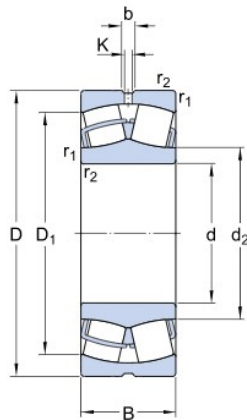


ROLAMENTO AUTOCOMPENSADOR DE ROLOS

Rolamento 22208 E - Exemplo do catálogo SKF 5000 E - June 2003



$$\begin{aligned} d &:= 40 \text{ mm} & d &:= \frac{d}{\text{mm}} = 40 \\ D &:= 80 \text{ mm} & D &:= \frac{D}{\text{mm}} = 80 \\ B &:= 23 \text{ mm} & B &:= \frac{B}{\text{mm}} = 23 \\ n &:= 1780 \cdot \frac{1}{\text{min}} & n &:= n \cdot \text{min} = 1780 \end{aligned}$$

$$F_r := 2.99 \text{ kN} \quad F_r := \frac{F_r}{N} = 2990$$

$$F_a := 0.10 \text{ kN} \quad F_a := \frac{F_a}{N} = 100$$

Lubrificação por banho de óleo

CÁLCULOS

Viscosidade na temperatura de trabalho de 40°C

$$v := 68 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \quad v := v \cdot \frac{\text{s}}{\text{mm}^2} = 68$$

MOMENTO DE ATRITO DE ROLAGEM

Diâmetro médio $d_m := \frac{d + D}{2} = 60$

Fator de redução do aquecimento por cisalhamento na entrada

$$\phi_{ish} := \frac{1}{1 + 1.84 \cdot 10^{-9} \cdot (n \cdot d_m)^{1.28} \cdot v^{0.64}} = 0.93$$

Constante de esgotamento/reabastecimento cinemático

$$K_{rs} := 3 \cdot 10^{-8}$$

Constante geométrica relacionada ao tipo de rolamento

$$K_Z := 5.5 \quad K_L := 0.8$$

Tabela 5

Constantes geométricas K_Z e K_L		
Tipo de rolamento	Constantes geométricas K_Z	K_L
Rolamentos rígidos de esferas		
– uma e duas carreiras	3,1	–
Rolamentos de esferas de contato angular		
– uma carreira	4,4	–
– de duas carreiras	3,1	–
– de quatro pontos de contato	3,1	–
Rolamentos autocompensadores de esferas	4,8	–
Rolamentos de rolos cilíndricos		
– com gaiola	5,1	0,65
– número máximo de rolos	6,2	0,7
Rolamentos de rolos cônicos	6	0,7
Rolamentos autocompensadores de rolos	5,5	0,8

Fator de redução por esgotamento/reabastecimento cinemático

$$\phi_{rs} := \frac{1}{e^{\left(K_{rs} \cdot v \cdot n \cdot (d+D) \cdot \sqrt{\frac{K_Z}{2 \cdot (D-d)}} \right)}} = 0.9$$

Variável geométrica para momentos de atrito

Para rolamentos autocompensadores de rolos

$$G_{rr,e} = R_1 d_m^{1,85} (F_r + R_2 F_a)^{0,54}$$

$$G_{rr,l} = R_3 d_m^{2,3} (F_r + R_4 F_a)^{0,31}$$

quando $G_{rr,e} < G_{rr,l}$

$$G_{rr} = G_{rr,e}$$

caso contrário

$$G_{rr} = G_{rr,l}$$

Tabela 3e

Constantes geométricas para momentos de atrito rolante e deslizante de rolamentos autocompensadores de rolos									
Séries de rolamentos	Constantes geométricas para momentos de atrito				momentos de atrito deslizante				
	R_1	R_2	R_3	R_4	S_1	S_2	S_3	S_4	
213 E, 222 E	$1,6 \times 10^{-6}$	5,84	$2,81 \times 10^{-6}$	5,8	$3,62 \times 10^{-3}$	508	$8,8 \times 10^{-3}$	117	

$$R_1 := 1.6 \cdot 10^{-6} \quad R_2 := 5.84 \quad R_3 := 2.81 \cdot 10^{-6} \quad R_4 := 5.8$$

$$S_1 := 3.62 \cdot 10^{-3} \quad S_2 := 508 \quad S_3 := 8.8 \cdot 10^{-3} \quad S_4 := 117$$

$$G_{rr.e} := R_1 \cdot d_m^{1.85} \cdot (F_r + R_2 \cdot F_a)^{0.54} = 0.258$$

$$G_{rr.l} := R_3 \cdot d_m^{2.3} \cdot (F_r + R_4 \cdot F_a)^{0.31} = 0.436$$

Como $G_{rr.e} < G_{rr.l}$ temos:

$$G_{rr} := G_{rr.e} = 0.258$$

Momento de atrito de rolagem

$$M_{rr} := \phi_{rs} \cdot \phi_{ish} \cdot G_{rr} \cdot (v \cdot n)^{0.6} = 241 \quad M_{rr} := M_{rr} \cdot N \cdot mm = 241 \text{ N} \cdot mm$$

Potência perdida por atrito de rolagem

$$P_{rr} := M_{rr} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{min} = 45 \text{ W}$$

MOMENTO DE ATRITO DESLIZANTE

Variável geométrica atrito deslizante

$$G_{sl.e} = S_1 d_m^{0.25} (F_r^4 + S_2 F_a^4)^{1/3}$$

$$G_{sl.l} = S_3 d_m^{0.94} (F_r^3 + S_4 F_a^3)^{1/3}$$

quando $G_{sl.e} < G_{sl.l}$

$$G_{sl} = G_{sl.e}$$

caso contrário

$$G_{sl} = G_{sl.l}$$

$$G_{sl.e} := S_1 \cdot d_m^{0.25} \cdot (F_r^4 + S_2 \cdot F_a^4)^{\frac{1}{3}} = 434$$

$$G_{sl.l} := S_3 \cdot d_m^{0.94} \cdot (F_r^3 + S_4 \cdot F_a^3)^{\frac{1}{3}} = 1237$$

Como $G_{sl.e} < G_{sl.l}$ temos:

$$G_{sl} := G_{sl.e} = 434$$

Fator de ponderação para o coeficiente de atrito deslizante

$$\phi_{bl} := \frac{1}{e^{2.6 \cdot 10^{-8} \cdot (n \cdot v)^{1.4} \cdot d_m}} = 1.408 \cdot 10^{-9}$$

Coeficiente de atrito deslizante para condição de filme completo

μ_{EHL} = coeficiente de atrito deslizante para condições de filme completo

Valores para μ_{EHL} são:

- 0,02 para rolamentos de rolos cilíndricos
- 0,002 para rolamentos de rolos cônicos

Outros rolamentos

- 0,05 para lubrificação com óleos minerais
- 0,04 para lubrificação com óleos sintéticos
- 0,1 para lubrificação com fluidos de transmissão

$$\mu_{EHL} := 0.05$$

Coeficiente que depende do aditivo acrescentado ao lubrificante

μ_{bl} = coeficiente dependendo do aditivo acrescentado ao lubrificante, geralmente $\approx 0,15$

$$\mu_{bl} := 0.15$$

Coeficiente de atrito deslizante

$$\mu_{sl} := \phi_{bl} \cdot \mu_{bl} + (1 - \phi_{bl}) \cdot \mu_{EHL} = 0.05$$

Momento de atrito deslizante

$$M_{sl} := G_{sl} \cdot \mu_{sl} = 21.7$$

$$M_{sl} := M_{sl} \cdot N \cdot mm = 22 \text{ N} \cdot mm$$

Potência perdida por atrito deslizante

$$P_{sl} := M_{sl} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{min} = 4 \text{ W}$$

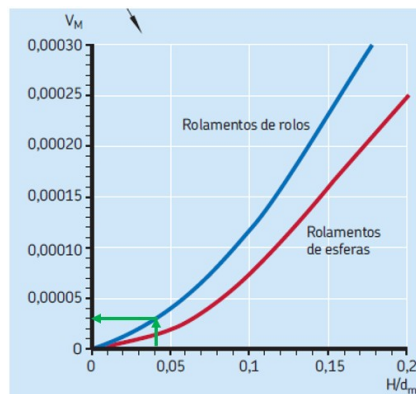
MOMENTO DE ARRASTO

Nível de óleo

O exemplo adota $H := 2.5$ $x := \frac{H}{d_m} = 0.042$

Variável VM

O exemplo toma o valor de VM do gráfico



$$V_M := 0.00003$$

VM pela equação desenvolvida no excel

$$x = H/d_m < 0.2$$

$$V_{M1} := -20.42483661 \cdot x^6 + 8.76944908 \cdot x^5 - 1.61951589 \cdot x^4$$

$$V_{M2} := 0.18243803 \cdot x^3 - 0.00542042 \cdot x^2 + 0.00086623 \cdot x$$

$$V_{M_{excel}} := V_{M1} + V_{M2} - 0.00000450 = 0.000003$$

Fator t

$$t := 2 \cdot \arccos\left(\frac{0.6 \cdot d_m - H}{0.6 \cdot d_m}\right) = 0.750 \quad 0 \leq t \leq \pi$$

Fator ft

$$f_t = \begin{cases} \sin(0.5 t), & \text{quando } 0 \leq t \leq \pi \\ 1, & \text{quando } \pi < t < 2\pi \end{cases} \quad f_t := \sin(0.5 \cdot t) = 0.366$$

Fator fA

$$f_A := 0.05 \cdot \frac{K_Z \cdot (D + d)}{D - d} = 0.825$$

Constante relacionada ao corpo rolante

$$K_{roll} := \frac{K_L \cdot K_Z \cdot (d + D)}{D - d} \cdot 10^{-12} = 1.320 \cdot 10^{-11}$$

Fator RS

$$R_S := 0.36 \cdot d_m^2 \cdot (t - \sin(t)) \cdot f_A = 73.02$$

Momento de arrasto

$$M_{arrasto} := 4 \cdot V_M \cdot K_{roll} \cdot d_m^5 \cdot n^2 + 1.093 \cdot 10^{-7} \cdot n^2 \cdot d_m^3 \cdot \left(\frac{n \cdot d_m^2 \cdot f_t}{v}\right)^{-1.379} \cdot R_S$$

$$M_{arrasto} = 6.9$$

$$M_{arrasto} := M_{arrasto} \cdot N \cdot mm = 6.9 \, N \cdot mm$$

Potência perdida por arrasto

$$P_{arrasto} := M_{arrasto} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{min} = 1.3 \, W$$

Torque total perdido

$$M_T := M_{arrasto} + M_{rr} + M_{sl} = 269 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Potência perdida total

$$P_{pt} := P_{rr} + P_{sl} + P_{arrasto} = 50 \text{ W}$$

$$P_{rr} = 44.8 \text{ W}$$

$$M_{rr} = 240.5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$P_{sl} = 4.0 \text{ W}$$

$$M_{sl} = 21.7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$P_{arrasto} = 1.3 \text{ W}$$

$$M_{arrasto} = 6.9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Frictional moment		Friction sources				Power loss
Total	At start 20-30°C and zero speed	Rolling	Sliding	Seals	Drag loss	
M	M _{start}	M _{rr}	M _{sl}	M _{seal}	M _{drag}	P _{loss}
Nmm						W
266	65.1	240	21.7	0	4.05	50