

3. Frecarea în rulmenți

Frecarea în lagărele cu rostogolire este considerabil mai mică decât frecarea în lagărele cu alunecare. În general, puterea pierdută prin frecare în rulment, în diferite noduri și mecanisme, este neglijabilă. În cazul în care se impune un moment de frecare pentru unele utilizări, se cere cunoașterea coeficientului de frecare al rulmentului. Acesta depinde de o mulțime de factori, cum ar fi: construcția rulmentului, turația, sarcina și direcția acesteia, calitatea finisării suprafețelor active, temperatura de lucru, lubrifian- tul, materialul rulmentului etc.

Momentul de frecare în rulment se poate calcula, cu suficientă precizie, cu următoarea relație:

$$M = 0,5\mu P d \text{ - pentru rulmenții radiali,}$$

$$M = 0,5\mu P D_m \text{ - pentru rulmenții axiali,}$$

unde:

- M - Momentul de frecare, N mm,
- μ - Coeficientul de frecare, tabelul 3.1,
- P - Sarcina pe rulment, N,
- d - Diametrul interior al rulmentului, mm,
- D_m - Diametrul mediu al rulmenților axiali $0,5(d + D)$, mm.

Valorile coeficientului de frecare μ , pentru diferite tipuri de rulmenți, sunt date în tabelul 3.1

Pentru determinarea mai precisă a momentului de frecare în rulment, se poate utiliza formula:

$$M = M_0 + M_1,$$

unde:

- M_0 - Moment de frecare independent de sarcină, care depinde de frecările hidrodinamice,
- M_1 - Moment de rezistență, datorită încărcării rulmentului și a mărimii suprafețelor elastice de contact.

M_0 se calculează cu relațiile:

$$M_0 = f_0(\nu_1 n)^{2/3} D_m^3 10^{-7}, \text{ pentru } n > 2000,$$

$$M_0 = 16 f_0 D_m^3 10^{-6}, \text{ pentru } n \leq 2000,$$

unde:

- M_0 - Moment de frecare independent de sarcină, (N mm),
- f_0 - Factor ce depinde de tipul rulmentului și lubrifian- tului, tabelul 3.1,
- n - Turația rulmentului, rot./min,

- ν_1 - Vâscozitatea cinematică a lubrifian- tului la temperatura de lucru, mm^2/s . Pentru un- soare se va lua vâscozitatea uleiului de bază.

- D_m - Diametrul mediu al rulmentului.

M_1 se calculează cu relația :

$$M_1 = f_1 P_1 D_m,$$

unde:

- M_1 - Moment rezistent, datorită sarcinii de încărcare, N mm,
- f_1 - Factor ce depinde de tipul rulmentului și sarcină, tabelul 3.1,
- P_1 - Forța combinată de încărcare a rulmentului, determinată conform formulelor din tabelul 3.1, N,
- D_m - Diametrul mediu al rulmentului $= 0,5(d + D)$, mm.

Momentul de frecare pentru rulmenții cu role cilindrice care preiau și sarcini axiale

În cazul acestor rulmenți se mai include un moment de frecare suplimentar, care depinde de mărimea sarcinii axiale F_a , astfel momentul total va fi:

$$M = M_0 + M_1 + M_2$$

Momentul M_2 poate fi calculat cu relația :

$$M_2 = f_2 F_a D_m,$$

unde:

- M_2 - Momentul de frecare axial, Nmm,
- f_2 - Factor ce depinde de construcția rulmenților și ungere, tabelul 3.2,
- F_a - Forța axială, N,
- D_m - Diametrul mediu al rulmentului $= 0,5(d + D)$, mm.

Valorile coeficientului de frecare μ și ale factorilor f_0 și f_1 pentru diferite tipuri de rulmenți

Tabelul 3.1

Tipul rulmentului	Coeficientul de frecare μ	Factorul f_0 Sistemul de ungere		Factori pentru calculul lui M_1			
		cu un- soare ¹⁾	cu cea- ță de ulei	bale de ulei	bale ulei ax vertic. jet de ulei	f_1	P_1 ⁵⁾
N							
Rulmenți radiali cu bile	pe un rând	0,0010 - 0,0020	0,75-2 ²⁾	1	2	4	$(8-9)10^{-4} (P_{Or}/C_{Or})^{0,55}$ ²⁾ $3F_a - 0,1 F_r$
	pe două rânduri		3	2	4	8	
Rulmenți radiali oscilanți cu bile		0,0010 - 0,0020	1,5-2 ²⁾	0,7-1 ²⁾	1,5-2 ²⁾	3-4 ²⁾	$3 \cdot 10^{-4} (P_{Or}/C_{Or})^{0,4}$ $1,4 Y_2 F_a - 0,1 F_r$
Rulmenți radial-axiali cu bile	pe un rând	0,0012 - 0,0025	2	1,7	3,3	8,8	$10^{-3} (P_{Or}/C_{Or})^{0,33}$ $F_a - 0,1 F_r$
	pe două rânduri		4	3,4	6,5	13	
Rulmenți cu contact în patru puncte		0,0025 - 0,0045	6	2	6	9	$10^{-3} (P_{Or}/C_{Or})^{0,33}$ $1,5 F_a + 3,6 F_r$
Rulmenți cu role cilindrice	cu colivie	0,0010 - 0,0025	0,8-1	1,5-2,8	2,2-4	2,2-4 ²⁾³⁾	$(2-4) \times 10^{-4}$ F_r ⁶⁾
	fără colivie	0,0020 - 0,0040	5-10 ⁴⁾	-	5-10	-	
Rulmenți radiali cu ace	cu colivie	0,0020 - 0,0035	12	6	12	24	10^{-3} F_r
	fără colivie	0,0035 - 0,0055	24	12	24	-	
Rulmenți radiali osci- lanți cu role butoi		0,0020 - 0,0025	3,5-7	1,75-3,5	3,5-7	7 - 14	$(1,5-8) \times 10^{-4}$ $1,35 Y_2 F_a, F_r/F_a < Y_2$ $F_r[1+0,3(Y_2 F_a/F_r)^3],$ $F_r/F_a \geq Y_2$
Rulmenți radial-axiali cu role conice	pe un rând	0,0017 - 0,0020	6	3	6	8-10 ²⁾³⁾	4×10^{-4} $2Y F_a$
	perechi	0,0030 - 0,0040	12	6	12	16-20 ²⁾³⁾	
Rulmenți axiali	cu bile	0,0010 - 0,0025	5,5	0,8	1,5	3	$8 \times 10^{-4} (F_a/C_{Or})^{0,33}$ F_a
	cu role	0,0050 - 0,0070	9	-	3,5	7	
Rulmenți axiali cu ace		0,0050 - 0,0075	14	-	5	11	$1,5 \times 10^{-3}$ F_a
Rulmenți axiali oscilanți cu role butoi		0,0020 - 0,0030	-	-	2,5-5	5-10	$(2,3-5) \times 10^{-4}$ $F_a, F_{rmax} < 0,55 F_a$

1) Valorile sînt valabile pentru condiții normale de funcționare. În cazul reungerii rulmenților, sînt valabile după 2...4 ore de funcționare.

2) Valorile mici se aplică la seriile ușoare ale rulmenților, iar cele mari la seriile grele.

3) Valorile sînt pentru ungere cu jet de ulei. Pentru ungere în baie de ulei și ax vertical trebuie dublate.

4) Valorile pentru turații joase, pînă la 20% din turațiile indicate în catalog. Pentru turații mari se vor dubla.

5) Dacă $P_1 < F_r$ se va lua $P_1 = F_r$.

6) Pentru rulmenții încălcați și axial se va ține cont de precizările făcute pentru f_2 , tabelul 3.2.

Simboluri:

P_{Or} = Sacina statică echivalentă,

C_{Or} = Sarcina statică de bază,

F_r = Componenta radială a sarcinii dinamice,

F_a = Componenta axială a sarcinii dinamice,

Y, Y_2 = Factorii sarcinii axiale.

Valorile factorului f_2

Tabelul 3.2

Tipul rulmentului	f_2	
	Felul lubrifiantului ulei	unsoare
Rulmenți cu colivie:		
	- construcție E	0,002
	- alte tipuri	0,006
Rulmenți fără colivie:		
	- pe un rând	0,003
	- pe două rânduri	0,009

Valorile pentru factorul f_2 din tabelul 3.2 sunt valabile doar în cazul în care raportul F_a/F_r nu depășește valoarea:

- 0,5 – pentru rulmenții cu role cilindrice pe un rând în construcție E,

- 0,4 – pentru rulmenții de construcție normală, cu colivie și fără colivie,

- 0,25 – pentru rulmenții cu role cilindrice pe două rânduri, fără colivie.

Momentul de frecare pentru rulmenții etanșați

În cazul rulmenților etanșați, șaibele de etanșare produc frecări suplimentare care, în majoritatea cazurilor, depășesc frecarea în rulment.

Momentul de frecare în cazul etanșării pe ambele părți, M_3 , se poate calcula cu următoarea relație:

$$M_3 = \frac{d + D}{f_3} + f_4$$

unde:

M_3 - Momentul de frecare datorat etanșării, N mm,

d - Diametrul interior al rulmentului, mm,

D - Diametrul exterior al rulmentului, mm,

f_3, f_4 - Factori din tabelul 3.3.

Valorile factorilor f_3 și f_4

Tabelul 3.3

Tip rulment	Factorii	
	f_3	f_4
Rulmenți radiali cu bile 2RSR, 2RS	20	10
Rulmenți radiali oscilanți cu bile 2RS	20	15
Rulmenți radiali cu bile pe un rând cu inel interior lat (UC, UE, US etc.)	20	20
Rulmenți pentru pompa de apă	20	25
Rulmenți cu role cilindrice fără colivie, etanșați	10	50

Momentul de pornire

Momentul de pornire a rulmentului este definit ca rezistența pe care o opune acesta pentru ca să înceapă să se rotească din poziția staționară.

În general, momentul de pornire este aproximativ de două ori mai mare decât momentul de frecare sub sarcină, M_1 . Pentru rulmenții cu role conice, cu unghiul de contact mare, din seriile 313, 322B și 323B, momentul de pornire poate să fie până la de patru ori mai mare, iar pentru rulmenții axiali cu role butoi, până la de opt ori.