طراحی اجزاء دو

موضوعات به تفکیک جلسات:

خواص مصالح مهندسی(حداکثر ۲جلسه)، بلبرینگ و رولربرینگ(حداکثر ۳ جلسه)، تسمه(حداکثر ۲ جلسه)، کلاچ و ترمز(حداکثر ۲ جلسه)، چرخدنده‌ساده(حداکثر ۳ جلسه)، سایر چرخ‌دنده‌ها(حداکثر ۲ جلسه)

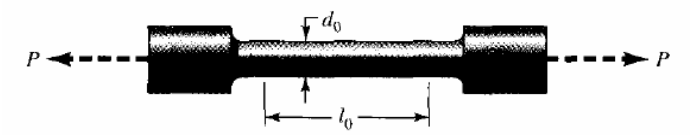
فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

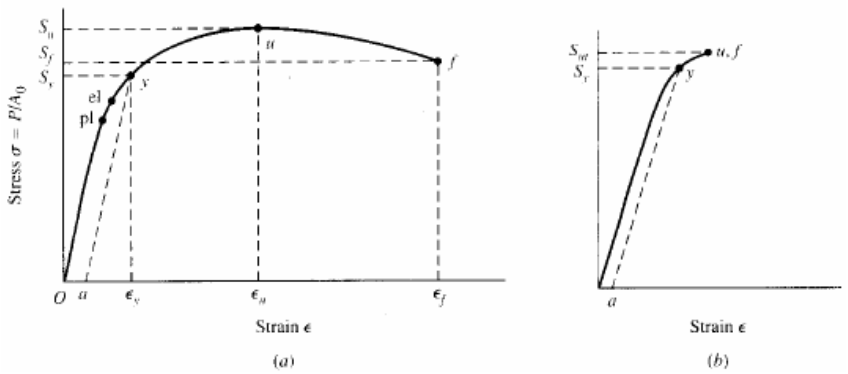
۱- آزمون استحکام استاتیکی- کشش یکنواخت: ۱
۱-۱- نکاتی درخصوص منحنی تنش-کرنش ۱
۱-۲- استحکام و سردکاری (Cold working) ۳
۱-۳- سختی: (Hardess) ۳
۱-۴- خواص ضربه: ۴
۱-۵- خواص خستگی مواد ۴
۱-۶- خستگی پرچرخه: ۵
۱-۷- خزش ۵
۲- یاتاقانها ۶
۲-۱- انواع یاتاقانها: ۶
۲-۲- انتخاب نوع یاتاقان ۶
۲-۳- یاتاقانهای غلتشی ۷
۲-۴- انواع یاتاقانهای غلتشی ۸
۲-۴-۱- بلبرینگها ۸
۲-۴-۲- رولر بیرینگها ۹
۲-۴-۳- چند نوع یاتاقان غلتشی مخصوص ۱۰
۲-۵- معرفی بیرینگها ۱۱
۲-۶- روانکار ۱۳
۲-۷- اصطکاک ۱۴
۲-۷-۱- محاسبه ممان اصطکاکی ۱۴
۲-۷-۲- محاسبه دقیق‌تر ممان اصطکاکی ۱۵
۲-۷-۳- دما و اتلاف توان برینگ ۱۵
۲-۸- برخی اصطلاحات: ۱۵
۲-۹- عمر بیرینگ‌ها: ۱۷
۲-۱۰- یاتاقان‌های شیار عمیق ۱۸
۲-۱۱-Self Aligning Ball Bearing ۱۹
۲-۱۲-Agular Cotact ball Bearig ۱۹
۲-۱۳-Taper Roller Bearing ۲۰

۱-آزمون استحکام استاتیکی- کشش یکنواخت:

از جمله تست‌های اولیه جهت تعین خواص مکانیکی مواد است که مختصرا به شرح زیر است:



$$d_0 = 2/5\ ,\ 6/25\ ,\ 12/5\ ,\ ...\ mm$$
$$l_0 = 10\ ,\ 25\ ,\ 50\ ,\ ...\ mm$$



Proportional limit:P ← آغاز انحراف منحنی از خط راست.

Elastic limit: E ← اگر بار برداشته شود هیچ تغییر شکل دائمی نخواهد داشت.

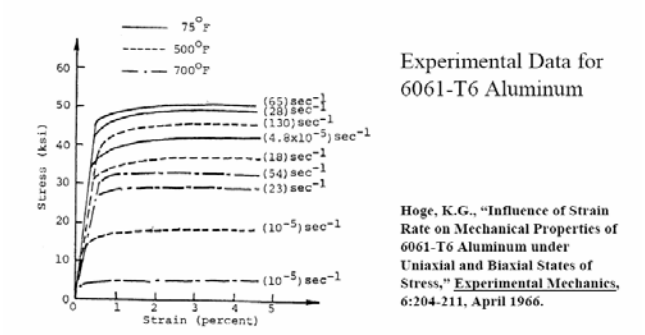
Ylild point: Y ← تغییر شکل دائمی محدودی (عمدتاً $0/2$ درصد) رخ خواهد داد.

Ultimat strength: U ← بیشترین تنش در نمودار تنش- کرنش.

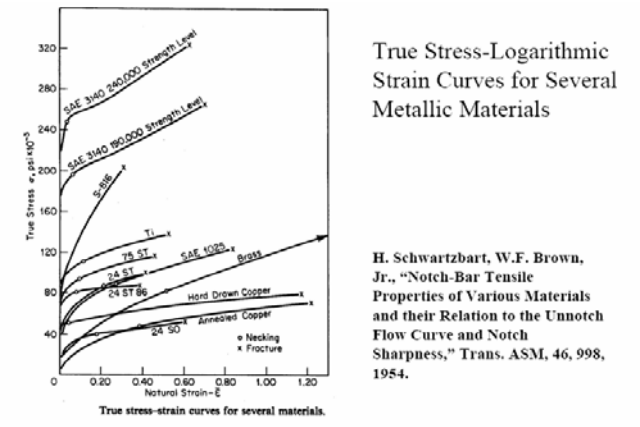
F : ← نقطه‌ای که نمونه می‌شکند.

۱-۱-نکاتی درخصوص منحنی تنش-کرنش

۱- با تغییر ابعاد نمونه نتایج متفاوت خواهد بود. ۲- نتایج متاثر از دمای مورد تست است. ۳- نرخ بارگذاری در نتایج نهایی موثر است. ۴- نمودار تنش- کرنش بر حسب مقادیر مهندسی یا واقعی ارائه می‌گردد. ۵- استحکام پیچشی را با پیچاندن میله و ثبت مقادیر گشتاور و زوایا حاصل می‌شود.



شکل۱- تغییر نتایج تحت تاثیر دما و نرخ کرنش



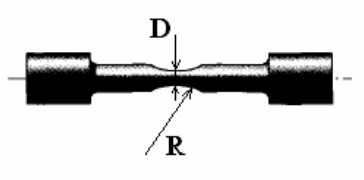
شکل۲- تغییر نتایج تحت تاثیر جنس

روابط نظیر تنش و کرنش مهندسی به قرار زیر است:

(A_0 سطح اولیه و l_0 طول اولیه) $\sigma = \dfrac{F}{A_0}$, مهندسی : $\varepsilon = \dfrac{l_i - l_0}{l_0}$

(A_i سطح جاری و l_i طول جاری) $\sigma = \dfrac{F}{A_i}$, واقعی : $\varepsilon = \int_{l_0}^{l_i} \dfrac{dl}{l} = \ln \dfrac{l_i}{l_0}$

$\Rightarrow$ مهندسی $\varepsilon = \ln(\varepsilon$ حقیقی $+1) \rightarrow$ حقیقی $\sigma = \sigma$ مهندسی $(\varepsilon + 1)$

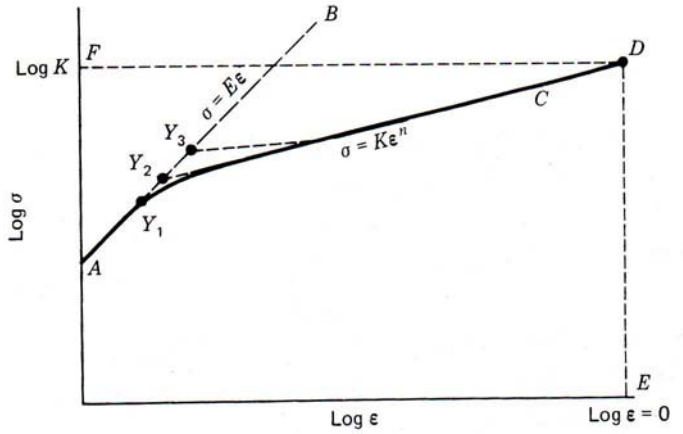


پس از گلویی شدن نمونه، روابط معقول‌تر تنش و کرنش در این ناحیه عبارت است از (اصلاح بر عینی)

$$\sigma_{ATC} = \frac{\sigma_C}{(1+\frac{4R}{D})[\ln(1+\frac{4R}{D})]} \quad , \quad \varepsilon = \frac{A_0 - A_i}{A_i}$$ (از برابری حجم‌ها و رابطه کرنش مهندسی)

در حال حاضر بهترین توضیح برای روابط تنش- کرنش توسط (داتسکو بیان شده $(\sigma = \sigma_0 \varepsilon^m$

σ: تنش حقیقی، σ_0 (یا K) ضریب مقاومت یا ضریب تقویت کننده- کرنش (در واقع تنش واقعی مربوط به کرنش ۱)، ε: کرنش واقعی، m: نمای تقویت کننده کرنش.



ناحیه الاستیک $I)\ \log\sigma = \log E + 1\log\varepsilon$

ناحیه پلاستیک $II)\ \log\sigma = \log\sigma_0 + m\log\varepsilon$

y_2: نقطه تسلیم مواد ایده‌آل، y_3: نقطه over yield، اکثر مواد مهندسی استحکام تسلیم بیشتر از مقدار ایده‌آل دارند از جمله همه آلیاژهای فولاد- مسی، برنج و نیکل

y_1: نقطه under yield، مواد اندکی دارای نقطه پائین تسلیم‌اند مانند آلیاژ آلومینیوم با تنش‌زدایی کامل.

$$\sigma = \frac{F_i}{A_i} \quad , \quad S = \frac{F_i}{A_0} \quad , \quad A_i = A_0 \frac{l_0}{l_i} \quad \rightarrow \quad \sigma = S(\varepsilon + 1)$$

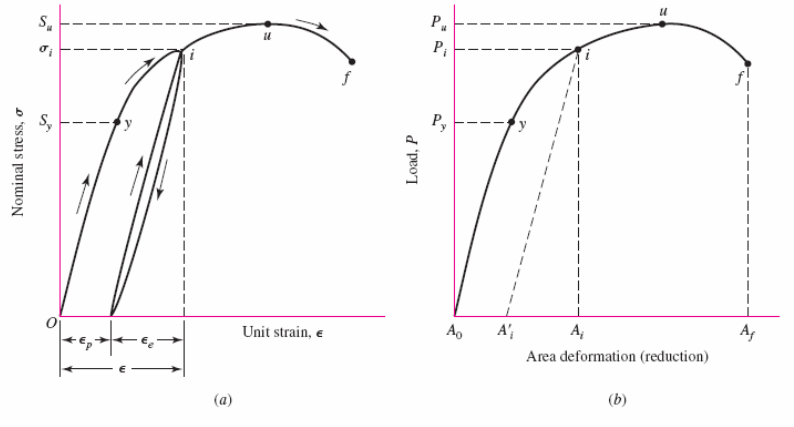
$$\varepsilon + 1 = e^{\varepsilon} \longrightarrow \sigma = Se^{\varepsilon} \longrightarrow S = \sigma e^{-\varepsilon} = \sigma_0 \varepsilon^m e^{-\varepsilon}$$

$$P_i = \sigma A_i = \sigma_0 A_i \varepsilon^m$$

برای عمده مواد شیب بالاترین نقطه منحنی تنش- کرنش نامی صفر است.

$$\frac{dP_i}{d\varepsilon} = 0 \longrightarrow \quad m = \varepsilon_u$$

۱-۲-استحکام و سردکاری (Cold working)



برای بارگذاری و باربرداری روی نمونه تا حد پلاستیک در حالت سرد مباحث زیر مطرح است.

$$\varepsilon = \varepsilon_P + \varepsilon_e \qquad , \qquad \varepsilon_e = \frac{\sigma_i}{E}$$

کاهش سطح مربوط به بار شکست چنین است($R = \frac{A_0 - A_f}{A_0}$)، معمولاً R به صورت درصد در فهرست خواص مکانیکی ماده با عنوان چکش‌خواری (Ductility) آورده می‌شود.

ضریب کار سرد بدین صورت است:

$$W = \frac{A_0 - A_i'}{A_0} \approx \frac{A_0 - A_i}{A_0}$$

استحکام مواد در اثر کار سرد تغییر می‌کند. استحکام براساس مساحت A_i' محاسبه می‌شود نه A_0 لذا، اگر $\varepsilon_i < \varepsilon_u$ آن‌گاه:

$$S_y' = \frac{P_i}{A_i'} = K(\varepsilon_i)^n$$

$$S_u' = \frac{P_u}{A_i'} = \frac{S_u}{1-W}$$

اگر $\varepsilon_i > \varepsilon_u$ ⟵ $S_u' = S_y' = K(\varepsilon_i)^n$

۱-۳-سختی: (Hardess)

در آزمون سختی که غیرمخرب است با استفاده از بار استاندارد به گوی یا هرم در تماس با ماده که سختی را اندازه‌گیری می‌کنند. سختی به صورت تابعی از اندازه فرورفتگی می‌باشد.

برخی از سیستم‌ها پر کاربرد عبارتند از:

سختی راکول، خود دارای مقیاس‌های سختی راکول با A , B , C و ... می‌باشند.

مخروط الماسی و $F = 150\ Kg \longrightarrow R_C$ (راکول C) ساچمه و $F = 100\ Kg \longrightarrow R_B$ (راکول B)

- سختی برنیل: ابزار گود انداز ساچمه‌ای است، زمان بیشتری نیاز دارد برای فولادها، رابطه بین کمترین استحکام نهایی و سختی برنیل چنین است براساس (ASTM)

$$S_u = 0.45\ HB \quad (Kpsi) = 3.10\ \ HB\,(Mpa)$$

برای چدن (براساس ASTM) $S_u = 0.23HB - 12.5\,(Kpsi) = 1.58HB - 86\,(Mpa)$

والتون (Walton) برای کمترین مقدار مقاومت $S_u = 1/633HB - 110\,(Mpa) : SAE$

۱-٤-خواص ضربه:

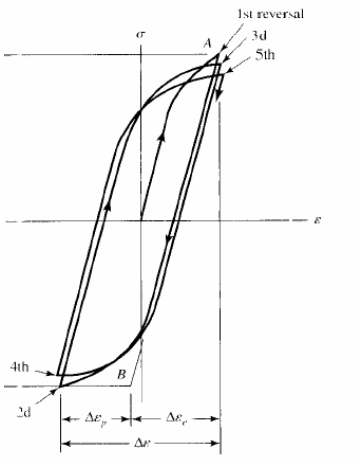
نیروی خارجی هنگامی بار ضربه‌ای است که زمان اعمال آن کمتر از یک سوم کوتاهترین تناوب طبیعی ارتعاش قطعه یا سازه باشد و گرنه به سادگی بار استاتیکی نامیده می‌شود.

آزمون ضربه (شارپی) در تعیین تردی مواد در دمای پائین کمک می‌کند.

- انرژی جذب شده توسط نمونه مقدار ضربه نامیده می‌شود که از روی ارتفاع نوسان آونگ پس از شکست نمونه محاسبه می‌شود. - آهنگ کرنش در حدود $0/001\ ^{ms}/_{m}$ یا کمتر است.

۱-۵-خواص خستگی مواد

خستگی کم چرخه برپایه‌یکرنش می‌باشد. دراین راستا کرنش سیکلیک پایدار شده ملاک عمل قرار می‌گیرد.



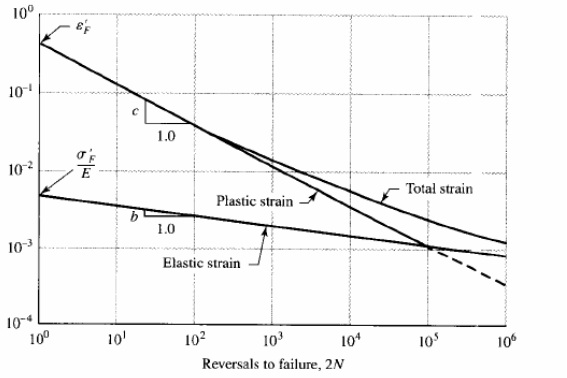
$$\Delta\varepsilon = \Delta\varepsilon_e + \Delta\varepsilon_P$$

$$\frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\Delta\varepsilon_e}{2} + \frac{\Delta\varepsilon_P}{2}$$

$$\frac{\Delta\varepsilon_e}{2} = \frac{\sigma'_f}{E}(2N)^b$$

$$\frac{\Delta\varepsilon_P}{2} = \varepsilon'_f(2N)^c$$

رسم در نمودار لگاریتمی



شکل۳- نمودار log-log عمر خستگی کم چرخه

شکل۴- تنش حقیقی-حلقه‌های پس‌ماند کرنش حقیقی

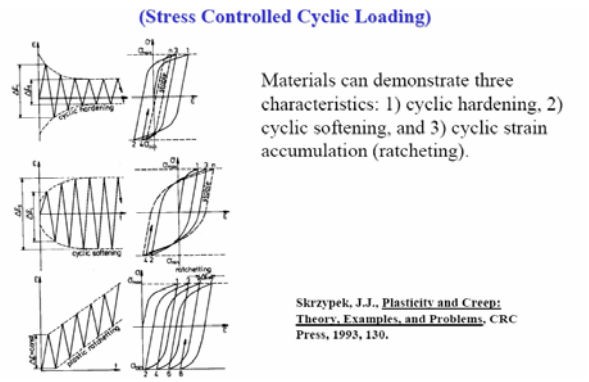
از این رو خواص مواد مربوط به خستگی کم‌چرخه عبارتند از:

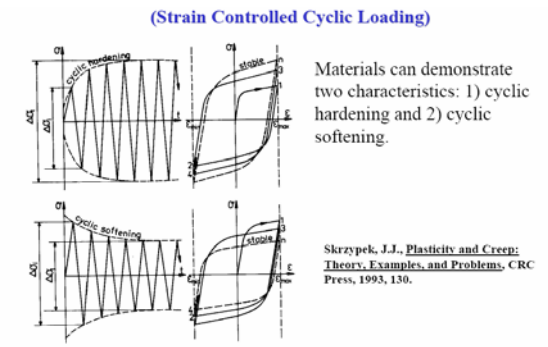
ضریب داکتیل بودن خستگی (ε'_f): کرنش حقیقی مربوط به شکست در یک چرخه.

ضریب استحکام خستگی (σ'_f): تنش حقیقی مربوط به شکست در یک چرخه.

نمای داکتیل بودن خستگی C: شیب خط کرنش نوسان

مطالعهٔ: برخی از حالات تنش-کرنش سیکلیک:





شکل۵- نمونه‌های رفتار تنش-کرنش سیکلیک

۱-۶-خستگی پرچرخه:

خستگی پرچرخه برپایه‌ی تنش صورت می گیرد.

$$\log S'_f = b \log N + C$$

$$b = -\frac{1}{3}\log\frac{0.8S_{ut}}{S'_e}$$

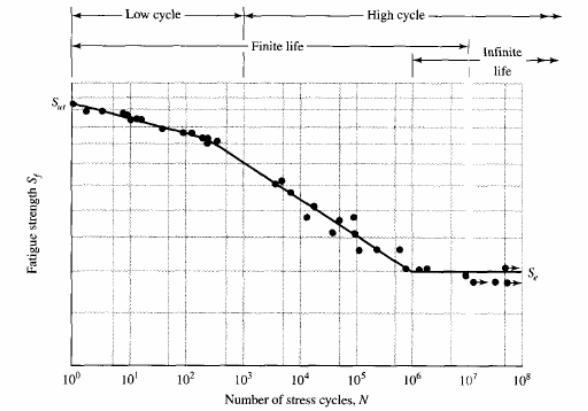
$$C = \log\frac{(0.8S_{ut})^2}{S'_e}$$

$$(S'_f = 10^C N^b \text{ یا})$$

$$(N = 10^{-C/b} S'^{1/b}_f \text{ یا})$$

شکل۶- روابط مربوط به قسمت خستگی پرچرخه

$(10^3 \le N \le 10^6)$



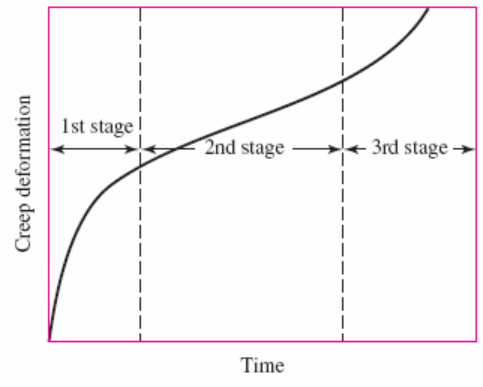
شکل۷- نمودار S/N خستگی محوری کاملا معکوس شونده

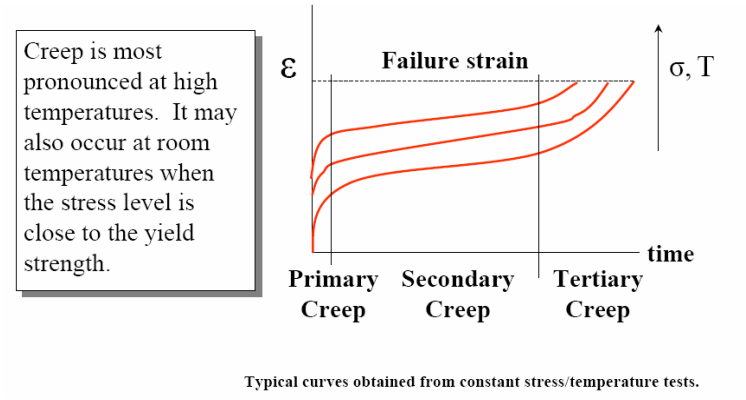
لذا خواص مربوط به خستگی پرچرخه عبارتند از: حد دوام(Se)، شیب خط(b) و عرض از مبدا(C)

تمرین ۱- حد دوام یک عضو فولادی *112 Mpa* و استحکام کششی آن *385 Mpa* است. استحکام خستگی مربوط به عمر هفتادهزار چرخه چقدر است؟

$$b = -0.146, \quad C = 2.928 \quad \Rightarrow \quad S_f = 166 \quad Mpa$$

۱-۷-خزش





Typical curves obtained from constant stress/temperature tests.

۲-یاتاقانها

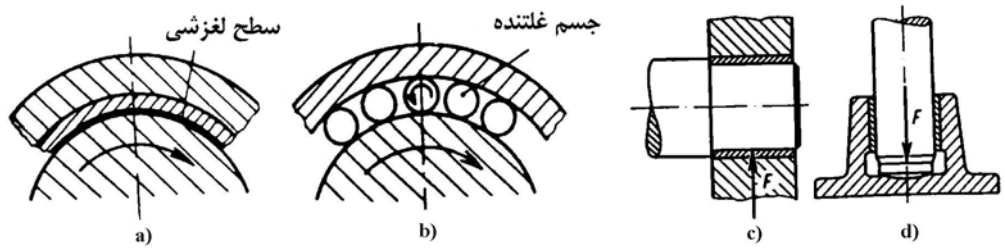
یاتاقانها اجزائی از ماشین هستند که بمنظور ایجاد محل استقرار و هدایت قطعات متحرک مخصوصاً شفتها و اکسلها بکار می‌روند. یاتاقانها را از دیدگاههای مختلفی می‌توان تقسیم‌بندی نمود که به قرار زیر است:

۲-۱-انواع یاتاقانها:

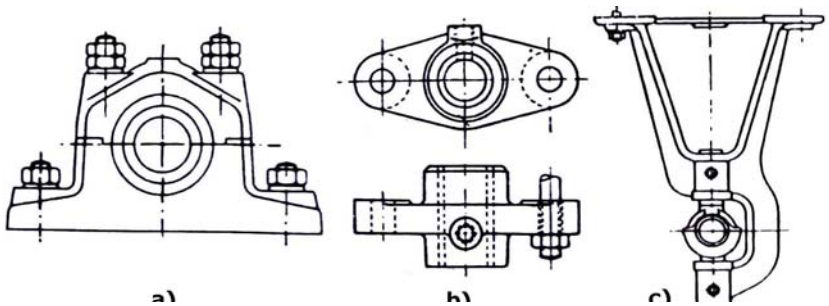
الف) از لحاظ نوع حرکت: ۱- یاتاقانهای لغزشی در این نوع یاتاقانها بین یاتاقان و قطعه یاتاقان‌بندی شده حرکت لغزشی ایجاد می‌شود. ۲- یاتاقانهای غلتشی در این نوع یاتاقانها در حد فاصل بین محفظه یاتاقان‌بندی شده عضوهای غلتنده قرار می‌گیرند.

ب) نوع تحمل نیرو: ۱- شعاعی ۲- محوری (کف‌گرد) ۳- شعاعی- محوری

ج) نوع فرم ساختمانی قطعه‌ای که یاتاقان در آن مستقر است. ۱- یاتاقان معلق ۲- یاتاقان فلانجی ۳- یاتاقان ایستاده ۴- یاتاقان پاندولی و غیره



شکل۸- تقسیم‌بندی یاتاقانها الف) نوع حرکت a) یاتاقان لغزشی b) یاتاقان غلتشی ب) تحمل نیرو c) یاتاقان شعاعی d) یاتاقان محوری



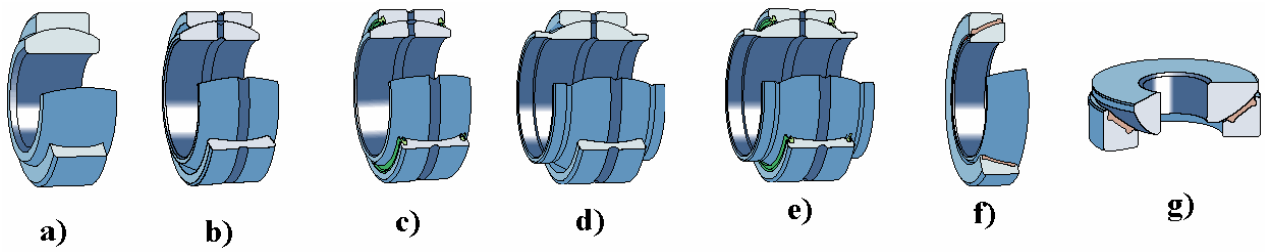
شکل۹- تقسیم‌بندی یاتاقانها از لحاظ فرم ساختمانی a) ایستاده b) فلانجی c) معلق

۲-۲-انتخاب نوع یاتاقان

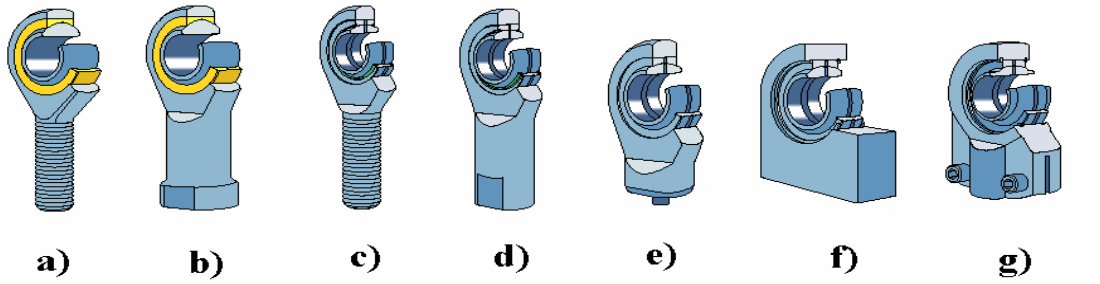
عوامل زیادی در انتخاب بیرینگها مؤثرند که مهمترین آنها به قرار زیر است. ۱- فضای موجود ۲- نوع بار وارده از لحاظ اندازه و نوع (بار محوری، بار شعاعی یا بار مرکب) ۳- مقدار ناهمراستایی مجاز ۴- دقت لازم ۵- سرعت کاری ۶- میزان سر و صدا ۷- سختی یاتاقان ۸- جابجایی محوری ۹- قیمت تمام شده

نکته: مهمترین علل خرابی بیرینگها عبارت است از: ۱- سائیدگی، ۲- شکست، ۳- خوردگی، ۴- داغ شدن بیش از حد و ... لذا یکی از مهمترین کارها در یاتاقانها روغنکاری آنها است. روغنکاری پنج مأموریت عمده را انجام می‌دهد. ۱- کاهش اصطکاک ۲- خنک‌کاری ۳- محافظت در مقابل زنگ‌خوردگی ۴- تمیز کاری ۵- آب‌بندی

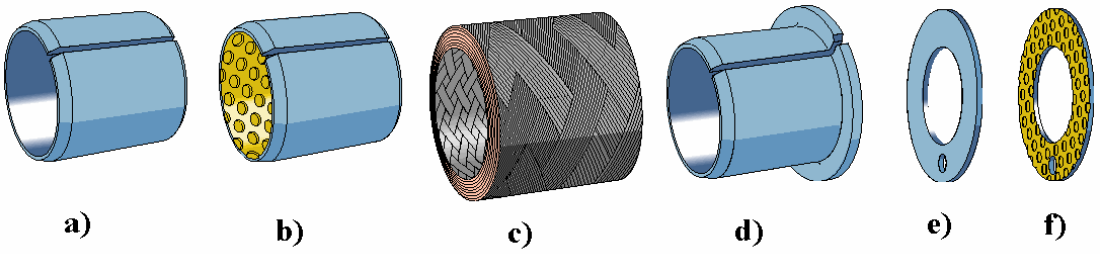
یاتاقانهای لغزشی: خواص لازم برای یک یاتاقان ساده عبارتند از ۱- ظرفیت تحمل بار ۲- هدایت حرارتی ۳- ضریب اصطکاک کمتر ۴- صافی سطح ۵- مقاومت در مقابل سایش، خستگی و خوردگی. محاسن یاتاقانهای لغزشی عبارت است از: ۱- بارهای زیادی تحمل می‌کنند. ۲- غیر حساس به ضربه و ارتعاش، ۳- فضای شعاعی کمی اشغال می‌کنند، ۴- آرام و بی و سرو صدا کار می‌کنند. معایب آن: ۱- گشتاور راه‌اندازی زیادی لازم دارد. ۲- معمولا نیاز به روغنکاری و مراقبت زیادی احتیاج دارند. ۳- راندمان کمتری دارند. یاتاقانهای لغزشی به سه نوع عمده تقسیم می‌شوند که عبارتند از: ۱- کروی (عمدتاً GE) ۲- دمدار (عمدتاً SI,SC,SA) ۳- گلیکودورها(GLY.PGZ) .



شکل ۱۰- برخی از انواع یاتاقانهای لغزشی کروی f) تماس زاویه‌ای g) کف‌گرد



شکل ۱۱- برخی از انواع یاتاقانهای لغزشی دمدار با دم نر و ماده



شکل ۱۲- برخی از انواع یاتاقان لغزشی گلیکودورها

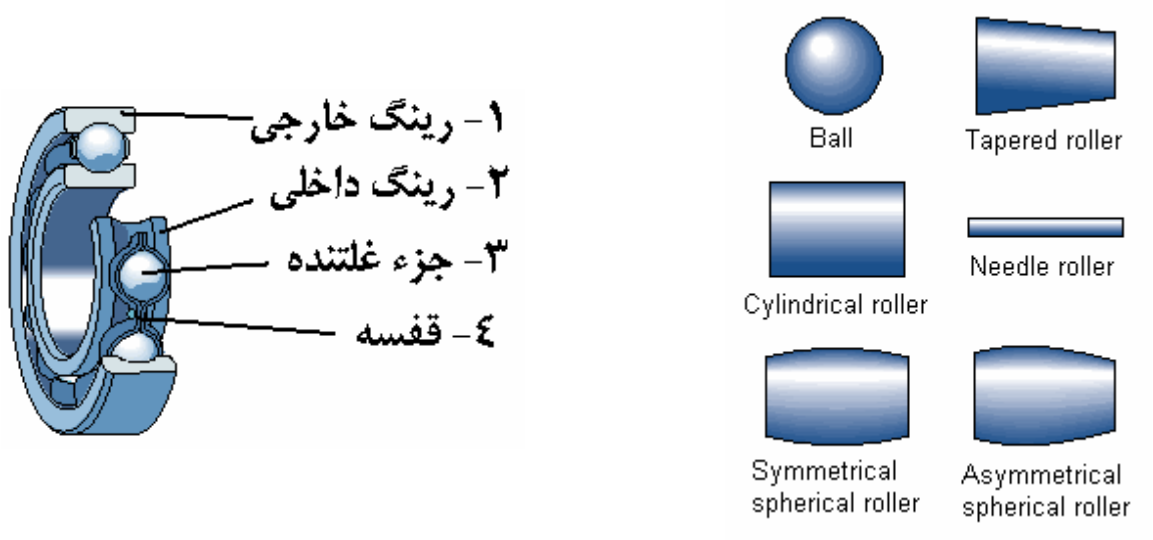
۲-۳-یاتاقانهای غلتشی

یاتاقانهای غلتشی عمدتاً دارای ۱- رینگ خارجی ۲- رینگ داخلی ۳- جزء غلتنده ۴- قفسه که موقعیت دهنده اجزاء غلتنده می‌باشد، تشکیل شده است. یاتاقانهای غلتشی بعلت دارا بودن اجزاء غلتکی دارای محاسن زیر می‌باشد. ۱- گشتاور شروع حرکت پائین ۲- احتیاج به روغنکاری کمتر ۳- مراقبت چندانی لازم ندارند ۴- بسته به نوع طرح انواع بارها را

تحمل می‌کنند ۵- فضای محوری کمتری اشغال می‌کنند ۶- حرارت زیاد تولید نمی‌کنند ۷- راندمان خوبی دارند ۸- در صورت خراب شدن با سر و صدای غیرعادی بروز اشکال را اعلام می‌نمایند معایب: ۱- نسبت به ضربه و ارتعاش حساس می‌باشند. ۲- در مقابل کثافات حساسیت خیلی زیادی دارند ۳- به آب‌بندی دقیقتری احتیاج دارند.

۲-٤-انواع یاتاقانهای غلتشی

یاتاقانهای غلتشی بر حسب فرم عضو غلتنده تقسیم‌بندی می‌شوند. فرمهای مختلف عضو غلتنده در شکل نشان داده شده است. عمدتاً یاتاقانهای غلتشی با ساچمه‌های کروی را بلبرینگ و بقیه یاتاقانهای غلتشی را رولر بیرینگ می‌نامند.



شکل۱۳- اجزاء عمومی بیرینگ غلتشی و انواع اجزاء غلتنده

ذیلاً انواع یاتاقانهای غلتشی به طول اجمال معرفی می‌شود.

۲-۴-۱- بلبرینگها

۱- بلبرینگهای شیارعمیق: بارهای شعاعی و تا حدی محوری را تحمل می‌کنند. از دورهای کوچک تا 50000 و در موارد بخصوص تا بیش از 100000 دور در دقیقه را می‌پذیرند. آرام و یکنواخت کار کرده و ارزانتر از سایر بلبرینگهاست. این بلبرینگها یک ردیفه و دوردیفه ساخته می‌شوند. این بلبرینگها در انواع ساده و یا با واشر و کاسه‌نمد ساخته می‌شوند. معمولاً بین دمای $-30\ ^{\circ}C$ تا $+110\ ^{\circ}C$ کاربرد دارند. قفسه این بلبرینگها می‌تواند فولادی، فایبرگلاس یا برنجی باشد.

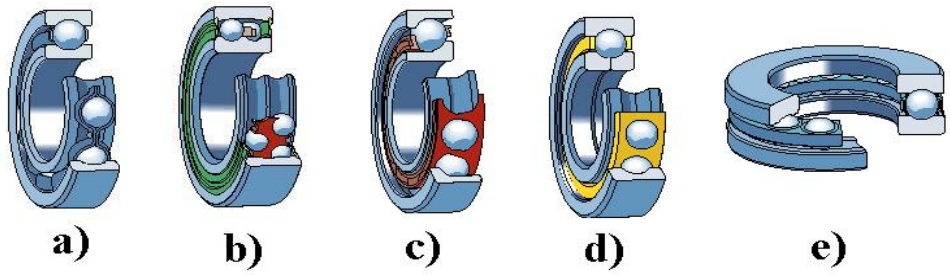
۲- بلبرینگهای خودتنظیم: دارای دو ردیف ساچمه و یک شیار مشترک در رینگ خارجی خود می‌باشند. این بلبرینگ به شفت اجازه می‌دهد انحراف زاویه‌ای داشته باشد. ظرفیت تحمل بار خوبی دارند. عموماً دارای قفسه فیبری مخصوصی هستند دارای دو نوع خود تنظیم ساده بدون کاسه نمد و با کاسه نمد در دو طرف و نوع بوش بلند هستند. رینگ داخلی می‌تواند استوانه‌ای و یا مخروطی با شیب 1/12 باشد.

۳- بلبرینگهای تماس زاویه‌ای: بلبرینگ تماس زاویه‌ای دارای شیاری در داخل رینگ درونی و بیرونی خود هستند که نسبت به یکدیگر زاویه مشخصی می‌سازند این خاصیت آنها را برای تحمل بار محوری و شعاعی بطور توأم مناسب

می‌سازد. بلبرینگهای یک ردیفه تنها در یک جهت بار محوری تحمل می‌کند به همین دلیل جهت تحمل دو جهت باید دو عدد بطور همزمان به طور مناسب بکار برد. بلبرینگهای تماس زاویه‌ای دو ردیفه نیز ساخته می‌شوند.

۴- بلبرینگهای با چهار نقطه تماس(QJ): بلبرینگهای تماس زاویه‌ای یک ردیفه هستند که در هر دو جهت بار محوری تحمل می‌کنند معمولاً زاویه تماس 35° است. به آسانی جا زده می‌شوند. ظرفیت تحمل بار و سرعت بالایی دارند.

۵- بلبرینگهای کف گرد(5): تنها بار محوری را تحمل می‌کند. بصورت یک طرفه و دو طرفه ساخته می‌شوند. در مواردی به صورت بلبرینگ یک طرفه با واشر محافظ کروی و واشر نگهدارنده ساخته می‌شوند.



شکل۱۴- برخی از انواع بلبرینگها a) شیارعمیق b) خودتنظیم c) تماس‌زاویه‌ای d) چهارنقطه‌تماس e) کف‌گرد

۲-۴-۲- رولر بیرینگها

۱- رولر بیرینگ استوانه‌ای یک طرفه(N): طرحها گوناگونی دارد. تحمل بار شعاعی بیشتری نسبت به بلبرینگها دارد. قابلیت انحراف زاویه‌ای ندارد. عموما در الکتروموتورها، وسائط نقلیه ریلی و دستگاه‌های نورد و غیره کاربرد دارد. ۲- رولر بیرینگهای استوانه‌ای پرساچمه: قفسه ندارند، قادر به بارهای بسیار سنگین هستند، سرعتهای کمتر از نوع قفسه‌دار دارند.

۳- رولربیرینگهای سوزنی با پوستهٔ کشیده: حلقهٔ خارجی نازک بوده و به طرفین رولها کشیده شده‌است. خاصیت عمده، نازکی و قدرت تحمل بار زیاد است. بار محوری جزئی تحمل می‌کنند. در دمایی بین $-20\ ^{\circ}C \ldots +100\ ^{\circ}C$ قابل استفاده هستند. طرحهای مختلفی دارند و فاقد رینگ داخلی‌اند.

۴- رولر بیرینگهای سوزنی: ضخامت کمی دارند. ظرفیت تحمل بار شعاعی فوق‌العاده‌ای دارا می‌باشند.

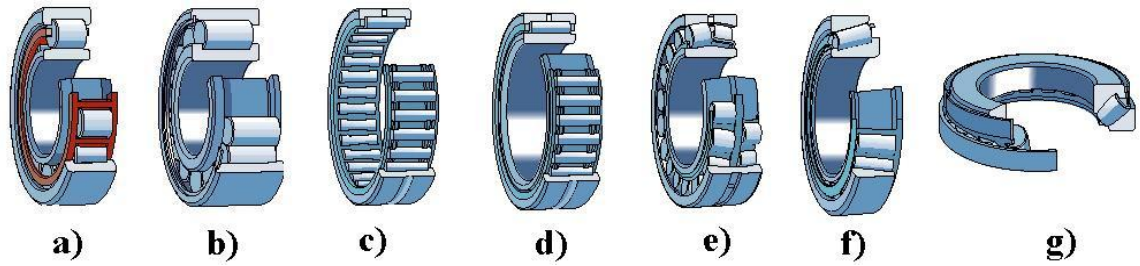
۵- رولر بیرینگهای بشکه‌ای(2): از نوع خود تنظیم بوده در نتیجه نسبت به نا همراستایی زاویه‌ای محور و یا خم شدن محور در حین کار حساس نمی‌باشند. ظرفیت تحمل بارهای شعاعی و محوری بالایی دارند. به صورت یک ردیفه یا دو ردیفه ساخته می‌شوند. در محور کشتی‌ها و میل‌لنگ‌ها و غیره کاربرد دارد.

۶- رولربیرینگهای مخروطی(3): بارهای محوری (در یک جهت) و شعاعی را تواما به خوبی تحمل می‌کنند. اجزاء این بیرینگ جدایی‌پذیر است. برای محورهای که حاوی چرخدنده‌های مخروطی و مارپیچ می‌باشند بسیار مناسب است.

۷- رولر بیرینگهای کف گرد استوانه‌ای: از دو واشر تخت و رولهای استوانه‌ای و قفسهٔ کف گرد بین آنها تشکیل شده‌است. بار محوری با در یک جهت تحمل می‌کنند و نسبت به شوکهای وارده حساسیت چندانی ندارند.

۸- رولر بیرنگهای کف گرد سوزنی: بارهای محوری سنگین را تحمل می‌کند. فضای محوری بسیار کمی اشغال می‌کند.

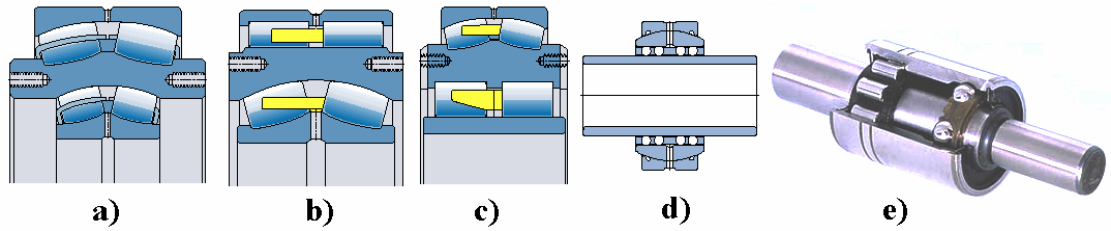
۹-رولربیرینگهای کف گرد بشکه‌ای(2): بار محوری و شعاعی را تواما تحمل می‌کند. انحراف زاویه‌ای شفت را خنثی می‌کند. عمر و قابلیت اطمینان خوبی دارد. اصطکاک و گرمای کمی تولید می‌کند. فضای کم و سرعت بالایی دارند.



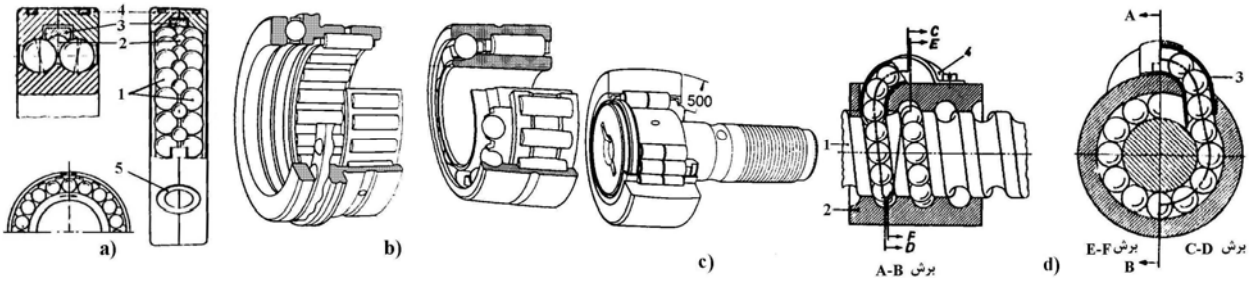
شکل۱۵- برخی از انواع رولربرینگها a) استوانه‌ای b) استوانه‌ای پرساچمه c) سوزنی با پوسته کشیده d) سوزنی e) بشکه‌ای f) مخروطی g) کف‌گرد بشکه‌ای

۲-۴-۳-چند نوع یاتاقان غلتشی مخصوص

۱- بلبرینگهای UKF: دو ردیف ساچمه دارند. بجای قفسه از ساچمه‌های جداکننده با رینگ هادی استفاده شده‌است. رینگ خارجی دو قسمته بوده و به وسیلهٔ فشار پرسی حلقه‌های(۵) بهم متصل شده‌اند. قابلیت تحمل بار محوری و شعاعی خیلی زیاد دارند. ۲- رولر بیرینگهای سوزنی مرکب: ترکیبی از رولر بیرینگها و بلبیرینگها می‌باشد که می‌توانند به صورت کف گرد و شعاعی با هم ترکیب شوند. معمولا رینگ خارجی دارای شیار یا سوراخی جهت روغنکاری یا گریسکاری می‌باشد. ۳- رولر بیریگهای چرخی: دارای رینگ بیرونی ضخیم و محکمی می‌باشند که برای حرکت چرخ‌گونه آنها روی سطوح در نظر گرفته می‌شود.



شکل۱۶- برخی از انواع بیرینگهای ویژه



شکل۱۷- برخی از انواع بیرینگهای مخصوص a) b UKF) سوزنی مرکب c) چرخی d) پیچی

۲-۵-معرفی بیرینگها

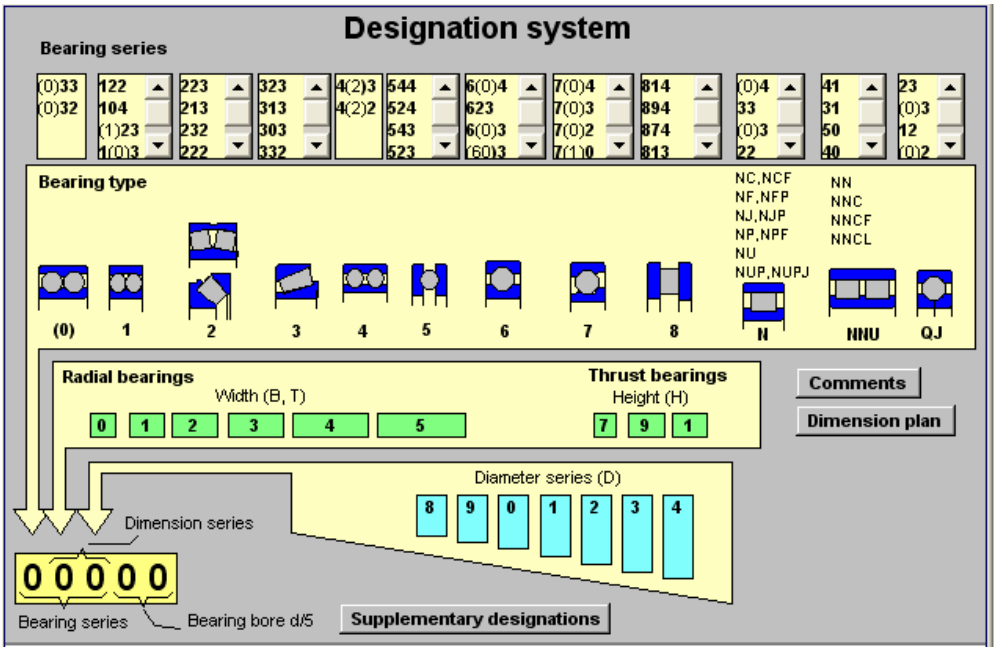
عموما جهت معرفی بیرینگها از یک عدد ۵ رقمی استفاده می‌شود که بسته به نوع بیرینگ و ویژگیهای خاصی که می‌تواند داشته باشد پیشوندها و پسوندهایی به عدد فوق اضافه می‌شود. معرفی بیرینگها به قرار زیر است.

نوع بیرینگ سری پهنا سری قطر $\frac{1}{5}$ قطر سوراخ بر حسب میلیمتر QJ23 16

سری اندازه

یعنی بلبرینگ چهار نقطه تماس با سری پهنای ۲ و سری قطر ۳ با قطر سوراخ ۸۰ میلیمتر.

در شکل ۵ اندازه سری معرفی شده است.



شکل۱۸- راهنمای استفاده از بیرینگ‌ها:

کاربرد وانتخاب یاتاقانهای غلتشی

نوع یاتاقان غلتشی	بار گذاری شعاعی	بار گذاری محوری در دو جهت	تعادل طولی در داخل یاتاقان	تعادل طولی با نشیمن کشویی	یاتاقان قابل دمونتاژ	جبران خطاهای حاصل از لنگی	دقت بالا	مخصوص دور بالا	دوران آرام و بدون صدا	سرعت متوسط	آب بندی در یک طرف یا دو طرف	صلبیت بالا	اصطکاک کم	یاتاقان ثابت	یاتاقان غیر ثابت
یاتاقان ساچمه ای کف گرد	◔	◕→	○	○	○	◔	●	◕c	◔	○	○	◕a	◐	●a	○
مایل	○	◕→	○	○	●	○	●	●	◔	○	○	●	◐	●	○
یاتاقان غلتکی استوانه ای کف گرد	○	●→	○	○	●	○	◐	◔	○	○	○	◕	○	◕	○
یاتاقان غلتکی خود تنظیم کف گرد	◔	●→	○	○	●	●	○	◔	○	○	○	◕	◔	◕	○
یاتاقان ابست	◕	◐→	◔	◔	○	◐e	○	◔	○	○	●	◐	○	◐	○
یاتاقان تاج سوزنی شعاعی	●	○	●	○	○	○	◐	◕	◐	○	◐f	◕	◔	○	●
کلویی و بوش سوزنی	●	○	●	○	●	○	◔	◐	◔	○	●	◕	◔	○	●
یاتاقان سوزنی	●	○	●	○	●	○	◐	◕	◐	○	●	◕	◔	○	●
غلتک تکیه گاهی و غلتک بادامک	●	◔→	◐	○	◐	◐	◔	◐	◔	○	●	◕	◔	○	○
یاتاقان سوزنی ، مرکب	●	◕→	○	○	◐	○	◔	◐	◔	○	◐	◕	◔	◐	○
یاتاقان تاج سوزنی کف گرد	○	●→	○	○	○	○	◐	◔	◔	○	○	◔	○	◕	○

→یاتاقان تکی و یاتاقانهای با ترتیب پشت سر هم در یک جهت
a) با کار برد دوتایی b) با بارگذاری محوری کم c)با کاربرد کم دوتایی d)همچنین با گلویی بست e)یاتاقان بست و ساچمه ای کف گرد با واشر زیر عیوب دوران به هنگام مونتاژ را جبران می کنند f)رینگهای آب بندی
معنی علائم: ● خیلی خوب ◕ خوب ◐ امکانپذیر ، عادی ◔ تحت شرایطی ○ غیر ممکن ، منتفی

کاربرد وانتخاب یاتاقانهای غلتشی

نوع یاتاقان غلتشی	بارگذاری شعاعی	بارگذاری محوری در دو جهت	تعادل طولی در داخل یاتاقان	تعادل طولی با نشیمن کشویی	یاتاقان قابل دمونتاژ	جبران خطاهای حاصل از لنگی	دقت بالا	مخصوص دور بالا	دوران آرام و بدون صدا	سرعت مجروطی	آب بندی در یک طرف یا دو طرف	صلبیت بالا	اصطکاک کم	یاتاقان ثابت	یاتاقان غیر ثابت
NUP , NJ + HJ	●	◐	○	◐	●	◔	◐	◕ b	◔	○	○	◕	◕ b	◕	◔
NNU , NN	●	○	◔ c	○	●	○	●	●	◐	●	○	●	◔	○	●
NCF , NJ 23VH	●	◔ →	◔	◐	◐	◔	○	○	○	○	○	●	○	◐	◐
NNC , NNF	●	◐	○	◐	○	○	○	○	○	○	◔	●	○	◐	◐
یاتاقان غلتکی مخروطی	●	● →	○	◕ a	●	◔	◕	◕ c	◔	○	○	● a	◐	● a	◔ a
جفت یاتاقان JKOS با ترتیب O	●	●	○	○	○	○	○	◔	◔	○	●	●	○	●	○
یاتاقان بشکه ای	●	◐	○	◐	○	●	○	◐	◔	● d	○	◕	◐	◕	◐
یاتاقان غلتکی خود تنظیم	●	◕	○	◐	○	●	○	◐	◔	● d	◐	◕	◐	◕	◐
یاتاقان ساچمه ای کف گرد	○	◕ →	○	○	●	◐ e	◕	◐	◔	○	○	◐	◐	◐	○
	○	◕	○	○	●	◐ e	○	◔	○	○	○	◐	◔	◐	○

► یاتاقان تکی و یاتاقانهای با ترتیب پشت سر هم در یک جهت

a)با کار برد دوتایی b)با بارگذاری محوری کم c)با کاربرد کم دوتایی d)همچنین با گلویی بست e)یاتاقان بست و ساچمه ای کف گرد با واشر زیر عیوب دوران به هنگام مونتاژ را جبران می کنند f)رینگهای آب بندی

معنی علائم: ● خیلی خوب ◕ خوب ◐ امکانپذیر ، عادی ◔ تحت شرایطی ○ غیر ممکن ، منتفی

کاربرد وانتخاب یاتاقانهای غلتشی

نوع یاتاقان غلتشی	بارگذاری شعاعی	بارگذاری محوری در دو جهت	تعادل طولی در داخل یاتاقان	تعادل طولی با نشیمن کشویی	یاتاقان قابل دمونتاژ	جبران خطاهای حاصل از لنگی	دقت بالا	مخصوص دور بالا	دوران آرام و بدون صدا	سرعت مجروطی	آب بندی در یک طرف یا دو طرف	صلبیت بالا	اصطکاک کم	یاتاقان ثابت	یاتاقان غیر ثابت
یاتاقان ساچمه ای	◕	◐	○	◐	○	◔	◐	●	●	○	●	◐	●	◔	◐
	◕	◐	○	◐	○	○	◔	○	◐	○	◐	◐	◐	◔	◐
یاتاقان شانه ای	◐	◐ →	◔	◐	●	◔	◐	○	◕	○	○	◐	◔	◐	○
یاتاقان ساچمه ای مایل(شیب زیاد)	◕	◕ →	○	◕ a	○	○	◐	● c	◕	○	○	◕ a	◔	● a	◐ a
یاتاقان ساچمه ای مایل(شیب کم)	◕	◕ →	○	◐ a	○	○	●	● c	●	○	○	◕ a	◔	● a	◐ a
یاتاقان ساچمه ای چهار نقطه ای	◔	◕	○	○	◐	○	◔	◔	◔	○	○	◐	◐	◔	○
یاتاقان ساچمه ای مایل، دودیفه	◕	◕	○	◐	◐	○	◐	◐	◔	○	◐	◕	◐	◕	◐
یاتاقان ساچمه ای خود تنظیم	◕	◔	○	◐	○	●	○	◕	◔	● d	●	◔	◕	◐	◐
یاتاقان غلتکی استوانه ای NU, N	●	○	●	○	●	◔	◕	●	◐	○	○	◕	◕	○	●
NJ, NU+HJ	●	◐ →	◔	○	●	◔	◐	◔ b	◔	○	○	◕	◔ b	◐	◐

► یاتاقان تکی و یاتاقانهای با ترتیب پشت سر هم در یک جهت

a)با کار برد دوتایی b)با بارگذاری محوری کم c)با کاربرد کم دوتایی d)همچنین با گلویی بست e)یاتاقان بست و ساچمه ای کف گرد با واشر زیر عیوب دوران به هنگام مونتاژ را جبران می کنند f)رینگهای آب بندی

معنی علائم: ● خیلی خوب ◕ خوب ◐ امکانپذیر ، عادی ◔ تحت شرایطی ○ غیر ممکن ، منتفی

کاربرد وانتخاب یاتاقانهای غلتشی

نوع یاتاقان غلتشی	بارگذاری شعاعی	بار گذاری محوری در دو جهت	تحمل طولی در داخل یاتاقان	تحمل طولی با نشیمن کشوئی	یاتاقان قابل دمونتاژ	جبران خطاهای حاصل از لنگی	دقت بالا	مخصوص دور بالا	دوران آرام و بدون صدا	سرعتهای متوسط و پائین	آب بندی در یک طرف یا دو طرف	صلبیت بالا	اصطکاک کم	یاتاقان ثابت	یاتاقان غیر ثابت
یاتاقان ساچمه ای	◕	◐	○	◐	○	◔	◐	●	●	○	●	◐	●	◕	◐
	◕	◐	○	◐	○	○	◔	○	◐	○	◐	◐	◐	◕	◐
یاتاقان شانه ای	◐	◐	◔	◐	●	◔	◐	○	◕	○	○	◐	◕	◐	○
یاتاقان ساچمه ای مایل(شیب زیاد)	◕	◕	○	◐a	○	○	◐	●c	◕	○	○	◕a	◕	●a	◐a
یاتاقان ساچمه ای مایل(شیب کم)	◕	◕	○	◐a	○	○	●	●c	●	○	○	◕a	◕	●a	◐a
یاتاقان ساچمه ای چهار نقطه ای	◔	◕	○	○	◐	○	◔	◔	◔	○	○	◐	◐	◕	○
یاتاقان ساچمه ای مایل، دوردیفه	◕	◕	○	◐	◐	○	◐	◐	◔	○	◐	◕	◐	◕	◐
یاتاقان ساچمه ای خود تنظیم	◕	◔	○	◐	○	●	○	◕	◔	●d	●	◔	◕	◐	◐
یاتاقان غلتکی استوانه ای NU, N	●	○	●	○	●	◔	◕	●	◐	◐	○	◕	◕	○	●
NJ, NU+HJ	●	◐	◔	○	●	◔	◐	●b	◔	○	○	◕	●b	◐	◐

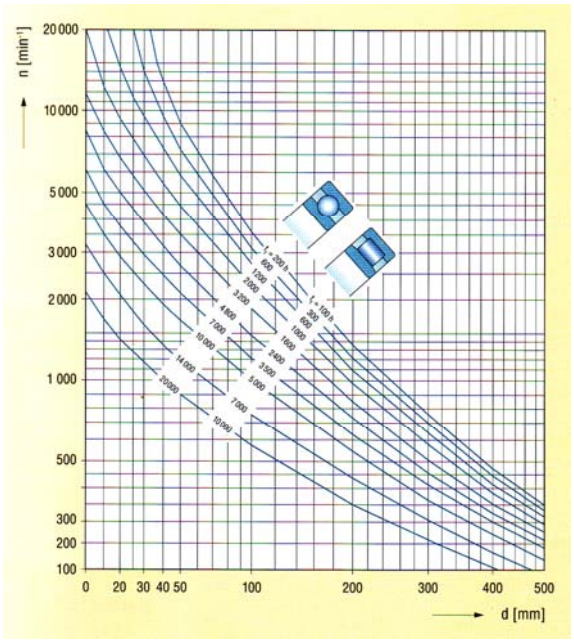
← یاتاقان تکی و یاتاقانهای با ترتیب پشت سر هم در یک جهت

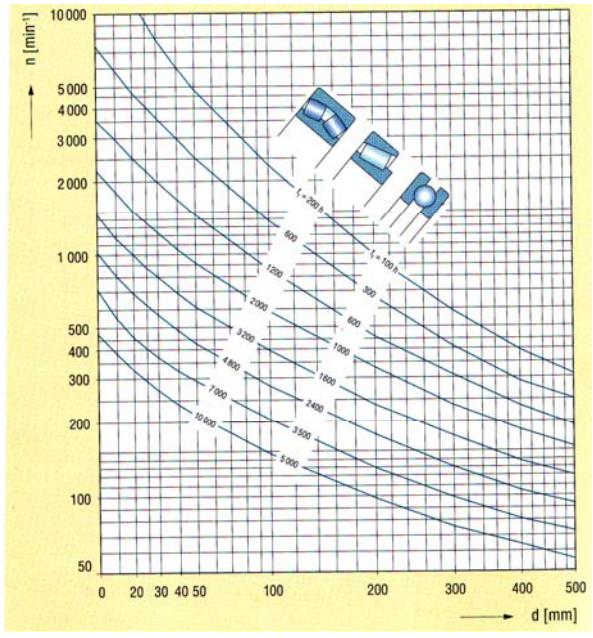
a)با کار برد دوتایی b)با بارگذاری محوری کم c)با کاربرد کم دوتایی d)همچنین با گلویی بست e)یاتاقان بست و ساچمه ای کف گرد با واشر زیر عیوب دوران به هنگام مونتاژ را جبران می کنند f)رینگهای آب بندی

معنی علائم: ● خیلی خوب ◕ خوب ◐ امکانپذیر ، عادی ◔ تحت شرایطی ○ غیر ممکن ، منتفی

۲-٦-روانکار

جهت بحث در خصوص یاتاقان‌ها بحث روان‌کار از جایگاه خاصی برخوردار است. به طور عمده از دو نوع روان‌کار در بیرینگ‌ها استفاده می‌شود که عبارتند از: ۱- روغن‌ها و ۲- گریس. انواع گریس‌های قابل استفاده براساس شرائط کاری انتخاب می‌گردد که در SKF به برخی از آنها استفاده شده است. معمولا تا یک سوم بیرینگ باید پر روانکار باشد. جهت تعیین زمان تعویض گریس از نمودارهای زیر می‌توان بهره جست.

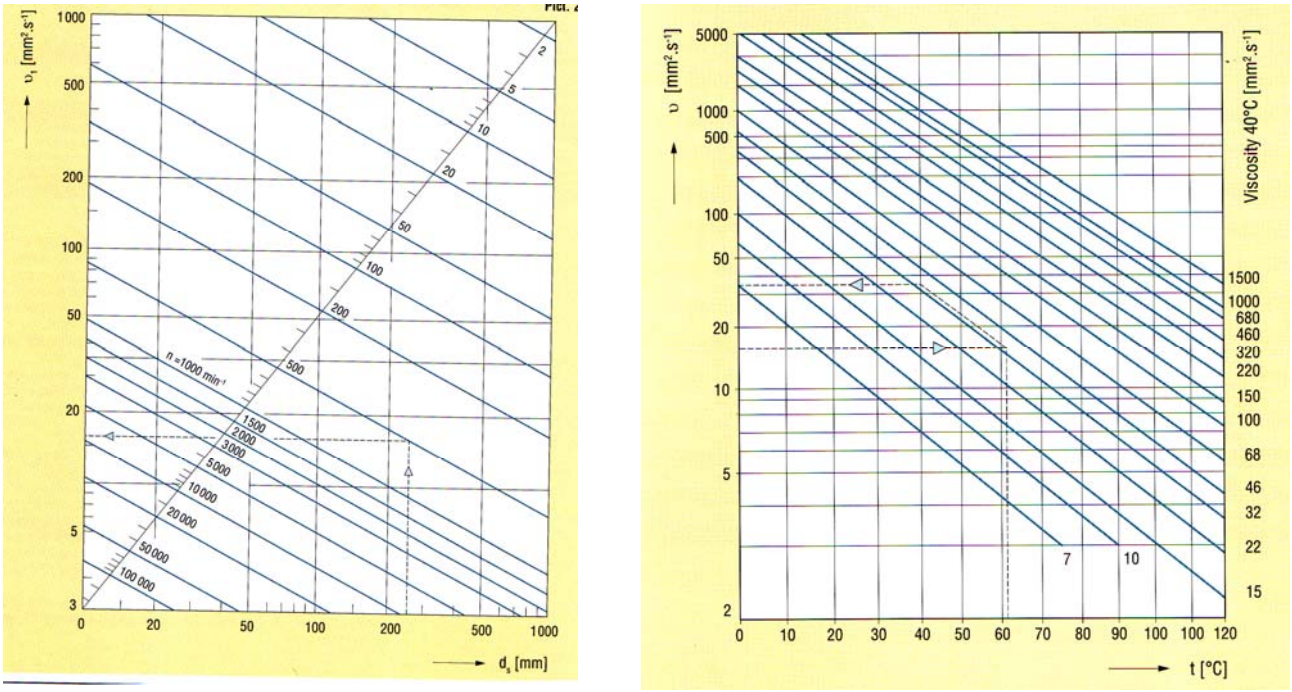




شکل۱۹- زمان تعویض گریس

درجه کیفیت گریس Q=0.005DB جائیکه D قطر خارجی بیرینگ (mm) و B پهنا(mm) می‌باشد.

روغن: عمده‌ترین پارامتر مورد نیاز روغن برای روان‌کاری بیرینگ‌ها لزجت آن در دمای کاری است. با استفاده از نمودارهای زیر می‌توان ویکسوزیته روغنی که مناسب برای دمای کاری باشد، انتخاب نمود.



شکل ۲۰- گراف‌های تعیین ویسکوزیته‌ی روغن تحت شرائط کاری

۲-۷-اصطکاک

اصطکاک عامل اتلاف انرژی در بیرینگ‌ها می‌باشد که در قالب گشتاورهای مختلف بروز می‌کند. در یاتاقان‌های غلتشی با سرعت، مقدار بار، مقدار روان‌ساز، سوار کردن و دمای کارکرد تغییر می‌کند. یک ضریب ثابت می‌تواند در محاسبات تقریبی برای روان‌سازی دلخواه و هر آن‌چه تحت عنوان شرایط کارکرد عادی نامیده می‌شود مورد استفاده قرار گیرد. مقادیری که به ترتیب مشاهده می‌شود از راهنمای عمومی SKF (۱۹۷۸) استخراج شده است:

$f = 0.0010$ برای یاتاقان‌های خود تنظیم (بار شعاعی)

$f = 0.0011$ برای یاتاقان‌های غلتکی با غلتک‌های کوتاه هدایت شده (بار شعاعی)

$f = 0.0013$ برای یاتاقان‌های ساچمه‌ای کف گرد (بار محوری)

$f = 0.0015$ برای یاتاقان‌های ساچمه‌ای یک ردیفه (بار شعاعی)

$f = 0.0018$ برای یاتاقان‌های غلتکی کروی (بار شعاعی)

$f = 0.0018$ برای یاتاقان‌های غلتکی مخروطی

۲-۷-۱-محاسبه ممان اصطکاکی

اگر ضخامت ضخامت لایه روان‌کار کافی نباشد، تماس فلزی بیشتر شده و این بدان معنا است که روش ساده مربوط به فرمول زیر جواب نمی‌دهد.

$M = 0.5 \times \nu \times F \times d$ که در آن d قطر برینگ، F نیروی برینگ و ν ویسکوزیته روغن است.

۲-۷-۲-محاسبه دقیق‌تر ممان اصطکاکی

روشی جدید که شامل ممان اصطکاکی مستقل از بار M_0 نیز می‌باشد بدین قرار است. $M = M_0 + M_1$

ممان اصطکاکی مستقل از بار: این ممان مستقل از بار بوده، اما با کاهش خاصیت هیدرودینامیکی روان‌کار، ویسکوزیته و سرعت چرخشی برینگ مرتبط است در این حالت داریم:

$M_0 = 10^{-7} \times f_0 \times (V \times n)^{2/3} \times D_m^3 \qquad For \qquad V_n > 2000$

$M_0 = 160 \times 10^{-7} \times f_0 \times D_m^3 \qquad For \qquad V_n < 2000$

که M_0 ممان مستقل از بار $(N.M)$، D_0 قطر متوسط برینگ (mm)، f_0 ضریب مربوط به نوع برینگ و روان‌کار، n سرعت برینگ بر حسب دور بر دقیقه و ν ویسکوزیته سینماتیکی روان‌کار $(mm \wedge 2/s)$ است.

ممان اصطکاکی مربوط به بار محوری: این ممان ناشی از تغییر شکل الاستیک برینگ است که به طریق زیر محاسبه می‌شود $M_1 = F_1 \times P_1^a \times D_m^b$ که M_1 ممان مربوط به بار $(N.M)$، F_1 ضریب مربوط به نوع برینگ و بار، P_1 بار تعیین کننده‌ی ممان اصطکاکی (N) و a & b توان‌های مربوط به نوع برینگ است.

نکته: اصطکاک‌های دیگری ناشی از آب‌بند و غیره وجود دارد که برای محاسبات دقیق‌تر باید محاسبه نمود.

۲-۷-۳-دما و اتلاف توان برینگ

اتلاف توان ناشی از اصطکاک برینگ از این رابطه محاسبه می‌شود. $N_r = 1.05 \times 10^{-4} \times M \times n$

اگر ضریب خنک‌کنندگی (W_S) معلوم باشد اختلاف دمای بین برینگ و اطراف آن (T) به طور تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید. $T = N_r / W_S$ که $N_r =$ اتلاف توان (W)، W_s ضریب خنک کنندگی (w/c)، M ممان اصطکاکی کل برینگ $(n.mm)$ و n سرعت دورانی(rpm) می‌باشد.

تمرین ۲- مقدار تقریبی تلفات توان اصطکاکی در یک یاتاقان ساچمه‌های شعاعی با قطر سوراخ $55mm$ تحت نیروی شعاعی $22KN$ چه قدر می باشد؟ محور با سرعت $600rpm$ دوران می‌کند.

۲-۸-برخی اصطلاحات:

بار استاتیکی مبناء: متناظر با تنشی است که منجر به تغییر شکل دائمی 0.0001 قطر عضو غلتنده شود. این پارامتر در جدول بیرینگ‌ها توسط سازندگان درج شده‌است. با این حال معادله استریبک برای ظرفیت استاتیکی C_O برای یاتاقان‌های ساچمه‌ای برابر است با: $C_O = \frac{KZD^2}{5}$ که در آن: K یک ثابت وابسته به قطر ساچمه می‌باشد، K تعداد ساچمه‌ها، D قطر ساچمه‌ها؛ و برای ظرفیت استاتیکی در یاتاقان‌های غلتکی مستقیم معادله به صورت زیر است: $C_O = \frac{KZDL}{5}$ که در آن: K یک ثابت، Z تعداد غلتک‌ها، D قطر غلتک‌ها، L طول غلتک‌ها.

حداکثر بار استاتیکی : رابطه‌ی دیگر جهت محاسبه‌ی C_O چنین است: $C_O = f_O i Z D^2 \cos\alpha$

که در آن: iتعداد ردیف‌های ساچمه در هر یاتاقان.α زاویه اسمی تماس(زاویه اسمی بین خط اثر بار ساچمه و صفحه عمود بر محور یاتاقان)، Z تعداد ساچمه در هر ردیف و D قطر ساچمه می‌باشد.

مقادیر ضریب f_0 برای انواع مختلف یاتاقان که معمولاً طراحی و ساخته می‌شود و از جنس فولاد سخت‌کاری شده است مطابق جدول زیر می‌باشد.

نوع یاتاقان	f_O	
	واحدها kg, mm	واحدها N, m
یاتاقان ساچمه‌ای خود تنظیم یاتاقان ساچمه‌ای شیار باریک شعاعی و تماس زاویه‌ای	0.34 1.25	3.34×10^6 12.26×10^6

بار معادل استاتیکی: عبارتست از بار شعاعی استاتیکی که اگر اعمال شود باعث ایجاد همان تغییر شکل دائمی کلی در ساچمه و شیار در بیشترین تنش تماسی مانند شرایط بارگذاری حقیقی می‌شود.

$P_O = F_r$ یا $P_O = X_O F_r + Y_O F_a$ هرکدام بزرگتر بود. X_0 ,Y0ضرائب بار بوده و بسته به نوع بیرینگ، نسبت بار شعاعی و محوری برای هر بیرینگ تعیین می گردد.

بار دینامیکی مبناء(C): باری که تحت آن بیرینگ با قابلیت ۹۰درصد یک میلیون دور عمر داشته‌باشد. مقدار این پارامتر در جدول بیرینگ‌ها توسط سازندگان درج می‌شود. با این حال روابطی نیز جهت محاسبه‌ی آن وجود دارد. مانند $C = f_C (i\cos\alpha)^{0.7} Z^{2/3} D^{1.8}$ که برای یاتاقان‌های ساچمه‌ای شعاعی و تماس زاویه‌ای، به استثناء یاتاقان‌های چاک‌دار، با ساچمه‌هایی به قطر کمتر از $25.4\ mm$ کاربرد دارد . ساچمه‌هایی بزرگ‌تر از قطر $25.4\ mm$ با واحدهای N و mاز رابطه‌ی $C = f_C (i\cos\alpha)^{0.7} Z^{2/3} 0.23 D^{1.4}$ و برای ساچمه‌هایی بزرگ‌تر از قطر $25.4\ mm$ با واحدهای kg و m $C = f_C (i\cos\alpha)^{0.7} Z^{2/3} 3.647 D^{1.4}$ می‌توان استفاده کرد که i تعداد ردیف‌های ساچمه در هر یاتاقان، α زاویه اسمی تماس، Z تعداد ساچمه‌ها در هر ردیف، f_c یک ضریب که بستگی به واحد مورد استفاده، هندسه اجزا یاتاقان، دقت ساخت اجزای مختلف یاتاقان و جنس دارد.

بار معادل دینامیکی: با استفاده از رابطه‌ی $P = XVF_r + YF_a$بار دینامیکی معادل محاسبه می‌شود. که X و Yضریب بار بوده و مقادیر آنها برای هر بیرینگ به طور مجزاء داده شده‌است. V یک ضریب دورانی است و غالبا یک در نظر گرفته‌می‌شود.

بار معادل تحت شرایط بارهای متغیر توسط بار ثابت متوسط حجمی (مکعبی)، یا متوسط موثر F_m، که همان عمر با بارهای متغییر را می‌دهد، بدست می‌آید. در پایین روابط مختلفی برای متوسط حجمی (مکعبی) بار F_m داده شده‌اند.

اگر بارها در دوره‌های نوسان ثابت باشد: $F_m = \sqrt[3]{\frac{\sum F_i^3 N_i}{L_n}} = \sqrt[3]{\frac{F_1^3 N_1 + F_2^3 N_2 + F_3^3 N_3 + \cdots}{L_n}}$

که در آن F_m بار متوسط مکعبی(N)، F_i بار اعمال شده(N) به ازای هر دور N_i، L_n تعداد کل دوران برای بار متوسط می‌باشد.

اگر بارها متغیر باشند: $F_m = \sqrt[3]{\frac{\int_0^{Ln} F^3 dN}{Ln}}$ که در آن F بار در تعداد دور اختیاری، N تعداد متغییر دور، L_n عمر، در دوران، برای متوسط می‌باشد.

اگر سرعت دوران ثابت باشد، بار با زمان تغییر نماید $F_m = \sqrt[3]{\frac{\sum F^3 t}{T}} = \sqrt[3]{\frac{\int_0^T F^3 dt}{T}}$ که در آن F نیرو در هر لحظه از زمان و T زمان یک سیکل تغییر بار.

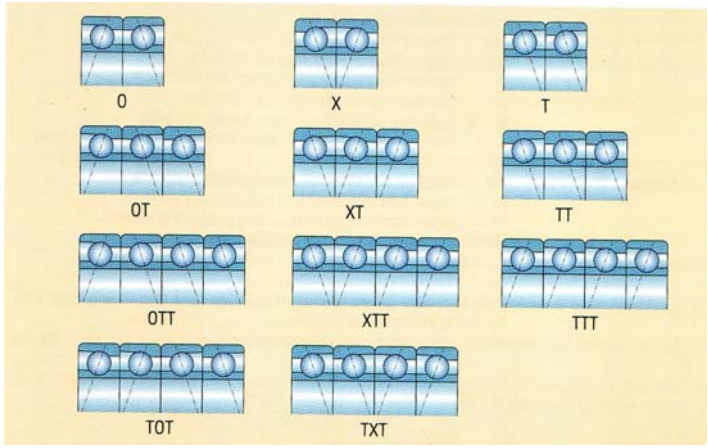
اگر بار ، دور و زمان متغییر باشد، از رابطه‌ی $F_m = \sqrt[3]{\sum F_i^3 n_i \alpha_i}$ استفاده کرد که در آن n_i درصد دور نظیر هر رژیم، α_i درصد زمان نظیر هر رژیم و F_i نیروی متناظر آنهاست.

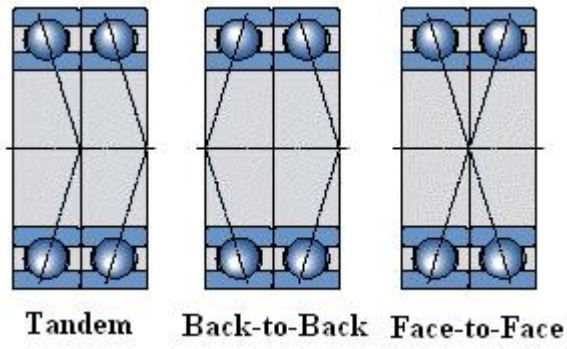
ضریب ایمنی استاتیکی S_0: مبین آن است که آیا یاتاقان تحت بار استاتیکی اعمالی ایمن عمل می‌کند یا نه. مقدار آن بسته به نوع بیرینگ و چگونگی شرایط بار از جدول زیر بدست می‌آید.

بار حد خستگی P_u: مقدار باری که تحت آن هرگز خستگی رخ نمی‌دهد. مقادیر آن در جدول بیرینگ‌ها قید می‌گردد.

نامیزانی بیرینگ‌ها: مقدار بازی رینگ داخلی و خارجی بیرینگ‌ها نامیزانی خوانده می‌شود. این مقدار حتی برای بیرنیگ‌های خودتنظیم کمتر از ۳ درجه است.

چیدمانی بیرینگ‌ها: بیرینگ‌ها همواره به نحوی باید مستقرگردند که تنها یکی از تکیه‌گاه‌ها بار محوری تحمل نماید. برخی از انواع نصب چندتایی بیرینگ‌ها در شکل زیر نشان داده شده‌است.





شکل۲۱- انواع چیدمانی بیرینگ‌ها

۲-۹-عمر بیرینگ‌ها:

با مشخص شدن نوع بیرینگ، بار دینامیکی مبناء (C) از جداول حاصل می‌شود. با توجه به شرایط کاری بار دینامیکی معادل $(P \text{ or } P_{eq})$ نیز قابل محاسبه است. سپس عمر یاتاقان با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه است.

- عمر با قابلیت 90% بر حسب میلیون دور: $L_{10} = (\frac{C}{P})^n$ که n برای بال بیرینگ‌ها مقدار 3 و برای رولر بیرینگ‌ها 10/3 می‌باشد.

- عمر با قابلیت اطمینان 90% بر حسب ساعت: $L_{10h}=\frac{1000000}{60n}(\frac{C}{P})^n$ که n سرعت دورانی محور بر حسب rpm می‌باشد.

- عمر با قابلیت 90% بر حسب میلیون کیلومتر: $L_{10S}=\frac{\pi D L_{10}}{1000}$ که D قطر تایر (لاستیک) برحسب متر است.

تئوری جدید SKF برای عمر: با توجه به این‌که اولاً در برخی موارد به قابلیت اطمینان بیشتری برای عمر بیرینگ‌ها موردنیاز است. ثانیاً تکنولوژی ساخت، مواد، کیفیت روان‌کار در عمر بیرینگ‌ها موثر است. لذا SKF و سایر شرکت‌های مرتبط با بیرینگ‌ها در قالب ضرایبی موارد فوق را در عمر لحاظ کرده‌اند. در زیر به برخی آن‌ها اشاره می‌شود.

عمر با قابلیت اطمینان دلخواه: $L_{na}=a_1a_2a_3L_{10}=a_1a_{23}L_{10}$

که a_1 ضریب اطمینان است و از جدول زیر مقدار آن تعیین می‌گردد. a_2 ضریب تاثیر مواد بیرینگ و a_3 ضریب تاثیر شرایط کاری است. a_2 و a_3 در قالب ضریب a_{23} با هم ترکیب شده و مقدارش از گراف زیر قابل حصول است.

۲-۱۰-یاتاقان‌های شیار عمیق

این یاتاقان‌ها عمدتا بار شعاعی را تحمل می‌کنند با این حال بار محوری مجاز برای آنها بین 0.01C تا $0.5C_0$ و برای بیرینگ‌های سبک(سری قطر ۱، ۰، ۸ و ۹) $0.25C_0$است. حداقل بار شعاعی آنها نیز از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$F_{rm}=K_r(\frac{\nu n}{1000})^{2/3}(\frac{dm}{100})^2$$

بار معادل استاتیک و دینامیک برای این نوع بیرینگ به قرار زیراست.

$P_O=0.6F_r+0.5F_a$اگر بار معادل حاصله از بار شعاعی کوچکتر شد، بارمعادل را برابر بار شعاعی در نظر گرفت.

Calculation factors for single row deep groove ball bearings arranged singly or paired in tandem

	Normal clearance			C3 clearance			C4 clearance		
f_0F_a/C_0	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,31	0,22	0,56	2	0,31	0,46	1,75	0,4	0,44	1,42
0,48	0,24	0,56	1,8	0,33	0,46	1,62	0,42	0,44	1,36
0,86	0,27	0,56	1,6	0,36	0,46	1,46	0,44	0,44	1,27
1,6	0,31	0,56	1,4	0,41	0,46	1,3	0,48	0,44	1,16
3,1	0,37	0,56	1,2	0,46	0,46	1,14	0,53	0,44	1,05
6,2	0,44	0,56	1	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

$$P=F_r \qquad if\ \frac{F_a}{F_r}\le e$$

$$P=XF_r+YF_a \quad if\ \frac{F_a}{F_r}>e$$

مقادیر e. X & Y از جدول روبرو حاصل می‌شود.

اگر دو یاتاقان به صورت Back-to-back یا Face-to-Face نصب شوند و هر کدام C_S و C_{0S} داشتند:

$$C_P=1.62\,C_S \qquad C_{0P}=2\,C_{0S} \qquad n_S^*\ S(speed\ rating) \ \rightarrow n_P^*=0.8\,n_S^*$$

و بار معادل استاتیکی و دینامیکی به قرار زیر محاسبه می‌شود.

$P_O=F_r+1.7F_a$ که نیروهای شعاعی و محوری مذکور مربوط به بار اعمالی بر جفت بیرینگ است.

Calculation factors for paired single row deep groove ball bearings arranged back-to-back and face-to-face

$f_0\ (F_a/C_0)$	e	Y_1	Y_2
0,17	0,23	2,8	3,7
0,69	0,30	2,1	2,8
2,08	0,40	1,6	2,15
3,46	0,45	1,4	1,85
5,19	0,50	1,26	1,7

$$P=F_r+Y_1F_a \qquad if\ \frac{F_r}{F_a}\le e$$

$$P=0.75F_r+Y_2F_a \quad if\ \frac{F_r}{F_a}>e$$

مقادیر e. Y_1 & Y_2 از جدول روبرو حاصل می‌شود.

تمرین ۳- *Bearig 6205* و $F_r = 6\ KN$ و $F_a = 3\ KN$ و $n^* = 800\ rpm$، عمر بیرینگ را برحسب موارد مختلف یاد شده محاسبه نمائید.

تمرین ٤- $F_r = 8\ KN$ و $F_a = 4.5\ KN$ و $d = 45\ mm$ و $n = 500\ rpm$ و $L_{10h} = 10000\ hr$ یک یاتاقان مناسب انتخاب کنید.

۲-۱۱- Self Aligning Ball Bearing

این بیرینگ‌ها به طور تقریبی قابلیت حداکثر بار محوری F_a=3Bd را دارند که Bپهنای بیرینگ و d قطر داخلی بیرینگ برحسب میلیمتر است. حداقل بر شعاعی $F_{rm} = K_r(\frac{\nu n}{1000})^{2/3}(\frac{dm}{100})^2$باید وارد گردد. یاتاقان‌های Selfalign به صورت منفرد استفاده می‌شود.

روابط بار دینامیکی و استاتیکی معادل این بیرینگ بدین قرار است.

$P_O = F_r + Y_0 F_a$ که مقدار Y_0 در جدول بیرینگ‌ها درج شده‌است. برای بار دینامیکی $P = F_r + Y_1 F_a \quad if \frac{F_r}{F_a} \le e$

. $P = 0.65F_r + Y_2 F_a \quad if \frac{F_r}{F_a} > e$ است که مقادیر e. Y_1 & Y_2 در جدول بیرینگ‌ها درج شده‌است.

تمرین ٥- $L_{10h} = 300\ hr$ و $n = 500\ rpm$ و $d = 55\ mm$ و $F_a = 10\ KN$ و $F_r = 15\ KN$.بیرینگ خودتنظیم مناسب انتخاب نمائید.

۲-۱۲- Agular Cotact ball Bearig

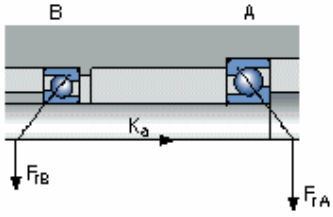
این بیرینگ‌ها قادرند بار محوری را دریک جهت تحمل نمایند. البته بار شعاعی بر بار محوری نیز اثر دارد از این رو مقداربار محوری با استفاده از جدول زیر محاسبه می‌گردد. مقادیر حداقل بار شعاعی و محوری این بیرینگ‌ها را می‌توان در SKFدید. این یاتاقان‌ها قابلیت جفت شدن دارند. روابط بار معادل استاتیک و دینامیک به قرار زیر است.

برای کاربرد تکی یا با ترکیب تاندم باشد، $P_O = 0.5F_r + YF_a$در صورتیکه P_0 بزرگتر از بار شعاعی شود و الا P_0=F_r. و بار دینامیکی

$$P = F_r \qquad if \frac{F_a}{F_r} \le e \quad , \quad P = XF_r + YF_a \quad if \frac{F_a}{F_r} > e$$

برای حالت نصب Back-to-Back و Face-to-Face داریم: $P_O = F_r + Y_0 F_a$، برای بار دینامیکی $P = F_r + Y_1 F_a \quad if \frac{F_r}{F_a} \le e$. $P = XF_r + Y_2 F_a \quad if \frac{F_r}{F_a} > e$ است که مقادیر e, X, Y,. Y_1 & Y_2 در جدول بیرینگ‌ها درج شده‌است. در این یاتاقان‌ها $\frac{F_a}{F_r} \approx \tan 40$. $SKF \longrightarrow \frac{F_a}{F_r} \approx 1.14$

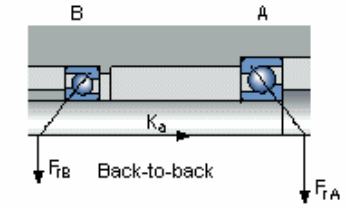
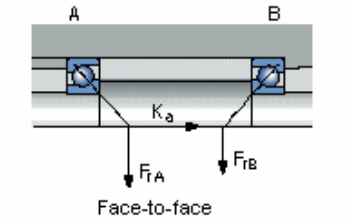
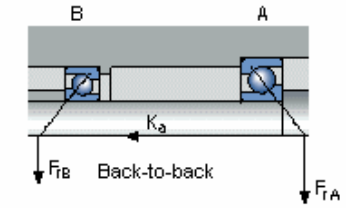
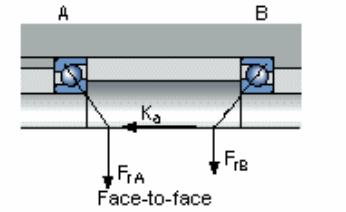
تمرین ٦- در یاتاقان نشان داده شده در شکل آیا عمر ۲۹۵ میلیون دور تامین می‌شود.

$A: F_r = 10KN \quad , \quad 7214BE$ $B: F_r = 8KN \quad , \quad 7314BE$ و K_a=15 KN	

در Angular Cotact بر خلاف deep grooveها که محل بار در B/2 است در محل a است که بعد از طراحی با تغییر محل بار، باید یاتاقان را چک کرد.

$$\tan\alpha = \frac{A}{C}, \quad A = \frac{d}{2} + \frac{D-d}{2} \quad \& \quad C = a - \frac{B}{2}$$

Axial loading of single row angular contact ball bearings

Bearing arrangement	Load case	Axial forces	
	1a) $e_A F_{rA} \geq e_B F_{rB}$ $K_a \geq 0$	$F_{aA} = e_A F_{rA}$	$F_{aB} = F_{aA} + K_a$
	1b) $e_A F_{rA} < e_B F_{rB}$ $K_a \geq e_B F_{rB} - e_A F_{rA}$	$F_{aA} = e_A F_{rA}$	$F_{aB} = F_{aA} + K_a$
	1c) $e_A F_{rA} < e_B F_{rB}$ $K_a < e_B F_{rB} - e_A F_{rA}$	$F_{aA} = F_{aB} - K_a$	$F_{aB} = e_B F_{rB}$
	2a) $e_A F_{rA} \leq e_B F_{rB}$ $K_a \geq 0$	$F_{aA} = F_{aB} + K_a$	$F_{aB} = e_B F_{rB}$
	2b) $e_A F_{rA} > e_B F_{rB}$ $K_a \geq e_A F_{rA} - e_B F_{rB}$	$F_{aA} = F_{aB} + K_a$	$F_{aB} = e_B F_{rB}$
	2c) $e_A F_{rA} > e_B F_{rB}$ $K_a < e_A F_{rA} - e_B F_{rB}$	$F_{aA} = e_A F_{rA}$	$F_{aB} = F_{aA} - K_a$

شکل۲۲– جدول محاسبه بار محوری Agular Cotact ball Bearig

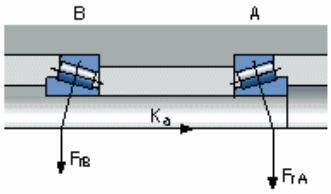
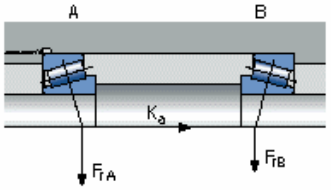
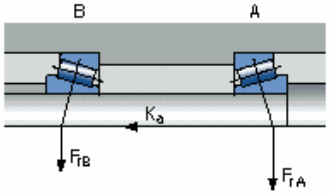
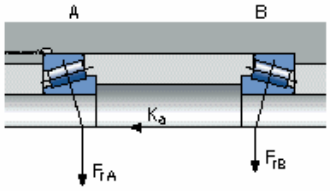
Taper Roller Bearing–۱۳–۲

از این حیث که F_r یک بار محوری F_a تولید می‌کند. شبیه Agular Cotact است. حداقل بار شعاعی آن F_r=0.02C می‌باشد که C بار دینامیکی مبناء می‌باشد. روابط بار معادل استاتیک و دینامیک به قرار زیر است.

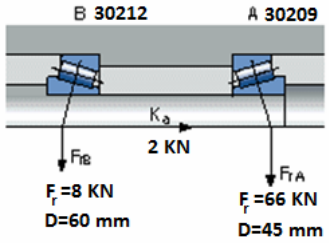
برای کاربرد تکی یا با ترکیب تاندم باشد، $P_O = 0.5F_r + YF_a$ در صورتیکه P_0 بزرگتر از بار شعاعی شود و الا P_0=F_r. و بار دینامیکی $if \frac{F_a}{F_r} > e \quad P = 0.4F_r + YF_a \quad , \quad if \frac{F_a}{F_r} \leq e \quad P = F_r$ همانند Angular Cotact

بیرینگ‌ها برای تعیین بار محوری بایدازجدول استفاده کرد. جدول زیر جهت محاسبه بار محوری است.

Axial loading of taper roller bearings

Bearing arrangement	Load case	Axial loads		
Back-to-back				
	1a) $\frac{F_{rA}}{Y_A} \geq \frac{F_{rB}}{Y_B}$	$F_{aA} = \frac{0,5\,F_{rA}}{Y_A}$	$F_{aB} = F_{aA} + K_a$	$K_a \geq 0$
	1b) $\frac{F_{rA}}{Y_A} < \frac{F_{rB}}{Y_B}$	$F_{aA} = \frac{0,5\,F_{rA}}{Y_A}$	$F_{aB} = F_{aA} + K_a$	$K_a \geq 0,5\left(\frac{F_{rB}}{Y_B} - \frac{F_{rA}}{Y_A}\right)$
Face-to-face				
	1c) $\frac{F_{rA}}{Y_A} < \frac{F_{rB}}{Y_B}$	$F_{aA} = F_{aB} - K_a$	$F_{aB} = \frac{0,5\,F_{rB}}{Y_B}$	$K_a < 0,5\left(\frac{F_{rB}}{Y_B} - \frac{F_{rA}}{Y_A}\right)$
Back-to-back				
	2a) $\frac{F_{rA}}{Y_A} \leq \frac{F_{rB}}{Y_B}$	$F_{aA} = F_{aB} + K_a$	$F_{aB} = \frac{0,5\,F_{rB}}{Y_B}$	$K_a \geq 0$
	2b) $\frac{F_{rA}}{Y_A} > \frac{F_{rB}}{Y_B}$	$F_{aA} = F_{aB} + K_a$	$F_{aB} = \frac{0,5\,F_{rB}}{Y_B}$	$K_a \geq 0,5\left(\frac{F_{rA}}{Y_A} - \frac{F_{rB}}{Y_B}\right)$
Face-to-face				
	2c) $\frac{F_{rA}}{Y_A} > \frac{F_{rB}}{Y_B}$	$F_{aA} = \frac{0,5\,F_{rA}}{Y_A}$	$F_{aB} = F_{aA} - K_a$	$K_a < 0,5\left(\frac{F_{rA}}{Y_A} - \frac{F_{rB}}{Y_B}\right)$

شکل۲۳- جدول محاسبه بار محوری Taper Roller Bearing



تمرین ۷- برای یاتاقان‌های نشان داده شده مطلوب است محاسبه‌ی عمر بیرینگ‌ها. توجه شود که در *B* رولر بیرینگ *30212*و در *A* رولر بیرینگ *30209* نصب شده‌است.

تمرین ۸- چنانچه مشخصات سازه‌ی تمرین فوق به صورت زیر تغییر کند باتاقان‌های مناسب انتخاب کنید.

$$d_A = 35mm \quad Fr_A = 16KN \quad d_B = 30mm \quad Fr_B = 17.5KN \,, n = 600rpm \quad L_{10h} = 600hr$$

تمرین ۹- هر چند که راهنماهای یاتاقان‌های حداکثر بار استاتیکی پایه را برای یاتاقان‌ها جدول‌بندی نموده است. مطلوب است حداکثر بار استاتیکی *AFBMA* برای یک یاتاقان شیار عمیق یک ردیفه *6309* با *8* ساچمه به قطر $17.5mm$.