Lựa chọn kích cỡ ổ lăn

B

Phương pháp khảo sát lựa chọn ổ lăn **62**
Tuổi thọ của hệ thống ổ lăn 62

Tuổi thọ ổ lăn và tải trọng danh định **63**
Định nghĩa tuổi thọ ổ lăn 63
Tải trọng danh định. 63
Tải trọng động danh định 63
Tải trọng tĩnh danh định 64

Lựa chọn kích cỡ ổ lăn theo công thức tính tuổi thọ **64**
Tuổi thọ danh định cơ bản. 64
Tuổi thọ danh định theo SKF 64
Hệ số điều chỉnh tuổi thọ SKF a_{SKF} . . . 65
Các điều kiện bôi trơn – tỷ số độ nhờn κ 71
Sự cần thiết của phụ gia EP 73
Hệ số η_C về mức độ nhiễm bẩn (Hệ số nhiễm bẩn) 74
Tính toán tuổi thọ khi điều kiện làm việc thay đổi 81
Ảnh hưởng của nhiệt độ làm việc. . . . 82
Tuổi thọ danh định yêu cầu 82

Tải trọng động của ổ lăn **84**
Tính toán tải trọng động của ổ lăn . . . 84
Tải trọng tương đương của ổ lăn 85
Tải trọng tối thiểu yêu cầu 86

Chọn kích cỡ ổ lăn theo khả năng chịu tải trọng tĩnh **87**
Tải trọng tĩnh tương đương. 88
Tải trọng tĩnh cơ bản danh định cần thiết 88
Kiểm tra khả năng chịu tải trọng tĩnh . 89

Thí dụ tính toán. **90**

Các công cụ tính toán của SKF. **92**
Các công cụ tính toán được cung cấp trên mạng internet tại skf.com/bearingcalculator 92
SKF Bearing Beacon 93
Orpheus 93
Beast 93
Các chương trình khác 93

Dịch vụ tư vấn kỹ thuật của SKF . . . **94**
Các phần mềm máy tính tiên tiến. . . . 94

Kiểm nghiệm tuổi thọ ổ lăn SKF. . . . **95**

Phương pháp khảo sát lựa chọn ổ lăn

Trong công thức tính tuổi thọ ổ lăn SKF, ứng suất phát sinh trong ổ lăn do tác động của tải trọng bên ngoài được xem xét cùng với ứng suất phát sinh do ma sát ở khu vực tiếp xúc bề mặt lăn. Hiểu được ảnh hưởng tạo ra bởi các ứng suất tổng hợp này đối với tuổi thọ ổ lăn cho chúng ta khả năng dự đoán chính xác hơn khả năng làm việc của ổ lăn trong một ứng dụng cụ thể.

Vì độ phức tạp của nó, diễn giải chi tiết về lý thuyết sẽ không được nêu trong tài liệu này. Do đo, phương pháp tính toán đơn giản hơn sẽ được trình bày ở mục tuổi thọ danh định theo SKF (→ **trang 64**). Công thức này cho phép người sử dụng khi thác tối đa tuổi thọ tiềm năng của ổ lăn, thực hiện việc giảm kích cỡ ổ lăn và hiểu được ảnh hưởng của sự bôi trơn và nhiễm bẩn đối với tuổi thọ làm việc của ổ lăn.

Tuổi thọ của hệ thống ổ lăn

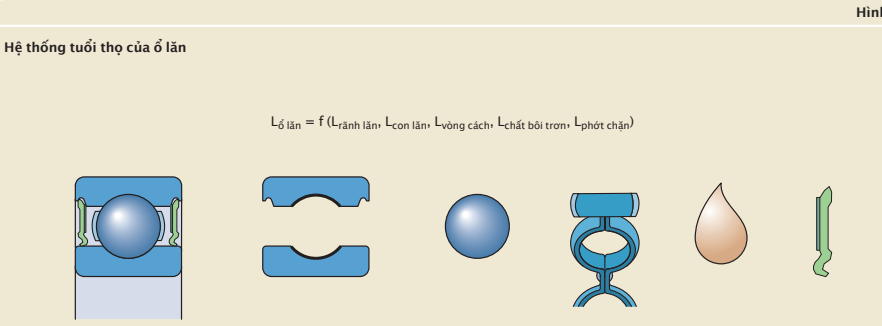
Hiện tượng mỏi vật liệu của các bề mặt tiếp xúc của rãnh lăn thường là nguyên nhân chủ yếu gây hư hỏng cho phần lớn ổ lăn. Mỏi vật liệu có thể gây ra bởi nhiều yếu tố, bao gồm nhưng không giới hạn, nhiệt do ma sát,các điều kiện bôi trơn kém hoặc bị nhiễm bẩn, tải trọng quá lớn và/hoặc các tải trọng không xác định được.

Do đó, tiêu chí lựa chọn dựa trên cơ sở mỏi vật liệu của rãnh lăn thông thường đủ để chọn lựa và định cỡ một ổ lăn cho một ứng dụng nào đó. Các tiêu chuẩn quốc tế như ISO 281 dựa trên cơ sở độ mỏi vật liệu của các bề mặt tiếp xúc là nguyên nhân gây hư hỏng phổ biến đối với ổ lăn có thể được xem như một hệ thống trong đó tuổi thọ của mỗi thành phần, như các con lăn, rãnh lăn, vòng cách, chất bôi trơn và phớt chặn,nếu có, sẽ đóng góp như nhau và trong một vài trường hợp, có ảnh hưởng rất lớn đến độ bền của ổ lăn (→ **hình 1**).

Trong nhiều phần khác nhau của tài liệu này, các tham khảo được nêu ra cho ta thấy các khía cạnh của tầm quan trọng và độ phù hợp của các thành phần của một ổ lăn, xem như một hệ thống, cần được kiểm tra để đảm bảo khả năng làm việc tốt nhất.

Hình 1

Hệ thống tuổi thọ của ổ lăn



Tuổi thọ ổ lăn và tải trọng danh định

Định nghĩa tuổi thọ ổ lăn

Tuổi thọ làm việc của một ổ lăn được định nghĩa là số vòng quay hoặc số giờ làm việc ở một tốc độ nào đó mà ổ lăn thực hiện được trước khi xuất hiện dấu hiệu mỏi vật liệu đầu tiên (vật liệu bị tróc) trên rãnh lăn của vòng trong hoặc vòng ngoài hoặc trên các con lăn.

Trong những điều kiện có thể kiểm soát được trong phòng thí nghiệm, có vẻ như các ổ lăn giống nhau, làm việc tuy nhiên, trong những điều kiện như nhau có tuổi thọ khác nhau. Do đó, một định nghĩa rõ ràng hơn của "tuổi thọ ổ lăn" cơ bản là để tính toán kích cỡ ổ lăn Tất cả các thông tin được SKF trình bày liên quan đến tải trọng danh định dựa trên tuổi thọ kỳ vọng sẽ đạt được hay vượt quá của 90% số ổ lăn trong một nhóm lớn ổ lăn giống nhau.

Tuổi thọ của một ổ lăn được biểu thị bằng số vòng quay hoặc thời gian làm việc ở một tốc độ nào đó mà ổ lăn vẫn hoạt động được trước khi có dấu hiệu đầu tiên của hiện tượng mỏi kim loại (vết tróc) xuất hiện trên rãnh lăn của vòng trong hay vòng ngoài hoặc trên con lăn.

Bảng 2 (→ **trang 70**) cung cấp các hệ số quy đổi thường được sử dụng cho các đơn vị tính tuổi thọ ổ lăn ngoài đơn vị triệu vòng quay.

Tuổi thọ danh định dựa trên định nghĩa đã nêu phải đáp ứng được các kỳ vọng tuổi thọ cần thiết của một ứng dụng ổ lăn nào đó. Trong trường hợp không có kinh nghiệm trước đó, các trị số tham khảo liên quan đến tuổi thọ đặc trưng của các ứng dụng khác nhau được nêu trong, **các bảng 9** và **10** (→ **trang 83**).

Do bản chất của tuổi thọ ổ lăn mang tính thống kê, cần phải nêu rõ thời gian hư hỏng của một ổ lăn sử dụng trong một ứng dụng nào đó chỉ có thể liên quan đến tuổi thọ danh định của nó nếu xác suất hỏng của ổ lăn này có thể được xác định tương quan với lượng ổ lăn tổng thể làm việc trong cùng điều kiện. Giả sử, nếu một ổ lăn lắp trong một cụm quạt bị hư trên tổng số 200 ổ lăn lắp trong cùng ứng dụng và làm việc trong cùng điều kiện sẽ cho một xác suất hỏng chỉ là 0,5% (tuổi thọ được khảo sát $L_{0,5}$), như vậy độ tin cậy của ứng dụng là 99,5%.

Trong nhiều năm qua, nhiều khảo sát về hư hỏng ổ lăn sử dụng trong nhiều ứng dụng khác nhau đã được thực hiện ở một lượng rất lớn ổ lăn (nhiều triệu ổ lăn) cho thấy hư hỏng là một hiện tượng hiếm khi xảy ra và không trực tiếp liên quan đến vết tróc trên rãnh lăn. Điều này cho thấy các quy tắc thiết kế dựa trên độ tin cậy (xác suất) 90% và việc sử dụng các hệ số an toàn tĩnh và động có thể đem lại các giải pháp "gia cường" cho ổ lăn sẽ giúp tránh các hư hỏng đặc trưng do hiện tượng mỏi kim loại gây ra. Thực vậy, các hư hỏng khảo sát được tại hiện trường phần lớn liên quan đến và là hậu quả của sự mài mòn, ẩm ướt, gỉ sét, lắp đặt không đúng kỹ thuật, mối lắp với trục/gối không phù hợp, con lăn bị trượt, nhiễm bẩn hoặc các hư hỏng do vòng cách, phớt hoặc hệ thống bôi trơn bị hỏng gây ra.

Tải trọng danh định

Một ổ lăn thông thường được chọn dựa trên cơ sở tải trọng danh định tương ứng với tải trọng thực tế và các yêu cầu về tuổi thọ ổ lăn cũng như độ tin cậy. Các trị số tải trọng động cơ bản danh định C và tải trọng tĩnh cơ bản danh định C_0 được kê trong bảng thông số kỹ thuật.

Cả hai điều kiện tải động và tĩnh cần được khảo sát, kiểm tra riêng rẽ và phải tính đến xung tải có cường độ lớn, có thời gian xuất hiện ngắn có thể có, mặc dù hiếm khi xảy ra.

Tải trọng động danh định

Tải trọng động danh định C được sử dụng để tính tuổi thọ bao gồm các ứng suất của ổ lăn, thí dụ ổ lăn quay khi chịu tải. Đó là tải trọng tác dụng lên ổ lăn để nó có tuổi thọ danh định cơ bản theo ISO 281 là 1 000 000 vòng. Giả sử tải trọng đó không đổi về chiều và độ lớn, là tải hướng kính đối với ổ đỡ và là tải dọc trục tác động ngay tâm đối với ổ chặn.

Tải trọng động danh định cơ bản của ổ lăn SKF sẽ được xác định theo tiêu chuẩn ISO 281. Tải trọng danh định được nêu trong tài liệu này áp dụng cho ổ lăn bằng

thép crôm, được nhiệt luyện để có độ cứng tối thiểu 58 HRC, và hoạt động ở điều kiện bình thường. Một ngoại lệ của điều này là ổ lăn bằng polymer (→ **trang 1247**).

Ổ lăn SKF Explorer là một nhóm đặc biệt khác, nhờ áp dụng các cải tiến về vật liệu và công nghệ sản xuất nên phải có những hệ số điều chỉnh để tính toán tải trọng động cơ bản theo tiêu chuẩn ISO 281.

Tải trọng tĩnh danh định

Tải trọng tĩnh danh định cơ bản được định nghĩa theo ISO 76 được tính toán tương ứng với ứng suất tiếp xúc ở tâm vùng tiếp xúc con lăn / rãnh lăn chịu tải lớn nhất. Các trị số ứng suất tiếp xúc là:

- 4 600 MPa đối với ổ bi tự lựa
- 4 200 MPa đối với các loại ổ bi khác
- 4 000 MPa đối với tất cả các loại ổ lăn

Ứng suất này tạo ra một độ biến dạng tổng và thường trực trên con lăn và rãnh lăn, bằng khoảng 0,0001 của đường kính con lăn. Tải trọng này là tải thuần túy hướng kính đối với ổ đỡ và là tải dọc trục tạ động ngay tâm đối với ổ chặn.

Tải trọng tĩnh danh định cơ bản C_0 được sử dụngtrong các trường hợp sau:

- Tốc độ quay rất thấp (n < 10 v/ph)
- Chuyển động lắc có tốc độ rất chậm
- Ổ lăn đứng yên và chịu tác dụng của tải trong một thời gian dài

Việc kiểm tra tải trọng tĩnh được thực hiện bằng cách kiểm tra hệ số an toàn tĩnh của ứng dụng, được định nghĩa như sau:

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

Trong đó
s_0 = hệ số an toàn tĩnh
C_0 = tải trọng tĩnh danh định cơ bản [kN]
P_0 = tải trọng tĩnh tương đương tác dụng lên ổ lăn [kN]

Tải trọng tối đa có thể tác dụng lên ổ lăn cần được sử dụng khi tính tải trọng tĩnh tương đương tác dụng lên ổ lăn. Để có thông tin chi tiết về trị số tham khảo của hệ số an toàn và cách tính, xin xem mục Lựa chọn kích cỡ ổ lăn dựa theo khả năng chịu tải trọng tĩnh (→ **trang 87**).

Lựa chọn kích cỡ ổ lăn theo công thức tính tuổi thọ

Tuổi thọ danh định cơ bản

Tuổi thọ danh định cơ bản theo tiêu chuẩn ISO 281 được tính theo công thức

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

Nếu tốc độ không thay đổi, thông thường tuổi thọ sẽ được tính theo số giờ hoạt động, sử dụng công thức

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

Trong đó
L_{10} = tuổi thọ danh định cơ bản (với độ tin cậy 90%) [triệu vòng quay]
L_{10h} = tuổi thọ danh định cơ bản (với độ tin cậy 90%) [giờ hoạt động]
C = tải trọng động danh định cơ bản [kN]
P = tải trọng động tương đương tác dụng lên ổ lăn [kN] (→ **trang 85**)
n = tốc độ [v/ph]
p = số mũ của công thức tính tuổi thọ
- Đối với ổ bi, p = 3
- Đối với ổ lăn, p = 10/3

Tuổi thọ danh định theo SKF

Đối với các ổ lăn hiện đại có chất lượng cao, tuổi thọ danh định cơ bản có thể có chênh lệch đáng kể so với tuổi thọ làm việc thực tế trong một ứng dụng nào đó. Tuổi thọ làm việc trong một ứng dụng cụ thể còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác như bôi trơn, độ nhiễm bẩn, kỹ thuật lắp ráp và các điều kiện của môi trường.

Do đó, tiêu chuẩn ISO 281 sử dụng một hệ số điều chỉnh tuổi thọ để bổ sung cho tuổi thọ danh định cơ bản. Hệ số điều chỉnh

tuổi thọ của SKF a_{SKF} sử dụng khái niệm tương tự của tải giới hạn mỏi P_u như trong tiêu chuẩn ISO 281. Các giá trị của P_u được kê trong bảng thông số kỹ thuật. Giống tiêu chuẩn ISO 281, hệ số điều chỉnh tuổi thọ của SKF a_{SKF} có tính đến yếu tố điều kiện bôi trơn (tỷ số độ nhờn κ, **→ trang 71**) và một hệ số η_c (**→ trang 74**) về độ nhiễm bẩn để phản ánh điều kiện làm việc của ứng dụng bằng công thức

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

Nếu tốc độ không thay đổi, tuổi thọ có thể được tính theo số giờ hoạt động bằng công thức

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

Trong đó

L_{nm} = tuổi thọ danh định theo SKF (với 100 – n[1)] % độ tin cậy) [triệu vòng quay]
L_{nmh} = tuổi thọ danh định theo SKF (với 100 – n[1)] % độ tin cậy) [giờ hoạt động]
L_{10} = tuổi thọ danh định cơ bản (với 90% độ tin cậy) [triệu vòng quay]
a_1 = hệ số điều chỉnh tuổi thọ với độ tin cậy (**→ bảng 1**, các giá trị theo tiêu chuẩn ISO 281)
a_{SKF} = hệ số điều chỉnh tuổi thọ SKF (**→ giản đồ 1** đến **4**)
C = tải trọng động cơ bản danh định [kN]
P = tải trọng động tương đương lên ổ lăn [kN]
n = tốc độ vòng quay [v/ph]
p = số mũ của công thức tính tuổi thọ
– Đối với ổ bi, p = 3
– Đối với ổ lăn, p = 10/3

Bảng 2 (**→ trang 70**) cho các hệ số quy đổi thông dụng đối với tuổi thọ ổ lăn bằng các đơn vị tính khác đơn vị tính triệu vòng quay

Hệ số điều chỉnh tuổi thọ SKF a_{SKF}

Hệ số này cho thấy sự liên hệ giữa tỷ số của tải giới hạn mỏi (P_u/P), điều kiện bôi trơn (tỷ số độ nhờn κ) và mức độ nhiễm bẩn bên trong ổ lăn (η_c). Các giá trị của hệ số a_{SKF} có thể tra được từ bốn giản đồ, tùy thuộc loại ổ lăn, như là một hàm của η_c (P_u/P) đối với ổ lăn tiêu chuẩn SKF và ổ lăn SKF Explorer và các giá trị khác của tỷ số độ nhờn κ. Các giản đồ được sử dụng như sau

- Cho ổ bi đỡ (**→ giản đồ 1**, **trang 66**)
- Cho ổ lăn đỡ (**→ giản đồ 2**, **trang 67**)
- Cho ổ bi chặn (**→ giản đồ 3**, **trang 68**)
- Cho ổ lăn chặn (**→ giản đồ 4**, **trang 69**)

giản đồ được vẽ với những giá trị và hệ số an toàn tiêu biểu kết hợp với tải giới hạn mỏi đối với các bộ phận cơ khí khác Do tính đơn giản của công thức tính tuổi thọ danh định SKF, cho dù nếu các điều kiện vận hành được xác định chính xác, việc sử dụng giá trị a_{SKF} lớn hơn 50. cũng không có ý nghĩa.

Bảng 1

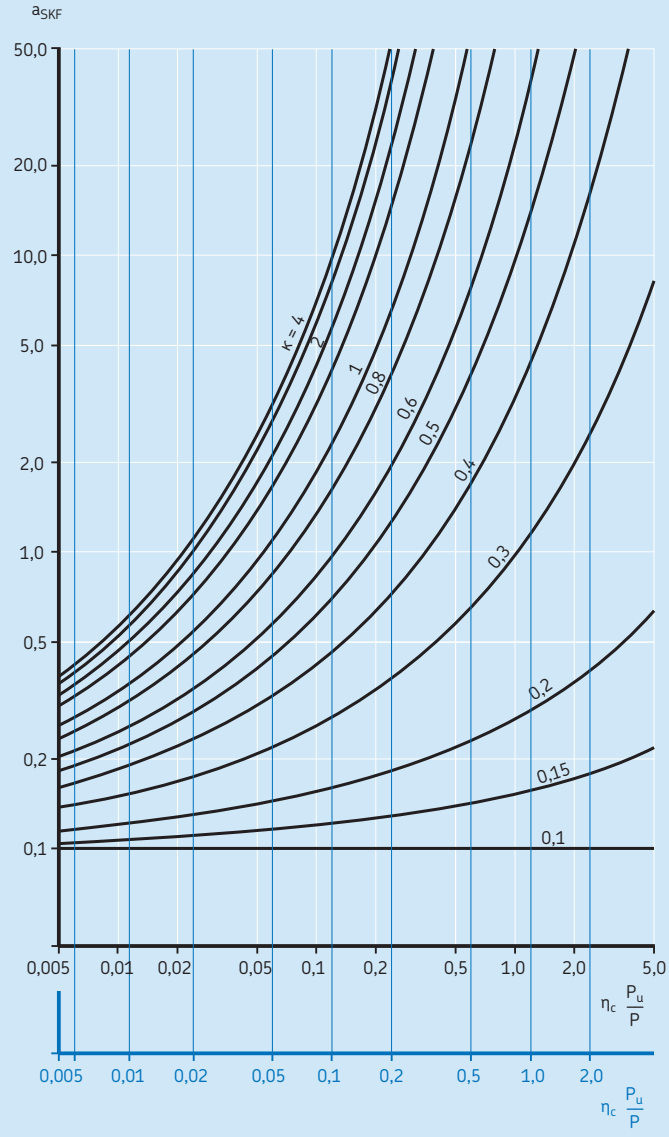
Các trị số của hệ số điều chỉnh tuổi thọ a_1

Độ tin cậy	Xác suất hỏng	Tuổi thọ danh định theo SKF	Hệ số
	n	L_{nm}	a_1
%	%	Triệu vòng quay	–
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,64
96	4	L_{4m}	0,55
97	3	L_{3m}	0,47
98	2	L_{2m}	0,37
99	1	L_{1m}	0,25

[1)] Hệ số n biểu thị xác suất hỏng, là sự khác biệt giữa độ tin cậy theo yêu cầu và độ tin cậy 100%.

Giản đồ 1

Hệ số a_{SKF} cho ổ bi



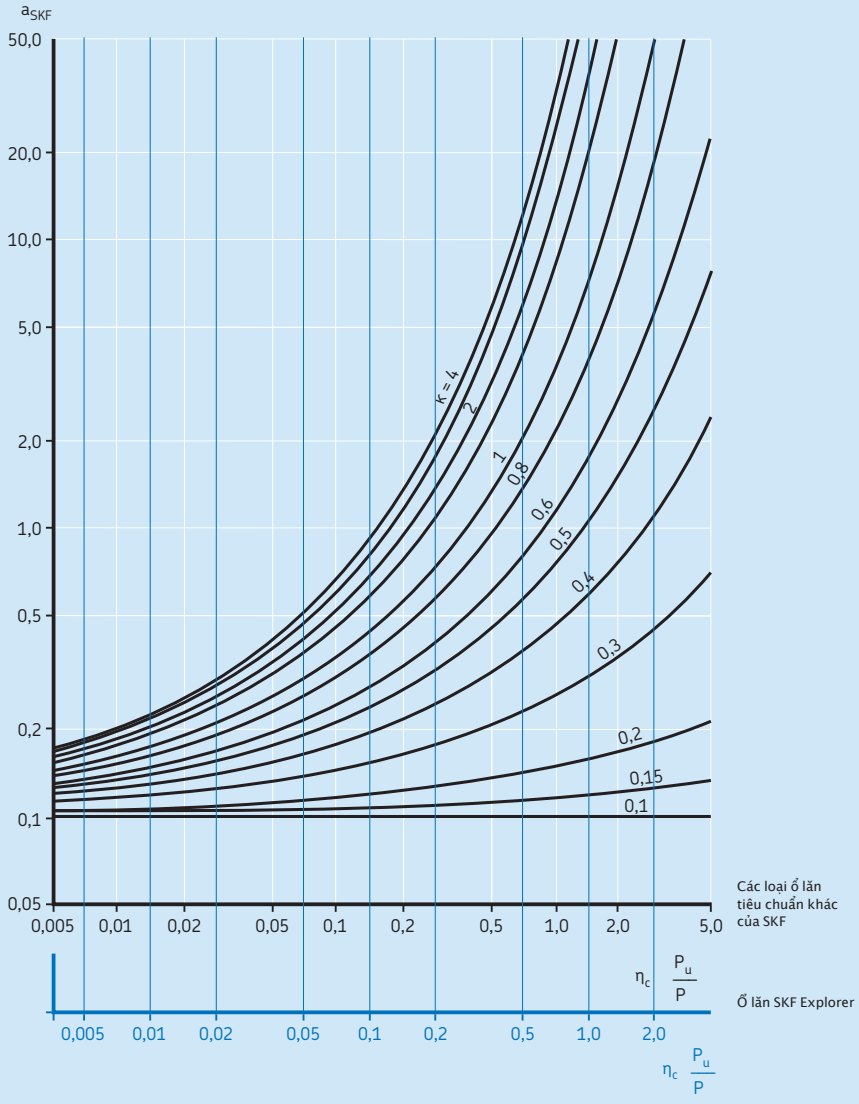
Nếu κ > 4, sử dụng đường biểu diễn của κ = 4.

Do giá trị của η_c (P_u/P) có xu hướng tiến đến 0, a_{SKF} có xu hướng tiến đến 0,1 đối với tất cả các gía trị của κ.

B

Giản đồ 2

Hệ số a_{SKF} cho ổ lăn

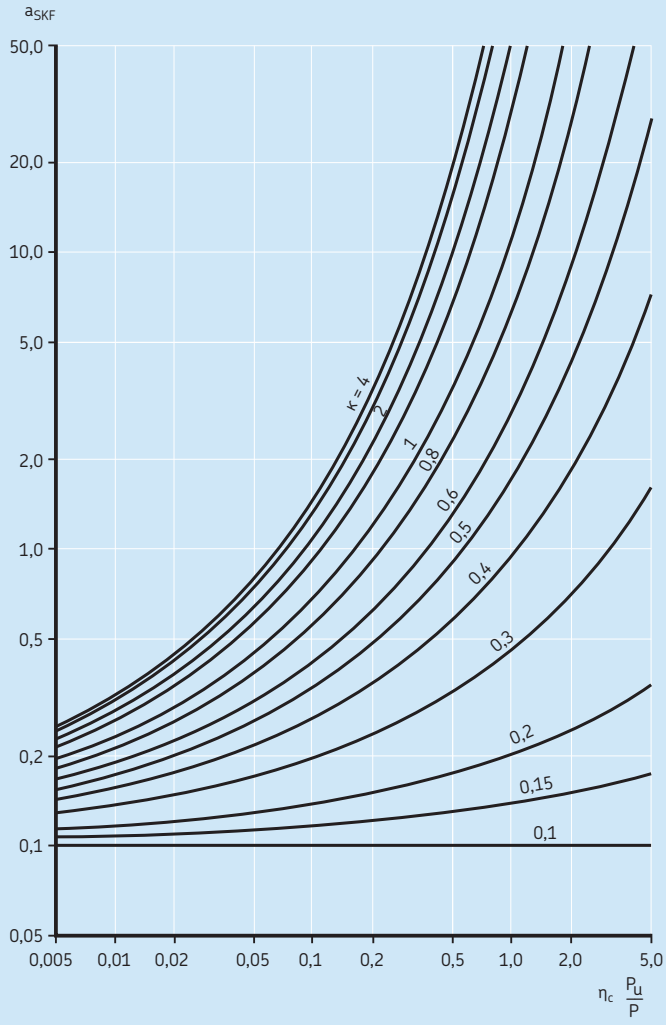


Nếu $\kappa > 4$, sử dụng đường biểu diễn của $\kappa = 4$.

Do giá trị của η_c (P_u/P) có xu hướng tiến đến 0, a_{SKF} có xu hướng tiến đến 0,1 đối với tất cả các giá trị của κ.

Giản đồ 3

Hệ số a_{SKF} cho ổ bi chặn



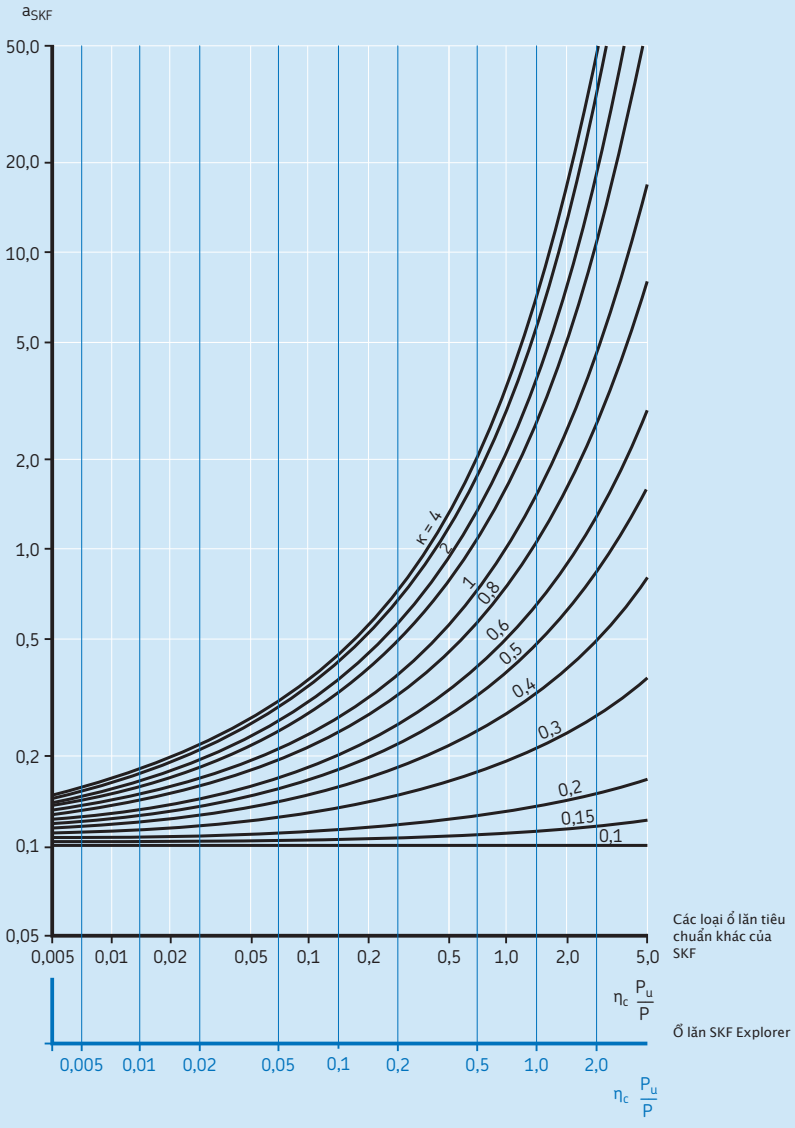
Các loại ổ lăn tiêu chuẩn của SKF

Nếu $\kappa > 4$, sử dụng đường biểu diễn của $\kappa = 4$.

Do giá trị của η_c (P_u/P) có xu hướng tiến đến 0, a_{SKF} có xu hướng tiến đến 0,1 đối với tất cả các giá trị của κ.

Giản đồ 4

Hệ số a_{SKF} cho ổ lăn chặn



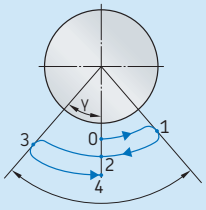
Nếu κ > 4, sử dụng đường biểu diễn của κ = 4.

Do giá trị của η_c (P_u/P) có xu hướng tiến đến 0, a_{SKF} có xu hướng tiến đến 0,1 đối với tất cả các giá trị của κ.

Tính toán hệ số điều chỉnh tuổi thọ a_{SKF}
Các chương trình tính toán như Lựa chọn ổ lăn SKF, trên mạng internet tại skf.com/bearingselect có thể được sử dụng để tính toán hệ số a_{SKF}. Ngoài ra, SKF cũng triển khai các chương trình phần mềm chuyên sâu kết hợp với công thức tính tuổi thọ danh định của SKF để khảo sát trực tiếp ứng suất tiếp xúc của các con lăn, cho khả năng xét đến các yếu tố khác ảnh hưởng đến tuổi thọ của ổ lăn như lệch trục, võng trục, gối đỡ bị biến dạng (→ Các công cụ tính toán của SKF, **trang 92**).

Bảng 2

Hệ số quy đổi đơn vị tuổi thọ



Dao động hoàn chỉnh = 4 γ
(= từ vị trí 0 đến vị trí 4)

Đơn vị chuẩn	Hệ số quy đổi Triệu vòng quay	Giờ hoạt động	Triệu km di chuyển	Triệu chu kỳ dao động[1)]
1 triệu vòng quay	1	$\frac{10^6}{60\ n}$	$\frac{\pi\ D}{10^3}$	$\frac{180}{2\ \gamma}$
1 giờ hoạt động	$\frac{60\ n}{10^6}$	1	$\frac{60\ n\ \pi\ D}{10^9}$	$\frac{180 \times 60\ n}{2\ \gamma\ 10^6}$
1 triệu km	$\frac{10^3}{\pi\ D}$	$\frac{10^9}{60\ n\ \pi\ D}$	1	$\frac{180 \times 10^3}{2\ \gamma\ \pi\ D}$
1 triệu chu kỳ dao động[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 = đường kính bánh xe [m]
n = tốc độ quay [v/ph]
γ = biên độ dao động (góc quay tối đa tính từ vị trí trung tâm) [°]

[1)] Không áp dụng đối với biên độ nhỏ (γ < 10°).

Các điều kiện bôi trơn – tỷ số độ nhờn κ

HIệu quả của chất bôi trơn cơ bản được xác định bằng mức phân cách giữa hai bề mặt lăn. Để hình thành lớp màng dầu bôi trơn đủ dày, chất bôi trơn phải có một độ nhờn tối thiểu nào đó ở nhiệt độ làm việc của ứng dụng. Điều kiện này của chất bôi trơn được biểu thị bằng tỷ số độ nhờn κ là tỷ số giữa độ nhờn thực tế ν của chất bôi trơn với độ nhờn ν_1 cần có để bôi trơn ở nhiệt độ làm việc bình thường của ứng dụng (→ Lựa chọn dầu bôi trơn, **trang 266**). Ta có công thức sau:

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

Trong đó
κ = tỷ số độ nhờn
ν = độ nhờn làm việc thực tế của chất bôi trơn [mm^2/gi]
ν_1 = độ nhờn cần có của chất bôi trơn, tùy thuộc vào đường kính trung bìnhvà tốc độ quay [mm^2/gi]

Độ nhờn cần có ν_1, đủ để bôi trơn (→ Tỷ số độ nhờn *κ*, **trang 241**), có thể được xác định từ **giản đồ 5** (→ **trang 72**), sử dụng đường kính trung bình $d_m = 0,5 (d + D)$ [mm] và tốc độ quay của ổ lăn n [v/ph]. Giản đồ này đã sử dụng các khám phá mới nhất về ma sát học (tribology) trong ổ lăn.

Khi đã biết được nhiệt độ làm việc của ứng dụng theo kinh nghiệm hay có thể xác định được, có thể tra được độ nhờn tương ứng ở nhiệt độ chuẩn quốc tế là 40 °C (105 °F) bằng **giản đồ 6** (→ **trang 73**), hoặc bằng tính toán. giản đồ này đã được lập cho chỉ số độ nhờn 95. **Bảng 3** liệt kê các cấp độ nhờn theo tiêu chuẩn ISO 3448 và dải độ nhờn của mỗi cấp độ ở 40 °C (105 °F). Một vài loại ổ lăn như ổ tang trống, ổ côn và ổ tang trống chặn thường sẽ có nhiệt độ làm việc cao hơn các loại ổ lăn khác, thí dụ, ổ bi đỡ và ổ đũa đỡ, trong cùng điều kiện làm việc.

Bảng 3

Phân loại độ nhờn theo tiêu chuẩn ISO 3448

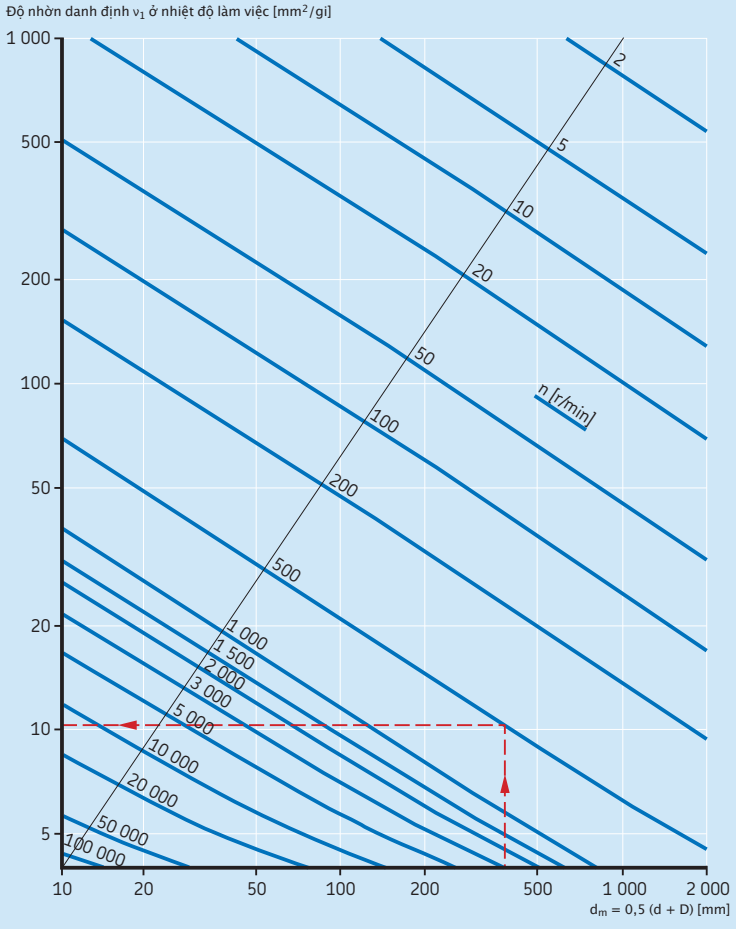
Cấp độ nhờn	Giới hạn về độ nhờn động học ở 40 °C (105 °F)		
	Trung bình	min.	max.
–	mm^2/gi		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
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

Thí dụ tính toán

Một ổ lăn có đường kính lỗ d = 340 mm và đường kính ngoài D = 420 mm làm việc với tốc độ n = 500 v/ph. Đường kính trung bình d_m = 0,5 (d + D) = 380 mm, từ **Giản đồ 5**, độ nhớn tối thiểu ν_1 cần thiết để bôi trơn ở nhiệt độ làm việc sẽ là 11 mm^2/gi. Từ **giản đồ 6**, giả sử nhiệt độ làm việc của ổ lăn là 70 °C (160 °F), chất bôi trơn có cấp độ nhớn theo ISO VG 32, với độ nhớn thực tế ν tối thiểu là 32 mm^2/gi ở nhiệt độ chuẩn 40 °C (105 °F), sẽ phù hợp để bôi trơn ổ lăn.

Giản đồ 5

Ước tính độ nhớn danh định tối thiểu ν_1 ở nhiệt độ làm việc



Sự cần thiết của phụ gia EP

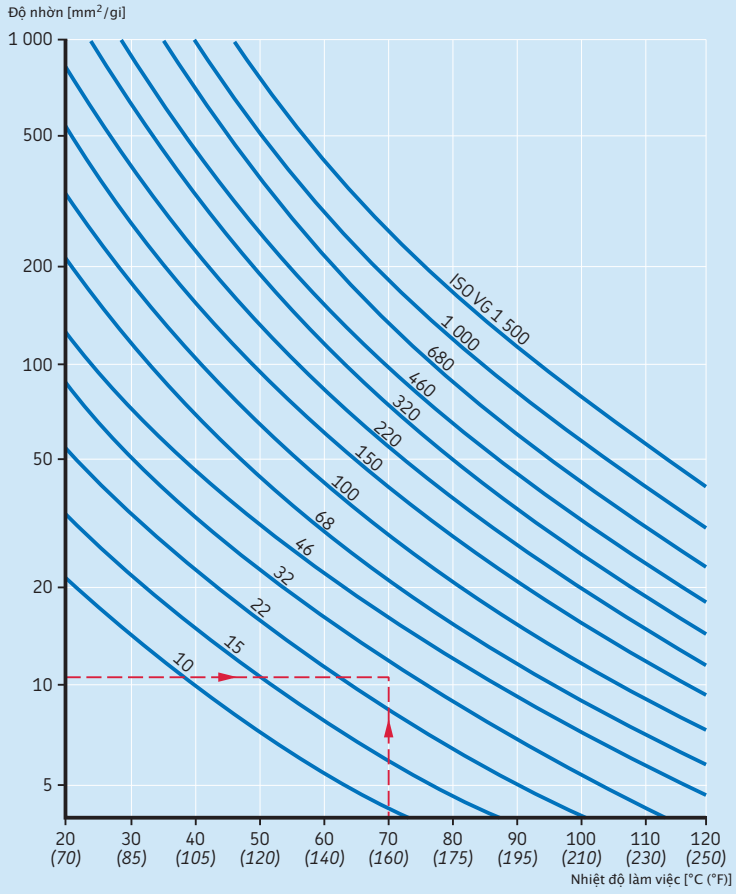
Phụ gia EP có thể kéo dài tuổi thọ làm việc của ổ lăn khi, theo ISO 281, $\kappa < 1$ và hệ số về mức độ nhiễm bẩn $\eta_c \geq 0,2$. Trong những điều kiện này, một trị số $\kappa = 1$ có thể được sử dụng để tính hệ số a_{SKF}, nếu sử dụng chất bôi trơn có phụ gia EP. Trong trường hợp này, hệ số điều chỉnh tuổi thọ phải bị giới hạn $a_{SKF} \leq 3$, nhưng không được phép thấp hơn trị số a_{SKF} trong trường hợp bôi trơn bình thường.

Đối với những trường hợp còn lại, hệ số điều chỉnh tuổi thọ a_{SKF} có thể được xác định bằng trị số κ thực tế của ứng dụng. Trong trường hợp độ nhiễm bẩn của ứng dụng quá cao, chẳng hạn hệ số nhiễm bẩn $\eta_c < 0,2$, tác dụng của phụ gia EP cần phải được minh chứng bằng thử nghiệm. Thông tin chi tiết về phụ gia EP được trình bày ở phần Bôi trơn (→ **trang 239**).

B

Giản đồ 6

Giản đồ độ nhớt–nhiệt độ đối với các cấp độ nhớt theo ISO (dầu khoáng, chỉ số độ nhớt 95)



Hệ số η_c về mức độ nhiễm bẩn (Hệ số nhiễm bẩn)

Hệ số nhiễm bẩn được đưa vào để xem xét mức độ nhiễm bẩn của chất bôi trơn trong tính toán tuổi thọ ổ lăn. Ảnh hưởng của sự nhiễm bẩn đến độ bền mỏi của ổ lăn tùy thuộc vào một số các thông số như kích cỡ ổ lăn, bề dày của màng dầu bôi trơn, kích thước và độ phân bố của dị vật rắn và loại dị vật (mềm, cứng, v.v…). Mức độ ảnh hưởng đến tuổi thọ của ổ lăn của các thông số này khá phức tạp và nhiều thông số khó có thể định lượng. Do đó, rất khó xác định một cách chính xác giá trị của η_c mà chỉ có thể có giá trị tổng quát. Tuy nhiên, một số trị số hướng dẫn theo tiêu chuẩn ISO 281 được liệt kê trong **bảng 4**.

Phân loại độ nhiễm bẩn theo ISO và hiệu suất lọc

Phương pháp tiêu chuẩn để phân loại độ nhiễm bẩn trong một hệ thống bôi trơn được nêu trong ISO 4406. Trong hệ thống phân loại này, số lượng dị vật rắn đếm được được quy đổi thành một mã số xếp theo thang số (→ **bảng 5** và **giản đồ 7**, **các trang 75** và **78**).

Một phương pháp để kiểm tra mức độ nhiễm bẩn của dầu bôi trơn ổ lăn là phương pháp dùng kính hiển vi để đếm. Phương pháp này sử dụng hai thang số cỡ kích thước dị vật: ≥ 5 µm and ≥ 15 µm. Một phương pháp khác, tân tiến hơn, sử dụng dụng cụ quang học đếm số hạt tự động theo tiêu chuẩn ISO 11171. Thang số kích

Bảng 4

Giá trị tham khảo về hệ số η_c cho các độ nhiễm bẩn khác nhau

Điều kiện	Hệ số η_c[1)] Đối với ổ lăn có đường kính trung bình d_m < 100 mm	 d_m ≥ 100 mm
Rất sạch • Kích thước các hạt dị vật tương đương với bề dày của màng dầu bôi trơn • Điều kiện phòng thí nghiệm	1	1
Khá sạch • Dầu bôi trơn được lọc qua màng lọc rất mịn • Điều kiện tiêu biểu: ổ lăn có phớt chặn được tra mỡ sẵn cho đến hết tuổi thọ	0,8 … 0,6	0,9 … 0,8
Sạch sẽ mức độ bình thường • Dầu bôi trơn được lọc qua màng lọc khá mịn • Điều kiện tiêu biểu: ổ lăn có nắp che thép được tra mỡ sẵn cho đến hết tuổi thọ	0,6 … 0,5	0,8 … 0,6
Nhiễm bẩn nhẹ • Điều kiện tiêu biểu: ổ lăn không có phớt chặn, lọc dầu không hữu hiệu (lọc thô), có các hạt mài mòn và có một ít dị vật lọt vào	0,5 … 0,3	0,6 … 0,4
Độ nhiễm bẩn tiêu biểu • Điều kiện tiêu biểu của ổ lăn không có phớt chặn, lọc dầu không hữu hiệu (lọc thô), có các hạt mài mòn và có dị vật lọt vào từ bên ngoài	0,3 … 0,1	0,4 … 0,2
Nhiễm bẩn nặng • Điều kiện tiêu biểu: nhiễm bẩn nặng do phớt chặn bị mòn nhiều và/hoặc không hiệu quả • Kết cấu ổ lăn sử dụng phớt chặn không hiệu quả hoặc bị hỏng	0,1 … 0	0,1 … 0
Nhiễm bẩn rất nặng • Điều kiện tiêu biểu: nhiễm bẩn rất nặng, giá trị η_c vượt ra ngoài thang tỷ lệ, làm tuổi thọ ổ lăn giảm đáng kể	0	0

[1)] Các giá trị của hệ số η_c chỉ liên quan đến các hạt tạp chất rắn. Không kể đến ảnh hưởng xấu gây ra bởi các loại nhiễm bẩn như nước hoặc các dung dịch có hại đối với tuổi thọ ổ lăn. Do bị mài mòn nặng trong môi trường bị nhiễm bẩn rất nặng (η_c = 0), tuổi thọ hữu dụng của ổ lăn sẽ giảm đáng kể so với tuổi thọ danh định.

cỡ dị vật của phương pháp tự động khác với thang số của phương pháp đếm bằng kính hiển vi. Kích cỡ dị vật được phân ra thành 3 thang số có ký hiệu (c) thí dụ ≥ 4 µm(c), ≥ 6 µm(c) và ≥ 14 µm(c). Thông thường, chỉ hai thang số lớn được sử dụng vì dị vật có kích thước lớn sẽ tạo ảnh hưởng đáng kể đến độ mỏi kim loại của ổ lăn.

Cạc thí dụ tiêu biểu về phân loại độ nhiễm bẩn của dầu bôi trơn là –/15/12 (A) hoặc 22/18/13 (B), như trong **giản đồ 7** (→ **trang 78**).

Thí dụ A cho thấy có từ 160 đến 320 dị vật ≥ 5 µm và có từ 20 đến 40 dị vật ≥ 15 µm trong mỗi millilit dầu. Dù theo lý thuyết, hiệu quả cao nhất đạt được nếu dầu được lọc liên tục nhưng khả năng trang bị một hệ thống lọc còn lệ thuộc vào chi phí trang bị so sánh với chi phí bảo trì và thiệt hại khi ngưng máy.

Hiệu suất lọc thể hiện hiệu quả của bộ lọc bằng một hệ số tiết giảm (β). Trị số của hệ số β càng cao, hiệu quả của bộ lọc đối với một kích cỡ dị vật nào đó càng lớn. Hiệu suất lọc β được thể hiện bằng một tỷ số giữa số lượng dị vật ở một kích cỡ nào đó trước và sau khi lọc. Hệ số này có thể được tính toán bằng

$$\beta_{x(c)} = \frac{n_1}{n_2}$$

Với

$\beta_{x(c)}$ = hiệu suất lọc tương ứng với dị vật có kích thước x

x = kích thước dị vật (c) [µm] theo phương pháp đếm tự động, phân loại theo ISO 11171

n_1 = số lượng dị vật có trong một đơn vị thể tích có kích thước lớn hơn x, trước khi qua bộ lọc

n_2 = số lượng dị vật có trong một đơn vị thể tích có kích thước lớn hơn x, sau khi qua bộ lọc

GHI CHÚ: Hiệu suất lọc β chỉ tương ứng với một cỡ hạt tính bằng µm, được trình bày theo chỉ số như $\beta_{3(c)}$, $\beta_{6(c)}$, $\beta_{12(c)}$, v.v, …. Thí dụ, một hiệu suất lọc "$\beta_{6(c)} = 75$" có nghĩa chỉ có 1 trên 75 dị vật có kích thước 6 µm hoặc lớn hơn lọt qua bộ lọc.

Bảng 5

Phân loại theo ISO – thang số

Số hạt trong một ml dầu		Thang
Trên	Bao gồm	Số
2 500 000		> 28
1 300 000	2 500 000	28
640 000	1 300 000	27
320 000	640 000	26
160 000	320 000	25
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1
0,00	0,01	0

Xác định hệ số η_c khi đã biết mức độ nhiễm bẩn

Một khi đã biết mức độ nhiễm bẩn của dầu bằng phương pháp đếm dùng kính hiển vi hay phương pháp đếm tự động theo ISO 4406, hoặc một cách gián tiếp từ tỷ số lọc trong một hệ thống bôi trơn tuần hoàn, các thông tin này có thể được sử dụng để xác định hệ số η_c. Lưu ý là hệ số η_c không thể chỉ được xác định từ kết quả đếm. Nó còn tùy thuộc nhiều vào điều kiện bôi trơn, như κ, và kích cỡ ổ lăn. Một phương pháp đơn giản theo ISO 281 được trình bày ở đây để có hệ số η_c của một ứng dụng nào đó. Từ mã số về độ nhiễm bẩn của dầu (tỷ số lọc của ứng dụng), ta có hệ số nhiễm bẩn η_c bằng đường kính trung bình $d_m = 0,5 (d + D)$ [mm] của ổ lăn và tỷ số độ nhớt κ của ổ lăn này (→ **các giản đồ 8** và **9**, **trang 79**).

Các giản đồ 8 và **9** cung cấp các giá trị tiêu biểu của hệ số η_c khi bôi trơn bằng phương pháp dầu tuần hoàn với các mức độ khác nhau về hiệu suất lọc và mã số về độ nhiễm bẩn của dầu. Các hệ số nhiễm bẩn tương tự có thể được sử dụng trong những ứng dụng bôi trơn bằng ngâm dầu nếu số lượng dị vật trong hệ thống ngâm dầu không tăng lên. Mặt khác, nếu lượng dị vật trong hệ thống ngâm dầu tăng liên tục theo thời gian do mài mòn hoặc do dị vật lọt vào thì việc chọn hệ số η_c cho hệ thống ngâm dầu phải được áp dụng theo tiêu chuẩn ISO 281.

Đối với bôi trơn bằng mỡ, η_c có thể được xác định tương tự bằng cách sử dụng các trị số của năm mức độ nhiễm bẩn theo ISO như trình bày trong **bảng 6**.

Các giản đồ 10 và **11** (→ **trang 80**), cung cấp các giá trị tiêu biểu của hệ số η_c khi bôi trơn bằng mỡ trong điều kiện làm việc sạch sẽ và rất sạch sẽ (→ **bảng 6**).

Bảng 6

Các thông số xác định độ nhiễm bẩn trong các ứng dụng bôi trơn bằng mỡ theo tiêu chuẩn ISO 281

Mức độ nhiễm bẩn	Điều kiện làm việc	c_1	c_2
Khá sạch	• Công tác lắp ráp được thực hiện rất sạch; hệ thống làm kín rất tốt đáp ứng các điều kiện hoạt động; công tác tái bôi trơn được thực hiện liên tục hoặc trong khoảng thời gian ngắn • Ổ lăn có phớt chặn được tra mỡ cho đến hết tuổi thọ với khả năng làm kín phù hợp với điều kiện hoạt động	0,0864	0,6796
Sạch sẽ trung bình	• Công tác lắp ráp được thực hiện một cách sạch sẽ; hệ thống làm kín tốt đáp ứng các điều kiện hoạt động; công tác tái bôi trơn được thực hiện theo hướng dẫn của nhà sản xuất thiết bị • Ổ lăn có nắp che thép được tra mỡ cho đến hết tuổi thọ với khả năng làm kín phù hợp với điều kiện hoạt động	0,0432	1.141
Nhiễm bẩn nhẹ đến trung bình	• Công tác lắp ráp được thực hiện một cách sạch sẽ; hệ thống làm kín tương đối tốt đáp ứng các điều kiện hoạt động; công tác tái bôi trơn được thực hiện theo hướng dẫn của nhà sản xuất thiết bị	0,0177	1,887[1)]
Nhiễm bẩn nặng	• Lắp ổ lăn trong xưởng; ổ lăn và các linh kiện liên quan không được vệ sinh phù hợp trước khi lắp; hệ thống làm kín không hiệu quả so với các điều kiện hoạt động; khoảng thời gian giữa hai lần tái bôi trơn dài hơn hướng dẫn của nhà sản xuất thiết bị	0,0115	2.662
Nhiễm bẩn rất nặng	• Lắp ổ lăn trong môi trường bụi bẩn; hệ thống làm kín không hiệu quả; khoảng thời gian giữa hai lần tái bôi trơn quá dài	0,00617	4,06

[1)] Khi $d_m \geq 500$ mm, dùng trị số 1,677

Đối với những mức độ nhiễm bẩn khác hoặc trong phần lớn trường hợp bôi trơn bằng dầu luân lưu, bôi trơn ngâm trong dầu hoặc bôi trơn bằng mỡ, hệ số nhiễm bẩn cho một kết cấu ổ lăn có thể xác định bằng công thức đơn giản sau

$$\eta_c = \min\left(c_1 \kappa^{0,68} d_m^{0,55}, 1\right)\left[1 - \left(\frac{c_2}{\sqrt[3]{d_m}}\right)\right]$$

min (#1, #2) = sử dụng giá trị nhỏ nhất của hai trị số

Với c_1 và c_2 là các hằng số biểu thị độ sạch của dầu theo ISO 4406, hoặc của mỡ theo phân loại trong **bảng 6**. Lưu ý là trong trường hợp dầu được lọc, mức độ lọc hữu hiệu (tương ứng với tiêu chuẩn ISO 16689) (→ **bảng 7**) có thể được áp dụng thay cho các trị số độ sạch của dầu có được từ phương pháp đo.

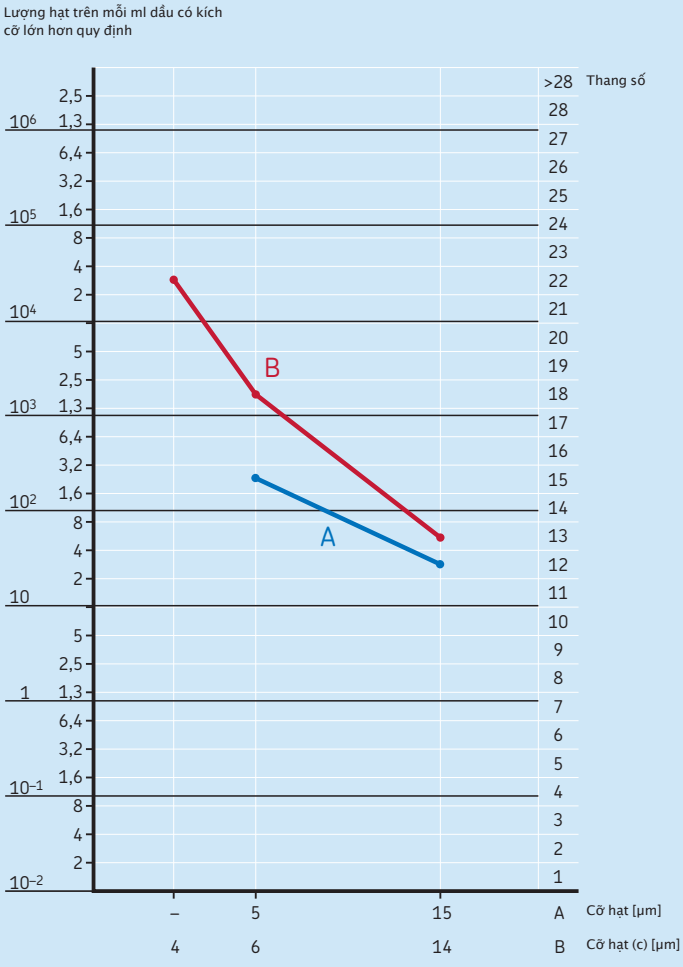
Bảng 7

Các thông số xác định độ nhiễm bẩn trong các ứng dụng bôi trơn bằng dầu theo tiêu chuẩn ISO 281

Tỷ số lọc	ISO 4406	Bôi trơn dầu luân lưu có hệ thống lọc tích hợp		Bôi trơn dầu không có hệ thống lọc hoặc hệ thống lọc rời	
$\beta_{x(c)}$	Mã cơ bản	c_1	c_2	c_1	c_2
$\beta_{6(c)} = 200$	-/13/10	0,0864	0,5663	0,0864	0,5796
$\beta_{12(c)} = 200$	-/15/12	0,0432	0,9987	0,0288	1,141
$\beta_{25(c)} = 75$	-/17/14	0,0288	1,6329	0,0133	1,67
$\beta_{40(c)} = 75$	-/19/16	0,0216	2,3362	0,00864	2,5164
-	-/21/18	-	-	0,00411	3,8974

Giản đồ 7

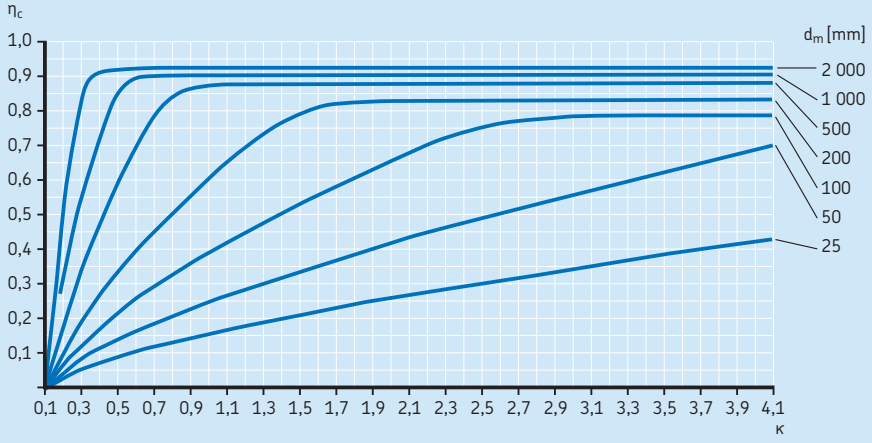
Phân loại độ nhiễm bẩn theo ISO và thí dụ về đếm hạt



A = đếm hạt bằng kính hiển vi (–/15/12)
B = đếm hạt tự động (22/18/13)

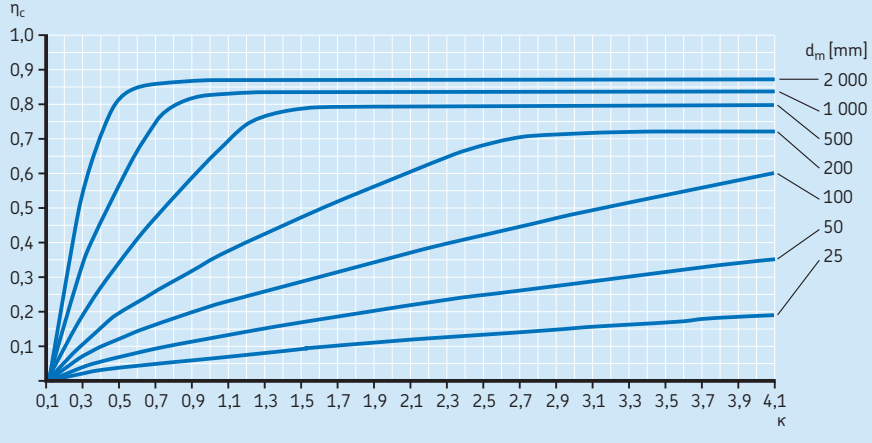
Giản đồ 8

Hệ số nhiễm bẩn η_c đối với
– bôi trơn dầu luân lưu
– mức độ nhiễm bẩn hạt rắn –/15/12 theo ISO 4406
– tỷ số lọc $\beta_{12(c)} = 200$



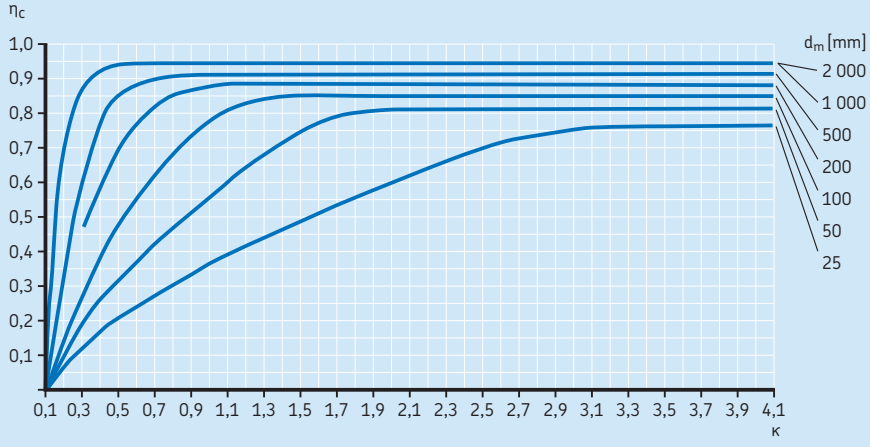
Giản đồ 9

Hệ số nhiễm bẩn η_c đối với
– bôi trơn dầu luân lưu
– mức độ nhiễm bẩn hạt rắn –/17/14 theo ISO 4406
– tỷ số lọc $\beta_{25(c)} = 75$



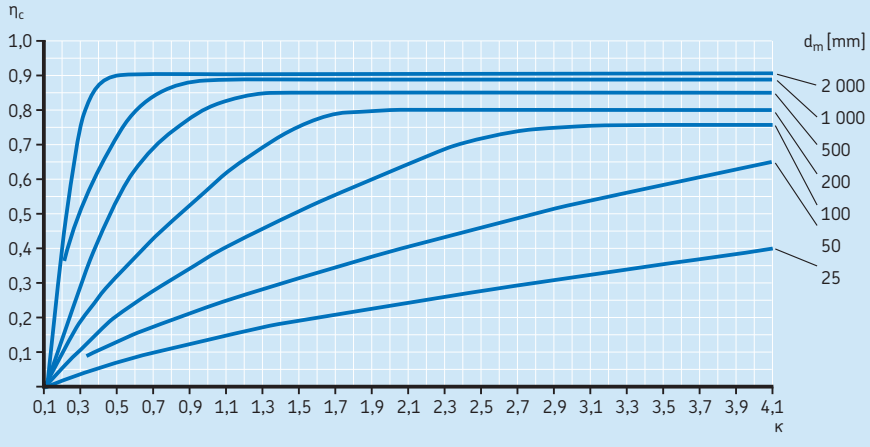
Giản đồ 10

Hệ số nhiễm bẩn η_c đối với phương pháp bôi trơn bằng mỡ, môi trường rất sạch



Giản đồ 11

Hệ số nhiễm bẩn η_c đối với phương pháp bôi trơn bằng mỡ, môi trường sạch sẽ



Tính toán tuổi thọ khi điều kiện làm việc thay đổi

Trong một số ứng dụng như hộp giảm tốc công nghiệp, điều kiện làm việc cũng như biên độ và hướng của tải trọng, tốc độ, nhiệt độ và các điều kiện bôi trơn luôn luôn thay đổi. Trong những loại ứng dụng này, tuổi thọ làm việc của ổ lăn không thể tính mà không giảm "phổ" của tải trọng (load spectrum) hay chu kỳ làm việc của ứng dụng thành một số lượng giới hạn các "khối" tải trọng đơn giản hơn (→ **giản đồ 12**). Trong trường hợp tải trọng liên tục thay đổi, mỗi tải trọng có độ lớn khác nhau có thể được tích lũy và phổ của tải trọng trở thành một biểu đồ tần suất (histogram) dạng khối có tải trọng không đổi. Mỗi khối biểu thị theo tỷ lệ phần trăm hoặc theo khung thời gian làm việc của ứng dụng. Lưu ý là tải trọng nặng và trung bình sẽ rút ngắn tuổi thọ làm việc của ổ lăn với mức độ nhanh hơn tải nhẹ. Do đó, cần phải lưu ý đưa các xung tải và các tải cực đại vào biểu đồ tải trọng, cho dù khả năng xuất hiện các loại tải này tương đối hiếm và chỉ giới hạn trong vài vòng quay của ổ lăn.

Trong mỗi khoảng thời gian chịu tải, tải trọng tác động lên ổ lăn và các điều kiện làm việc có thể được tính bình quân để trở thành các hằng số. Số giờ làm việc hoặc số vòng quay trong mỗi khoảng thời gian làm việc sẽ thể hiện một phần tuổi thọ làm việc của điều kiện tải đó. Do đó, nếu N_1 bằng số vòng quay yêu cầu của điều kiện tải trọng P_1, và N là số vòng quay tổng cộng ước tính của tất cả các chu kỳ tải trọng thay đổi, phần chu kỳ tuổi thọ $U_1 = N_1/N$ được sử dụng bởi điều kiện tải P_1, sẽ có một tuổi thọ theo tình toán là L_{10m1}. Trong những điều kiện tải trọng thay đổi, tuổi thọ làm việc của ổ lăn được định bằng

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

Với

L_{10m} = tuổi thọ danh định theo SKF (độ tin cậy 90%) [triệu vòng quay]

$L_{10m1}, L_{10m2}, \dots$ = các tuổi thọ danh định theo SKF (độ tin cậy 90%) dưới các điều kiện tải không đổi 1, 2, … [triệu vòng quay]

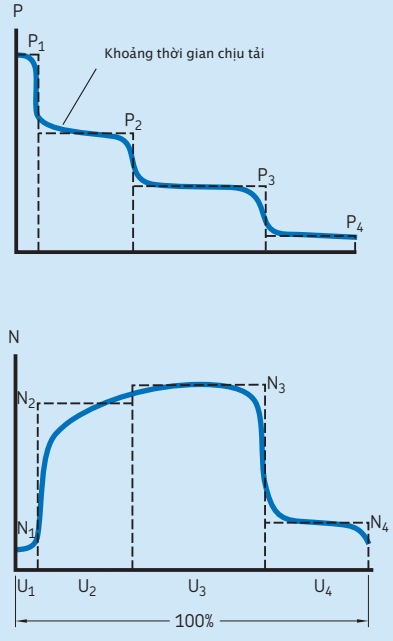
$U_1, U_2, \dots$ = phần chu kỳ tuổi thọ ở các điều kiện 1, 2, …

Ghi chú:
$U_1 + U_2 + \dots U_n = 1$

Phương pháp tính toán này phụ thuộc nhiều vào khả năng có các giản đồ tải trọng của ứng dụng. Lưu ý là quá trình tải trọng này cũng có thể có được từ các ứng dụng tương tự.

Giản đồ 12

Các chu kỳ làm việc với tải trọng P không thay đổi tác động lên ổ lăn và số vòng quay N



Ảnh hưởng của nhiệt độ làm việc

Trong quá trình làm việc, kích thước của ổ lăn thay đổi do cấu trúc vật liệu thay đổi. Các thay đổi này là do ảnh hưởng của nhiệt độ, thời gian và ứng suất.

Để tránh các thay đổi kích thước ngoài ý muốn do thay đổi cấu trúc, các thành phần của ổ lăn phải được nhiệt luyện đặc biệt (→ **bảng 8**).

Tùy theo mỗi loại ổ lăn, các ổ lăn tiêu chuẩn bằng thép được tôi thể tích hoặc tôi cao tần có thể làm việc ở nhiệt độ làm việc đề nghị tối đa từ 120 đến 200 °C (250 đến 390 °F). Các nhiệt độ làm việc tối đa này liên quan trực tiếp với phương pháp nhiệt luyện sử dụng. Để có thêm thông tin, vui lòng tham khảo phần giới thiệu nằm ở đầu mỗi chương của sản phẩm tương ứng Nếu nhiệt độ làm việc bình thường của ứng dụng cao hơn giới hạn nhiệt độ cho phép, cần xem xét việc sử dụng một ổ lăn có độ ổn định kích thước cao hơn. Đối với những trường hợp ổ lăn phải làm việc liên tục ở nhiệt độ cao, khả năng chịu tải trọng động của ổ lăn trong công thức tính tuổi thọ cần được điều chỉnh lại Để có thêm thông tin, vui lòng liên hệ bộ phận dịch vụ hỗ trợ kỹ thuật SKF.

Khả năng làm việc tốt của ổ lăn ở nhiệt độ cao cũng phụ thuộc vào khả năng đảm bảo tính năng của chất bôi trơn và độ phù hợp của vật liệu của phớt, vòng cách, v.v. … (→ Bôi trơn, **trang 239**, và Vật liệu chế tạo ổ lăn, **trang 150**).

Bảng 8

Độ ổn định kích thước

Cấp ổn định	Ổn định đến	
–	°C	°F
SN	120	250
S0	150	300
S1	200	390
S2	250	480
S3	300	570
S4	350	660

Đối với những loại ổ lăn làm việc ở nhiệt độ cao cần có độ ổn định cao hơn S1, vui lòng liên hệ bộ phận dịch vụ hỗ trợ kỹ thuật SKF.

Tuổi thọ danh định yêu cầu

Khi xác định kích cỡ ổ lăn, cần kiểm tra tuổi thọ danh định theo SKF với tuổi thọ của ứng dụng, nếu có. Điều này thường tùy thuộc vào loại thiết bị và các yêu cầu liên quan đến tuổi thọ làm việc và độ tin cậy trong hoạt động của thiết bị. Trong trường hợp chưa có kinh nghiệm, có thể sử dụng các giá trị tham khảo nêu trong **các bảng 9** và **10**.

Bảng 9

Giá trị tham khảo về tuổi thọ yêu cầu của các loại máy móc khác nhau

Loại máy	Tuổi thọ yêu cầu Giờ hoạt động
Máy gia dụng, máy nông nghiệp, dụng cụ, thiết bị ngành y tế	300 ... 3 000
Máy móc sử dụng trong thời gian ngắn hay không thường xuyên: dụng cụ điện cầm tay, thiết bị nâng hạ trong xưởng, máy và thiết bị xây dựng	3 000 ... 8 000
Máy móc sử dụng trong thời gian ngắn hay không thường xuyên nhưng yêu cầu độ tin cậy cao: thang máy, cầu trục nâng hàng kiện	8 000 ... 12 000
Máy móc hoạt động 8 g/ngày nhưng không liên tục: bộ truyền bánh răng cho những ứng dụng thông thường	10 000 ... 25 000
Máy móc hoạt động liên tục 8 g/ngày: máy công cụ, máy chế biến gỗ, máy trong ngành cơ khí chế tạo, cẩu nguyên vật liệu rời, quạt thông gió, băng chuyền, thuết bị ngành in, máy phân ly và ly tâm	20 000 ... 30 000
Máy móc hoạt động liên tục 24 g/ngày: Bộ truyền bánh răng trục cán, động cơ điện cỡ trung, máy nén khí, máy nâng (tời) nành mỏ, bơm, thiết bị ngành dệt	40 000 ... 50 000
Thiết bị phong điện bao gồm trục chính, bộ đổi góc cánh quạt, hộp biến tốc, ổ lăn máy phát	30 000 ... 100 000
Thiết bị cấp nước, lò xoay, máy bện cáp, động cơ đẩy tàu thủy	60 000 ... 100 000
Động cơ điện cỡ lớn, nhà máy điện, bơm ngành mỏ, quạt thông gió ngành mỏ, ổ lăn trục chính của tàu viễn dương	> 100 000

Bảng 10

Giá trị tham khảo về tuổi thọ yêu cầu của ổ lăn hộp đầu trục và cụm ổ lăn cho xe lửa (ngành đường sắt)

Loại xe	Tuổi thọ danh định Triệu km
Toa xe hàng theo tiêu chuẩn UIC dựa trên tải trọng tối đa tác dụng liên tục lên trục	0,8
Toa xe khách: xe điện ngoại thành, xe điện ngầm, xe lửa nhỏ và tàu điện	1,5
Toa xe khách đường dài	3
Cụm xe điện và diesel kết hợp đường dài	3 ... 4
Cụm đầu máy điện-diesel đường dài	3 ... 5

Tải trọng động của ổ lăn

Tính toán tải trọng động của ổ lăn

Tải tác động lên ổ lăn có thể được tính theo các định luật cơ học nếu biết hoặc tính toán được các ngoại lực như lực truyền động, lực công tác hoặc lực quán tính. Khi tính toán các thành phần tải của một ổ lăn đơn chiếc, để đơn giản tính toán, trục được xem như một đà tựa trên các gối đỡ cứng vững, không bị ảnh hưởng bởi mô men. Các biến dạng đàn hồi bên trong ổ lăn, gối đỡ hoặc khung bệ máy cũng như các mô men phát sinh trong ổ lăn do trục bị võng được bỏ qua.

Cần có sự đơn giản hoá này khi tính toán nếu phải tính kết cấu ổ lăn mà không có sự hỗ trợ của máy tính. Các phương pháp tiêu chuẩn để tính tải trọng danh dịnh cơ bản và tải trọng tương đượng của ổ lăn dựa trên các giả thiết tương tự.

Cũng có thể thực hiện các tính toán tải trọng ổ lăn dựa trên các lý thuyết về đàn hồi, không sử dụng các giả thiết trên nhưng việc này đòi hỏi phải sử dụng các chương trình máy tính phức tạp. Trong các chương trình này, ổ lăn, trục và gối đỡ được xem như các thành phần đàn hồi của hệ thống.

Có thể tính được nếu không biết các lực và tải trọng như ngoại lực và các tải trọng khác như lực quán tính hoặc các lực phát sinh từ trọng lượng của trục và trong lượng các thành phần khác. Tuy nhiên, khi xác định lực công tác và tải trọng như lực cán, mô men, tải do mất cân bằng hoặc xung tải, có thể cần phải ước đoán dựa trên kinh nghiệm có được từ các thiết bi hoặc kết cầu ổ lăn tương tự.

Truyền động bánh răng

Với bộ truyền bánh răng, theo lý thuyết, các lực tác động lên các răng có thể được tính dựa vào công suất truyền động và các đặc điểm về thiết kế của các răng bánh răng. Tuy nhiên, cũng phải lưu ý đến các lực động học bổ sung khác, phát sinh hoặc từ chính bánh răng, hoặc từ các trục sơ cấp (dẫn động) hay trục thứ cấp (công tác). Các lực động học bổ sung từ bánh răng có thể phát sinh từ các sai sót về biên dạng răng và từ độ mất cân bằng của các thành phần quay khác. Do yêu cầu làm việc êm, các bánh răng được gia công với độ chính xác cao nên các lực này thường đươc bỏ qua và không được xét đến trong các tính toán về ổ lăn.

Các lực bổ sung phát sinh từ phương thức và chế độ vận hành của các thiết bị kết nối với bộ truyền động chỉ có thể xác định khi biết các điều kiện hoạt động. Ảnh hưởng của chúng đến tuổi thọ danh định của ổ lăn được tính bằng hệ số "làm việc", có tính đến các yếu tố xung tải và hiệu suất bánh răng. Các trị số của hệ số này cho các điều kiện làm việc khác nhau thông thường có thể tìm được trong các tài liệu do các nhà sản xuất bánh răng cung cấp.

Truyền động đai

Đối với truyền động đai, khi tính tải trọng của ổ lăn, "lực kéo" (belt pull) của đai cần được lưu ý. Lực kéo của đai là loại lực tác dụng lên chu vi, tùy thuộc vào mô men được truyền. Lực kéo này phải được nhân với một hệ số tùy thuộc vào loại đai, lực căng đai và các lực phụ khác. Thông thường các hệ số này được nhà sản xuất đai cung cấp. Tuy nhiên, nếu không có thông tin từ nhà sản xuất, có thể sử dụng các trị số sau:

- Đai đồng bộ = 1,1 đến 1,3
- Đai thang = 1,2 đến 2,5
- Đai dẹt = 1,5 đến 4,5

Trị số lớn được sử dụng khi khoảng cách giữa các trục nhỏ, tải nặng hoặc có xung tải hoặc khi lực căng đai lớn.

Tải trọng tương đương đối với (của) ổ lăn

Thông tin trên có thể được sử dụng để tính tải trọng F của ổ lăn. Khi tải trọng của ổ lăn đáp ứng được các điều kiện về tải trọng động cơ bản danh định C, nghĩa là tải không đổi về chiều và độ lớn, tác dụng hướng kính đối với ổ đỡ hoặc tác dụng dọc trục và ngay tâm trục đối với ổ chặn, lúc đó P = F và tải trọng này được sử dụng trực tiếp trong công thức tính tuổi thọ.

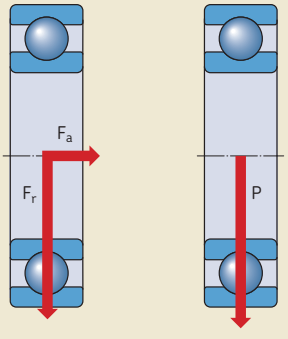
Trong tất cả các trường hợp, tải trọng động tương đương của ổ lăn phải được tính đầu tiên. Tải trọng động tương đương của ổ lăn là một tải giả định, không đổi về chiều và độ lớn, tác dụng hướng kính đối với ổ đỡ hoặc tác dụng hướng trục và ngay tâm trục đối với ổ chặn, nếu áp dụng, sẽ tác động đến tuổi thọ của ổ lăn như tải trọng thực tế mà ổ lăn phải chịu (→ **fig. 2**).

Ổ đỡ thường phải chịu đồngthời cả tải hướng kính lẫn tải dọc trục. Nếu tải tổng hợp không đổi về chiều và độ lớn, tải trọng động tương đương P của ổ lăn có thể được tính theo công thức

$$P = X F_r + Y F_a$$

Với
P = tải trọng động tương đương của ổ lăn [kN]
F_r = tải trọng hướng kính của ổ lăn [kN]
F_a = tải trọng dọc trục của ổ lăn [kN]
X = hệ số tải trọng hướng kính của ổ lăn
Y = hệ số tải trọng dọc trục của ổ lăn

Hình 2



Tải trọng phụ dọc trục chỉ ảnh hưởng đến tải trọng động tương đương P đối với ổ đỡ một dãy khi tỷ số F_a/F_r lớn hơn một trị số e. nào đó. Với ổ lăn hai dãy thì ngay cả một tải trọng dọc trục nhỏ cũng có ảnh hưởng đáng kể.

Công thức tổng quát này cũng áp dụng cho ổ tang trống chặn, là loại ổ lăn có thể chịu được cả tải dọc trục lẫn tải hướng kính. Các loại ổ chặn khác như ổ bi chặn, ổ đũa và ổ kim chặn chỉ có thể chịu tải trọng dọc trục mà thôi. Đối với những loại ổ lăn này, nếu tải trọng tác dụng chính tâm thì công thức được đơn giản hóa

$$P = F_a$$

Thông tin và các thông số cần thiết để tính tải trọng động tương đương của ổ lăn được nêu trong chương của sản phẩm tương ứng.

Tải trọng của ổ lăn thay đổi

Trong nhiều trường hợp, độ lớn của tải trọng thay đổi. Công thức tính tải trọng thay đổi được nêu ở phần Tính toán tuổi thọ khi điều kiện làm việc thay đổi (→ **trang 81**).

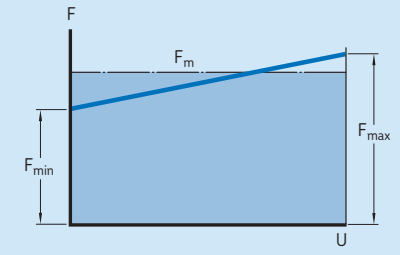
Tải trọng trung bình trong khoảng thời gian chịu tải

Điều kiện làm việc có thể thay đổi trong mỗi khoảng thời gian chịu tải. Giả sử những điều kiện làm việc như tốc độ, chiều của tải trọng gần như không đổi và độ lớn của tải trọng thay đổi đều trong khoảng giữa trị số nhỏ nhất F_{min} và trị số lớn nhất F_{max} (→ **giản đồ 13, trang 86**),

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

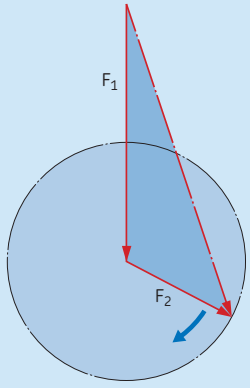
Giản đồ 13

Tải bình quân



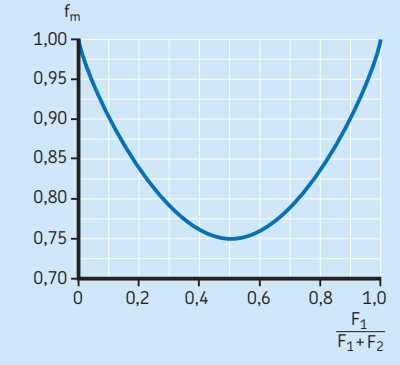
Giản đồ 14

Tải xoay



Giản đồ 15

Tải xoay



Tải xoay

Nếu, như minh hoạ trong **giản đồ 14**, ổ lăn chịu một tải trọng F_1 không đổi về chiều và độ lớn, thí dụ như trọng lượng của rô to và một tải xoay không đổi F_2, thí dụ lực mất cân bằng thì tải trọng trung bình có thể được tính như sau

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

Các trị số của hệ số f_m được cho ở **giản đồ 15**.

Tải trọng tối thiểu yêu cầu

Mối tương quan giữa tải trọng và tuổi thọ làm việc sẽ kém quan trọng hơn trong những ứng dụng có tải trọng quá nhỏ. Khi đó các hư hỏng do các nguyên nhân cơ cấu sẽ mang tính quyết định hơn là do mỏi vật liệu.

Để ổ lăn hoạt động một cách hiệu quả, ổ bi và ổ lăn phải chịu một tải trọng tối thiểu nào đó. Kinh nghiệm thực tế cho thấy phải có một tải trọng tối thiểu là 0,02 C cho ổ lăn và 0,01 C cho ổ bi. Sự quan trọng của việc có tải trọng tối thiểu tăng lên trong những ứng dụng mà ổ lăn phải tăng tốc nhanh hoặc tăng tốc nhanh và ngừng đột ngột và trong trường hợp tốc độ quay bằng hoặc lớn hơn 50% tốc độ giới hạn cho trong bảng thông số kỹ thuật (→ Tốc độ, **trang 117**). Nếu không đảm bảo được tải trọng tối thiểu, nên xem xét sử dụng ổ lăn NoWear (→ **trang 1241**).

Hướng dẫn tính toán tải trọng tối thiểu đối với những loại ổ lăn khác nhau được nêu trong chương sản phẩm tương ứng.

Chọn kích cỡ ổ lăn theo khả năng chịu tải trọng tĩnh

Kích cỡ ổ lăn được chọn dựa vào khả năng chịu tải trọng tĩnh C_0 thay vì tuổi thọ ổ lăn trong những điều kiện sau:

- Ổ lăn đứng yên và chịu tải liên tục hoặc xung tải gián đoạn.
- Ổ lăn có chuyển động lắc chậm hoặc có chuyển động đồng tâm khi chịu tải.
- Ổ lăn quay rất chậm khi chịu tải ($n < 10$ v/ph) và yêu cầu tuổi thọ ngắn Nói cách khác, công thức tính tuổi thọ trong trường hợp này, với một tải trọng tương đương P, sẽ cho một tải trọng động cơ bản danh định C rất nhỏ, khi đó ổ lăn được chọn dựa theo tuổi thọ sẽ bị quá tải trầm trọng khi làm việc.
- Ổ lăn quay và ngoài điều kiện tải bình thường còn phải chịu xung tải nặng.

Trong tất cả những trường hợp này, tải trọng cho phép của ổ lăn chính là tải trọng lớn nhất ổ lăn có thể chịu được mà không làm các con lăn và rãnh lăn bị biến dạng vĩnh viễn. Thông thường ngyên nhân gây ra biến dạng vĩnh viễn là:

- Tải trọng nặng tác dụng khi ổ lăn đứng yên hoặc có chuyển động lắc chậm.
- Xung tải nặng tác dụng lên ổ lăn khi đang quay.

Tùy theo các điều kiện làm việc và tải trọng, các hư hỏng gây ra có thể là các vùng bị dàn phẳng trên con lăn hoặc các vết lõm xuất hiện trên rãnh lăn Các vết lõm trên rãnh lăn có thể có khoảng cách không đều hoặc có thể cách đều tương ứng với khoảng cách giữa các con lăn.

Biến dạng vĩnh viễn thường làm cho ổ lăn có độ rung động cao và/hoặc phát ra tiếng ồn lớn và tăng độ ma sát. Có thể khe hở trong tăng lên hoặc thay đổi đặc tính của mối lắp.

Tác hại của những thay đổi này đối với khả năng làm việc của ổ lăn tùy thuộc vào yêu cầu đặt ra của mỗi ứng dụng. Do đó cần đảm bảo không để xảy ra biến dạng vĩnh viễn hoặc xảy ra trong một giới hạn rất nhỏ bằng cách chọn một ổ lăn có đủ khả năng chịu tải trọng tĩnh nếu cần phải đạt một trong các yêu cầu sau:

- Có độ tin cậy cao
- Làm việc êm ái như đối với động cơ điện
- Làm việc không có độ rung động như đối với máy công cụ
- Mô men ma sát ổn định như đối với các thiết bị đo kiểm
- Ma sát thấp khi khởi động có tải như đối với cần trục

Tải trọng tĩnh tương đương

Tải trọng tĩnh gồm hai thành phần hướng kính và dọc trục phải được quy đổi thành tải trọng tĩnh tương đương. Tải trọng này được định nghĩa là một tải giả định (tác dụng hướng kính đối với ổ đỡ và tác dụng dọc trục đối với ổ chặn), nếu áp dụng, sẽ tạo ra tải trọng lớn nhất lên các con lăn của ổ lăn như tải trọng thực tế mà ổ lăn phải chịu. Nó được xác định bằng công thức

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a$$

Với
P_0 = tải trọng tĩnh tương đương [kN]
F_r = tải trọng hướng kính của ổ lăn (xem bên dưới) [kN]
F_a = tải trọng dọc trục của ổ lăn (xem bên dưới) [kN]
X_0 = hệ số tải trọng hướng kính của ổ lăn
Y_0 = hệ số tải trọng dọc trục của ổ lăn

Thông tin và các thông số cần thiết để tính tải trọng tĩnh tương đương của ổ lăn được nêu trong chương của sản phẩm tương ứng.

Khi tính P_0, cần sử dụng tải trọng lớn nhất có thể xảy ra cũng như các thành phần hướng kính và dọc trục (→ **hình 3**) để đưa vào công thức. Nếu tải tĩnh tác dụng lên ổ lăn theo nhiều chiều khác nhau, độ lớn của các thành phần này sẽ thay đổi. Trong những trường hợp này, sử dụng các thành phần nào của tải tạo ra trị số tải trọng tĩnh tương đương của ổ lăn P_0 lớn nhất.

Tải trọng tĩnh cơ bản danh định cần thiết

Khi xác định kích cỡ ổ lăn dựa vào khả năng chịu tải trọng tĩnh, một hệ số an toàn s_0, biểu thị mối tương quan giữa tải trọng tĩnh cơ bản danh định C_0 và tải trọng tĩnh tương đương của ổ lăn P_0, được sử dụng để tính tải trọng tĩnh cơ bản danh định cần thiết.

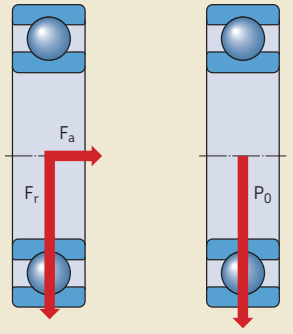
Tải trọng tĩnh cơ bản danh định cần thiết C_0 có thể được xác định bằng

$$C_0 = s_0 P_0$$

Với
C_0 = tải trọng tĩnh cơ bản danh định [kN]
P_0 = tải trọng tĩnh tương đương của ổ lăn [kN]
s_0 = hệ số an toàn tĩnh

Giá trị tham khảo của hệ số an toàn tĩnh s_0 dựa theo kinh nghiệm được nêu trong **bảng 11**. Khả năng chịu tải trọng tĩnh sẽ giảm ở nhiệt độ cao. Vui lòng liên hệ Bộ phận dịch vụ kỹ thuật SKF để có thêm thông tin.

Hình 3



Kiểm tra khả năng chịu tải trọng tĩnh

Đối với ổ lăn chịu tải trọng động, nếu biết được tải trọng tĩnh tương đương P_0 của ổ lăn, nên kiểm tra để biết khả năng chịu tải trọng tĩnh có phù hợp không bằng công thức

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

Nếu trị số s_0 có được nhỏ hơn giá trị tham khảo (→ **bảng 11**), nên chọn ổ lăn có tải trọng tĩnh cơ bản danh định lớn hơn.

Bảng 11

Giá trị tham khảo về hệ số an toàn tĩnh s_0

Loại hoạt động	**Ổ lăn quay** Yêu cầu về khả năng làm việc (thí dụ làm việc êm hoặc không có rung động)						**Ổ lăn đứng yên**	
	Không quan trọng		Bình thường		Cao			
	ổ bi	ổ lăn	ổ bi	ổ lăn	ổ bi	ổ lăn	ổ bi	ổ lăn
Êm, không rung	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Bình thường	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Có xung tải[1)]	≥ 1,5	≥ 2,5	≥ 1,5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Đối với ổ tang trống chặn, nên sử dụng $s_0 \geq 4$.

[1)] Khi không biết độ lớn của xung tải, nên sử dụng giá trị tối thiểu của s_0 bằng giá trị lớn nhất được nêu ở trên. Nếu biết độ lớn của xung tải, có thể sử dụng giá trị nhỏ hơn của s_0.

Thí dụ tính toán

Thí dụ 1: Tuổi thọ cơ bản danh định và tuổi thọ danh định theo SKF

Một ổ bi đỡ SKF Explorer 6309 quay 3 000 v/ph với tải trọng hướng kính F_r không đổi = 10 kN. Bôi trơn bằng dầu có độ nhớn động học thực tế là $\nu = 20$ mm^2/gi ở nhiệt độ làm việc bình thường. Độ tin cậy hoạt động mong muốn là 90% và giả sử ổ bi hoạt động trong điều kiện rất sạch. Tính tuổi thọ cơ bản danh định và tuổi thọ danh định theo SKF?

a) Tuổi thọ cơ bản danh định với độ tin cậy 90% là

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

Từ bảng thông số kỹ thuật của ổ bi 6309, C = 55,3 kN. Vì tải trọng chỉ là tải hướng kính nên P = F_r = 10 kN (→ Tải trọng động tương đương của ổ lăn, **trang 85**).

$$L_{10} = \left(\frac{55{,}3}{10}\right)^3$$

$$= 169 \text{ triệu vòng quay}$$

Hoặc theo giờ hoạt động là

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

$$L_{10h} = \frac{1\ 000\ 000}{60 \times 3\ 000} \times 169$$

$$= 940 \text{ giờ hoạt độngg}$$

b) Tuổi thọ danh định theo SKF với độ tin cậy 90% là

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

- Do độ tin cậy yêu cầu là 90% nên tính tuổi thọ L_{10m} và với $a_1 = 1$ (→ **bảng 1**, **trang 65**).
- Từ bảng thông số kỹ thuật của ổ bi 6309, $d_m = 0{,}5\ (d + D) = 0{,}5\ (45 + 100) = 72{,}5$ mm
- Từ **giản đồ 5** (→ **trang 72**), độ nhớn yêu cầu ở nhiệt độ làm việc với tốc độ quay 3 000 v/ph là $\nu_1 = 8{,}15$ mm^2/gi. Do đó, $\kappa = \nu/\nu_1 = 20/8{,}15 = 2{,}45$
- Từ bảng thông số kỹ thuật, $P_u = 1{,}34$ kN và $P_u/P = 1{,}34/10 = 0{,}134$. Do điều kiện làm việc rất sạch nên $\eta_c = 0{,}8$ và $\eta_c\ (P_u/P) = 0{,}107$. Với $\kappa = 2{,}45$ và sử dụng thang tỷ lệ cho ổ lăn SKF Explorer ở **giản đồ 1** (→ **trang 66**), ta có trị số của $a_{SKF} = 8$. Theo công thức tính tuổi thọ danh định SKF thì

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

$$= 1\ 352 \text{ triệu vòng quay}$$

Hoặc tính theo số giờ hoạt động

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

$$L_{10mh} = \frac{1\ 000\ 000}{60 \times 3\ 000} \times 1\ 352$$

$$= 7\ 512 \text{ giờ hoạt động}$$

Thí dụ 2: Kiểm tra điều kiện nhiễm bẩn

Xem xét lại một ứng dụng hiện hữu Một ổ bi đỡ SKF Explorer 6309-2RS1 có hai phớt chặn và được tra mỡ sẵn làm việc trong điều kiện như ở thí dụ 1 ($\kappa = 2{,}45$). Kiểm tra điều kiện nhiễm bẩn của ứng dụng này để xác định khả năng giảm chi phí ổ bi nhưng vẫn đảm bảo tuổi thọ tối thiểu là 3 000 giờ hoạt động.

- Với ổ bi có phớt chặn và được bôi trơn bằng mỡ thì ổ bi hoạt động trong điều kiện rất sạch và từ **bảng 4** (→ **trang 74**), thì $\eta_c = 0{,}8$.
  Với $P_u/P = 0{,}134$, $\eta_c\ (P_u/P) = 0{,}107$, sử dụng thang tỷ lệ của ổ lăn SKF Explorer trong **giản đồ 1** (→ **trang 66**) và $\kappa = 2{,}45$, $a_{SKF} = 8$.

$$L_{10mh} = 8 \times 940 = 7\ 520 \text{ giờ hoạt động}$$

- Một kết cấu ổ bi kinh tế hơn là dùng ổ bi SKF Explorer loại có nắp che thép 6309-2Z. Khi đó, mức độ nhiễm bẩn của ổ bi sẽ ở mức bình thường, do đó, từ **bảng 4** (→ **trang 74**) $\eta_c = 0,5$.
  Với $P_u/P = 0,134$, η_c (P_u/P) = 0,067, sử dụng thang tỷ lệ của ổ lăn SKF Explorer trong **giản đồ 1** (→ **trang 66**) và $\kappa = 2,45$, $a_{SKF} \approx 3,5$.

$L_{10mh} = 3,5 \times 940 = 3\,290$ giờ hoạt động

Kết luận: Có thể tiết kiệm chi phí cho ứng dụng này bằng cách thay ổ bi có phớt chặn bằng ổ bi có nắp che thép.

Thí dụ 3: Kiểm tra điều kiện tải trọng tĩnh và tải trọng động

Chu kỳ làm việc của ổ tang trống hai phớt chặn SKF Explorer 24026-2CS2/VT143 sử dụng trong thiết bị vận chuyển hạng nặng trong một nhà máy thép với các điều kiện hoạt động được nêu trong bảng dưới đây.

Tải trọng tĩnh của ứng dụng này được xác định một cách tương đối chính xác có tính đến lực quán tính phát sinh khi hoạt động có tải và xung tải có thể phát sinh khi tải trọng giảm đột ngột.

Yêu cầu kiểm tra tải trọng động và tải trọng tĩnh của ứng dụng này, giả sử tuổi thọ hoạt động yêu cầu L_{10mh} là 60 000 giờ và hệ số an toàn tĩnh tối thiểu là 1,5.

- Từ phần giới thiệu và bảng thông số kỹ thuật của sản phẩm:

  Tải trọng danh định:
  C = 540 kN; C_0 = 815 kN; P_u = 81,5 kN

  Kích thước
  d = 130 mm; D = 200 mm,
  Do đó, $d_m = 0,5\ (130 + 200) = 165$ mm

  Mỡ bôi trơn
  Mỡ gốc dầu khoáng chịu áp lực cao với chất làm đặc lithium, có độ đặc LNGI cấp 2, dải nhiệt độ làm việc cho phép từ –20 đến +110 °C (–5 đến +230 °F) và độ nhớt của dầu gốc ở 40 và 100 °C (105 và 210 °F) là 200 và 16 mm^2/gi.

- Thực hiện những tính toán và xác định những trị số sau:

  1 ν_1 = độ nhớt danh định, mm^2/gi (→ **giản đồ 5**, **trang 72**) – nhập vào: d_m và tốc độ

  2 ν = độ nhớt làm việc thực tế, mm^2/gi (→ **giản đồ 6**, **trang 73**) – nhập vào: độ nhớt của chất bôi trơn ở 40 °C (105 °F) và nhiệt độ vận hành

  3 κ = tỷ số độ nhớt – tính được (ν/ν_1)

  4 η_c = hệ số về mức độ nhiễm bẩn (→ **bảng 4**, **trang 74**) – "Điều kiện rất sạch", ví là ổ lăn có phớt chặn: $\eta_c = 0,8$

Thí dụ 3/1

Điều kiện hoạt động

Khoảng thời gian chịu tải	Tương đương Tải trọng động P	Khoảng thời gian U	Tốc độ n	T		Tải trọng tĩnh tương đương P_0
–	kN	–	v/ph	°C	°F	kN
1	200	0,05	50	50	120	500
2	125	0,40	300	65	150	500
3	75	0,45	400	65	150	500
4	50	0,10	200	60	140	500

5 L_{10h} = tuổi thọ cơ bản danh định theo công thức (→ **trang 64**) – nhập vào: C, P và n

6 a_{SKF} = từ **giản đồ 2** (→ **trang 67**) – nhập vào: ổ lăn SKF Explorer, η_c, P_u, P và κ

7 $L_{10mh1,2,\ldots}$ = tuổi thọ danh định SKF theo công thức (→ **trang 65**) – nhập vào: a_{SKF} và $L_{10h1,2,\ldots}$

8 L_{10mh} = tuổi thọ danh định SKF theo công thức (→ **trang 81**) – nhập vào: L_{10mh1}, L_{10mh2}, … và U_1, U_2, …

Tuổ thọ danh định SKF tính được là 84 300 giờ, dài hơn tuổi thọ hoạt động theo yêu cầu. Do đó, điều kiện tải trọng động của ổ lăn đạt theo yêu cầu.

Sau cùng, kiểm tra hệ số an toàn tĩnh của ứng dụng:

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{815}{500} = 1{,}63$$

$s_0 = 1{,}63 > s_{0\ yêu\ cầu}$

Trị số trên chứng tỏ độ an toàn tĩnh của ứng dụng cũng đạt yêu cầu. Do tải trọng tĩnh được tính một cách chính xác nên không cần quan tâm đến độ chênh lệch nhỏ giữa hệ số an toàn tĩnh tính được và hệ số an toàn tĩnh yêu cầu.

Các công cụ tính toán của SKF

SKF hiện đang sở hữu một trong những hệ thống công cụ tính toán hoàn chỉnh và hữu hiệu nhất về mô hình và mô phỏng trong ngành công nghiệp ổ lăn. Từ những công cụ dễ sử dụng như các công thức tính toán trong Tài liệu ổ lăn SKF này đến những hệ thống tính toán và mô phỏng phức tạp thực hiện trên hệ thống máy tính.

SKF cũng đã triển khai nhiều chương trình để đáp ứng nhu cầu khách hàng; từ các chương trình tương đối đơn giản như kiểm tra thiết kế bằng những nghiên cứu tương đối phức tạp cho đến các mô phỏng ổ lăn và thiết kế máy tiên tiến nhất. Khi cần thiết, các chương trình này sẽ được cung cấp để sử dụng trên hệ thống máy tính của khách hàng. Ngoài ra, khả năng tích hợp và liên kết hoạt động đối với những hệ thống khác nhau cũng được đặc biệt quan tâm.

Các công cụ tính toán được cung cấp trên mạng internet tại skf.com/bearingcalculator

Các công cụ dễ sử dụng để chọn lựa và tính toán ổ lăn được cung cấp trên mạng internet tại skf.com/bearingcalculator. Có thể tìm kiếm ổ lăn dựa vào ký hiệu hay kích thước và cũng có thể đánh giá các kết cấu ổ lăn đơn giản. Những công thức tính toán sử dụng trong các công cụ nêu trên đều dựa theo tài liệu này.

Thí dụ 3/2

Các giá trị tính toán

Khoảng thời gian chịu tải	Tải trọng động tương đương P	Độ nhớt danh định ν_1	Độ nhớt làm việc ν	κ [1]	η_c	Tuổi thọ cơ bản danh định L_{10h}	a_{SKF}	Tuổi thọ danh định theo SKF L_{10mh}	Khoảng thời gian U	Tuổi thọ danh định theo SKF có được L_{10mh}
–	kN	mm²/gi	mm²/gi	–	–	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	

[1] Mỡ bôi trơn có phụ gia EP

Các công cụ tính toán tương tác của SKF cho phép tạo ra các bản vẽ CAD để vẽ ổ lăn và gối đỡ SKF đồng thời có thể được sử dụng kết hợp với đa số phần mềm CAD hiện đang có trên thị trường.

SKF Bearing Beacon

SKF Bearing Beacon là phần mềm cho các ứng dụng ổ lăn chủ yếu được kỹ sư SKF sử dụng để tìm ra giải pháp tốt nhất về kết cấu ổ lăn cho khách hàng. Làm việc trong môi trường mô phỏng, kỹ sư SKF kết hợp các hệ thống cơ khí gồm trục, bánh răng và gối đỡ với một mô hình ổ lăn chính xác để nghiên cứu sâu hơn về hoạt động của máy móc trong thực tế Phần mềm cũng có thể nghiên cứu, phân tích hiện tượng mỏi trong ổ lăn bằng phương pháp xác định tuổi thọ danh định của SKF. SKF Bearing Beacon là thành quả của nhiều năm nghiên cứu và phát triển của SKF.

Orpheus

Công cụ kỹ thuật số Orpheus được sử dụng để nghiên cứu và tối ưu hoá đặc tính của độ ồn và độ rung động trong các ứng dụng ổ lăn quan trọng như động cơ điện, hộp giảm tốc. Cũng có thể sử dụng công cụ này để giải toàn bộ những công thức không tuyến tính của một hệ thống ổ lăn và các bộ phận chung quanh như bánh răng, trục và gối đỡ.

Orpheus có thể cung cấp một hiểu biết sâu sắc về trạng thái động của một ứng dụng bao gồm ổ lăn, để tính tác động của sai lệch hình dạng (độ dơn sóng) và độ lệch trục. Điều này cho phép kỹ sư SKF khả năng xác định loại và cỡ ổ lăn phù hợp nhất cũng như phương pháp lắp ráp và điều kiện dự ứng lực phù hợp đối với một úng dụng nào đó.

Beast

Beast là một phần mềm mô phỏng cho kỹ sư SKF khả năng mô phỏng các trạng thái động bên trong ổ lăn một cách chi tiết. Chương trình này có thể được xem như một thiết bị thử nghiệm ảo để nghiên cứu tác động của lực, mô men, v.v. ... bên trong một ổ lăn dưới bất kỳ điều kiện tải trọng nào. Khả năng này cho phép "thử nghiệm" những khái niệm và thiết kế mới một cách nhanh chóng hơn và thu được nhiều thông tin hơn so với phương pháp thử nghiệm truyền thống.

Các chương trình khác

Bên cạnh những chương trình nêu trên, SKF còn phát triển những phần mềm chuyên dụng cho phép các nhà khoa học của SKF cung cấp cho khách hàng các ổ lăn có bề mặt lăn tối ưu để kéo dài tuổi thọ trong những điều kiện làm việc khắc nghiệt. Các chương trình này có thể tính toán bề dày của lớp màng dầu trong điều kiện bôi trơn biến dạng thủy động ở khu vực tiếp xúc. Ngoài ra, bề dày lớp màng dầu cục bộ do sự biến dạng bề mặt ba chiều bên trong khu vực tiếp xúc cũng có thể được tính toán một cách chi tiết cũng như các hệ quả giúp giảm độ mỏi vật liệu ổ lăn.

Kỹ sư SKF cũng sử dụng các công cụ có sẵn để thực hiện nghiên cứu như phân tích phần tử hữu hạn hoặc phân tích các hệ thống động học, v.v. ... Các công cụ này được tích hợp với các hệ thống thuộc quyền sở hữu của SKF cho phép liên kết với các thông số và mô hình của khách hàng nhanh hơn và hữu hiệu hơn.

Dịch vụ tư vấn kỹ thuật của SKF

Những thông tin cơ bản cần thiết để thiết kế và tính toán một kết cấu ổ lăn được nêu trong tài liệu này. Tuy nhiên, có những ứng dụng yêu cầu dự đoán tuổi thọ ổ lăn càng chính xác càng tốt, hoặc do không có đủ kinh nghiệm với những kết cấu tương tự hoặc vì lý do kinh tế và/hoặc độ tin cậy hoạt động rất quan trọng. Trong những trường hợp này, nên sử dụng Dịch vụ Tư vấn Kỹ thuật của SKF. Dịch vụ này có thể cung cấp các tính toán và mô phỏng bằng những phần mềm kỹ thuật cao, kết hợp với hơn một thế kỷ tích lũy kinh nghiệm trong lãnh vực linh kiện của thiết bị có chuyển động quay.

Dịch vụ này có thể cung cấp các hỗ trợ bằng toàn bộ những bí quyết ứng dụng của SKF. Các chuyên viên ứng dụng của SKF có thể thực hiện:

- Phân tích các sự cố kỹ thuật
- Đề nghị những giải pháp phù hợp
- Lựa chọn chất bôi trơn và phương pháp bôi trơn phù hợp cũng như một chương trình bảo trì tối ưu

Dịch vụ tư vấn kỹ thuật của SKF mở ra một hướng mới về dịch vụ liên quan đến máy móc và lắp đặt cho những nhà sản xuất máy OEMs và người sử dụng. Một số lợi ích của dịch vụ này là:

- Quá trình phát triển sản phẩm nhanh hơn và giảm thời gian đưa sản phẩm ra thị trường
- Giảm chi phí thực hiện bằng thử nghiệm mô phỏng trước khi đưa vào sản xuất
- Cải tiến kết cấu ổ lăn để giảm độ ồn và độ rung động
- Hiệu suất sử dụng năng lượng cao hơn nhờ nâng cấp thiết bị
- Nâng cao tuổi thọ hoạt động nhờ cải tiến hệ thống bôi trơn hoặc hệ thống làm kín

Các phần mềm máy tính tiên tiến

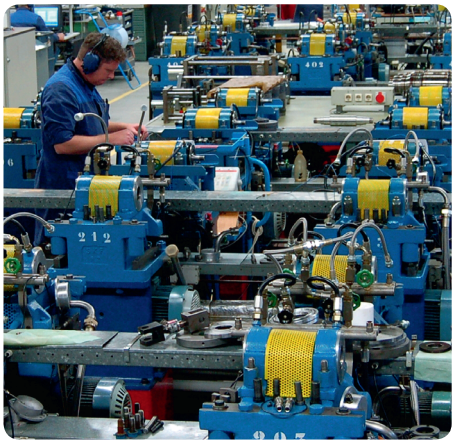
Dịch vụ Tư vấn Kỹ thuật SKF sử dụng những phần mềm máy tính rất hiện đại để:

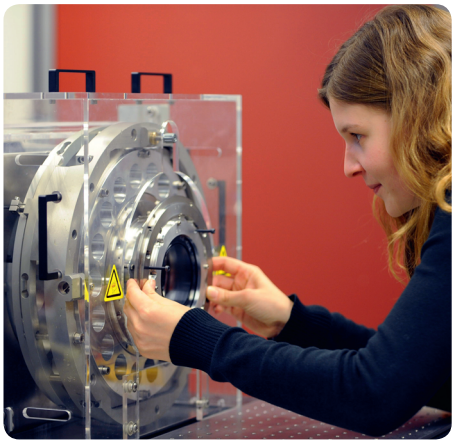
- Phân tích mô hình các kết cấu ổ lăn, bao gồm trục, gối đỡ, bánh răng,khớp nối, v.v. …
- Phân tích tĩnh để xác định biến dạng đàn hồi và ứng suất trong những bộ phận của một hệ thống cơ khí
- Phân tích động để xác định độ rung động của hệ thống trong những điều kiện làm việc khác nhau
- Thực hiện các trình bày dạng nghe nhìn và hoạt ảnh của độ võng của kết cấu và của từng bộ phận
- Tối ưu hoá chi phí của hệ thống, tuổi thọ làm việc, độ ồn và độ rung động

Những phần mềm máy tính thường được bộ phận Dịch vụ Tư vấn Kỹ thuật SKF sử dụng để tính toán và thực hiện mô phỏng được mô tả khái quát trong mục Các công cụ tính toán của SKF (→ **trang 92**).

Để biết thêm thông tin về Dịch vụ Tư vấn Kỹ thuật SKF, vui lòng liên hệ chi nhánh công ty SKF tại địa phương.

Kiểm nghiệm tuổi thọ ổ lăn SKF





Những hoạt động thử nghiệm về độ bền của ổ lăn SKF được tập trung thử nghiệm ở Trung tâm Nghiên cứu Kỹ thuật của SKF đặt tại Hà Lan. với các phương tiện thử nghiệm độc đáo trong ngành công nghiệp ổ lăn về mặt chuyên môn và về mặt số lượng thiết bị, các thiết bị này đều phù hợp với tiêu chuẩn ISO 17025 Trung tâm này còn hỗ trợ cho các nghiên cứu ở các nhà máy chủ yếu của SKF.

SKF thử nghiệm tuổi thọ làm việc của ổ lăn nhằm mục đích liên tục cải tiến thiết kế, vật liệu và quy trình công nghệ của ổ lăn. Điều quan trọng hơn là phát triển và liên tục cải tiến các mô hình kỹ thuật theo yêu cầu thiết kế các ứng dụng ổ lăn.

Các hoạt động thử nghiệm tiêu biểu về độ bền gồm thử nghiệm với một số lượng mẫu trong:

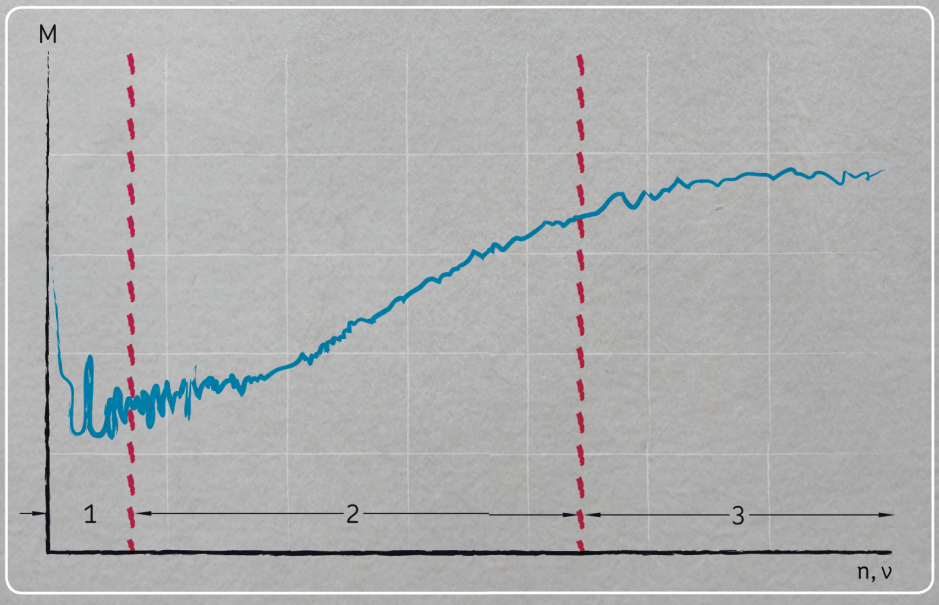
- Các điều kiện bôi trơn đủ
- Trong các điều kiện bôi trơn thiếu
- Xác định các điều kiện nhiễm bẩn của chất bôi trơn

SKF cũng thực hiện các thử nghiệm về độ bền để:

- Kiểm tra khả năng hoạt động của ổ lăn như đã nêu trong tài liệu sản phẩm
- Kiểm tra, đánh giá chất lượng tiêu chuẩn ổ lăn được sản xuất
- Nghiên cứu tác động của chất bôi trơn và các điều kiện bôi trơn đối với tuổi thọ ổ lăn
- Giúp phát triển các lý thuyết về hiện tượng mỏi ở khu vực tiếp xúc của mặt lăn
- So sánh với các sản phẩm cạnh tranh

Những kiểm tra về tuổi thọ được kiểm tra chặt chẽ kết hợp với các nghiên cứu sau kiểm tra bằng những thiết bị chuyên dùng hiện đại cho khả năng nghiên cứu các thông số ảnh hưởng đến tuổi thọ ổ lăn một cách có hệ thống.

Ổ lăn SKF Explorer và ổ lăn SKF tiết kiệm năng lượng là những thí dụ về sự tối ưu hoá các yếu tố tác động dựa trên cơ sở phân tích các mô hình mô phỏng và kiểm tra thực nghiệm mỗi thành phần và toàn bộ ổ lăn.


M
1
2
3
n, ν

Ma sát

C

Ước lượng mômen ma sát **98**

Tính toán mômen ma sát theo SKF . . **99**
Mômen ma sát lăn 100
Hệ số "dòng chảy ngược" 101
Hệ số ảnh hưởng do sự thiếu/bổ sung động học. 102
Mômen ma sát trượt 103
Ảnh hưởng của chất bôi trơn đối với ma sát trượt 103
Mômen ma sát của phớt 109
Tổn thất do ngâm dầu 110
Tổn thất do lực cản của dầu trong trường hợp bôi trơn bằng phương pháp ngâm dầu 110
Tổn thất do ngâm dầu trong trường hợp bôi trơn bằng phương pháp phun dầu 112
Các ảnh hưởng khác đến mômen ma sát. 113
Ảnh hưởng của khe hở và lệch trục đối với ma sát 113
Ảnh hưởng của lượng mỡ bôi trơn đối với ma sát. 113
Các thông tin bổ sung đối với một vài thế hệ ổ lăn hiệu suất cao và ổ lăn đặc chủng 113
Ổ lăn Hybrid 113
Ổ lăn tiết kiệm năng lượng SKF (Energy Efficient E2) 113
Ổ bi Y 113
Ổ kim 113

Mômen khởi động **114**

Thất thoát năng lượng và nhiệt độ của ổ lăn **114**