کد مقاله: SBI-CLA-0009

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵

بسمه تعالی

شبکه بلبرینگ ایران

دپارتمان تحقیق و توسعه

بررسی عمر رولربیرینگ‌های کروی به عنوان تابعی از زاویه اعمال بار

چکیده:

رولربیرینگ‌های کروی که یک نمونه از آن‌ها در شکل شماره ۱ نشان داده شده است، در بسیاری از ماشین‌آلات و به خصوص در صنایع سنگین از قبیل نیروگاه‌ها، کارخانجات فولاد و سیمان به کار گرفته می‌شوند. رولربیرینگ‌های کروی بارهای شعاعی سنگین و ناترازی زاویه‌ای را به خوبی تحمل می‌نمایند و تا حدی هم قادر به تحمل بارهای محوری در هر دو جهت هستند. هنگامی که نیروی برآیند وارد بر بیرینگ دارای مؤلفه‌های شعاعی و محوری باشد، محاسبه عمر این بیرینگ‌ها پیچیده‌تر می‌گردد و طبعاً بسته به زاویه اعمال نیروی برآیند، عمر محاسبه شده نیز تغییر خواهد کرد. مقاله حاضر به دنبال بررسی عمر رولربیرینگ‌های کروی به ازای یک نیروی برآیند یکسان، تحت زاویای اعمال بار مختلف است. در این مطالعه رولربیرینگ ساخت شرکت SKF با کد فنی 22212 E مورد بررسی قرار گرفت و بار معادل دینامیکی و عمر مجاز دینامیکی برای آن‌در زوایای مختلف اعمال نیروی برآیند، محاسبه گردید. نتایج نشان داد که میزان تفاوت عمر این بیرینگ‌ها در حالت بارگذاری محوری یا نزدیک به محوری در مقایسه با حالت بارگذاری شعاعی بسیار زیاد است. همچنین با اندکی دور شدن از بارگذاری کاملاً شعاعی، عمر رولربیرینگ‌های کروی به شدت افت می‌کند.

کلمات کلیدی:

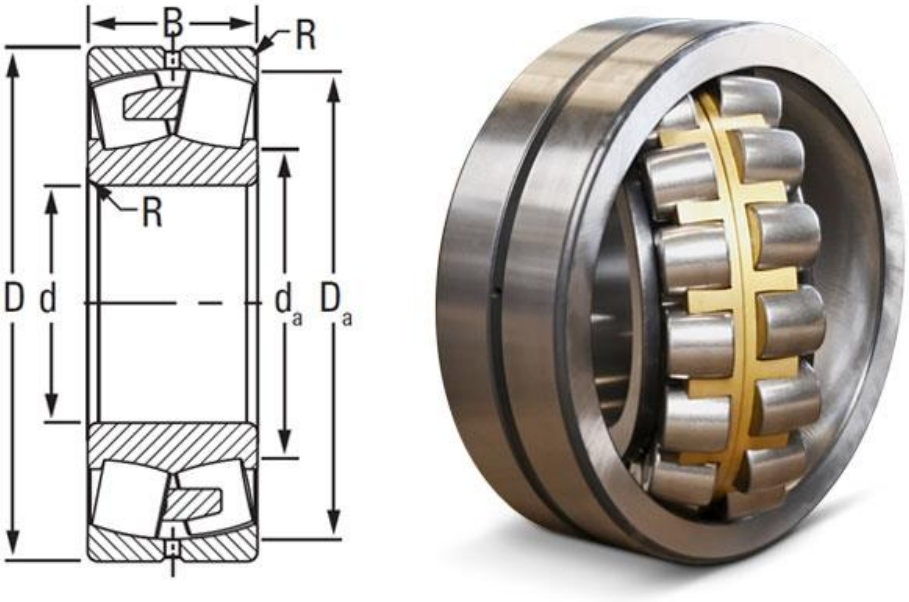
بار برآیند، بار معادل دینامیکی، رولربیرینگ‌های کروی، زاویه اعمال بار، عمر مجاز دینامیکی.

فهرست علائم و اصطلاحات:

علامت توان در معادله تعیین عمر مجاز (که برای رولربیرینگ‌ها برابر $\frac{10}{3}$ است)	a
بار مجاز دینامیکی بیرینگ (kN)	C
بار مجاز استاتیکی بیرینگ (kN)	C_0
حد نسبت بار	e
مؤلفه محوری نیروی برآیند وارد بر بیرینگ (kN)	F_a
حداکثر نیروی محوری مجاز بیرینگ (kN)	F_{ap}
مؤلفه شعاعی نیروی برآیند وارد بر بیرینگ (kN)	F_r
عمر مجاز پایه بیرینگ‌های غلتشی با قابلیت اطمینان ۹۰ درصد (بر حسب میلیون دور)	L_{10}
بار معادل دینامیکی (kN)	P
حداقل بار لازم برای بیرینگ (kN)	P_m
ضریب محاسباتی بار محوری برای محاسبه بار محوری	Y_1
ضریب محاسباتی بار محوری برای محاسبه بار محوری	Y_2
زاویه نیروی برآیند اعمال شده به بیرینگ نسبت به محور شفت (بر حسب درجه)	θ

۱- مقدمه

رولربیرینگ‌های کروی که یک نمونه از آن‌ها در شکل شماره ۱ نشان داده شده است، در بسیاری از ماشین‌آلات و به خصوص در صنایع سنگین از قبیل نیروگاه‌ها، کارخانجات فولاد و سیمان به کار گرفته می‌شوند [۱].



شکل ۱: یک رولربیرینگ کروی و نقشه برش آن [۱].

نمودار شکل شماره ۲، ویژگی‌های عملکردی رولربیرینگ‌های کروی را نشان می‌دهد. همان طور که در این نمودار نشان داده شده است، رولربیرینگ‌های کروی بارهای شعاعی سنگین و ناترازی زاویه‌ای را به خوبی تحمل می‌نمایند و تا حدی هم قادر به تحمل بارهای محوری در هر دو جهت هستند.

عالی					
مطلوب					
احتیاط					
نامناسب					
ویژگی های مورد نظر	تحمل بار شعاعی	تحمل بار محوری در یک جهت	تحمل بار محوری در دو جهت	تحمل سرعت های بالا	تحمل ناترازی

شکل ۲: نمودار ستونی ویژگی‌های عملکردی رولربیرینگ‌های کروی [۲].

اما در بسیاری از مواقع، نیروی برآیند[1] وارد بر بیرینگ با محور شفت زاویه‌ای متفاوت از صفر و نود درجه خواهد داشت؛ به عبارت دیگر در این موارد بیرینگ باید همزمان بارهای شعاعی و محوری را تحمل کند. پیشتر ذکر شد که رولربیرینگ‌های کروی بارهای شعاعی سنگین را به خوبی تحمل می‌نمایند؛ ولی میزان تحمل آن‌ها در مقابل بارهای محوری به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر است. بنابراین هنگامی که نیروی برآیند وارد بر بیرینگ دارای مؤلفه‌های شعاعی و محوری باشد، محاسبه عمر این بیرینگ‌ها پیچیده‌تر می‌گردد و طبعاً بسته به زاویه اعمال نیروی برآیند، عمر محاسبه شده نیز تغییر خواهد کرد. مقاله حاضر به دنبال بررسی عمر رولربیرینگ‌های کروی به ازای یک نیروی برآیند یکسان، تحت زاوایای اعمال بار مختلف است.

۲- مشخصات بیرینگ مورد بررسی

در این مطالعه جهت دستیابی به درک بهتری از تأثیر زاویه اعمال بار بر عمر رولربیرینگ‌های کروی، رولربیرینگ ساخت شرکت SKF با کد فنی 22212 E مورد بررسی قرار گرفت. برخی از مشخصات این بیرینگ در جدول شماره ۱، بیان گردیده است.

جدول ۱: مشخصات رولربیرینگ کروی با شماره فنی 22212 E ساخت شرکت SKF (۳)

	رولربیرینگ کروی 22212 E
قطر داخلی (mm)	۶۰
قطر خارجی (mm)	۱۱۰
پهنا (mm)	۲۸
جرم بیرینگ (Kg)	۱/۱۵
بار مجاز دینامیکی (KN)	۱۵۹
بار مجاز استاتیکی (KN)	۱۶۶
حد نسبت بار	۰/۲۴
بار مجاز استاتیکی Y_1	۲/۸
بار مجاز استاتیکی Y_2	۴/۲

۱- منظور از نیروی برآیند، نیرویی است که برابر با برآیند تمام نیروهای وارد بر بیرینگ است و نباید با بار معادل که مفهومی فرضی است و در تعیین عمر بیرینگ‌ها استفاده می‌شود، اشتباه گرفته شود.

۳- نحوه محاسبه بار معادل دینامیکی برای رولربیرینگ‌های کروی

پیش از توضیح در خصوص نحوه محاسبه بار معادل دینامیکی برای رولربیرینگ‌های کروی، لازم به ذکر که روشی که در این‌جا توضیح داده می‌شود، مربوط به بیرینگ‌های برند SKF است و ممکن است با روش محاسبه در برندهای دیگر، تفاوت‌هایی داشته باشد.

همان طور که پیشتر اشاره شد، رولربیرینگ‌های کروی می‌توانند نیروی محور را تا حدی تحمل کنند. برای هر رولربیرینگ کروی یک میزان بیشینه نیروی محوری مجاز وجود دارد که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۳]:

$$F_{ap} = 0.003\ B\ d$$ **(رابطه شماره ۱)**

با استفاده از رابطه شماره ۱، بیشینه نیروی محوری مجاز برای بیرینگ 22212 E برابر با ۵/۰۴ kN به دست می‌آید.

نکته بعدی که پیش از شروع محاسبات باید به آن توجه نمود، حداقل بار معادل لازم برای بیرینگ است. حداقل بار لازم برای بیرینگ‌ها، آستانه پایین مقدار بار مجاز اعمالی به آن‌ها برای دستیابی به عملکرد قابل قبول و عمر مناسب است [۴]. میزان حداقل بار معادل لازم برای رولربیرینگ‌های کروی در صورت استفاده از گریس به عنوان روانکار، با فرمول زیر محاسبه می‌گردد [۳]:

$$P_m = 0.01\ C_0$$ **(رابطه شماره ۲)**

با استفاده از رابطه شماره ۲، حداقل بار معادل لازم برای بیرینگ 22212 E برابر با ۱/۶۶ kNبه دست می‌آید.

برای محاسبه عمر یک بیرینگ در برابر ترکیب بارهای شعاعی و محوری، ابتدا باید بار معادل دینامیکی را برای آن بیرینگ محاسبه نمود. برای انجام این کار، ابتدا باید نسبت بار محوری به بار شعاعی ($\frac{F_a}{F_r}$) محاسبه گردد. سپس این نسبت با «حد نسبت بار» (e) بیرینگ مورد نظر مقایسه می‌شود. حد نسبت بار برای رولربیرینگ‌های کروی توسط خود شرکت SKF محاسبه شده و در کتابچه راهنمای این شرکت در مقابل نام بیرینگ، همراه با سایر اطلاعات ذکر شده است [۳].

اگر نسبت بار محوری به بار شعاعی، کوچک‌تر یا برابر با مقدار حد نسبت بار باشد ($\frac{F_a}{F_r} \leq e$)، از رابطه شماره ۳ برای محاسبه بار معادل دینامیکی استفاده می‌کنیم [۳]:

$$P = F_r + Y_1\ F_a$$ **(رابطه شماره ۳)**

ولی اگر ، نسبت بار محوری به بار شعاعی بیرینگ، بزرگ‌تر از مقدار حد نسبت بار باشد، از رابطه شماره ۴ برای محاسبه بار معادل دینامیکی استفاده می‌کنیم [۳]:

$$P = 0.67\, F_r + Y_2\, F_a$$ **(رابطه شماره ۴)**

ضرایب Y_1 و Y_2 نیز در جداول داخل کاتالوگ محصولات شرکت SKF برای هر رولربیرینگ کروی ذکر شده است.

در این مطالعه، اندازه نیروی برآیند وارد بر بیرینگ در تمام مراحل یکسان و برابر با ۵ kN در نظر گرفته شده است و تغییر اندازه مؤلفه‌های شعاعی و محوری تنها به دلیل تغییر زاویه نیروی اعمالی نسبت به محور شفت است که این زاویه با علامت θ مشخص شده است. شایان ذکر است که در انتخاب عدد ۵ kN به عنوان میزان نیروی برآیند وارد بر بیرینگ به این نکته توجه شده است که این میزان از حداکثر نیروی محوری مجاز برای بیرینگ 22212 E کمتر و از حداقل بار معادل لازم برای این بیرینگ بیشتر است. بنابراین انتخاب این میزان از اعمال بار، خللی در انجام محاسبات ایجاد نمی‌کند.

با استفاده از اطلاعات جدول شماره ۱ و آنچه در خصوص نحوه محاسبه بار معادل دینامیکی برای رولربیرینگ‌های کروی بیان گردید، میزان بار معادل برای بیرینگ 22212 E در زوایای مختلف بارگذاری محاسبه شد که نتایج این محاسبات در جدول شماره ۲، نشان داده شده است.

جدول ۲: تغییرات بار معادل دینامیکی با تغییر زاویه نیروی اعمالی در رولربیرینگ کروی با کد 22212 E

زاویه اعمال بار نسبت به محور شفت	F_r (KN)	F_a (KN)	P (KN)
$\theta = 0°$ (بار کاملاً محوری)	۰	۵	۲۱/۰۰
$\theta = 15°$	۱/۲۹	۴/۸۳	۲۱/۱۵
$\theta = 30°$	۲/۵۰	۴/۳۳	۱۹/۸۶
$\theta = 45°$	۳/۵۴	۳/۵۴	۱۷/۲۴
$\theta = 60°$	۴/۳۳	۲/۵۰	۱۳/۴۰
$\theta = 75°$	۴/۸۳	۱/۲۹	۸/۶۶
$\theta = 90°$ (بار کاملاً شعاعی)	۵	۰	۵/۰۰

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در بخش قبلی بار معادل دینامیکی برای هر سه بیرینگ به ازای زوایای مختلف اعمال بار برآیند محاسبه گردید. طبعاً عمر مجاز بیرینگ‌ها تابعی از بار معادل آن‌ها است. عمر مجاز پایه بیرینگ‌های غلتشی با قابلیت اطمینان ۹۰ درصد از رابطه شماره ۵ به دست می‌آید[۳].

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{a}$$ **(رابطه شماره ۵)**

البته عمر به دست آمده از این روش با استفاده از برخی ضرایب اصلاح می‌گردد. ولی چون هدف از این مطالعه، مقایسه عمر بیرینگ تحت زوایای مختلف اعمال بار است و نه ارائه دقیق‌ترین تخمین از عمر بیرینگ، بنابراین از همین رابطه ساده برای محاسبات استفاده شده است. در این محاسبات، شرایط کاری بیرینگ از نظر سرعت چرخش، نحوه روانکاری، میزان ناترازی زاویه‌ای شفت نسبت به هوزینگ و ... یکسان و در محدوده استاندارد در نظر گرفته شده است.

برای درک بهتر تغییرات عمر بیرینگ در اثر تغییر زاویه نیروی اعمال شده به آن، عمر بیرینگ در حالت بارگذاری کاملاً شعاعی به عنوان مرجع در نظر گرفته شده و عمر بیرینگ در سایر حالات بارگذاری نسبت به آن و به صورت درصدی محاسبه شده است. جدول شماره ۳، نتایج محاسبات را نشان می‌دهد.

جدول ۳: مقایسه عمر مجاز دینامیکی رولربیرینگ کد 22212 E در زاویای مختلف اعمال نیرو نسبت به عمر آن در بارگذاری شعاعی خالص

زاویه اعمال بار نسبت به محور شفت	نسبت عمر مجاز دینامیکی به عمر بیرینگ در بارگذاری شعاعی خالص (بر حسب درصد)
$\theta = 0°$ (بار کاملاً محوری)	٪ ۱
$\theta = 15°$	٪ ۱
$\theta = 30°$	٪ ۱
$\theta = 45°$	٪ ۴
$\theta = 60°$	٪ ۴
$\theta = 75°$	٪ ۱۶
$\theta = 90°$ (بار کاملاً شعاعی)	٪ ۱۰۰

نتایج مندرج در جدول شماره ۳، نشان می‌دهد که در اثر اعمال یک نیرو با اندازه ثابت، عمر رولربیرینگ‌های کروی در حالات نزدیک به بارگذاری محوری کمتر از بارگذاری شعاعی است. البته با توجه به نمودار شکل شماره ۲ که ویژگی‌های عملکردی رولربیرینگ‌های کروی را نشان داده بود، این موضوع قابل پیش‌بینی بود؛ زیرا طبق این نمودار، توانایی رولربیرینگ‌های کروی در تحمل بارهای شعاعی بیشتر از بارهای محوری است. اما با توجه به جدول شماره ۳، دو نکته جدید آشکار می‌شود. یکی این که میزان تفاوت عمر این بیرینگ‌ها در حالت بارگذاری محوری یا نزدیک به محوری در مقایسه با حالت بارگذاری شعاعی بسیار زیاد است. به عنوان مثال در بارگذاری با زاویه ۳۰ درجه، عمر بیرینگ تقریباً ۱ درصد عمر آن در حالت بارگذاری شعاعی است. نکته دوم که حتی جالب‌تر از نکته اول است، این است که با اندکی دور شدن از بارگذاری کاملاً شعاعی، عمر رولربیرینگ‌های کروی به شدت افت می‌کند. به عنوان مثال با تغییر زاویه اعمال بار از ۹۰ درجه به ۷۵ درجه، عمر بیرینگ کد 22212 E از ۱۰۰ درصد به ۱۶ درصد تنزل یافته است که نشان دهنده شیب بسیار شدید کاهش عمر است.

با توجه به مجموع مطالب بیان شده در خصوص عمر رولربیرینگ‌های کروی تحت زوایای مختلف بارگذاری، به طراحان ماشین‌آلات مختلف توصیه می‌شود که در صورت نیاز به استفاده از رولربیرینگ‌های کروی، طراحی چیدمان بیرینگ‌ها و قطعات مرتبط به گونه‌ای انجام شود که تا حد امکان نیروی محوری به رولربیرینگ‌های کروی اعمال نگردد. یکی از راهکارهای رایج در مواردی که نیروهای محوری وارد بر شفت قابل توجه هستند، استفاده از یک بیرینگ کفگرد به عنوان مثال یک رولربیرینگ کروی کفگرد در ترکیب با یک رولربیرینگ کروی است تا بارهای محوری توسط بیرینگ کفگرد تحمل شوند.

منابع:

[1] https://rudrabearings.com/spherical-roller-bearings.php, Date of access: 2022.03.15

[2] NKE Wälzlager Vertriebsges.m.b.H., “NKE Bearing Collage” booklet, 2012.

[3] SKF Group (2018), “Rolling Bearings”.

۴- دپارتمان تحقیق و توسعه شبکه بلبرینگ ایران (۱۳۹۷)، «مروری بر مفهوم حداقل بار لازم برای بیرینگ‌های غلتشی»، کد مقاله: SBI-FAI-0007.