کد مقاله: SBI-CLA-0008

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

بسمه تعالی

شبکه بلبرینگ ایران

دپارتمان تحقیق و توسعه

تأثیر زاویه نیروی برآیند بر عمر رولربیرینگ‌های مخروطی

چکیده:

رولربیرینگ‌های مخروطی جزء پرکاربردترین انواع بیرینگ‌ها هستند و به دلیل کاربردهای متنوعی که دارند، شرایط متفاوتی از بارگذاری را تجربه می‌نمایند. این بیرینگ‌ها نیروی شعاعی و نیروی محوری (در یک جهت) را به خوبی تحمل می‌کنند؛ ولی مقاله حاضر به دنبال پاسخ‌گویی به این پرسش است که تغییر زاویه نیروی برآیند نسبت به شفت، چه تأثیری بر عمر رولربیرینگ‌های مخروطی دارد؟ در این مطالعه، سه رولربیرینگ مخروطی ساخت شرکت SKF با کدهای فنی 31312، 33212 و 32312 مورد بررسی قرار گرفتند و بار معادل دینامیکی و عمر مجاز دینامیکی برای آن‌ها در زوایای مختلف اعمال نیروی برآیند، محاسبه گردید. نتایج نشان داد که تأثیر زاویه بار بر عمر رولربیرینگ‌های مخروطی، تحت تأثیر طراحی آن‌ها می‌تواند بسیار متغیر باشد. اما به صورت یک قاعده تقریباً کلی، رولربیرینگ مخروطی که «حد نسبت بار» بزرگ و «فاکتور محاسباتی برای بار محوری» کوچک دارند، در زوایای اعمال بار کم و رولربیرینگ مخروطی که «حد نسبت بار» کوچک و «فاکتور محاسباتی برای بار محوری» بزرگ دارند، در زوایای اعمال بار زیاد، عمر مناسب‌تری دارند.

کلمات کلیدی:

بارگذاری شعاعی، بارگذاری محوری، بار برآیند، بار معادل دینامیکی، رولربیرینگ‌های مخروطی، عمر مجاز دینامیکی.

فهرست علائم و اصطلاحات:

علامت توان در معادله تعیین عمر مجاز (که برای رولربیرینگ‌ها برابر $\frac{10}{3}$ است)	a
بار مجازی دینامیکی بیرینگ (KN)	C
حد نسبت بار	e
مؤلفه شعاعی نیروی برآیند وارد بر بیرینگ (KN)	F_r
حداقل بار شعاعی لازم برای بیرینگ (KN)	F_{rm}
مؤلفه محوری نیروی برآیند وارد بر بیرینگ (KN)	F_a
عمر مجاز پایه بیرینگ‌های غلتشی با قابلیت اطمینان ۹۰ درصد (بر حسب میلیون دور)	L_{10}
بار معادل دینامیکی (KN)	P
فاکتور محاسباتی برای بار محوری	Y
زاویه نیروی برآیند اعمالی به بیرینگ نسبت به محور شفت (بر حسب درجه)	θ

۱- مقدمه:

رولربیرینگ‌های مخروطی که اجزاء یک نمونه از آن‌ها در شکل شماره ۱ نشان داده شده است، جزء پرکاربردترین انواع بیرینگ‌ها هستند. از این بیرینگ‌ها در توربین‌های بادی، گیربکس‌ها، کارخانه‌های نورد، صنعت معدن و ... استفاده می‌شود [۱] و [۲].

شکل ۱: اجزای تشکیل‌دهنده یک رولربیرینگ مخروطی [۱].

ولی احتمالاً رایج‌ترین مورد استفاده از رولربیرینگ‌های مخروطی که اغلب افراد با آن مواجهه دارند، همان گونه که در شکل شماره ۲ نشان داده شده است، در توپی چرخ خودروها است.

شکل ۲: استفاده از رولربیرینگ‌های مخروطی در توپی چرخ خودروها [۱].

نمودار شکل شماره ۳، ویژگی‌های عملکردی رولربیرینگ‌های مخروطی تک‌ردیفه را نشان می‌دهد. این بیرینگ‌ها معمولاً بارهای سنگین را متناسب با سایز خود، به خوبی تحمل می‌نمایند؛ ولی در مقابل ناترازی آسیب‌پذیر 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 ۳: نمودار ستونی ویژگی‌های عملکردی رولربیرینگ‌های مخروطی تک‌ردیفه [۳].

باید در نظر داشت که هنگامی که یک بیرینگ در کاربردهای متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرد، انواع متفاوتی از بارگذاری را نیز باید تحمل نماید. حتی در توپی چرخ خودروها هم رولربیرینگ‌های مخروطی به دلیل متغیر بودن شرایط جاده‌ها، بارگذاری متغیری را تجربه می‌کنند. بنابراین کسب اطلاع در خصوص نحوه عملکرد رولربیرینگ‌های مخروطی در شرایط بارگذاری مختلف ضروری است.

آن چه در اغلب موارد برای بیرینگ‌ها اتفاق می‌افتد، این است که یک بیرینگ همزمان باید بارهای شعاعی و محوری را تحمل کند. در این شرایط نیروی برآیند[1] با محور شفت زاویه‌ای متفاوت از صفر و نود درجه خواهد داشت. خوشبختانه همان طور که در نمودار شکل شماره ۳ دیده می‌شود، رولربیرینگ‌های مخروطی نیروی شعاعی و نیروی محوری (در یک جهت) را به خوبی تحمل می‌کنند؛ ولی این پرسش مطرح می‌گردد که تغییر زاویه اعمال نیروی برآیند چه تأثیری بر عمر رولربیرینگ‌های مخروطی دارد؟ مقاله حاضر به دنبال پاسخ‌گویی به این پرسش است.

۲- مشخصات بیرینگ‌های مورد بررسی

در این مطالعه جهت دستیابی به درک بهتری از تأثیر زاویه اعمال بار بر عمر رولربیرینگ‌های مخروطی، سه رولربیرینگ ساخت شرکت SKF با کدهای فنی 31312، 33212 و 32312 مورد بررسی قرار گرفتند. برخی از مشخصات این بیرینگ‌ها در جدول شماره ۱، بیان گردیده است.

جدول ۱: مشخصات رولربیرینگ‌های مخروطی مورد بررسی [۴].

	31312	33212	32312
قطر داخلی (mm)	۶۰	۶۰	۶۰
قطر خارجی (mm)	۱۳۰	۱۱۰	۱۳۰
پهنا (mm)	۳۳/۵	۳۸	۴۸/۵
جرم بیرینگ (Kg)	۱/۹۰	۱/۵۵	۲/۹۰
بار مجاز دینامیکی (KN)	۱۷۷	۲۰۷	۲۸۲
حد نسبت بار	۰/۸۳	۰/۴۰	۰/۳۵
فاکتور محاسباتی برای بار محوری	۰/۷۲	۱/۵۰	۱/۷۰

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 مخروطی

برای محاسبه عمر یک بیرینگ در برابر ترکیب بارهای شعاعی و محوری، ابتدا باید بار معادل دینامیکی را برای آن بیرینگ محاسبه نمود. شایان ذکر است 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.

در مورد رولربیرینگ‌های مخروطی، شرکت SKF پیشنهاد می‌دهد که ابتدا 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 مخروطی توسط خود شرکت SKF محاسبه شده و در کتابچه راهنمای این شرکت در مقابل نام بیرینگ، همراه با سایر اطلاعات ذکر شده است[۴].

اگر نسبت بار محوری به بار شعاعی، کوچک‌تر یا برابر با مقدار حد نسبت بار باشد ($\frac{F_a}{F_r} \leq e$)، بار معادل دینامیکی را برابر با مؤلفه شعاعی نیروی برآیند وارد بر بیرینگ در نظر می‌گیریم ($P = F_r$). ولی اگر ، نسبت بار محوری به بار شعاعی بیرینگ، بزرگ‌تر از مقدار حد نسبت بار باشد، از رابطه شماره ۱ برای محاسبه بار معادل دینامیکی استفاده می‌کنیم[۴].

$$P = 0.4\,F_r + Y\,F_a$$ **(رابطه شماره ۱)**

ضریب Y نیز در جداول داخل کاتالوگ محصولات شرکت SKF برای هر رولربیرینگ مخروطی ذکر شده است.

در این مطالعه، اندازه نیروی برآیند وارد بر هر سه بیرینگ در تمام مراحل یکسان و برابر با ۱۶/۶۰kN 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.

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

جدول ۲: مقایسه تغییرات بار معادل دینامیکی با تغییر زاویه نیروی اعمالی در رولربیرینگ‌های مخروطی

زاویه اعمال بار نسبت به محور شفت	F_r (KN)	F_a (KN)	P برای بیرینگ کد 31312 (KN)	P برای بیرینگ کد 33212 (KN)	P برای بیرینگ کد 32312 (KN)
$\theta = 0°$ (بار کاملاً محوری)	۰	۱۶/۶۰	۱۱/۹۵	۲۴/۹۰	۲۸/۲۲
$\theta = 15°$	۴/۳۰	۱۶/۰۳	۱۳/۲۶	۲۵/۷۷	۲۸/۹۷
$\theta = 30°$	۸/۳۰	۱۴/۳۸	۱۳/۶۷	۲۴/۸۹	۲۷/۷۷
$\theta = 45°$	۱۱/۷۴	۱۱/۷۴	۱۳/۱۵	۲۲/۳۱	۲۴/۶۵
$\theta = 50°$	۱۲/۷۲	۱۰/۶۷	۱۲/۷۷	۲۱/۰۹	۲۳/۲۳
$\theta = 60°$	۱۴/۳۸	۸/۳۰	۱۶/۶۰	۱۸/۲۰	۱۹/۸۶
$\theta = 70°$	۱۵/۶۰	۵/۶۸	۱۶/۶۰	۱۶/۶۰	۱۵/۹۰
$\theta = 75°$	۱۶/۰۳	۴/۳۰	۱۶/۶۰	۱۶/۶۰	۱۶/۶۰
$\theta = 90°$ (بار کاملاً شعاعی)	۱۶/۶۰	۰	۱۶/۶۰	۱۶/۶۰	۱۶/۶۰

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 ۲ به دست می‌آید[۴].

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^a$$ (رابطه شماره ۲)

البته عمر به دست آمده از این روش با استفاده از برخی ضرایب اصلاح می‌گردد. ولی چون هدف از این مطالعه، مقایسه عمر بیرینگ‌ها 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 بیرینگ‌ها از نظر سرعت چرخش، نحوه روانکاری، میزان ناترازی زاویه‌ای شفت نسبت به هوزینگ و ... یکسان و در محدوده استاندارد در نظر گرفته شده است.

باید توجه داشت که رولربیرینگ‌های مخروطی به یک حداقل بار شعاعی لازم به میزان ۰/۰۲ بار مجاز دینامیکی ($F_{rm} = 0.02\ C$) نیاز دارند[۴]. حداقل بار لازم برای بیرینگ‌ها، آستانه پایین مقدار بار مجاز اعمالی به آن‌ها برای دستیابی به عملکرد قابل قبول و عمر مناسب است [۵]. بنابراین در این‌جا در محاسبه عمر مجاز بیرینگ‌ها، حالت بارگذاری محور خالص ($\theta = 0°$) حذف شده است؛ زیرا در این حالت حداقل بار شعاعی لازم برای بیرینگ تأمین نمی‌شود.

جدول ۳: مقایسه تغییرات عمر مجاز دینامیکی با تغییر زاویه نیروی اعمالی در رولربیرینگ‌های مخروطی[۱]

زاویه اعمال بار نسبت به محور شفت	L_{10} برای بیرینگ کد 31312 (میلیون دور)	L_{10} برای بیرینگ کد 33212 (میلیون دور)	L_{10} برای بیرینگ کد 32312 (میلیون دور)
$\theta = 15°$	۵۶۴۲	۱۰۳۸	۱۹۶۹
$\theta = 30°$	۵۰۹۷	۱۱۶۵	۲۲۶۸
$\theta = 45°$	۵۸۰۱	۱۶۷۸	۳۳۷۴
$\theta = 50°$	۶۳۹۶	۲۰۲۴	۴۱۱۱
$\theta = 60°$	۲۶۶۸	۳۳۰۹	۶۹۳۳
$\theta = 70°$	۲۶۶۸	۴۴۹۶	۱۵۵۰۳
$\theta = 75°$	۲۶۶۸	۴۴۹۶	۱۲۶۰۳
$\theta = 90°$ (بار کاملاً شعاعی)	۲۶۶۸	۴۴۹۶	۱۲۶۰۳

نتایج مندرج در جدول شماره ۳، نشان می‌دهد که اثر زاویه نیروی برآیند بر عمر رولربیرینگ‌های مخروطی، تحت تأثیر طراحی آن‌ها می‌تواند بسیار متغیر باشد. به عنوان مثال رولربیرینگ کد 31312 در زوایای اعمال بار کوچک، عمر قابل قبولی دارد و این در حالی است که در همین زوایا، رولربیرینگ‌های کد 33212 و 32312 کمترین میزان عمر مجاز خود را دارند. از طرف دیگر در زوایای اعمال بار زیاد، رولربیرینگ کد

۱- باید توجه نمود که مقادیر ذکر شده در این جدول، برابر با عمر مجاز پایه بیرینگ‌های مورد بررسی است. برای تخمین عمر واقعی این بیرینگ‌ها باید از ضرایب اصلاحی مختلف استفاده نمود و عمر واقعی این بیرینگ‌ها به مراتب کمتر از مقادیر ذکر شده در این جدول است؛ اما برای هدف این مقاله که مقایسه عمر در زوایای بارگذاری مختلف است، نیازی به استفاده از ضرایب اصلاحی نیست.

31312 کمترین میزان عمر مجاز خود را دارد؛ در حالی که در این حالت، رولربیرینگ‌های کد 33212 و 32312 عمر مجاز قابل قبولی دارند.

بنابراین ضروری است که برای هر رولربیرینگ مخروطی، محاسبات بار معادل و عمر مجاز به طور مجزا انجام گیرد. اما به صورت یک قاعده تقریباً کلی، رولربیرینگ مخروطی که «حد نسبت بار» بزرگ و «فاکتور محاسباتی برای بار محوری» کوچک دارند (مانند بیرینگ کد 31312)، در زوایای اعمال بار کم و رولربیرینگ مخروطی که «حد نسبت بار» کوچک و «فاکتور محاسباتی برای بار محوری» بزرگ دارند (مانند بیرینگ‌های کد 33212 و 32312)، در زوایای اعمال بار زیاد، عمر مناسب‌تری دارند. از این نکته می‌توان در انتخاب بیرینگ مناسب در هنگام طراحی ماشین‌آلات جدید استفاده نمود.

منابع:

[1] https://www.skf.com/mena/products/rolling-bearings/roller-bearings/tapered-roller-bearings, Date of access: 2021.12.15

[2] http://www.grbbearings.com/en/blog/the-tapered-roller-bearing-and-its-applications, Date of access: 2021.12.15

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

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

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