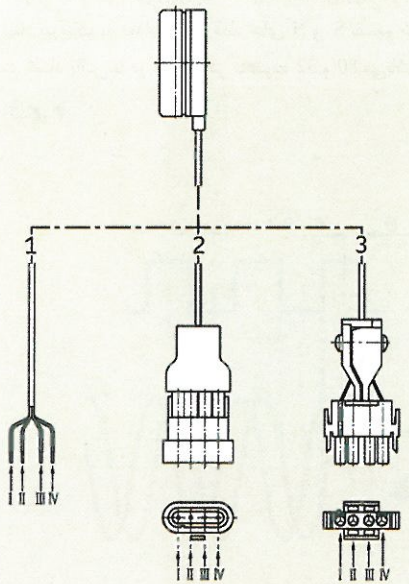
ابعاد

ابعاد بلبیرینگ‌های شیار عمیق کلاس SKF اکسپلورر سری 62 مجهز به سنسور مطابق استاندارد ISO 15:1998 است. ولی این بیرینگ‌ها به علت وجود سنسور کمی پهن‌تر از بیرینگ‌های استاندارد می‌باشند.

شکل ٤



شکل ٥



تلرانس‌ها

بیرینگ‌های مجهز به سنسور با تلرانس‌های P5 (برای $d \leq 25$ mm) و یا P6 برای ($d \geq 30$ mm) مطابق استاندارد ISO 492:2002 که در جداول ۴ و ۵ صفحات ۱۱۴ و ۱۱۵ آورده شده‌اند، ساخته می‌شوند.

لقی داخلی

بیرینگ‌های مجهز به سنسور با لقی داخلی شعاعی C3 مطابق استاندارد ISO 5753:1991 برای بلبیرینگ‌های شیار عمیق، تولید می‌شوند. مقادیر لقی در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند که برای بیرینگ نصب‌نشده و بدون بار صحیح می‌باشند.

سرعت‌های مجاز

بیرینگ‌های مجهز به سنسور برای کارکرد در سرعت حدی بیرینگ آب‌بند شده طراحی شده‌اند.

محدوده دما

بیرینگ‌های مجهز به سنسور برای کارکرد در دمای 40- °C تا 120+ °C طراحی شده‌اند و کارکرد مناسب آنها برای این محدوده دما با آزمایش ثابت شده‌اند.

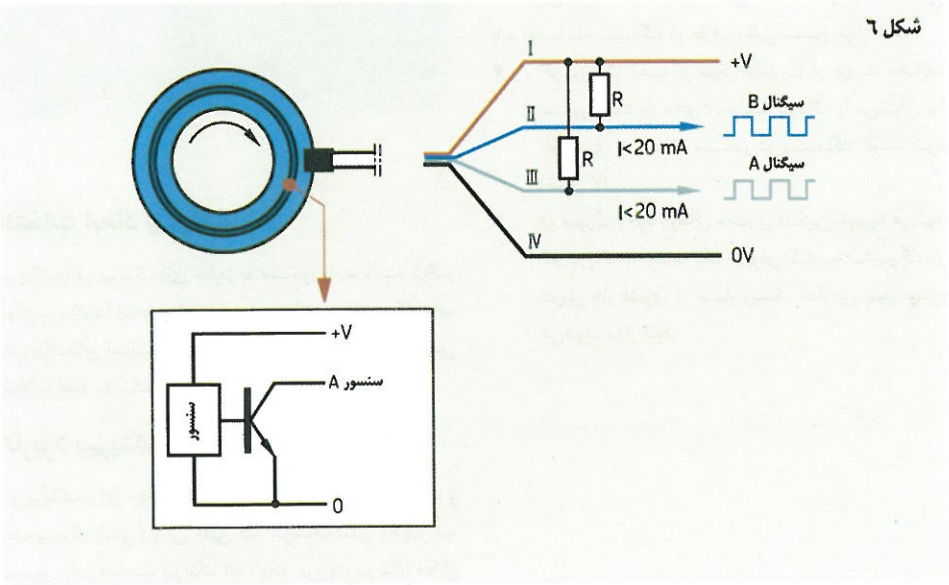
ورودی‌ها و خروجی‌های الکتریکی

سنسور اکتیو برای کارکرد نیاز به ولتاژ تغذیه تنظیم‌شده 5 تا 24 ولت دارد. خروجی سیگنال توسط یک کلکتور باز (شکل ۶) دریافت می‌شود. مقاومت‌های الکتریکی بین سیم‌های سیگنال خروجی و ولتاژ تغذیه، سیگنال خروجی را به جریان 20 mA محدود می‌کند (جدول ۱ و صفحه ۵۱۸)، مشخصه‌های سیگنال خروجی در جداول ۲، صفحه ۵۱۸ آورده شده‌اند.

قابلیت‌های الکترومغناطیسی

بیرینگ‌های مجهز به سنسور در محیط‌های سخت الکترومغناطیسی مطابق استاندارد اروپایی EN 50082-2 قابلیت کارکرد دارند.

شکل ٦



جدول ۱ پارامتر های الکتریکی

ولتاژ	مقاومت توصیه شده R	P
V	Ω	W
5	270	0,25
9	470	0,25
12	680	0,25
24	1 500	0,5

جدول ۲ خواص سیگنال خروجی

خواص	مشخصه های فنی
نوع سیگنال	مربعی دیجیتال
تعداد سیگنال	2
اختلاف فاز	90 درجه
سیکل کارکرد	50 % از پریود

انتخاب ابعاد بیرینگ

بیرینگ‌ها در بیرینگ‌های مجهز به سنسور باید مانند دیگر انواع بیرینگ‌ها انتخاب شوند. لذا باید عوامل مؤثر در انتخاب بلبیرینگ‌های استاندارد شیار عمیق در نظر گرفته شوند (بخش انتخاب ابعاد بیرینگ، در صفحه ۴۱).

کاربرد بیرینگ‌های مجهز به سنسور

دو بیرینگ برای مهار شفت لازم می‌باشد (یک بیرینگ ثابت و یک بیرینگ شناور) از آن جایی که بیرینگ‌های مجهز به سنسور برای موقعیت بیرینگ ثابت بکار می‌رود، بیرینگ مقابل آنها باید به صورت شناور بکار رود. در صورتی که باز محوری سنگین دوطرفه به بیرینگ‌های مجهز به سنسور وارد شوند باید آن را به طریقی نصب کرد که بار محوری سنگین‌تر به لبه جانبی رینگ خارجی در طرف مقابل سنسور وارد شود.

موقعیت شعاعی

مطابق توصیه‌های عمومی، رینگ داخلی باید به صورت تداخلی بر روی شفت و رینگ خارجی باید به صورت لق در نشیمنگاه نصب شود. کابل اتصال که به رینگ خارجی متصل است موقعیت رینگ خارجی را نسبت به نشیمنگاه تعیین می‌کند. مجرای مناسب باید در نشیمنگاه برای عبور کابل تدارک دیده شود (شکل ۷). توصیه می‌شود که کابل خروجی سنسور در مقابل دوران اضافی با ایجاد یک شکاف شعاعی در نشیمنگاه محافظت شود. پهنای این شکاف باید 9 mm تا 15 mm باشد.

موقعیت محوری

رینگ داخلی که به صورت تداخلی به روی شفت نصب می‌شود باید از دو جهت محوری به کمک پله شفت، بوش فاصله‌انداز یا رینگ فنری مهار شود. موقعیت محوری رینگ خارجی به ابعاد بیرینگ بستگی دارد.

برای بیرینگ‌ها تا قطر داخلی 25 mm، رینگ خارجی باید توسط پله نشیمنگاه در طرف مقابل سنسور مهار شود.

- اگر بیرینگ تحت بار سبک باشد یا در جهت مخالف سنسور تحت بار محوری نباشد، بیرینگ را می‌توان با خار فنری در سمت سنسور در نشیمنگاه ثابت کرد (شکل ۷).
- در صورت وجود بارهای محوری سنگین، توصیه می‌شود که بیرینگ به وسیله یک درپوش که به نشیمنگاه، از طریق خار فنری در شیار رینگ خارجی پیچ مهره می‌شود، مهار شود.

بیرینگ‌های بزرگ‌تر باید به پله نشیمنگاه در سمت مقابل سنسور تکیه کنند. سطح جانبی بیرینگ در سمت سنسور را می‌توان به روش‌های زیر مهار کرد.

- یک بوش فاصله‌انداز شیاردار با ضخامت کم که در سمت مقابل به بیرینگ و در سمت دیگر به خار فنری متصل است (شکل ۸)
- یک درپوش پیچ‌شده به نشیمنگاه

ابعاد پله‌ها در جداول بیرینگ‌ها آورده شده‌اند. برای اطلاعات بیشتر به مرجع [1] مراجعه کنید.

نصب

هنگام نصب بیرینگ‌های مجهز به سنسور باید دقت شود که سنسور و کابل متصل به آن صدمه نبیند.

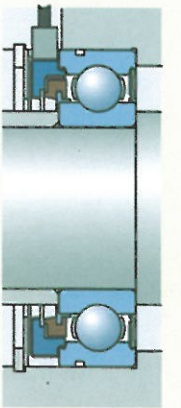
روانکاری، تعمیر و نگهداری

بیرینگ‌های مجهز به سنسور با آب‌بند و آماده نصب و کارکرد ارائه می‌شوند. این بیرینگ‌ها از گریس پلی اوره پر شده‌اند و برای کل دوره عمر بیرینگ گریس زده شده‌اند. گریس این بیرینگ‌ها برای محدوده دمای -40 °C تا +120 °C مناسب می‌باشد و میزان آن بستگی به ابعاد بیرینگ دارد. با توجه به موارد فوق بیرینگ‌های مجهز به سنسور نیاز به تعمیر و نگهداری ندارند.

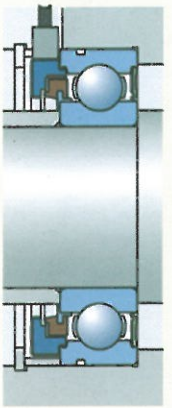
مراجع:

[1] SKF Catalogue "SKF Sensor Bearinge Units-Concentrate Intelligence in Your Motion Control".

شکل ۷



شکل ۸



فصل سیزدهم

تجهیزات جانبی بیرینگ‌ها

فصل (۱۳-۱) ـ غلاف‌های واسطه ۵۲۳
فصل (۱۳-۲) ـ غلاف‌های بیرون کشیدنی ۵۲۹
فصل (۱۳-۳) ـ مهره‌های قفل کن ۵۳۳

فصل (۱۳-۱)

غلاف‌های واسطه

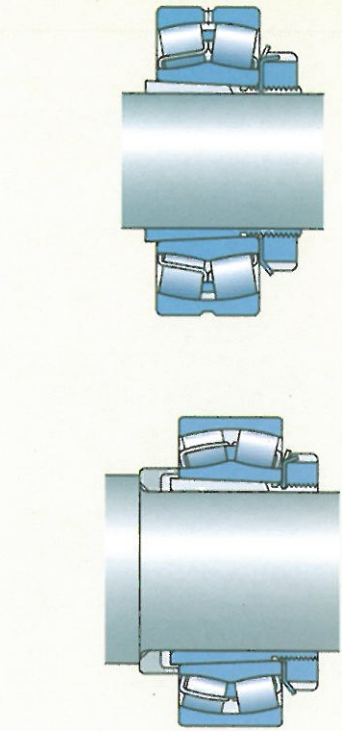
طرح‌ها ۵۲۴
طرح اصلی ۵۲۴
طرح‌های مناسب برای روش تزریق روغن ۵۲۵
طرح مناسب برای رولربیرینگ‌های توریدال CARB ۵۲۶
طرح‌های مناسب برای بیرینگ‌های آب‌بند ۵۲۶
اطلاعات عمومی ۵۲۷
ابعاد ۵۲۷
تلرانس‌ها ۵۲۷
رزوه ۵۲۷
تلرانس‌های شفت ۵۲۷

طرح‌ها

غلاف‌های واسطه رایج‌ترین تجهیزات جانبی برای نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی بر روی شفت استوانه‌ای بدون پله و یا با پله (شکل ۱) می‌باشند. استفاده از آنها ساده بوده و برای قرار گرفتن بر روی شفت نیاز به تجهیزات اضافی ندارند.

هنگامی که از غلاف واسطه بر روی شفت بدون پله استفاده می‌شوند می‌توان بیرینگ را در هر محلی بر روی شفت ثابت کرد. هنگام استفاده از آنها بر روی شفت پله‌دار به همراه رینگ پله‌دار، بیرینگ باید در محل مناسب قرار گیرد تا عملیات در آوردن بیرینگ آسان شود.

شکل ۱

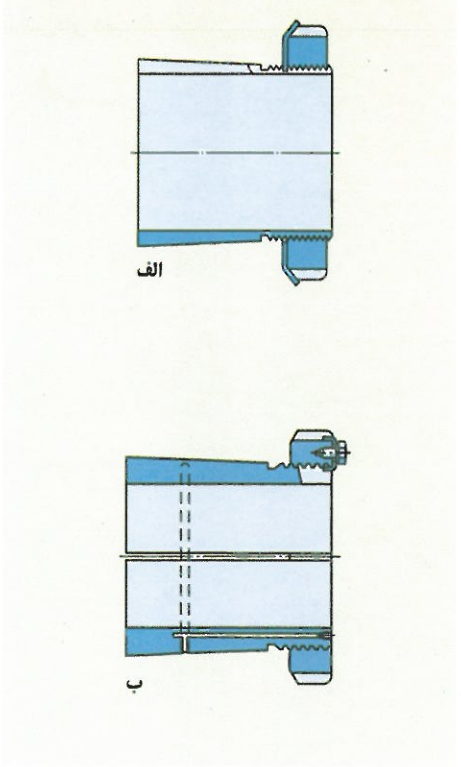


طرح اصلی

غلاف‌های واسطه به صورت مجموعه کامل به همراه مهره و واشر قفل‌کن ارائه می‌شوند (شکل ۲). در ابعاد کوچک از مهره و واشر قفل‌کن (الف) استفاده می‌شود. ولی در ابعاد بزرگ‌تر از واشر و گیره قفل‌کن (Locking Clip) (ب) استفاده شده است. غلاف‌ها دارای شکافی در طول بوده و مخروط خارجی آنها 1 به 12 است. کلیه غلاف‌ها تا اندازه 40 فسفاته شده‌اند ولی برای اندازه‌های بزرگ عملیاتی انجام نشده و فقط توسط ضد زنگ غیرحلال حفاظت شده‌اند.

غلاف‌های واسطه برای شفت‌های متریک و اینچی موجود می‌باشند. در این جا غلاف‌های متریک شرح داده شده‌اند، که برای شفت‌های متریک و اینچی بکار می‌روند. برای اطلاعات بیشتر در رابطه غلاف‌های واسطه اینچی به مرجع [1] یا کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کنید.

شکل ۲



طرح‌های مناسب برای روش تزریق روغن

برای کمک به استفاده از روش تزریق روغن در نصب و در آوردن بیرینگ‌ها غلاف‌های واسطه در قطرهای داخلی 140 mm تا 200 mm را می‌توان با این امکانات سفارش داد (شکل ۳). برای قطرهای داخلی بزرگ‌تر از 200 mm این امکانات به صورت استاندارد بر روی غلاف‌های واسطه تعبیه شده‌اند. این غلاف‌های واسطه دارای سوراخ روغن در سمت رزوه‌شده و شیارهای توزیع روغن بر روی سطح خارجی می‌باشند. (الف) روغن از طریق سوراخ و شیارها بین سطح تماس بیرینگ و غلاف وارد می‌شود، فیلم روغن بین سطوح تشکیل‌شده و در نتیجه نیروی لازم برای نصب بیرینگ به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. جزئیات رزوه برای اتصال تجهیزات تزریق روغن و مهره هیدرولیکی مناسب برای هر غلاف در جداول آنها بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده است.

علاوه بر محصولات استاندارد که شماره‌های فنی آنها OH ... H است و در جداول آورده شده‌اند. طراح‌های متفاوت دیگری نیز با تغییر چیدمان سوراخ روغن و شیارهای توزیع روغن تولید می‌شوند.

طرح OH (ب)

در این طرح سوراخ تزریق روغن در جهت مخالف رزوه‌شده و شیار توزیع روغن بر روی سطح خارجی می‌باشند.

طرح OH ... B (ج)

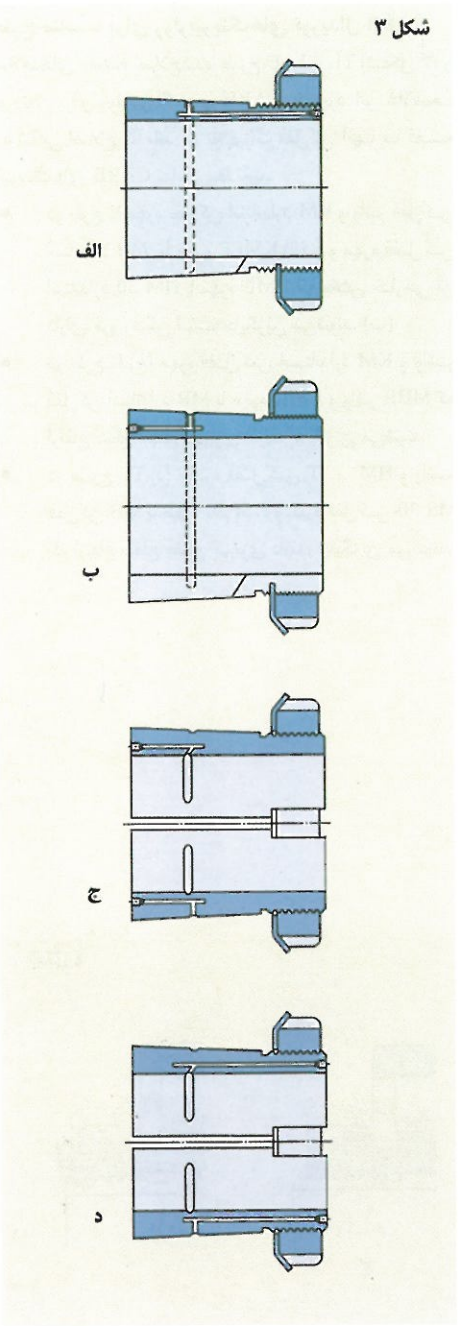
در این طرح سوراخ (یا سوراخ‌های روغن) در جهت مخالف رزوه‌شده و شیارهای توزیع روغن بر روی سطح داخلی و خارجی می‌باشند. غلاف‌ها تا و قطر 40 mm یک سوراخ روغن داشته و قطرهای بالاتر دو سوراخ دارند.

طرح OH ... HB (د)

در این طرح سوراخ (یا سوراخ‌های) تزریق روغن در سمت رزوه‌شده بوده و شیار توزیع روغن بر روی سطح داخلی و خارجی غلاف ایجاد شده‌اند. غلاف‌های تا قطر 40 mm یک سوراخ تزریق روغن داشته و قطرهای بالاتر دو سوراخ دارند.

استفاده از تجهیزات تزریق روغن و مهره‌های هیدرولیکی نصب و در آوردن بیرینگ‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای آسان می‌کند. [2]

شکل ۳



طرح مناسب برای رولربیرینگ‌های توریدال CARB

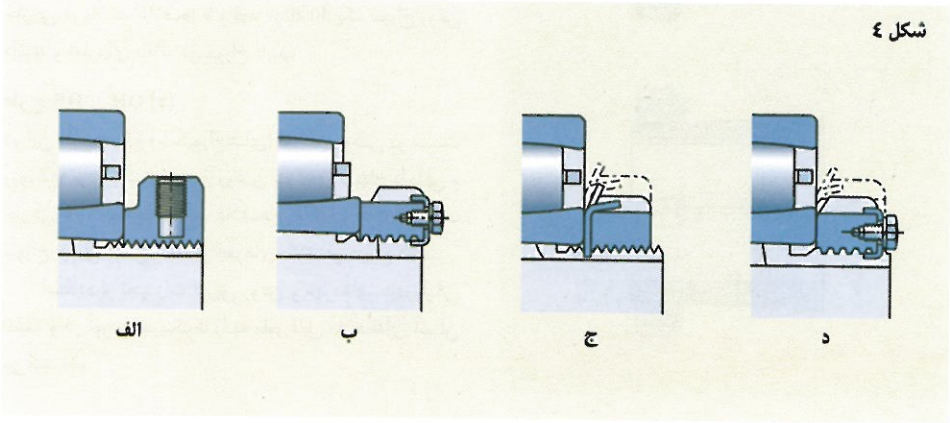
غلاف‌های واسطه اصلاح‌شده طرح E، L و TL (شکل ۴) را می‌توان برای رولربیرینگ‌های CARB بکار برد. این غلاف‌ها به شکلی اصلاح شده‌اند که تجهیزات قفل‌کن آنها با قفسه بیرینگ‌های CARB تماس پیدا نکند.

- در طرح E مهره قفل‌کن استاندارد KM و واشر قفل‌کن استاندارد MB با مهره KMFE (الف) و مهره قفل‌کن استاندارد HM 30 با مهره HME که بخش خارجی آن دارای فرو رفتگی است، جایگزین می‌شوند. (ب)
- در طرح L (ج) مهره قفل‌کن استاندارد KM و واشر قفل‌کن استاندارد MB با مهره KML و واشر MBL که ارتفاع سطح مقطع کم‌تری دارند، جایگزین می‌شوند.
- در طرح TL (د) مهره قفل‌کن HM ... T و واشر قفل‌کن MB با مهره HM 30 و گیره قفل‌کن MS 30 که ارتفاع سطح مقطع کم‌تری دارند، جایگزین می‌شوند.

طرح‌های مناسب برای بیرینگ‌های آب‌بند

هنگامی که از بیرینگ‌های آب‌بند شده بر روی غلاف‌های واسطه استفاده می‌شود باید توجه شود که مهره و واشر قفل‌کن با آب‌بند تماس پیدا نکند. غلاف‌های طرح E، C، L یا TL برای بیرینگ‌های آب‌بند مناسب هستند. مهره قفل‌کن که به همراه غلاف H 3 ... C بکار می‌رود دارای برجستگی بر روی سطح جانبی می‌باشد که از تماس مهره و واشر با آب‌بند جلوگیری می‌کند. (شکل ۵)

شکل ٤



اطلاعات عمومی

ابعاد

ابعاد غلاف‌های واسطه بجز قطر داخلی غلاف برای شفت‌های اینچی مطابق استاندارد ISO 2982-1:1995 می‌باشند.

تلرانس‌ها

قطر داخلی غلاف‌های واسطه دارای تلرانس JS9 و پهنای آنها دارای تلرانس h15 است.

رزوه

غلاف‌های واسطه تا اندازه 40 mm دارای رزوه متریک با تلرانس 6g مطابق استاندارد ISO 965-3:1998 می‌باشند. غلاف‌های واسطه بزرگ‌تر دارای رزوه متریک ذوزنقه‌ای با تلرانس 7e مطابق استاندارد ISO 2903:1993 هستند.

تلرانس‌های شفت

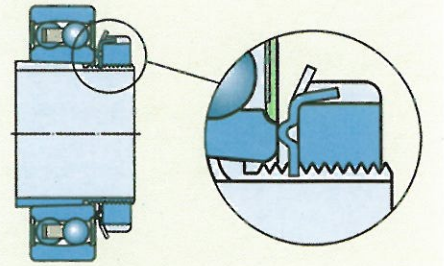
همان طوری که از اسم آنها مشخص است. غلاف‌های واسطه، واسطه بین بیرینگ و شفت می‌باشند. لذا محدوده تلرانس‌های بازتری برای شفت استوانه‌ای نسبت بیرینگ‌ها با رینگ استوانه‌ای، مجاز می‌باشند. البته تلرانس‌های فرم باید در محدوده دقیق‌تری حفظ شوند زیرا تلرانس‌های فرم به طور مستقیم بر دقت‌های حرکتی بیرینگ تأثیر دارند. عموماً، شفت باید دارای تلرانس h9 باشد ولی تلرانس استوانه‌ای بودن باید IT5/2 مطابق استاندارد ISO 1101:2004 باشد.

مراجع:

[1] SKF Catalogue "Bearing Accessories"

[2] SKF Catalogue "Maintenance and Lubrication Products"

شکل ۵



فصل (۱۳-۲)

غلاف‌های بیرون کشیدنی

طرح‌ها ۵۳۰
طرح اصلی ۵۳۰
طرح مناسب برای روش تزریق روغن ۵۳۰
اطلاعات عمومی ۵۳۱
ابعاد ۵۳۱
تلرانس‌ها ۵۳۱
رزوه ۵۳۱
تلرانس شفت ۵۳۱

طرح‌ها

غلاف‌های بیرون کشیدنی را می‌توان برای نصب بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی بر روی شفت استوانه‌ای پله‌دار (شکل ۱) استفاده کرد. غلاف به زیر بیرینگ که به پله یا واشر فاصله‌انداز تکیه کرده است فشار داده می‌شود. غلاف بر روی شفت به کمک مهره یا صفحه انتهایی ثابت می‌شود. مهره قفل‌کن یا صفحه انتهایی به همراه غلاف نبوده و لازم است جداگانه تهیه شوند. مهره‌های قفل‌کن KM یا HM و واشر آنها برای غلاف‌های بیرون کشیدنی مناسب می‌باشند. (صفحه ۵۳۶)

برای نصب غلاف‌های بیرون کشیدنی باید آنها را به زیر بیرینگ فشار داد. در بیرینگ‌های بزرگ نیروی نسبتاً زیادی برای این کار لازم است تا بر اصطکاک بین بیرینگ / غلاف و شفت / غلاف غلبه کرد. نصب و در آوردن بیرینگ‌ها بر روی غلاف‌های بیرون کشیدنی را می‌توان با استفاده از مهره هیدرولیکی به طور قابل ملاحظه‌ای ساده نمود (شکل ۲).

طرح اصلی

غلاف‌های بیرون کشیدنی (شکل ۳) با ضد زنگ غیرحلال محافظت شده‌اند. این غلاف‌ها دارای شکافی در طول بوده و سطح خارجی آنها دارای مخروط 1 به 12 است. بجز سری‌های A(O)H 240 و A(O)H 241 که دارای مخروط 1 به 30 می‌باشند و برای بیرینگ‌ها در سری‌های ابعادی 40 و 41 استفاده می‌شوند.

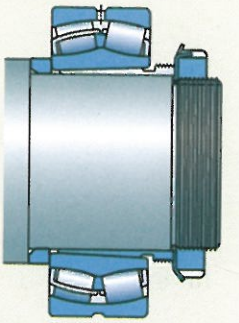
مهره لازم برای در آوردن غلاف‌های بیرون کشیدنی به همراه آنها نمی‌باشد و لازم است جداگانه تهیه شود. ابعاد مناسب در جداول آورده شده‌اند و برای هر غلاف مهره هیدرولیکی مناسب برای بیرون آوردن آن نیز ذکر شده است.

طرح مناسب برای روش تزریق روغن

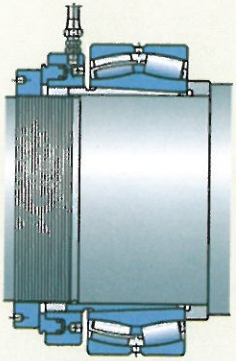
برای استفاده از روش تزریق روغن در نصب و در آوردن بیرینگ‌ها، غلاف‌های بیرون کشیدنی برای قطرهای 200 mm و بالاتر دارای سوراخ تزریق روغن به همراه شیارهای توزیع روغن می‌باشند (شکل ۴). این غلاف‌ها در طرح AOH دارای ۲ سوراخ تزریق روغن در سمت رزوه‌شده می‌باشند و شیارهای توزیع روغن در سراسر محیط آنها بر روی سطح خارجی و داخلی ایجاد شده است. اگر روغن در این سوراخ‌ها تزریق شود ما بین سطوح بیرینگ/ غلاف و شفت/ غلاف وارد شده و نیروی لازم برای نصب به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. اطلاعات مربوط به رزوه سوراخ تزریق روغن و مهره هیدرویکی مناسب برای غلاف‌های بیرون کشیدنی در جداول بیرینگ‌ها بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده است.

برای اطلاعات بیشتر در رابطه با تجهیزات روش تزریق روغن به مرجع [1] مراجعه کنید.

شکل ۱



شکل ۲



اطلاعات عمومی

ابعاد

ابعاد غلاف‌های بیرون کشیدنی مطابق استاندارد ISO 2982-1:1995 می‌باشند.

تلرانس‌ها

تلرانس قطر داخلی غلاف‌های بیرون کشیدنی مطابق JS9 و پهنای آن دارای تلرانس h13 می‌باشد.

رزوه

غلاف‌های بیرون کشیدنی تا اندازه 38 دارای رزوه متریک با تلرانس 6g مطابق استاندارد ISO 965-3:1998 می‌باشند. غلاف‌های بزرگ‌تر دارای رزوه متریک زوذنقه‌ای با تلرانس 7e مطابق استاندارد ISO 2903:1993 می‌باشند.

اگر از مهره استاندارد استفاده نشود، رزوه مهره برای غلاف تا اندازه 38 باید دارای تلرانس 5H مطابق استاندارد ISO 965-3:1998 باشد. رزوه مهره برای غلاف‌های بزرگ‌تر باید دارای تلرانس 7H مطابق استاندارد ISO 2903:1993 باشند.

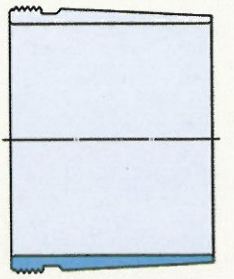
تلرانس شفت

غلاف‌های بیرون کشیدنی خود را با قطر شفت وفق می‌دهند لذا محدوده وسیعی از تلرانس‌های قطر نسبت به بیرینگ‌ها با رینگ داخلی استوانه‌ای برای شفت مجاز است. البته تلرانس‌های فرم هندسی باید در محدوده دقیق‌تری حفظ شوند. زیرا دقت‌های فرم بر دقت‌های حرکتی بیرینگ اثر مستقیم دارند. عموماً شفت باید با تلرانس h9 ماشینکاری شده باشد و تلرانس استوانه‌ای بودن باید IT5/2 مطابق استاندارد ISO 1101:2004 باشد.

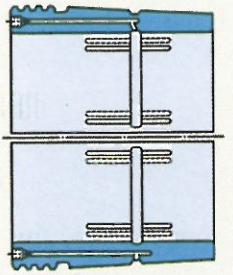
مراجع:

[1] SKF Catalogue "Maintenance and Lubrication Products"

شکل ۳



شکل ٤



فصل (۱۳-۳)

مهره‌های قفل کن

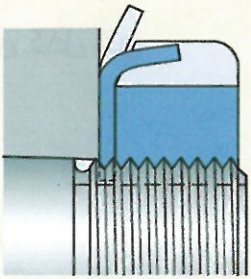
مهره قفل‌کن با واشر یا گیره قفل‌کن..... ۵۳۶
مهره قفل‌کن با تجهیزات قفل‌کن سر خود..... ۵۳۸
مهره قفل‌کن با پیچ قفل‌کن..... ۵۳۹
مهره‌های دقیق با پین قفل‌کن..... ۵۴۰

مهره‌های قفل‌کن در ابعاد متفاوت تولید می‌شوند. به این مهره‌ها وابسته به نوع کاربرد آنها مهره شفت یا مهره بیرون کشیدنی نیز می‌گویند. این مهره‌ها برای ثابت کردن بیرینگ و یا اجزای دیگری بر روی شفت، کمک به نصب بیرینگ بر روی شفت مخروطی و در آوردن بیرینگ بر روی غلاف بیرون کشیدنی بکار می‌روند. مهره‌های قفل‌کن به پنج روش مختلف بر روی شفت قفل می‌شوند که در زیر شرح داده می‌شوند.

واشر قفل‌کن

واشر قفل‌کن‌ها اجزای قفل‌کننده ساده، پایدار و قابل اطمینانی می‌باشند. واشر در یک خار (Key Way) بر روی شفت ثابت می‌شود و سپس یکی از لبه‌های آن را در شیارهای اطراف مهره خم کرده و مهره را قفل می‌کنند. واشرهای قفل‌کن با مهره قفل‌کن‌های سری KM و KML (شکل ۱) بکار می‌روند

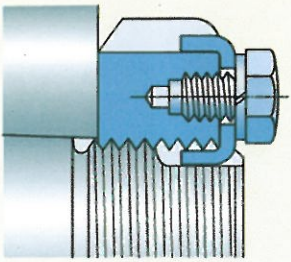
شکل ۱



گیره قفل‌کن

گیره قفل‌کن به وسیله یک پیچ به مهره متصل و در شیار مهره و شیار شفت قرار می‌گیرد. گیره‌ها با مهره قفل‌کن‌های سری 31 و HM 30 بکار می‌روند. (شکل ۲)

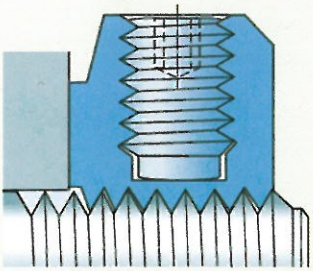
شکل ۲



پیچ قفل‌کن

بخشی از رزوه مهره قفل‌کن به رزوه شفت به وسیله یک پیچ قفل‌کن فشار وارد کرده و از چرخش آن جلوگیری می‌کند. در این حالت به واشر و شیار بر روی شفت نیاز نیست. پیچ قفل‌کن با مهره قفل‌کن‌های سری KMFE (شکل ۳) بکار می‌رود.

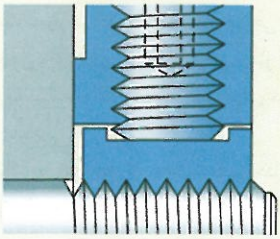
شکل ۳



ابزار قفل‌کن

یک قطعه واسطه فولادی که جزیی از رزوه مهره است به رزوه شفت از طریق یک پیچ مغزی فشار داده می‌شود و از چرخش مهره جلوگیری می‌کند. در این حالت به واشر و شیار بر روی شفت نیازی نیست. مهره قفل‌کن‌های سری KMK (شکل ۴) برای استفاده از این ابزار طراحی شده‌اند.

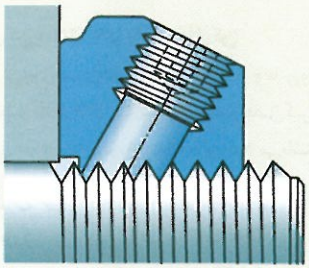
شکل ٤



پین قفل‌کن

در این روش سه پین قفل‌کن در اطراف مهره به فواصل مساوی قرار می‌گیرند. پین‌ها با زاویه مناسب قرار گرفته‌اند. به طوری که رزوه‌های مهره را به پیچ فشار می‌دهند. پین‌ها علاوه بر قفل کردن مهره، به طور دقیق با زاویه مناسب مهره را نسبت به شفت ثابت می‌کنند. در این حالت نیازی به شیار بر روی شفت نیست. پین‌های قفل‌کن با مهره قفل‌کن‌های دقیق سری KMT و KMTA (شکل ۵) بکار می‌روند.

شکل ٥



مهره قفل‌کن با واشر یا گیره قفل‌کن

مهره قفل‌کن‌ها برای استفاده با واشر یا گیره قفل‌کن دارای چهار یا هشت شیار در اطراف محیط خارجی می‌باشند (شکل ۶)، که می‌توانند برای درگیر کردن آچار قلابدار یا ضربه‌ای بکار روند. شماره فنی آچار مناسب برای هر مهره در جداول آورده شده‌اند.

مهره و واشر یا گیره قفل‌کن باید به طور جداگانه تهیه شوند. در جداول برای هر مهره واشر و گیره مناسب آورده شده‌اند.

علاوه بر مهره قفل‌کن‌های متریک، مهره قفل‌کن‌های اینچی با رزوه فرم NS کلاس ۳ آمریکایی و رزوه عمومی ACME کلاس 3G نیز موجود می‌باشند. [1]

برای اطلاعات بیشتر به کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کنید.

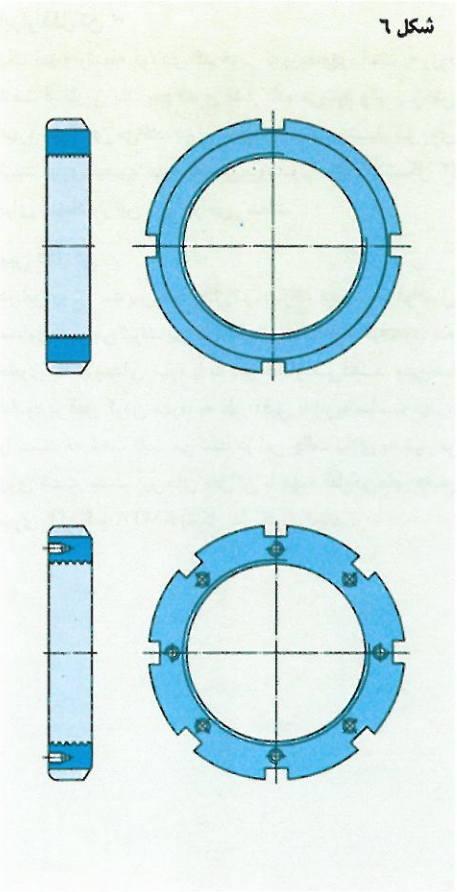
مهره قفل‌کن KM(L) با واشر قفل‌کن

مهره قفل‌کن‌های سری‌های KM و KML و با رزوه متریک ISO تا قطر 200 mm به همراه واشر قفل‌کن MB(L) (شکل ۷) یا طرح محکم‌تر A ... MB موجود می‌باشند.

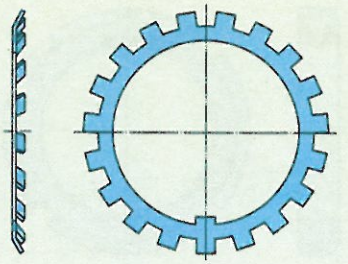
مهره قفل‌کن نوع HM(E) با گیره قفل‌کن

مهره‌های بزرگ‌تر در سری‌های HM(E) 30 و HM 31 با رزوه زوذنقه‌ای متریک با گیره قفل‌کن MS که شامل گیره و یک پیچ با سر چند وجهی مطابق استاندارد EN ISO 4017:2000 و یک واشر فنری قفل‌کن مطابق استاندارد DIN 128 (شکل ۶) هستند، قفل می‌شوند.

شکل ٦



شکل ۷



ابعاد

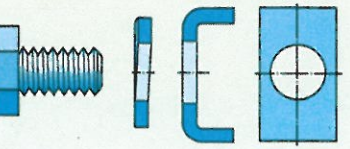
ابعـاد و رزوه مهـره مطـابق اسـتاندارد ISO 2982-2:2001 می‌باشند. ابعاد واشرها و گیره‌های قفل‌کن نیز مطابق استاندارد فوق هستند.

تلرانس‌ها

رزوه متریک مهره‌های KM و KML بـا تلـرانس 5H مطـابق اسـتاندارد ISO 965-3:1998 ماشـینکاری شـده اسـت. رزوه متریـک زوذنقـه‌ای مهـره‌هـای HM بـا تلـرانس 7H مطـابق استاندارد ISO 2903:1993 ماشینکاری شده است.

حـداکثر لنگـی محـوری رزوه و پیـشانی ثابـت‌کننـده (Locating Face) بـین 0.04 mm و 0.06 mm اسـت کـه بستگی به اندازه مهره قفل‌کن دارد.

شکل ۸



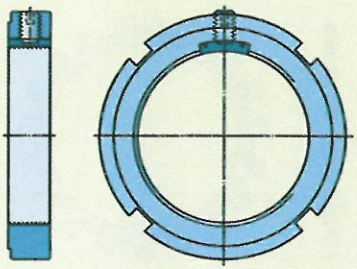
جنس

مهره‌های قفل‌کن تـا و در انـدازه HM 3160 و HM 3064 از جنس چدن کروی (Spheroidal Graphit Cast Iron) سـاخته می‌شوند. مهره‌های بزرگ‌تر از جنس فولادی بوده که بـا ضـد زنگ غیرحلال حفاظت شده‌اند. واشرها و گیره‌های قفل‌کـن از ورق فـولادی کـشیده‌شـده بـه روش عمیـق (Deep Drawn Steel Strip) ساخته می‌شوند.

رزوه مقابل بر روی شفت

رزوه مقابل بر روی شفت با تلرانس 6g مطابق اسـتاندارد ISO 965-3:1995، برای مهـره‌هـای کوچـک‌تـر و بـا تلـرانس 7e مطـابق اسـتاندارد ISO 2903:1993 بـرای مهـره‌هـا بـا رزوه زوذنقه‌ای، توصیه می‌شوند.

شکل ۹



مهره قفل‌کن با تجهیزات قفل‌کن سر خود

مهره قفل‌کن‌های طرح KMK (شکل ۹) دارای تجهیزات قفل‌کن سر خود می‌باشند که به شکل یک ورق فشاری (Pressure Plate) بوده که سطح آن دارای پروفیل رزوه می‌باشد. این ورق فشاری به رزوه شفت توسط یک پیچ مغزی فشار داده می‌شود و مهره را در محل خود قفل می‌کند.

نصب و در آوردن این مهره بسیار آسان بوده و ثبات محوری آن مؤثر و قابل اطمینان است. همچنین نیازی به واشر قفل‌کن و یا شیار اضافی بر روی شفت نمی‌باشد. مهره‌های نوع KMK قابل استفاده مجدد نیز می‌باشند.

مهره‌های KMK دارای شکاف‌های روی محیط خارجی‌بوده و می‌توان آنها را با آچار قلابدار محکم نمود. برای سفت کردن پیچ مکانیزم قفل‌کن به آچار شش گوش (Hexagonal Wrench) نیاز می‌باشد. ابعاد مناسب آچار و پیچ مکانیزم قفل‌کن در جداول آورده شده‌اند. همچنین میزان گشتاور لازم برای سفت کردن پیچ مکانیزم قفل‌کن نیز در جداول ذکر شده است.

ابعاد

ابعاد و رزوه مهره‌های طرح KMK بجز پهنای آنها مطابق استاندارد ISO 2982-2:2001 است. پیچ مغزی این مهره‌ها مطابق جنس کلاس 45H استاندارد ISO 4026:1993 می‌باشد.

تلرانس‌ها

رزوه متریک ISO با تلرانس 5H مطابق استاندارد ISO 965-3:1998 ماشینکاری شده است.

جنس

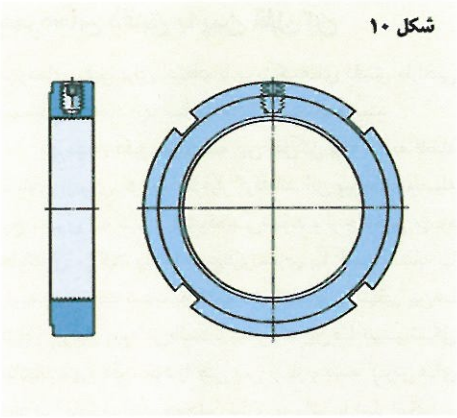
مهره‌های طرح KMK از جنس فولادی می‌باشند که فسفاته‌شده و با ضد زنگ غیرحلال حفاظت شده‌اند.

رزوه مقابل بر روی شفت

رزوه مقابل با تلرانس 6g مطابق استاندارد ISO 965-3:1998 بر روی شفت توصیه می‌شود.

مهره قفل‌کن با پیچ قفل‌کن

شکل ۱۰



مهره قفل‌کن‌ها با پیچ قفل‌کن (شکل ۱۰) با نام KMFE مشخص می‌شوند. پیچ قفل‌کن بخشی از رزوه مهره را به رزوه شفت فشار داده و از چرخش آن جلوگیری می‌کند.

نصب و در آوردن مهره آسان بوده و ثبات محوری آن مؤثر و قابل اطمینان است. همچنین نیازی به واشر قفل‌کن و یا شیار اضافی بر روی شفت نمی‌باشد. مهره‌های طرح KMFE قابل استفاده مجدد می‌باشند.

مهره‌های طرح KMFE دارای شکاف‌های بر روی محیط خارجی خود می‌باشند. تا بتوان آنها را توسط آچار قلابدار با ضربه زدن محکم کرد. یک آچار شش گوش برای سفت کردن پیچ مغزی لازم است.

اندازه آچار مناسب در جداول آورده شده‌اند. همچنین پیچ مغزی را باید تا میزان گشتاور توصیه‌شده در جداول محکم کرد.

ابعاد

ابعاد و رزوه مهره‌های طرح KMFE بجز پهنای آنها مطابق استاندارد ISO 2982-2:1995 است. پیچ مغزی از جنس کلاس 45H مطابق استاندارد ISO 4026:1993 می‌باشد.

تلرانس‌ها

رزوه متریک ISO با تلرانس 5H مطابق استاندارد ISO 965-3:1998 رزوه می‌شود.

جنس

مهره‌های طرح KMFE از جنس فولادی می‌باشند که با ضد زنگ غیرحلال محافظت شده‌اند.

رزوه مقابل بر روی شفت

رزوه مقابل با تلرانس 6g مطابق استاندارد ISO 965-3:1998 بر روی شفت توصیه می‌شود.

مهره‌های دقیق با پین قفل‌کن

مهره‌های دقیق برای استفاده با بیرینگ‌های دقیق طراحی شده‌اند و لذا ابعاد آنها مطابق ابعاد این بیرینگ‌هاست.

مهره‌های دقیق دارای سه پین قفل‌کن بوده که به فاصله مساوی بر روی محیط آنها قرار گرفته‌اند. این پین‌ها به وسیله پیچ مغزی به شفت فشرده می‌شوند و از چرخش مهره جلوگیری می‌کند. پین‌ها و پیچ‌های مغزی با زاویه مشابه با زاویه رزوه شفت نسبت به شفت قرار گرفته‌اند و انتهای پین‌ها دارای پروفیل رزوه می‌باشند تا زمانی که پین‌ها تغییر شکل نداده‌اند مهره دقت خود را حتی پس از باز و بسته کردن‌های زیاد نیز حفظ می‌کند. همچنین نیازی به واشر یا شیار اضافی بر روی شفت نمی‌باشد.

مهره‌های دقیق در دو طرح زیر ساخته می‌شوند.

- مهره قفل‌کن KMT (شکل ۱۱) که با شکاف‌های بر روی محیط خارجی طراحی شدند که بتوان با آچار آنها را محکم کرد. همچنین تا اندازه ۱۵ دارای دو بخش پخ مانند در مقابل هم در محیط مهره می‌باشند. این مهره‌ها در کاربردهای که دقت، سادگی و قابلیت اطمینان نیاز است بکار برده می‌شوند.
- مهره‌های طرح KMTA (شکل ۱۲) دارای شکل خارجی و گام رزوه متفاوت نسبت به طرح KMT می‌باشند. این مهره‌ها دارای محیط خارجی با سطح استوانه‌ای شکل بوده و در کابردهای که محدودیت فضا وجود دارد بکار می‌روند. به علت شکل خارجی استوانه‌ای، این مهره را می‌توان به عنوان بخشی از آب‌بند نوع شیاری بکار برد. حفره‌های اطراف محیط و سوراخ‌های روی سطح پیشانی این مهره‌ها نصب آنها را ساده می‌کند.

مهره‌های دقیق قابل تنظیم می‌باشند سه پینی که با فاصله مساوی بر روی مهره قرار می‌گیرند به طور دقیق مهره را بر روی شفت با زاویه مناسب ثابت می‌کنند. همچنین می‌توان عدم دقت و انحراف اجزای دیگر که باید بر روی شفت ثابت شوند را، تنظیم کرد.

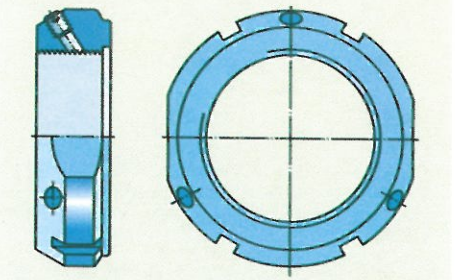
ابعاد

مهره‌های KMT و KMTA دارای رزوه متریک ISO مطابق استاندارد ISO 965-3:1998 می‌باشند.

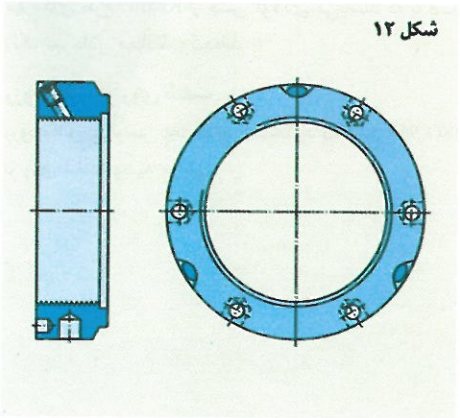
تلرانس‌ها

رزوه متریک ISO با تلرانس 5H مطابق استاندارد ISO 965-3:1998 ماشینکاری می‌شود. حداکثر خطای لنگی بین رزوه و سطح ثابت‌کننده برای مهره‌ها تا اندازه 26، 0.005 mm است.

شکل ۱۱



شکل ۱۲



جنس

مهره قفل‌کن KMT و KMTA از فولاد مقاوم که فسفاته‌شده و با ضد زنگ غیرحلال حفاظت شده‌اند، ساخته می‌شوند.

رزوه مقابل بر روی شفت

رزوه مقابل بر روی شفت باید با تلرانس 6g مطابق استاندارد ISO 965-3:1998 باشد.

نصب

مهره‌های قفل‌کن KMT دارای شکاف‌هایی بر روی محیط بیرونی بوده و تا اندازه 15 دارای دو پخ محیطی در مقابل هم می‌باشند. انواع مختلف آچار نظیر آچار قلابدار و ضربه‌ای را می‌توان وابسته به ابعاد مهره استفاده کرد. در جداول نوع آچار مناسب برای هر مهره آورده شده است.

مهره قفل‌کن KMTA را می‌توان با آچار پینی به کمک یک پیچ دو سردنده که در یکی از سوراخ‌های محیطی قرار می‌گیرد، محکم نمود. همچنین می‌توان از آچار با پیشانی نوع پینی یا اهرم میله‌ای (Tommy Bar) نیز استفاده کرد. آچار مناسب مطابق استاندارد DIN 1810-1979 بوده و در جداول آورده شده است.

برای قفل کردن مهره‌های KMT و KMTA پیچ مغزی را باید ابتدا به آرامی محکم کرد تا رزوه‌های پین قفل‌کن با رزوه شفت درگیر شوند. سپس باید پیچ مغزی را به آرامی با گشتاوری که در جداول آورده شده محکم کرد.

لازم است که عدم همراستایی بین سطح تماس مهره با اجزای مجار اصلاح شود. برای این منظور پیچ مغزی در موقعیتی که بیشترین انحراف را دارد را باید ابتدا شل کرده و دو پیچ دیگر با درجه یکسان محکم شوند، سپس پیچ شل‌شده را محکم کرد. اگر عدم همراستایی بر طرف نشود باید روش فوق تکرارشده تا دقت لازم به دست آید. دقت کار را می‌توان با استفاده از یک گیج عقربه‌ای تعیین کرد.

بیرون آوردن

هنگام بیرون آوردن مهره‌های KMT و KMTA، حتی پس از باز کردن پیچ مغزی ممکن است پین‌ها با رزوه‌های شفت درگیر باشند. با ضربه زدن به مهره در نزدیکی پیچ مغزی به کمک یک چکش لاستیکی می‌توان پین‌ها را شل کرده و سپس مهره را به سادگی از روی شفت بازکرد.

مراجع:

[1] SKF Catalogue "Bearing Accessories".

فصل چهاردهم

نشیمنگاه‌های بیرینگ

فصل (۱۴-۱) ـ نشیمنگاه‌های طرح Plummer نوع SNL در سری‌های 2، 3، 5 و 6 ..... ۵۴۵
فصل (۱۴-۲) ـ انواع دیگر نشیمنگاه‌های بیرینگ ۵۵۱

نشیمنگاه‌ها و بیرینگ‌ها با همدیگر تشکیل مجموعه‌ای اقتصادی و قابل جایگزینی می‌دهند که نیازهای طراحی ساده و صحیح را بر طرف می‌نمایند.

نشیمنگاه‌های بیرینگ‌ها در طرح‌ها و ابعاد مختلف بر اساس تجارب جمع‌آوری‌شده از صنایع مختلف تولید می‌شوند. نشیمنگاه‌های بیرینگ دارای مزایای زیر می‌باشند.

- مجموعه وسیعی از طرح‌ها و ابعاد
- کیفیت بالا در طراحی و ساخت
- قابلیت دسترسی آسان

نشیمنگاه‌های طرح Plummer (Pillow) Block نوع SNL سری‌های 2، 3، 5 و 6 بیشترین کاربرد را داشته و با جزئیات بیشتری شرح داده می‌شوند.

دیگر نشیمنگاه‌هایی که در محدوده تولیدات استاندارد قرار دارند شامل،

- نشیمنگاه‌های طرح Plummer دو تکه
- نشیمنگاه‌های طرح Plummer یک تکه
- نشیمنگاه‌های فلنجی و
- نشیمنگاه‌های طرح Take-up

می‌باشند، که فقط خصوصیات اصلی آنها در این جا شرح داده می‌شود. برای جزئیات بیشتر به مراجعی که ذکر شده است مراجعه کنید.

نشیمنگاه‌های خاص برای کاربردهای زیر نیز تولید می‌شوند.

- نوار نقاله و Drums
- مجموعه رولرها و مبدل‌ها (Roller Bed and Converters)
- نورد لوله (Tube Mill) و کوره‌های دورانی (Rotary Furnace)
- ماشین‌آلات کاغذسازی
- آسیاب بادی (Windmills)
- پنیون چرخ دنده‌های باز
- موتورهای الکتریکی بزرگ
- چیدمان بیرینگ‌های Rudder Post
- چیدمان بیرینگ‌های تکیه‌گاه در شفت کشتی‌ها

علاوه بر نشیمنگاه‌های فوق، مجموعه بیرینگ‌های آماده نصب که شامل نشیمنگاه، بیرینگ و آب‌بندهای مناسب می‌باشند نیز تولید می‌شوند.

فصل (۱۴-۱)

نشیمنگاه‌های طرح Plummer

نوع SNL در سری‌های 2، 3، 5 و 6

خصوصیات طراحی ۵۴۶
اجزای سیستم ۵۴۶
پایه تقویت‌شده ۵۴۶
اتصال پایه ۵۴۶
انتقال حرارت ۵۴۶
امکانات روانکاری مجدد ۵۴۶
علامت‌گذاری پایه‌ها و در پوش‌ها ۵۴۷
کمک در نصب ۵۴۷
علامت‌گذاری محل سوراخ‌ها برای نصب تجهیزات جانبی ۵۴۷
انواع چیدمان‌ها ۵۴۷
بیرینگ‌ها در چیدمان بیرینگ شناور ۵۴۷
بیرینگ‌ها در چیدمان بیرینگ ثابت ۵۴۷
آب‌بندها ۵۴۸
خصوصیات خاص طراحی ۵۴۸
اطلاعات عمومی نشیمنگاه‌ها ۵۴۹
ابعاد ۵۴۹
تلرانس‌ها ۵۴۹
جنس ۵۴۹
محافظت در برابر خوردگی ۵۴۹
ظرفیت حمل بار محوری ۵۴۹
روانکاری ۵۴۹
سفارش نشیمنگاه‌های SNL به همراه بیرینگ و تجهیزات آن ۵۴۹

خصوصیات طراحی

نشمینگاه طراح Plummer مدل SNL (شکل ۱) بیشترین کاربرد را بین انواع نشیمنگاه‌ها دارد. به علت تنوع این نشیمنگاه‌ها به ندرت لازم است که نشیمنگاه خاص برای کاربردی طراحی شود. خصوصیات اصلی این نشیمنگاه‌ها در زیر شرح داده می‌شوند. اطلاعات بیشتر در رابطه با این نشیمنگاه‌ها در مرجع [1] و کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده‌اند.

اجزای سیستم

نشیمنگاه‌های مدل SNL شامل مجموعه‌ای از نشیمنگاه‌ها مشابه در طراحی با ابعاد متفاوت می‌باشند. با ترکیب این نشیمنگاه‌ها با آب‌بندهای مختلف (شکل ۲) گزینه‌های مختلفی در محدوده تولیدات استاندارد به دست می‌آید. نشیمنگاه‌های SNL می‌تواند برای شفت‌ها از قطر 20 mm تا 160 mm بکار برده شوند.

پایه تقویت‌شده

پایه نشیمنگاه به وسیله تیغه‌ها و گوشت اضافی در اطراف سوراخ‌های اتصال نشیمنگاه به پایه تقویت شده است تا اتصال بهتری با صفحه پایه (Base Plate) ایجاد کند. پیچ‌های متصل‌کننده را می‌توان پیش بار کرده تا اتصال بهتری به دست آید. این مسئله باعث تغییر شکل پایه و یا سوراخ نشیمنگاه نمی‌شود.

اتصال پایه

نشیمنگاه‌های SNL به صورت استاندارد دارای دو سوراخ اتصال در پایه می‌باشند. نشیمنگاه‌ها با ابعاد 609-511 و بزرگ‌تر به صورت استاندارد با چهار سوراخ اتصال در پایه و با شماره فنی FSNL موجود می‌باشند. همچنین نشیمنگاه‌های بزرگ بدون سوراخ اتصال با (شماره فنی SSNLD) و فقط با جنس چدن داکتیل نیز موجود می‌باشند.

همچنین نشیمنگاه‌های کوچک‌تر از 609-511 را می‌توان با چهار سوراخ برای نصب استفاده نمود. در این حالت محل ایجاد سوراخ‌ها بر روی پایه علامت‌گذاری شده‌اند.

انتقال حرارت

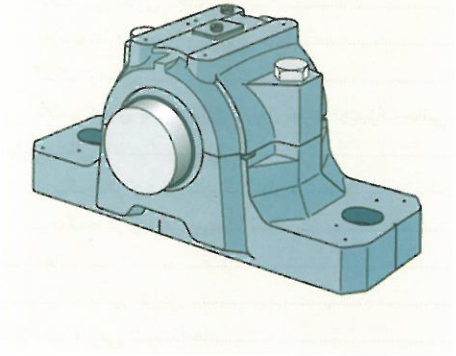
تیغه‌های اضافی در پایه نشیمنگاه سطح مقطع بین نشیمنگاه و پایه را افزایش‌داده و باعث بهبود انتقال حرارت از بیرینگ به پایه می‌شوند.

امکانات روانکاری مجدد

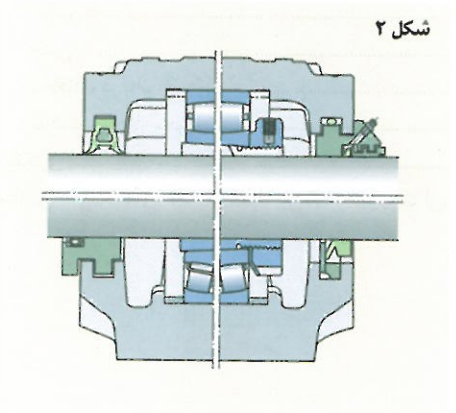
در پوش نشیمنگاه‌های SNL دارای دو سوراخ (بسته‌شده) برای نصب گریس خور (Grease Nipples) می‌باشند. یکی از این سوراخ‌ها با در پوش فلزی بسته‌شده و دیگری دارای گریس خور است.

همچنین سه محل اضافی دیگر برای روانکاری مجدد بیرینگ و آب‌بندها علامت‌گذاری شده‌اند.

شکل ۱



شکل ۲



علامت‌گذاری پایه‌ها و درپوش‌ها

پایه و درپوش نشیمنگاه‌ها در حین ساخت نسبت به هم تنظیم می‌شوند و قابل تعویض با نشیمنگاه‌های دیگر نمی‌باشند. برای جلوگیری از اشتباه، هر پایه و درپوش با شماره منحصر به فردی علامت‌گذاری می‌شوند.

کمک در نصب

برای نصب ساده و تنظیم دقیق همراستایی، در دو صفحه انتهایی پایه نشیمنگاه علامت‌هایی که نشان‌دهنده محور سوراخ (Bore Axis) و محوری عمودی (Vertical Axis) هستند، حک شده است.

علامت‌گذاری محل سوراخ‌ها برای نصب تجهیزات جانبی

محل سوراخ‌ها برای نصب دوال پین (Dowel Pin)، سنسورهای تشخیص وضعیت و یا تجهیزات گریسکاری اضافی بر روی نشیمنگاه علامت‌گذاری شده‌اند.

انواع چیدمان‌ها

علاوه بر این که می‌توان انواع بیرینگ‌ها را در نشیمنگاه‌های SNL بکار برد. می‌توان انواع چیدمان‌ها را نیز با آنها ایجاد کرد.

- بیرینگ‌ها با رینگ داخلی مخروطی بر روی غلاف واسطه با شفت بدون پله (شکل ۳) ــ نشیمنگاه‌های SNL سری‌های 5 و 6 (جداول نشیمنگاه‌ها)
- بیرینگ با رینگ داخلی استوانه‌ای بر روی شفت پله‌دار (شکل ۴) نشیمنگاه SNL سری‌های 2 و 3 (جداول نشیمنگاه‌ها)

بیرینگ‌ها در چیدمان بیرینگ شناور

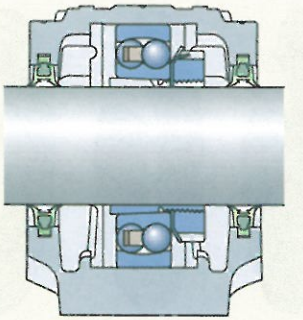
محل نشستن بیرینگ در نشیمنگاه به اندازه کافی پهن می‌باشد که اجازه جابجایی محوری را به بیرینگ می‌دهد. بیرینگ‌های CARB که جابجایی محوری را در داخل بیرینگ جبران می‌کنند باید در داخل نشیمنگاه به کمک رینگ‌های ثابت‌کننده در محل خود ثابت شوند. توصیه عملی بخش « فضای خالی اطراف بیرینگ » در فصل رولربیرینگ‌های توریدال CARB (صفحه ۴۴۴) را باید در نظر داشت.

بیرینگ‌ها در چیدمان بیرینگ ثابت

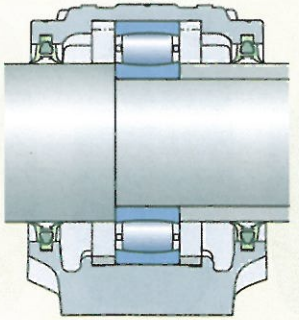
برای ثابت کردن بیرینگ در نشیمنگاه از دو رینگ ثابت‌کننده با پهنای مشابه در دو طرف بیرینگ استفاده می‌شود. بدین صورت بیرینگی که در وسط نشیمنگاه قرار گرفته ثابت می‌شود.

رینگ‌های ثابت‌کننده، با پیشوند FRB که بعد از آن ابعاد (پهنا / قطر خارجی) رینگ بر حسب mm، آورده می‌شود، مشخص می‌شوند، نظیر FRB 11.5/100. در جداول رینگ مناسب برای هر نشیمنگاه و بیرینگ آورده شده است.

شکل ۳



شکل ٤



آب‌بندها

آب‌بندهای استاندارد (شکل ۵) زیر برای استفاده با نشیمنگاه‌های SNL موجود می‌باشند.

- آب‌بند دو لبه طرح TSN ... G (الف) برای سرعت‌های محیطی تا 8 m/s و دمای کارکرد -40 °C تا +100 °C
- آب‌بند چهار لبه TNS ... L (ب) برای سرعت‌های محیطی تا 13 m/s و دمای کارکرد از -40 °C تا +100 °C
- آب‌بند V- رینگ طرح TSN ... A (ج) برای سرعت‌های محیطی تا 7 m/s و برای شرایط خاص تا 12 m/s، دمای کارکرد این آب‌بندها از -40 °C تا +100 °C است
- آب‌بند شیاردار طرح TSN ... S (د) بدون محدودیت سرعت محیطی برای دمای کارکرد -50 °C تا +200 °C
- آب‌بند نوع تاکونیت (Taconite) برای شرایط سخت با شیارهای عمودی طرح TSN ... ND (ه) برای سرعت‌های محیطی تا 12 m/s و دمای کارکرد از -40 °C تا +100 °C

کلیه آب‌بندها قابل تعویض با یکدیگر می‌باشند و نیاز به اصلاحاتی بر روی نشیمنگاه نیست.

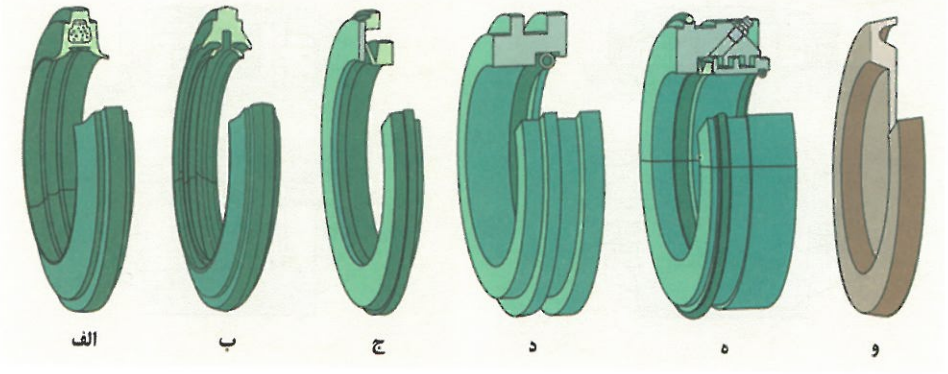
برای نشیمنگاه‌هایی که در انتهای شفت نصب می‌شوند. در پوش‌های سری ASNH (و) موجود می‌باشند.

خصوصیات خاص طراحی

نشیمنگاه‌های SNL را می‌توان با خصوصیات خاص نسبت به طرح استاندارد سفارش داد. بعضی از این خصوصیات در زیر شرح داده و با پسوندهای زیر در شماره فنی نشیمنگاه مشخص می‌شوند.

V	نشیمنگاه با سوراخ فرار گریس
T	سوراخ و رزوه UNF 28-1/4 در گوشه در پوش نشیمنگاه با گریس خور AH 1/4-28 SAE-LT برای روانکاری آب‌بندها.
TD	سوراخ و رزوه UNF 28-1/4 در هر دو طرف درپوش نشیمنگاه با دو گریس خور AH 1/4-28 SAE-LT برای روانکاری آب‌بندها
SN	نشیمنگاه با سوراخ رزوه‌شده برای سنسور
K7	داخل نشیمنگاه با تلرانس K7 ماشینکاری شده است

شکل ۵



اطلاعات عمومی نشیمنگاه‌ها

ابعاد

ابعاد خارجی نشیمنگاه‌های SNL مطابق استاندارد ISO 113:1999 می‌باشند. این نشیمنگاه‌ها از نظر ابعادی با طرح‌های قبلی SN، SNA و SNH قابل تعویض می‌باشند.

تلرانس‌ها

حدود تلرانس ارتفاع مرکز H_1 (فاصله مرکز نشیمنگاه تا سطح تکیه‌گاه نشیمنگاه) مطابق js11 می‌باشد. محل نشستن بیرینگ در نشیمنگاه با تلرانس G7 ماشینکاری شده است.

جنس

نشیمنگاه‌های SNL از چدن خاکستری ساخته می‌شوند. برای کاربردهایی که مقاومت چدن خاکستری کافی نیست می‌توان نشیمنگاه مشابه از نظر ابعادی را با چدن کروی سفارش داد. این نشیمنگاه‌ها فقط با چهار سوراخ اتصال (سری FSNLD) یا بدون سوراخ در پایه (سری SSNLD) تولید می‌شوند.

محافظت در برابر خوردگی

نشیمنگاه‌های SNL با رنگ سیاه RAL9005 مطابق استاندارد ISO 12944-2:1998 و کلاس محیطی C2 رنگ‌آمیزی می‌شوند. و سطوح رنگ نشده با ضد زنگ غیرحلال محافظت شده‌اند.

ظرفیت حمل بار محوری

نشیمنگاه‌های SNL برای تحمل بار عمودی به سمت پایه نشیمنگاه طراحی شده‌اند. در این شرایط محدودیت بار فقط محدودیت حمل بار بیرینگ است در صورتی که بار در جهت‌های دیگر وارد شود. باید مقدار بار را با بار مجاز نشیمنگاه، پیچ‌های متصل‌کننده در پوش و پایه نشیمنگاه و پیچ‌های متصل‌کننده نشیمنگاه به پایه مقایسه کرد.

روانکاری

نشیمنگاه‌های SNL با آب‌بندهای استاندارد برای روانکاری با گریس طراحی شده‌اند. برای روانکاری با روغن لازم است اصلاحاتی بر روی نشیمنگاه انجام گیرد. این نشیمنگاه‌ها فقط به همراه آب‌بندهای مخصوص برای روانکاری با روغن باید سفارش شوند.

سفارش نشیمنگاه‌های SNL به همراه بیرینگ و تجهیزات آن

نشیمنگاه، آب‌بند، درپوش و رینگ‌های ثابت‌کننده باید به طور جداگانه سفارش داده شوند. بیرینگ و غلاف مورد نیاز نیز باید به طور جداگانه سفارش‌داده شوند.

مثال

دو نشیمنگاه SNL با آب‌بند دو لبه برای رولربیرینگ کروی 22212 EK بر روی غلاف واسطه H 312 لازم می‌باشند. یک نشیمنگاه برای موقعیت شناور در انتهای شفت و دیگری برای موقعیت ثابت که شفت از درون آن عبور می‌کند، لازم می‌باشند. علاوه بر بیرینگ و غلاف اجزای زیر باید سفارش داده شوند.

- دو عدد نشیمنگاه SNL 512-610
- دو عدد آب‌بند چهار لبه مدل TSN 512 L (هر بسته شامل ۲ عدد آب‌بند است)
- یک عدد در پوش ASNH 512-610
- دو عدد رینگ ثابت‌کننده FRB 10/110

و

- دو عدد بیرینگ 22212 EK
- دو عدد غلاف H 312

مراجع:

[1] SKF Catalogue "SNL Plummer Block Housing Solve the Housing Problems"

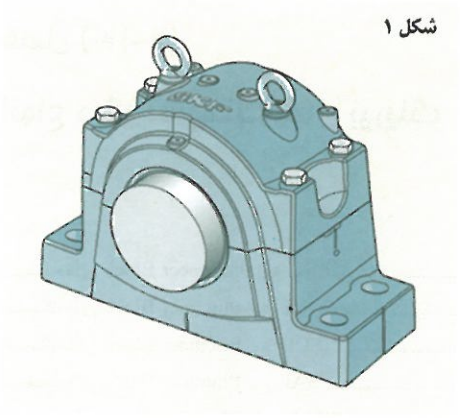
فصل (۱۴-۲)

انواع دیگر نشیمنگاه‌های بیرینگ

نشیمنگاه‌های Plummber Block نوع SNL بزرگ ۵۵۲
نشیمنگاه‌های Plummer Block نوع SONL ۵۵۳
نشیمنگاه‌های Plummer Block نوع SDG ۵۵۴
نشیمنگاه‌های Plummer Block نوع SAF ۵۵۵
نشیمنگاه‌های Plummer Block طرح SDAF ۵۵۶
نشیمنگاه‌های Plummber Block طرح SBD ۵۵۷
نشیمنگاه‌های طرح TVN ۵۵۸
نشیمنگاه‌های مدل TN ۵۵۹
نشیمنگاه‌های فلنجی I-1200(00) ۵۶۰
نشیمنگاه‌های فلنجی 7225(00) ۵۶۱
نشیمنگاه‌های طرح Take-up نوع THD ۵۶۲

نشیمنگاه‌های Plummber Block نوع SNL بزرگ

شکل ۱



نشیمنگاه‌های بزرگ SNL طرح Plummer (شکل ۱) بر اساس تجارب به دست آمده در رابطه با نشیمنگاه SNL کوچک (صفحه ۵۴۵) برای بیرینگ‌ها و شفت‌های بزرگ‌تر طراحی شده‌اند. این نشیمنگاه‌ها توسعه طرح قدیمی SD می‌باشند و از نظر ابعادی می‌توان آنها را جایگزین نمود.

نشیمنگاه‌های بزرگ طرح SNL به صورت استاندارد برای بیرینگ‌های زیر مناسب می‌باشند.

- رولربیرینگ‌های کروی در سری‌های 230، 231 و 232
- رولربیرینگ‌های CARB در سری‌های C30، C31 و C32

البته می‌توان آنها را برای بیرینگ‌های دیگر در سری‌های 22، 23 و 40 نیز بکار برد.

این نشیمنگاه‌ها برای چیدمان‌های بیرینگ زیر بکار می‌روند.

- بیرینگ‌های بر روی غلاف‌های واسطه و شفت بدون پله از قطر 115 تا 500 mm و 15/16 5 تا 1/2 19 اینچ
- بیرینگ بر روی شفت پله‌دار استوانه‌ای از قطر 130 تا 530 mm

آب‌بندها

- آب‌بند شیاردار
- آب‌بند تاکونیت برای شرایط سخت
- آب‌بند روغن

روانکاری

- روانکاری با گریس
- روانکاری با روغن

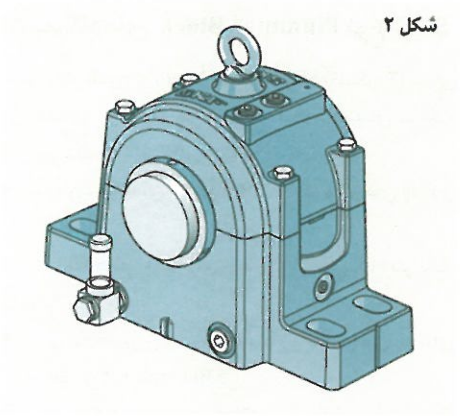
جنس

- چدن خاکستری
- چدن کروی

برای اطلاعات بیشتر به مرجع [1] یا لوح فشرده همراه کتاب مراجعه کنید.

نشیمنگاه‌های Plummer Block نوع SONL

شکل ۲



نشیمنگاه‌های طرح Plummer مدل SONL با روانکاری با رینگ غوطه‌ور در روغن (شکل ۲) برای سرعت‌ها و دماهای کارکرد بالا بکار می‌روند. این نشیمنگاه‌ها توسعه طرح قدیمی SOFNمی‌باشند که از نظر ابعادی قابل جایگزینی هستند. نشیمنگاه‌های دو تکه SONL را می‌توان برای بیرینگ‌های زیر بکار برد.

- رولربیرینگ‌های کروی سری 222 و
- رولربیرینگ‌های CARB سری C 22

این نشیمنگاه‌ها برای چیدمان‌های بیرینگ زیر بکار می‌روند.

- بیرینگ بر روی غلاف واسطه و شفت بدون پله از قطر 75 تا 220 mm
- بیرینگ بر روی شفت پله‌دار و استوانه‌ای از قطر 85 تا 240 mm

نشیمنگاه‌های SOFN که برای شفت‌های بزرگ‌تر و بیرینگ‌های سری 23 بکار می‌روند در محدوده سری SONL نمی‌باشند و هنوز با همان طرح قدیمی موجود هستند.

آب‌بندها

- آبند شیاردار

روانکاری

- حمام روغن با رینگ غوطه‌ور
- سیستم چرخش روغن

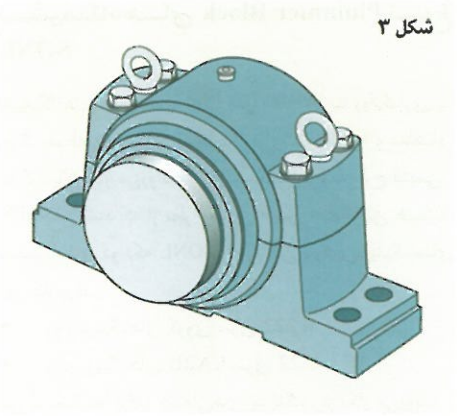
جنس

- چدن خاکستری
- چدن کروی

اطلاعات بیشتر در مرجع [2] و کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده همراه کتاب آورده شده‌اند.

نشیمنگاه‌های Plummer Block نوع SDG

شکل ۳



نشیمنگاه طرح Plummer نوع SDG (شکل ۳) برای بیرینگ‌های بزرگ بکار می‌روند. این نشیمنگاه‌های دو تکه برای بیرینگ‌های زیر بکار می‌روند.

- رولربیرینگ‌های کروی و CARB در سری‌های ابعادی مختلف

نشیمنگاه‌های فوق برای چیدمان‌های بیرینگ زیر بکار می‌روند.

- بیرینگ‌ها بر روی غلاف واسطه و شفت بدون پله برای قطر از 125 تا 530 mm
- بیرینگ‌ها بر روی غلاف واسطه و شفت پله‌دار استوانه‌ای برای قطر 125 تا 530 mm
- بیرینگ بر روی غلاف بیرون کشیدنی و شفت پله‌دار استوانه‌ای برای قطر 135 تا 600 mm
- بیرینگ‌ها بر روی شفت پله‌دار استوانه‌ای برای قطر 140 تا 710 mm

آب‌بندها

- کاسه نمد
- کاسه نمد با V- رینگ اضافی
- رینگ شیاردار با آب‌بند داخلی کاسه نمد

روانکاری

- روانکاری با گریس

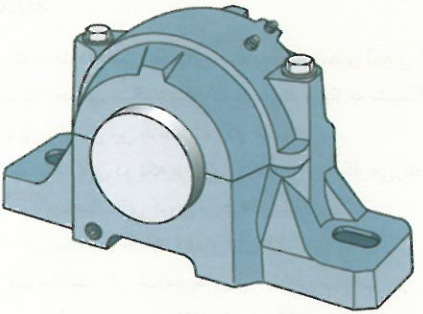
جنس

- چدن خاکستری
- چدن کروی
- فولاد ریخته‌گری

برای اطلاعات بیشتر به مرجع [3] و کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده مراجعه کنید.

نشیمنگاه‌های Plummer Block نوع SAF

شکل ٤



نشیمنگاه‌های طرح Plummer نوع SAF (شکل ۴) برای شفت‌های اینچی طراحی شده‌اند. این نشیمنگاه‌های دو تکه را می‌توان برای بیرینگ‌های زیر بکار برد.

- بلبیرینگ‌های خود تنظیم سری‌های 12 و 13
- رولربیرینگ‌های کروی سری‌های 222، 223 و 230
- بیرینگ‌های CARB در سری‌های C 22، C 23 و C 30

این نشیمنگاه‌ها برای چیدمان‌های بیرینگ زیر بکار می‌روند.

- بیرینگ‌ها بر روی غلاف واسطه با شفت بدون پله در قطرهای 3/16 1 تا 7/16 10 اینچ
- بیرینگ بر روی شفت پله‌دار اینچی با محل قرارگیری متریک استوانه‌ای با قطر 40 تا 220 mm

آب‌بندها

- آب‌بند شیاردار
- آب‌بند شیاردار با آب‌بند داخلی شعاعی
- آب‌بند شعاعی
- آب‌بند تاکونیت برای شرایط سخت

روانکاری

- روانکاری با گریس
- روانکاری با روغن

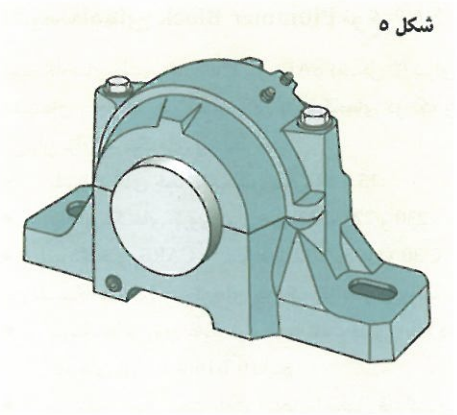
جنس

- چدن خاکستری
- چدن کروی
- فولاد ریخته‌گری

برای اطلاعات بیشتر به کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده مراجعه کنید.

نشیمنگاه‌های Plummer Block طرح SDAF

شکل ۵



این نشیمنگاه‌ها (شکل ۵) برای استفاده با شفت‌های اینچی که تحت بار محوری سنگین و شوک می‌باشند و نیاز به نشیمنگاه قوی برای تحمل این بارهاست، بکار می‌روند.

این نشیمنگاه‌های دو تکه برای بیرینگ‌های زیر بکار می‌روند.

- رولربیرینگ‌های کروی سری‌های 222 و 223 و
- بیرینگ‌های CARB سری‌های C 22 و C 23

این نشیمنگاه‌ها برای چیدمان‌های زیر طراحی شده‌اند.

- بیرینگ‌ها بر روی غلاف واسطه با شفت بدون پله برای قطر از 15/16 8 تا 15/16 7 اینچ
- بیرینگ‌ها بر روی شفت پله‌ای اینچی با محل قرارگیری متریک استوانه‌ای برای قطر از 85 تا 220 mm

آب‌بندها

- آب‌بند شیاردار
- آب‌بند شیاردار با آب‌بند شعاعی داخلی
- آب‌بند شعاعی
- آب‌بند تاکونیت برای شرایط سخت

روانکاری

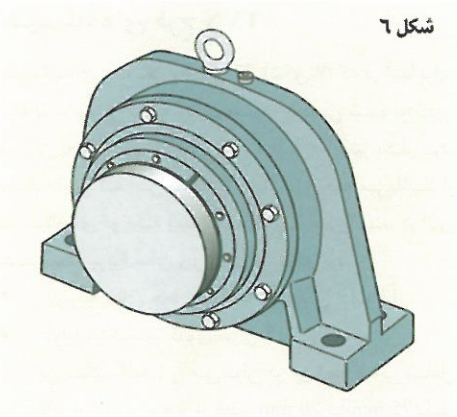
- روانکاری با گریس
- روانکاری با روغن

جنس

- چدن خاکستری
- فولاد ریخته‌گری

برای اطلاعات بیشتر به کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده مراجعه کنید.

شکل ٦



نشیمنگاه‌های Plummber Block طرح SBD

این نشیمنگاه‌ها یک تکه بوده و می‌توانند بارهای سنگین را در جهت پایه نشیمنگاه و دیگر جهات تحمل کنند. این نشیمنگاه‌ها را می‌توان برای بیرینگ‌های زیر بکار برد.

- رولربیرینگ‌های کروی در سری‌های 230، 231، 222 و 232
- بیرینگ‌های CARB در سری‌های C 30، C 31، C 22 و C 32

این نشیمنگاه‌ها برای چیدمان‌های زیر طراحی شده‌اند.

- بیرینگ‌ها بر روی غلاف واسطه و شفت بدون پله از قطر 90 تا 400 mm
- بیرینگ‌ها بر روی غلاف واسطه و شفت پله‌دار استوانه‌ای برای قطر از 80 تا 400 mm
- بیرینگ‌ها بر روی شفت پله‌دار استوانه‌ای برای قطر از 100 تا 240 mm

آب‌بندها

- آب‌بند شیاردار

روانکاری

- روانکاری با گریس

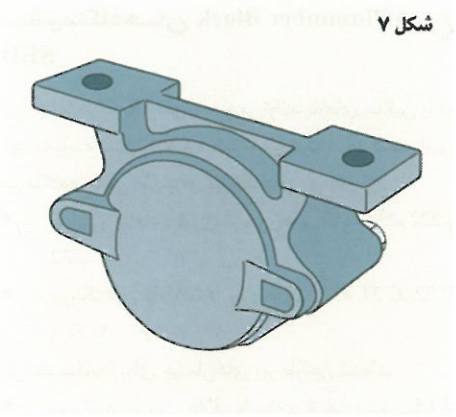
جنس

- فولاد ریخته‌گری
- چدن خاکستری
- چدن کروی

برای اطلاعات بیشتر به مرجع [3] و کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده مراجعه کنید.

نشیمنگاه‌های طرح TVN

شکل ۷



نشیمنگاه‌های یک تکه مدل TVN (شکل ۷) که در ابتدا برای استفاده در وسایل نقلیه ریلی سبک طراحی شده بودند را می‌توان بجای نشیمنگاه‌های طرح Plummber نیز بکار برد. به علت این که این نشیمنگاه‌ها یک تکه می‌باشند از نشیمنگاه‌های دو تکه (افقی) محکم‌تر می‌باشند. در این نشیمنگاه‌ها بیرینگ‌های زیر را می‌توان بکار برد.

- بلبیرینگ‌های خود تنظیم در سری‌های 12 و 13
- رولربیرینگ‌های کروی سری 213

این نشیمنگاه‌ها را می‌توان در چیدمان‌هایی شامل شفت‌های استوانه‌ای پله‌دار از قطر 20 mm تا 75 mm بکار برد.

آب‌بندها

- کاسه نمد

روانکاری

- روانکاری با گریس

جنس

- چدن خاکستری

برای اطلاعات بیشتر به مرجع [3] و کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده مراجعه کنید.

نشیمنگاه‌های مدل TN

نشیمنگاه‌های یک تکه مدل TN (شکل ۸) برای کاربردهای معمولی بکار می‌روند. این نشیمنگاه‌ها برای بلبیرینگ‌های خود تنظیم با رینگ داخلی بیرون‌زده، سری 112 برای قطر شفت 20 تا 60 mm بکار می‌روند.

آب‌بندها

- کاسه نمد

روانکاری

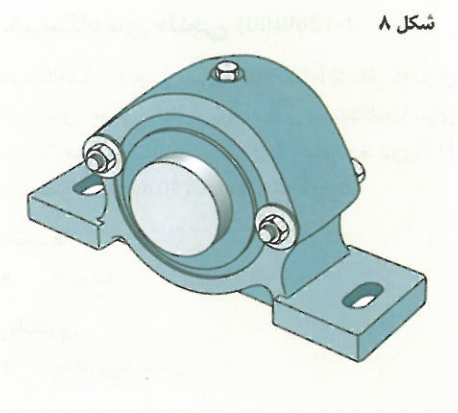
- روانکاری با گریس

جنس

- چدن خاکستری

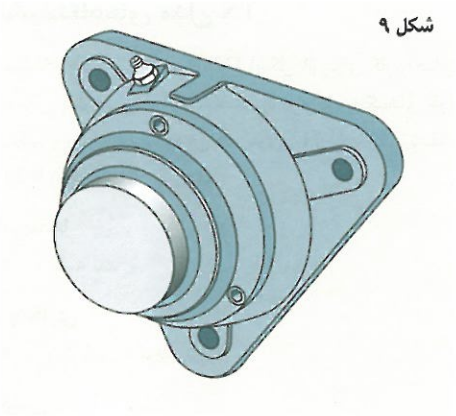
برای اطلاعات بیشتر به مرجع [3] و کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده مراجعه کنید.

شکل ۸



نشیمنگاه‌های فلنجی I-1200(00)

شکل ۹



نشیمنگاه‌های فلنجی سری I-1200(00) (شکل ۹) برای کاربردهای معمولی بکار می‌روند. این نشیمنگاه‌ها برای بلبیرینگ‌های خود تنظیم با رینگ داخلی بیرون‌زده، سری 112 برای قطر شفت 20 mm تا 60 mm بکار می‌روند.

آب‌بندها

- کاسه نمد

روانکاری

- روانکاری با گریس

جنس

- چدن خاکستری

برای اطلاعات بیشتر به مرجع [3] و کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده مراجعه کنید.

نشیمنگاه‌های فلنجی 7225(00)

نشیمنگاه‌های فلنجی در سری‌های 7225(00) وابسته به ابعاد در دو طرح مختلف موجود می‌باشند (شکل ۱۰). اندازه‌های کوچک‌تر مثلثی شکل (الف) و اندازه‌های بزرگ‌تر مربع شکل می‌باشند (ب) این نشیمنگاه‌ها را می‌توان برای بیرینگ‌های زیر بکار برد.

- بلبیرینگ‌های خود تنظیم در سری‌های 12 و 22
- رولربیرینگ‌های کروی سری 222 و
- رولربیرینگ‌های CARB در سری C 22

این نشیمنگاه‌ها برای بیرینگ‌ها بر روی غلاف واسطه و شفت بدون پله با قطرهای 20 تا 100 mm بکار می‌روند.

آب‌بندها

- کاسه نمد

روانکاری

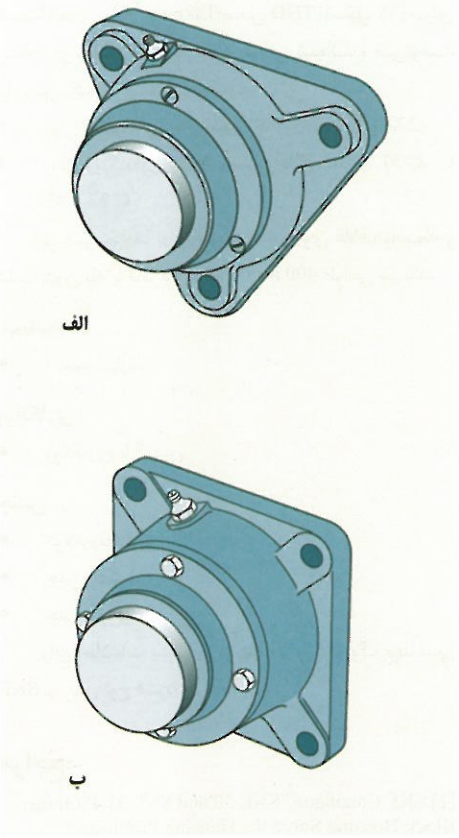
- روانکاری با گریس

جنس

- چدن خاکستری

برای اطلاعات بیشتر به مرجع [3] و کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده مراجعه کنید.

شکل ۱۰

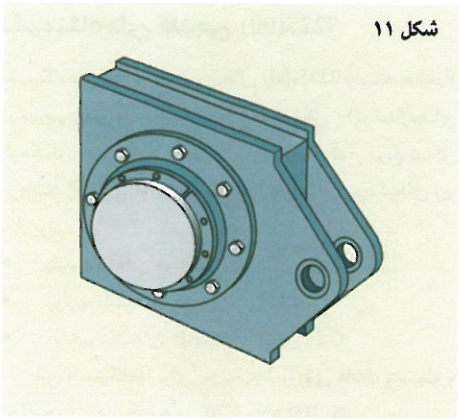


الف

ب

نشیمنگاه‌های طرح Take-up نوع THD

شکل ۱۱



نشیمنگاه‌های طرح Take-up مدل THD (شکل ۱۱) برای استفاده در سیستم‌های نوار نقاله طراحی شده‌اند و می‌توانند برای بیرینگ‌ها زیر بکار برده شوند.

- رولربیرینگ‌های سری‌های 230، 231، 232 و 222
- رولربیرینگ‌های CARB سری‌های C 30، C 31، C 32 و C 22

این نشیمنگاه‌ها برای بیرینگ‌ها بر روی غلاف واسطه و شفت بدون پله با قطرهای 50 تا 400 mm طراحی شده‌اند.

آب‌بندها

- آب‌بند شیاردار

روانکاری

- روانکاری با گریس

جنس

- فولاد ریخته‌گری
- چدن خاکستری
- چدن کروی

برای اطلاعات بیشتر به مرجع [3] و کاتالوگ مهندسی SKF بر روی لوح فشرده مراجعه کنید.

مراجع:

[1] SKF Catalogue "SNL 30 and SNL 31 Plummer Block Housing Solve the Housing Problesns".
[2] SKF Catalogue "SONL Plummer Block Housing-Designed for Oil Lubrication".
[3] SKF Catalogue "Bearing Housings".

لغت‌نامه

انگلیسی به فارسی

A

Acrylonitrile - Butadiene Rubber	لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین
Adaptor Sleeve	غلاف واسطه
Ageing	پیر شدن
Aggressive Lubricant	روانکار مهاجم
Agitator	همزن
Airtight	هوابند شده
Alignment Needle Roller Bearing	رولر بیرینگ سوزنی خود تنظیم
Aliphatic	چربی
Alkalis	بازها
Aluminum Oxide	اکسید آلومینیوم
Amine	آمین
Amplification	تقویت
Angle Ring	رینگ زاویه‌دار
Angle Series	سری‌های زاویه
Angular Contact Ball Bearing	بلبیرینگ تماس زاویه‌ای
Anhydrous Hydrous Fluorides	انیدرید هیدرو فلوراید

Aromatic Hydrocarbons	هیدرو کربن‌های آروماتیک
Articulated Joint	اتصال مفصلی
Associated Components	اجزای دربرگیرنده
Asynchronous	آسنکرون
Axial Clamp Seal	آب‌بند مهار محوری
Axial Displacement	جابجایی محوری
Axial Drive Up	بالاروی محوری
Axial Guidance	راهنمای محوری
Axial Load	بار محوری
Axle Bearing	بیرینگ محور وسایل نقلیه

B

Back - to - Back	پشت به پشت
Backing Bearing	بیرینگ پشت بند
Ball	ساچمه
Ball Bearings	بلبیرینگ
Base Plate	صفحه پایه
Baffle Plate	ورق سپری
Basic Dynamic Load Rating	ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی
Basic Static Load Rating	ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی
Bearing	بیرینگ
Bearing Accessories	تجهیزات جانبی بیرینگ‌ها
Bearing Arrangement	چیدمان بیرینگ
Bearing Unit	مجموعه بیرینگ‌ها

Bellows	بلوز
Belt Drive	محرک تسمه‌ای
Belt Pull	کشش تسمه
Bentonite	بنتونیت
Bainite	باینتی
Bore Axis	محور سوراخ
Boundary Dimensions	ابعاد خارجی
Boundary Lubrication	روانکاری مرزی

C

Cage	قفسه
Cage - Guided Ball Set	مجموعه ساچمه‌های راهنما شونده با قفسه
Calcium Complex	کلسیم مرکب
Calcium Sulphonate Complex	سولفات کلسیم مرکب
Cam Roller	رولر بادامکی
Cam Follower	بادامک پیر
Case - Hardening	سخت گردانی سطحی
Chamfer	پخ
Churning	تلاطم، کف کردن
Circulating Oil	سیستم چرخش روغن
Clamped	مهارشده
Cluster	کلاستر
Collar	حلقه
Collective Adjustment	تنظیم تجمعی

Combined Load	بار ترکیبی
Combined Needle Roller Bearing	رولر بیرینگ سوزنی ترکیبی
Concentric Seating	نشیمنگاه هم مرکز
Condition Monitoring	تشخیص وضعیت
Connecting Rod	میله اتصال‌دهنده
Contact Angle	زاویه تماس
Contact Seal	آب‌بند تماسی
Continuous Furnaces	کوره‌های مداوم
Continuous Lubrication	روانکاری مداوم
Conversion	تبدیل
Coolants	خنک‌کننده‌ها
Cooling Ribs	تیغه‌های خنک‌کننده
Copolymer	پلیمر ترکیبی
Corrosion/ Diffusion Mechanism	مکانیسم خوردگی/ نفوذ
Creep	خزش
Cross Located	مهار ضربدری
Cross -Sectional Height	ارتفاع سطح مقطع
Crown	تاج
Crowned	قوسی
Cylindrical Roller	رولر استوانه‌ای
Cylindrical Roller Bearing	رولربیرینگ استوانه‌ای
Cylindricity	استوانه‌ای بودن

D

Deep Drawn Steel Strip	ورق فولادی کشیده‌شده به روش عمیق
Deep Groove Ball Bearing	بلبیرینگ شیار عمیق
Deformable Sleeve	غلاف قابل تغییر شکل
Deviation Taper Incline	انحراف شیب مخروط
Dial Indicator	ساعت اندیکاتور
Diameter Series	سری‌های قطر
Diffential	دیفرانسیل
Dimension Series	سری‌های ابعادی
Dimensional Stability	پایداری ابعادی
Direction of Load Indeterminate	جهت بار نامعین
Dispersion of the Taper Incline	تغییرات پراکندگی شیب مخروط
Distance Ring	رینگ فاصله‌انداز
Distortion	واپیچش
Double Direction	دوطرفه
Double Pronged	چنگک دوبل
Double Row	دو ردیفه
Double Traffic Light	چراغ راهنما دوبل
Downsizing	کاهش ابعادی
Drawn Cup Needle Roller Bearings, Closed End	رولر بیرینگ سوزنی با رینگ داخلی از جنسی ورق کشیده شده با یک انتهای بسته
Drawn Cup Needle Roller Bearings, Open End	رولر بیرینگ سوزنی با رینگ خارجی از جنس ورق کشیده شده با دو انتهای باز

Drop Point	نقطه قطران
Dry Running	حرکت خشک
Drying Cylinder	سیلندر خشک کن
E	
Eccentric Locking Collar	رینگ قفل‌کن خارج از مرکز
Eccentric Seating Collar	حلقه نشیمنگاه خارج از مرکز
Elasto - Hydrodynamic	الاستو هیدرو دینامیک
Elastomer	الاستومر
Electronic Stethoscope	استتوسکوپ الکترونیکی
Enhanced Roller Guidance	تقویت هدایت رولرها
Esters	استرها
Ethers	اترها
Exciter	تحریک کننده
Extended Inner Ring	رینگ داخلی بیرون زده
Eye Bolt	پیچ قلابدار
F	
Face - to - Face	جلو به جلو
Fatigue	خستگی
Fatigue Load Limit	حد بار خستگی
Feeler	فیلر
Felt Seal	کاسه نمد
Fillet Radii	شعاع گوشه
Filling Slot	شیار جازنی

Fit	انطباق
Fixed Section	مقطع باریک/ ثابت
Flaking/ Spalling	پوسته شدن
Flanged Angled	فلنج زاویه‌دار
Flanged Wheel Hub Bearing Unit (HBU)	مجموعه بیرینگ توپی فلنجی چرخ
Flat Housing Washer	واشر نشیمنگاه تخت
Fliger Ring	حلقه گردگیر
Flinger	زبانه، گردگیر
Floating Guide Ring	رینگ راهنمای شناور
Fluoro Rubber	لاستیک فلورو
Food Compatible	سازگار با مواد غذایی
Form Stability	پایداری ساختاری (شکلی)
Four – Point Contact Ball Bearing	بلبیرینگ چهار نقطه تماس
Frequency Convertor	مبدل فرکانسی
Fretting Corrosion	خوردگی سایشی
Frictional Moment	ممان اصطکاکی
From Deviation	انحراف شکلی
Foil	فویل
Full Complement Bearing	بیرینگ بدون قفسه

G

Gasket	واشر آب‌بند
Gear Mesh	تداخل دنده‌ها
Graphite	گرافیت

Grease Gun	تفنگ گریس
Grease Escape Hole	شیر فرار گریس
Grease Nipple	گریس خور
Grey Cast Iron	چدن خاکستری
Grub Screw	پیچ تنظیم مغزی
Guiding Flange	لبه راهنما
Guiding Surface	سطوح راهنما
Gyratory Force	نیروی ژیراتوری

H

Height Series	سری‌های ارتفاع
Hexagonal Bore	رینگ داخلی شش ضلعی
Hexagonal Wrench	آچار شش گوش
High - Density Power	چگالی توان بالا
High Precision Bearings	بیرینگ‌های دقیق
High Speed Driver	محرک‌های دور بالا
Holding Devices	تجهیزات نگهدارنده
Hollow Shaft	شفت توخالی
Hook or Impact Spanner	آچار قلابدار یا ضربه‌ای
Housing	نشیمنگاه
Housing Cover	درپوش نشیمنگاه
Housing Washer	واشر نشیمنگاه
Hydraulic Nut	مهره هیدرولیکی
Hydrodynamic	هیدرو دینامیک

Hydrogenated Acrylonitrile - Butadiene Rubber	لاستیک اکریلونیترل بوتادین هیدروژنه
Hypoid Gear	چرخدنده هیپوید
I	
Indexing Roller	رولرهای ایندکسی
Individual Adjustment	تنظیم مستقل
Induction - Hardening Steel	فولاد سخت شونده القایی
Injection Molded	قالب‌گیری تزریقی
Inner Ring Shoulder	شانه رینگ داخلی
Integral Flanges on Rings	رینگ‌های لبه‌دار
Integrated Circuit	مدار مجتمع
Interference	تداخل
Internal Clearance	لقی داخلی
K	
Ketenes	کتون‌ها
Kiln Trucks	واگن کوره
L	
Labyrinth Ring	رینگ شیاردار
Labyrinth Seal	آب‌بند شیاردار
Light Alloy	آلیاژ سبک
Limiting Speed	سرعت حدی
Lithium Complex	لیتیم مرکب
Load Rating	ظرفیت اسمی حمل بار

Load Spectrum	طیف بار
Locating Bearing	بیرینگ ثابت
Locating Face	پیشانی ثابت‌کننده
Locking Clip	گیره قفل کن
Locking Plate	صفحه قفل‌کننده
Logarithmic Profile	پروفیل لگاریتمی
Loose Fit	انطباق لق
Loose Flange Ring	فلنج (لبه) قابل جدا شدن
Low - Friction Seal	آب‌بند کم اصطکاک

M

Machined Brass Cage	قفسه برنجی ماشینکاری شده
Machined Steel Cage	قفسه فولادی ماشینکاری شده
Malti - Point	چند نقطه‌ای
Manganese Phosphate	فسفات منگنز
Marginal Lubrication	روانکاری حدی
Martensitic	ماتنزیتی
Matched Bearing Sets	مجموعه بیرینگ‌های جفت شده
Mechanical Seal	آب‌بند مکانیکی
Mechanically Stable	پایدار شده مکانیکی
Mechatronic	مکاترونیک
Membrane	پوسته، پرده
Metallic Soap	صابون فلزی
Micro Pitting	حفر بسیار کوچک

Mild Lubricant	روانکار ملایم
Mild Wear	سایش ملایم
Milled	فرزکاری شده
Mineral Oil	روغن معدنی
Misalignment	عدم همراستایی
Mixed Lubrication	روانکاری ترکیبی
Molybdenum Disulphide	دی سولفید مولیبدن
Moment - Free	بدن خمش
Moment Load	بار خمشی
Multi - Stage	چند مرحله‌ای
Multi - Wire	چند سیمه

N

Needle Roller	رولر مخروطی
Needle Roller and Cage Assemblies	مجموعه قفسه و رولرهای سوزنی
Non - Locating Bearing	بیرینگ شناور
Non - Separable	تفکیک‌ناپذیر
Non - Split Housing	نشیمنگاه یکپارچه
Notch	شیار

O

O - Ring	O - رینگ
Oil - Free	بدون روغن
Oil - Spot	مخلوط هوا و روغن
Oil Bath	حمام روغن

Oil Blending	بیرون‌دهی روغن
Oil Injection	تزریق روغن
Oil Jet	جت و روغن
Oil Mist	بخار روغن
Open Collector	کلکتور باز
Organic Solvent	حلال اورگانیک
Out - of - Round	انحراف از گرد بودن

P

Packing	پکینگ
Paper Mill	ماشین کاغذسازی
Paraffin	پارافین
Passenger Coaches	واگن‌های مسافربری
Perpendicularity	عمود بودن
Phenol Resin	رزین فنولی
Pin - Type Cage	قفسه پین شده
Plain Bearings	بیرینگ‌های تخت
Plain Belt	تسمه تخت
Plasma Spray	اسپری پلاسما
Plunger Grinding	سنگ‌زنی رفت و برگشتی
Polar Solvent	حلال قطبی
Poly Alkaline Glycol Graphite Mixture	مخلوط پلی اکالین گلایکول و گرافیت
Polyetheretherketone (PEEK)	پلی اتر اتر کتون
Polyalkylene Glycols (PAG)	پلی آلکلین گلیکول

Polyalphaolefines (PAO)	پلی آلفااولفین
Polyurea	پلی‌اوره
Polyurethane	پلی یورتان
Power Tools	ابزار برقی
Pre - Assembled	از قبل مونتاژ
Preload	پیش‌بار
Preservative Oil	روغن نگهدارنده
Pressure Centers	مراکز فشار
Pressure Plate	ورق فشاری
Processability	فرآیندپذیری
Puller	پولی کش
Pumpability	پمپ شوندگی
Purring	خرخر کردن
Purely Axial Load	بار محوری خالص
Purely Radial Load	بار شعاعی خالص

Q

Quiet Running	حرکت بی‌سر و صدا

R

Raceway	مسیر غلتش
Raceway Washer	واشر مسیر غلتشی
Radial Bearings	بیرینگ‌های شعاعی
Radial Load	بار شعاعی
Radial Shaft Seal	آب‌بند شعاعی شفت

Rated Viscosity	لزجت اسمی
Reamed	برقو شده
Reduction Factor	ظریب کاهش
Reference Speed	سرعت مرجع
Reflection - Compensation Rolls	غلتک‌های جبران‌کننده تغییر شکل
Refrigerants	مبردها
Refrigeration Rooms	اتاق‌های سرد
Relieved Fillets	گوشه‌های گودشده
Replenishment	پر کردن مجدد
Requisite L_{10}	عمر L_{10} مورد نیاز
Resolution	تفکیک‌پذیری
Retaining Flange	لبه نگهدارنده
Retaining Ring	رینگ نگهدارنده
Ribbon - Type Riveted Cage	قفسه نوع نواری پرچ شده
Ribbon Cage	قفسه نوع نواری
Rigid Bearing	بیرینگ صلب
Ring Gauge	رینگ گیج
Riveted Cage	قفسه پرچ شده
Road Roller	جاده صاف کن
Roller Bearing	رولربیرینگ
Rolling Bearing	بیرینگ‌های غلتشی
Rolling Contact Fatigue	خستگی ناشی از تماس غلتشی
Rolling Contacts	تماسی‌های غلتشی

Rolling Element	جزء غلتنده
Rolling Mill	نورد
Roll	غلتک
Rope Sheaves	چرخ قرقره
Rotating Imbalance Mass	جرم نامتوازن دورانی
Rotating Load	بار دورانی
Rotating Inner Ring Load	رینگ داخلی تحت بار دورانی
Running Accuracy	دقت‌های حرکتی
Rust Inhibiting	ضد زنگ زدگی، ضد خوردگی

S

Scale Number	عدد معیار
Schmitt Trigger	رها ساز اشمیت
Sulptur/ Phosphorus	گوگرد/ فسفر
Seal	آب‌بند
Seal Anchorage Groove	شیار نصب آب‌بند
Seal Recess	فرو رفتگی محل نصب آب‌بند
Seating Support Washer	واشر تکیه‌گاه
Seizure	گریپاژ
Self - Aligning	خود تنظیم
Self - Aligning Ball Bearing	بلبیرینگ خود تنظیم
Self - Centering	خود مرکز کننده
Self - Guiding	خود راهنما
Self - Induced Bearing Temperature	دمای خود القا بیرینگ

Self - Retaining	خود نگهدارنده
Sensorized Bearing	بیرینگ مجهز به سنسور
Separable Bearing	بیرینگ قابل تفکیک
Service Life	عمر سرویس
Setting	نشست کردن
Shaft Abutment Shoulder	شانه پله شفت
Shaft Washer	واشر شفت
Shear Strength	مقاومت برشی
Sheet Brass Cage	قفسه از ورق برنجی
Sheet Steel Cage	قفسه از ورق فولادی
Shield	حفاظ فلزی
Shim	لایی فلزی تنظیم
Side Face	سطح جانبی
Silicon Nitride	سیلیکون نیترید (سرامیک)
Sine Bars	میله‌های سینوسی
Single Direction	یکطرفه
Single Point	یک نقطه‌ای
Single Row	یک ردیفه
Skew	کج
SKF Drive Up	روش بالاروی SKF
SKF Explorer	SKF اکسپلورر
Smear	خراشیدگی
Snap Ring	خار فنری

Snap Ring Groove	شیار محیطی خار فنری
Solid	یکپارچه
Specific Heat Loss	ضریب انتقال حرارت ویژه
Solventless Rust Inhibitor	ضد زنگ غیرحلال
Solvents	حلال‌ها
Spacer Ring	رینگ فاصله‌انداز
Spacer Sleeve	غلاف فاصله‌انداز
Specification Life	عمر مشخصه
Sphere Housing Washer	واشر نشیمنگاه کروی
Spherical Graphite Cast Iron	چدن کروی
Spherical Roller	رولر بشکه‌ای
Spherical Roller Bearing	رولر بیرینگ کروی
Spindle	محور کارگیر ماشین ابزار
Splashing	پاشیدن
Split Housing	نشیمنگاه دوتکه
Sprig Loaded Wave seal Lip	لبه آب‌بند موجی تحت فشار
Stabilization Class	کلاس پایداری
Stainless Bearing Steel	فولاد بیرینگ ضد زنگ
Stand out	بیرون زدگی
Starvation	گرسنگی
Stationary Load	بار ساکن
Steady State Temperature	دمای پایدار
Stiffness	سختی

Straightness	مستقیم بودن
Strain	کرنش
Stray Capacitance	ظرفیت سرگردان
Structural Fatigue	خستگی سازه‌ای
Super - Tough	فوق چقر
Support Roller	رولر پشیبان
Surface Roughness	صافی سطح
Surface Topography	توپوگرافی سطح
Surface Treated	عملیات سطحی
Synthetic Oil	روغن مصنوعی

T

Tandem	پشت سر هم
Taper Gauge	گیج مخروطی
Taper Incline	شیب مخروط
Taper Roller Bearing	رولر بیرینگ مخروطی
Tapered Bore	رینگ داخلی مخروطی
Thermo - Withdrawal	بیرون کش حرارتی
Thickener	غلیظ‌کننده
Thin - Walled Housing	نشیمنگاه جدار نازک
Thin Dense Chromium	کرم کم چگالی
Through - Hardening Steel	فولاد سخت شونده عمقی
Thrust Bearing	بیرینگ کف‌گرد
Thrust Plate	صفحه کف گرد

Thrust Washer	واشر کف گرد
Toomy Bar	اهرم میله‌ای
Toroidal	توریدال
Total Axial Run out	لنگی محوری کل
Total Run out	لنگی کل
Toughness	چقرمگی
Track Runner Bearing	رولر بیرینگ چرخی
Traction Motor	موتور کشنده وسایل نقلیه
Tube Mill	نورد لوله
Two - Piece Machined Cage With Integral Rivet	قفسه ماشینکاری‌شده دو تکه به همراه پرچ‌های یکپارچه
Two - Piece Machined Riveted Cage	قفسه ماشینکاری‌شده دو تکه پرچ شده

U

Universal Matching	جفتی چند منظوره

V

Vacuum Remelted Steel	فولاد ریخته‌شده در خلاء
Vertical Axis	محور عمودی
Vibrating Screen	سرند ارتعاشی

W

Waxed Paper	کاغذ مومی
Whistling	سوت کشیدن
White Spirit	ماده شیمیایی حاصل از بنزین
Wide Series	سری‌های پهنا

Wind Mill	آسیاب بادی
Window Type Cage	قفسه نوع پنجره‌ای
Withdrawal Sleeve	غلاف بیرون کشیدنی
Wobbles	لنگی، لنگ زدن
Wrought Brass	برنج کار شده

Y

Yellow Chromate	کرم زرد

Z

Zero Measuring Load	بار اندازه‌گیری شده صفر (بدون بار)
Zinc	روی
Zinc - Chromate	روی ـ کرومیک

لغت‌نامه

فارسی به انگلیسی

O - رینگ	O - Ring
SKF اکسپلورر	SKF Explorer
آ	
آب‌بند	Seal
آب‌بند تماسی	Contact Seal
آب‌بند شعاعی شفت	Radial Shaft Seal
آب‌بند شیاردار	Labyrinth Seal
آب‌بند کم اصطکاک	Low - Friction Seal
آب‌بند مکانیکی	Mechanical Seal
آب‌بند مهار محوری	Axial Clamp Seal
آچار شش گوش	Hexagonal Wrench
آچار قلابدار یا ضربه‌ای	Hook or Impact Spanner
آسنکرون	Asynchronous
آسیاب بادی	Wind Mill
آلیاژ سبک	Light Alloy
آمین	Amine

الف

Power Tools	ابزار برقی
Boundary Dimensions	ابعاد خارجی
Refrigeration Rooms	اتاق‌های سرد
Ethers	اترها
Articulated Joint	اتصال مفصلی
Associated Components	اجزای دربرگیرنده
Cross -Sectional Height	ارتفاع سطح مقطع
Pre - Assembled	از قبل مونتاژ
Plasma Spray	اسپری پلاسما
Electronic Stethoscope	استتوسکوپ الکترونیکی
Esters	استرها
Cylindricity	استوانه‌ای بودن
Aluminum Oxide	اکسید آلومینیوم
Elasto - Hydrodynamic	الاستو هیدرو دینامیک
Elastomer	الاستومر
Out - of - Round	انحراف از گرد بودن
From Deviation	انحراف شکلی
Deviation Taper Incline	انحراف شیب مخروط
Fit	انطباق
Loose Fit	انطباق لق
Anhydrous Hydrous Fluorides	انیدرید هیدرو فلوراید
Toomy Bar	اهرم میله‌ای

ب

بادامک پیر	Cam Follower
بار اندازه‌گیری شده صفر	Zero Measuring Load
بار ترکیبی	Combined Load
بار خمشی	Moment Load
بار دورانی	Rotating Load
بار ساکن	Stationary Load
بار شعاعی	Radial Load
بار شعاعی خالص	Purely Radial Load
بار محوری	Axial Load
بار محوری خالص	Purely Axial Load
بازها	Alkalis
بالاروی محوری	Axial Drive Up
بینتی	Bainite
بخار روغن	Oil Mist
بدن خمش	Moment - Free
بدون روغن	Oil - Free
برقو شده	Reamed
برنج کار شده	Wrought Brass
بلبیرینگ	Ball Bearings
بلبیرینگ تماس زاویه‌ای	Angular Contact Ball Bearing
بلبیرینگ چهار نقطه تماس	Four – Point Contact Ball Bearing
بلبیرینگ خود تنظیم	Self - Aligning Ball Bearing

Deep Groove Ball Bearing	بلبیرینگ شیار عمیق
Bellows	بلوز
Bentonite	بنتونیت
Stand out	بیرون زدگی
Thermo - Withdrawal	بیرون کش حرارتی
Oil Blending	بیرون‌دهی روغن
Bearing	بیرینگ
Full Complement Bearing	بیرینگ بدون قفسه
Backing Bearing	بیرینگ پشت بند
Locating Bearing	بیرینگ ثابت
Non - Locating Bearing	بیرینگ شناور
Rigid Bearing	بیرینگ صلب
Separable Bearing	بیرینگ قابل تفکیک
Thrust Bearing	بیرینگ کف‌گرد
Sensorized Bearing	بیرینگ مجهز به سنسور
Axle Bearing	بیرینگ محور وسایل نقلیه
Plain Bearings	بیرینگ‌های تخت
High Precision Bearings	بیرینگ‌های دقیق
Radial Bearings	بیرینگ‌های شعاعی
Rolling Bearing	بیرینگ‌های غلتشی
	پ
Paraffin	پارافین
Splashing	پاشیدن

Mechanically Stable	پایدار شده مکانیکی
Dimensional Stability	پایداری ابعادی
Form Stability	پایداری ساختاری (شکلی)
Chamfer	پخ
Replenishment	پر کردن مجدد
Logarithmic Profile	پروفیل لگاریتمی
Back - to - Back	پشت به پشت
Tandem	پشت سر هم
Packing	پکینگ
Polyalphaolefines (PAO)	پلی آلفااولفین
Polyalkylene Glycols (PAG)	پلی آلکلین گلیکول
Polyetheretherketone (PEEK)	پلی اتر اتر کتون
Polyurethane	پلی یورتان
Polyurea	پلی‌اوره
Copolymer	پلیمر ترکیبی
Pumpability	پمپ شوندگی
Flaking/ Spalling	پوسته شدن
Membrane	پوسته، پرده
Puller	پولی کش
Grub Screw	پیچ تنظیم مغزی
Eye Bolt	پیچ قلابدار
Ageing	پیر شدن
Locating Face	پیشانی ثابت‌کننده

Preload	پیش‌بار
	ت
Crown	تاج
Conversion	تبدیل
Bearing Accessories	تجهیزات جانبی بیرینگ‌ها
Holding Devices	تجهیزات نگهدارنده
Exciter	تحریک کننده
Interference	تداخل
Gear Mesh	تداخل دنده‌ها
Oil Injection	تزریق روغن
Plain Belt	تسمه تخت
Condition Monitoring	تشخیص وضعیت
Dispersion of the Taper Incline	تغییرات پراکندگی شیب مخروط
Resolution	تفکیک‌پذیری
Non - Separable	تفکیک‌ناپذیر
Grease Gun	تفنگ گریس
Amplification	تقویت
Enhanced Roller Guidance	تقویت هدایت رولرها
Churning	تلاطم، کف کردن
Rolling Contacts	تماسی‌های غلتشی
Collective Adjustment	تنظیم تجمعی
Individual Adjustment	تنظیم مستقل
Surface Topography	توپوگرافی سطح

Toroidal	توریدال
Cooling Ribs	تیغه‌های خنک‌کننده
	ج
Axial Displacement	جابجایی محوری
Road Roller	جاده صاف کن
Oil Jet	جت و روغن
Rotating Imbalance Mass	جرم نامتوازن دورانی
Rolling Element	جزء غلتنده
Universal Matching	جفتی چند منظوره
Face - to - Face	جلو به جلو
Direction of Load Indeterminate	جهت بار نامعین
	چ
Grey Cast Iron	چدن خاکستری
Spherical Graphite Cast Iron	چدن کروی
Double Traffic Light	چراغ راهنما دوبل
Aliphatic	چربی
Rope Sheaves	چرخ قرقره
Hypoid Gear	چرخدنده هیپوید
Toughness	چقرمگی
High - Density Power	چگالی توان بالا
Multi - Wire	چند سیمه
Multi - Stage	چند مرحله‌ای
Malti - Point	چند نقطه‌ای

Double Pronged	چنگک دوبل
Bearing Arrangement	چیدمان بیرینگ

ح

Fatigue Load Limit	حد بار خستگی
Quiet Running	حرکت بی‌سر و صدا
Dry Running	حرکت خشک
Shield	حفاظ فلزی
Micro Pitting	حفر بسیار کوچک
Organic Solvent	حلال اورگانیک
Polar Solvent	حلال قطبی
Solvents	حلال‌ها
Collar	حلقه
Fliger Ring	حلقه گردگیر
Eccentric Seating Collar	حلقه نشیمنگاه خارج از مرکز
Oil Bath	حمام روغن

خ

Snap Ring	خار فنری
Smear	خراشیدگی
Purring	خرخر کردن
Creep	خزش
Fatigue	خستگی
Structural Fatigue	خستگی سازه‌ای
Rolling Contact Fatigue	خستگی ناشی از تماس غلتشی

Coolants	خنک‌کننده‌ها
Self - Aligning	خود تنظیم
Self - Guiding	خود راهنما
Self - Centering	خود مرکز کننده
Self - Retaining	خود نگهدارنده
Fretting Corrosion	خوردگی سایشی

د

Housing Cover	درپوش نشیمنگاه
Running Accuracy	دقت‌های حرکتی
Steady State Temperature	دمای پایدار
Self - Induced Bearing Temperature	دمای خود القا بیرینگ
Double Row	دو ردیفه
Double Direction	دوطرفه
Molybdenum Disulphide	دی سولفید مولیبدن
Diffential	دیفرانسیل

ر

Axial Guidance	راهنمای محوری
Phenol Resin	رزین فنولی
Mild Lubricant	روانکار ملایم
Aggressive Lubricant	روانکار مهاجم
Mixed Lubrication	روانکاری ترکیبی
Marginal Lubrication	روانکاری حدی
Continuous Lubrication	روانکاری مداوم

Boundary Lubrication	روانکاری مرزی
SKF Drive Up	روش بالاروی SKF
Synthetic Oil	روغن مصنوعی
Mineral Oil	روغن معدنی
Preservative Oil	روغن نگهدارنده
Cylindrical Roller	رولر استوانه‌ای
Cam Roller	رولر بادامکی
Spherical Roller	رولر بشکه‌ای
Track Runner Bearing	رولر بیرینگ چرخی
Drawn Cup Needle Roller Bearings, Open End	رولر بیرینگ سوزنی با رینگ خارجی از جنس ورق کشیده شده با دو انتهای باز
Drawn Cup Needle Roller Bearings, Closed End	رولر بیرینگ سوزنی با رینگ داخلی از جنسی ورق کشیده شده با یک انتهای بسته
Combined Needle Roller Bearing	رولر بیرینگ سوزنی ترکیبی
Alignment Needle Roller Bearing	رولر بیرینگ سوزنی خود تنظیم
Spherical Roller Bearing	رولر بیرینگ کروی
Taper Roller Bearing	رولر بیرینگ مخروطی
Support Roller	رولر پشیبان
Needle Roller	رولر مخروطی
Roller Bearing	رولربیرینگ
Cylindrical Roller Bearing	رولربیرینگ استوانه‌ای
Indexing Roller	رولرهای ایندکسی
Zinc	روی

Zinc - Chromate	روی ـ کرومیک
Schmitt Trigger	رها ساز اشمیت
Extended Inner Ring	رینگ داخلی بیرون زده
Rotating Inner Ring Load	رینگ داخلی تحت بار دورانی
Hexagonal Bore	رینگ داخلی شش ضلعی
Tapered Bore	رینگ داخلی مخروطی
Floating Guide Ring	رینگ راهنمای شناور
Angle Ring	رینگ زاویه‌دار
Labyrinth Ring	رینگ شیاردار
Distance Ring	رینگ فاصله‌انداز
Spacer Ring	رینگ فاصله‌انداز
Eccentric Locking Collar	رینگ قفل‌کن خارج از مرکز
Ring Gauge	رینگ گیج
Retaining Ring	رینگ نگهدارنده
Integral Flanges on Rings	رینگ‌های لبه‌دار
	ز
Contact Angle	زاویه تماس
Flinger	زبانه، گردگیر
	س
Ball	ساچمه
Food Compatible	سازگار با مواد غذایی
Dial Indicator	ساعت اندیکاتور
Mild Wear	سایش ملایم

Case - Hardening	سخت گردانی سطحی
Stiffness	سختی
Limiting Speed	سرعت حدی
Reference Speed	سرعت مرجع
Vibrating Screen	سرند ارتعاشی
Dimension Series	سری‌های ابعادی
Height Series	سری‌های ارتفاع
Wide Series	سری‌های پهنا
Angle Series	سری‌های زاویه
Diameter Series	سری‌های قطر
Side Face	سطح جانبی
Guiding Surface	سطوح راهنما
Plunger Grinding	سنگ‌زنی رفت و برگشتی
Whistling	سوت کشیدن
Calcium Sulphonate Complex	سولفات کلسیم مرکب
Circulating Oil	سیستم چرخش روغن
Drying Cylinder	سیلندر خشک کن
Silicon Nitride	سیلیکون نیترید (سرامیک)

ش

Shaft Abutment Shoulder	شانه پله شفت
Inner Ring Shoulder	شانه رینگ داخلی
Fillet Radii	شعاع گوشه
Hollow Shaft	شفت توخالی

شیار	Notch
شیار جازنی	Filling Slot
شیار محیطی خار فنری	Snap Ring Groove
شیار نصب آب‌بند	Seal Anchorage Groove
شیب مخروط	Taper Incline
شیر فرار گریس	Grease Escape Hole

ص

صابون فلزی	Metallic Soap
صافی سطح	Surface Roughness
صفحه پایه	Base Plate
صفحه قفل‌کننده	Locking Plate
صفحه کف گرد	Thrust Plate

ض

ضد زنگ زدگی، ضد خوردگی	Rust Inhibiting
ضد زنگ غیرحلال	Solventless Rust Inhibitor
ضریب انتقال حرارت ویژه	Specific Heat Loss

ط

طیف بار	Load Spectrum

ظ

ظرفیت اسمی حمل بار	Load Rating
ظرفیت اسمی حمل بار استاتیکی	Basic Static Load Rating
ظرفیت اسمی حمل بار دینامیکی	Basic Dynamic Load Rating
ظرفیت سرگردان	Stray Capacitance

Reduction Factor	ظریب کاهش
	ع
Scale Number	عدد معیار
Misalignment	عدم همراستایی
Requisite L_{10}	عمر L_{10} مورد نیاز
Service Life	عمر سرویس
Specification Life	عمر مشخصه
Surface Treated	عملیات سطحی
Perpendicularity	عمود بودن
	غ
Withdrawal Sleeve	غلاف بیرون کشیدنی
Spacer Sleeve	غلاف فاصله‌انداز
Deformable Sleeve	غلاف قابل تغییر شکل
Adaptor Sleeve	غلاف واسطه
Roll	غلتک
Reflection - Compensation Rolls	غلتک‌های جبران‌کننده تغییر شکل
Thickener	غلیظ‌کننده
	ف
Processability	فرآیندپذیری
Milled	فرزکاری شده
Seal Recess	فرو رفتگی محل نصب آب‌بند
Manganese Phosphate	فسفات منگنز
Loose Flange Ring	فلنج (لبه) قابل جدا شدن

Flanged Angled	فلنج زاویه‌دار
Super - Tough	فوق چقر
Stainless Bearing Steel	فولاد بیرینگ ضد زنگ
Vacuum Remelted Steel	فولاد ریخته‌شده در خلاء
Induction - Hardening Steel	فولاد سخت شونده القایی
Through - Hardening Steel	فولاد سخت شونده عمقی
Foil	فویل
Feeler	فیلر

ق

Injection Molded	قالب‌گیری تزریقی
Cage	قفسه
Sheet Brass Cage	قفسه از ورق برنجی
Sheet Steel Cage	قفسه از ورق فولادی
Machined Brass Cage	قفسه برنجی ماشینکاری شده
Riveted Cage	قفسه پرچ شده
Pin - Type Cage	قفسه پین شده
Machined Steel Cage	قفسه فولادی ماشینکاری شده
Two - Piece Machined Cage With Integral Rivet	قفسه ماشینکاری‌شده دو تکه به همراه پرچ‌های یکپارچه
Two - Piece Machined Riveted Cage	قفسه ماشینکاری‌شده دو تکه پرچ شده
Window Type Cage	قفسه نوع پنجره‌ای
Ribbon Cage	قفسه نوع نواری
Ribbon - Type Riveted Cage	قفسه نوع نواری پرچ شده

Crowned	قوسی
	ک
Felt Seal	کاسه نمد
Waxed Paper	کاغذ مومی
Downsizing	کاهش ابعادی
Ketenes	کتون‌ها
Skew	کج
Yellow Chromate	کرم زرد
Thin Dense Chromium	کرم کم چگالی
Strain	کرنش
Belt Pull	کشش تسمه
Stabilization Class	کلاس پایداری
Cluster	کلاستر
Calcium Complex	کلسیم مرکب
Open Collector	کلکتور باز
Continuous Furnaces	کوره‌های مداوم
	گ
Graphite	گرافیت
Starvation	گرسنگی
Seizure	گریپاژ
Grease Nipple	گریس خور
Relieved Fillets	گوشه‌های گودشده
Sulptur/ Phosphorus	گوگرد/ فسفر

گیج مخروطی	Taper Gauge
گیره قفل کن	Locking Clip

ل

لاستیک اکریلو نیتریل بوتادین	Acrylonitrile - Butadiene Rubber
لاستیک اکریلونیترل بوتادین هیدروژنه	Hydrogenated Acrylonitrile - Butadiene Rubber
لاستیک فلورو	Fluoro Rubber
لایی فلزی تنظیم	Shim
لبه آب‌بند موجی تحت فشار	Sprig Loaded Wave seal Lip
لبه راهنما	Guiding Flange
لبه نگهدارنده	Retaining Flange
لزجت اسمی	Rated Viscosity
لقی داخلی	Internal Clearance
لنگی کل	Total Run out
لنگی محوری کل	Total Axial Run out
لنگی، لنگ زدن	Wobbles
لیتیم مرکب	Lithium Complex

م

ماتنزیتی	Martensitic
ماده شیمیایی حاصل از بنزین	White Spirit
ماشین کاغذسازی	Paper Mill
مبدل فرکانسی	Frequency Convertor
مبردها	Refrigerants

Flanged Wheel Hub Bearing Unit (HBU)	مجموعه بیرینگ توپی فلنجی چرخ
Bearing Unit	مجموعه بیرینگ‌ها
Matched Bearing Sets	مجموعه بیرینگ‌های جفت شده
Cage - Guided Ball Set	مجموعه ساچمه‌های راهنما شونده با قفسه
Needle Roller and Cage Assemblies	مجموعه قفسه و رولرهای سوزنی
Belt Drive	محرک تسمه‌ای
High Speed Driver	محرک‌های دور بالا
Bore Axis	محور سوراخ
Vertical Axis	محور عمودی
Spindle	محور کارگیر ماشین ابزار
Poly Alkaline Glycol Graphite Mixture	مخلوط پلی اکالین گلایکول و گرافیت
Oil - Spot	مخلوط هوا و روغن
Integrated Circuit	مدار مجتمع
Pressure Centers	مراکز فشار
Straightness	مستقیم بودن
Raceway	مسیر غلتش
Shear Strength	مقاومت برشی
Fixed Section	مقطع باریک/ ثابت
Mechatronic	مکاترونیک
Corrosion/ Diffusion Mechanism	مکانیسم خوردگی/ نفوذ
Frictional Moment	ممان اصطکاکی

Traction Motor	موتور کشنده وسایل نقلیه
Cross Located	مهار ضربدری
Clamped	مهارشده
Hydraulic Nut	مهره هیدرولیکی
Connecting Rod	میله اتصال‌دهنده
Sine Bars	میله‌های سینوسی

ن

Setting	نشست کردن
Housing	نشیمنگاه
Thin - Walled Housing	نشیمنگاه جدار نازک
Split Housing	نشیمنگاه دوتکه
Concentric Seating	نشیمنگاه هم مرکز
Non - Split Housing	نشیمنگاه یکپارچه
Drop Point	نقطه قطران
Rolling Mill	نورد
Tube Mill	نورد لوله
Gyratory Force	نیروی ژیراتوری

و

Distortion	واپیچش
Gasket	واشر آب‌بند
Seating Support Washer	واشر تکیه‌گاه
Shaft Washer	واشر شفت
Thrust Washer	واشر کف گرد

Raceway Washer	واشر مسیر غلتشی
Housing Washer	واشر نشیمنگاه
Flat Housing Washer	واشر نشیمنگاه تخت
Sphere Housing Washer	واشر نشیمنگاه کروی
Kiln Trucks	واگن کوره
Passenger Coaches	واگن‌های مسافربری
Baffle Plate	ورق سپری
Pressure Plate	ورق فشاری
Deep Drawn Steel Strip	ورق فولادی کشیده‌شده به روش عمیق

هـ

Agitator	همزن
Airtight	هوابند شده
Hydrodynamic	هیدرو دینامیک
Aromatic Hydrocarbons	هیدرو کربن‌های آروماتیک

ی

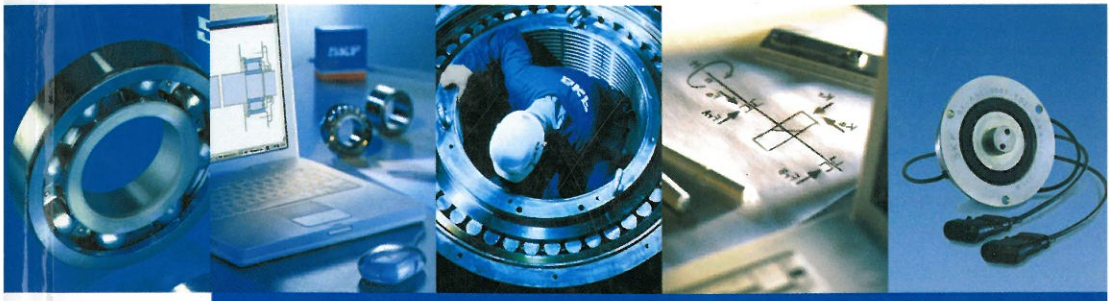
Single Row	یک ردیفه
Single Point	یک نقطه‌ای
Solid	یکپارچه
Single Direction	یکطرفه

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت



ISBN:978-964-8665-00-0
انتشارات
کتاب‌سرای نیک
9789648665000

skf.com