

Избор на сглобки на търкалящи лагери

Търкалящи лагери са стандартизирани сглобени единици по комплекс от параметри. По присъединителните размери d (диаметър на отвора на вътрешната лагерна гривна) и D (диаметър на външната лагерна гривна), лагерите се сглобяват с валове и отвори в системи на нагаждане основен отвор (по d) и основен вал (по D). Различните типове сглобки се образуват при комбиниране на допускови зони на валове и отвори с допусковите зони по присъединителните размери на лагера. На фиг. 5.1 са посочени разположеното на допусковите зони на еднореден радиален сачмен лагер:

hB – допускова зона на средния измерен диаметър на външната лагерна гривна;

KB – допускова зона на средния измерен диаметър на вътрешната лагерна гривна;

$hB' = T_{De}$ – допускова зона на измерения външен диаметър на лагерната гривна;

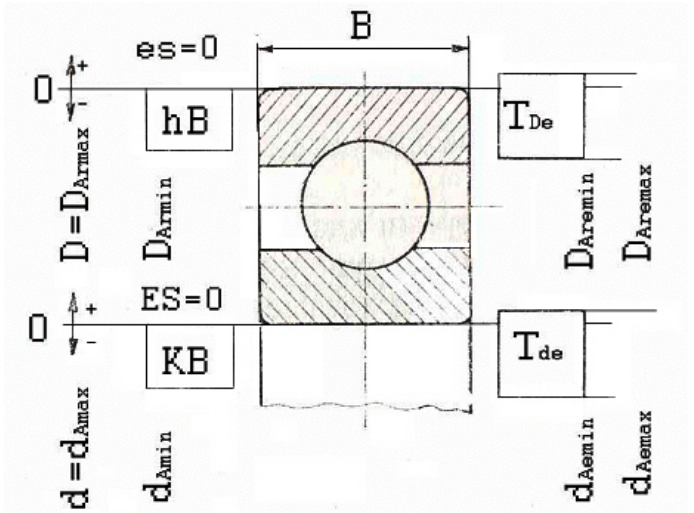
$KB' = T_{de}$ – допускова зона на измерения вътрешен диаметър на лагерната гривна.

По ширината “ B ” на лагерите допусковата зона е разположена аналогично на зоните по присъединителните диаметри, тоест B_{max} – максималния граничен размер е равен на номиналния, а минималния $B_{min} = B - U_p$, където U_p е допуск по ширината на лагера.

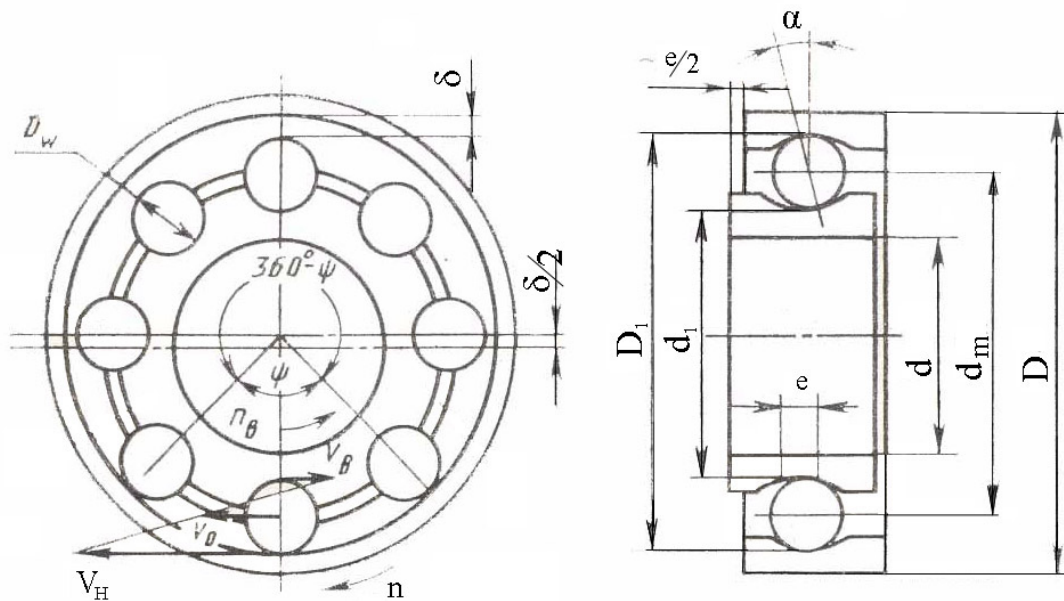
Стандарт БДС 4842-79 регламентира изискванията към елементите на сглобената единица търкалящ лагер, а именно (фиг.5.2):

R_i – допуск на радиалното биене на пътечката на търкаляне на вътрешната гривна спрямо действителната ос на диаметъра на отвора d ;

R_a – допуск на радиалното биене на пътечката на търкаляне на външната гривна спрямо



Фиг.5.1



Фиг.5.2

действителната ос на външния пръстен;

S_i – допуск на челното биене на диаметъра на вътрешната гривна спрямо действителната ос на d ;

S_a – допуск на челното биене на диаметъра на външната гривна спрямо действителната ос на външната цилиндрична повърхнина D ;

A_i – допуск на челно биене на пътечката на търкаляне на вътрешната лагерна гривна спрямо базово чело;

A_a – допуск на челно биене на пътечката на търкаляне на външната лагерна гривна спрямо базово чело;

TD_w – допуск на диаметъра на търкалящи тела;

$e = A_i + A_a$ – аксиална хлабина на лагера;

δ – радиална хлабина на лагера;

K_{ea} , K_{ia} – радиално биене на вътрешната и външната лагерни гривни в сглобения лагер;

V_{dp} – колебание на диаметъра на отвора;

V_{dmp} – колебание на средния диаметър на отвора измерен в различни сечения;

V_{Bs} , V_{Cs} – колебание на ширината на вътрешната и външната лагерни гривни;

Δ_{dmp} , Δ_{Dmp} – отклонения на средния диаметър на отвора (d) и средния диаметър на вала (D) от номиналните им стойности;

Δ_{Bs} , Δ_{Cs} – отклонения на единичната ширина на вътрешната и външната лагерни гривни от номиналните им размери;

D_w – диаметър на търкалящите се тела;

z – брой на търкалящите се тела в лагера.

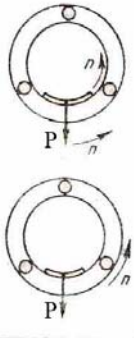
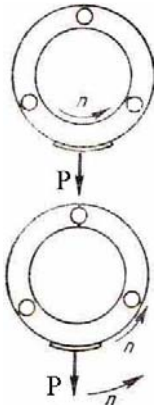
Числените стойности на тези показатели се определят от номиналните размери и класа на точност на лагерите и се дават в табличен вид от производителите на лагери ([допуски на лагери на фирма skf](#)).

Изборът на сглобки по присъединителните размери зависи от:

1. Условия на натоварване на лагера (характер и големина на радиалния товар).
2. Температурен режим.
3. Изисквания към точност на движението и коравина в опората.
4. Ремонтпригодност на сглобената единица.

Според характера на натоварването се прилага метод на аналогията с препоръчителни допускови зони за валове и отвори (табл. 5.1), образуващи различни типове сглобки по присъединителните повърхнини на лагера (фиг.5.1).

Таблица 5.1 : Препоръчителни допускови зони на валове и отвори, образуващи сглобки по присъединителните размери на търкалящи лагери, според характера на натоварването.

Характер на натоварването	Схема на натоварването	Вид на сглобка		Препоръчителни допускови зони	
		Вътрешен пръстен	Външен пръстен	Вътрешен пръстен	Външен пръстен
Радиалния товар Р е постоянен по големина, направление и приложна точка относно вътрешния пръстен и се върти относно външния		Пръстена е натоварен местно . Предписват се сглобки с хлабини	Пръстена е натоварен обиколно . Предписват се пресови сглобки	f7 g7 g6 h6 js6 h5 js5	K7 K6 M7 M6 N6
Радиалния товар Р е постоянен по големина, направление и приложна точка относно външния пръстен и се върти относно вътрешния		Пръстена е натоварен обиколно . Предписват се пресови сглобки	Пръстена е натоварен местно . Предписват се сглобки с хлабини	n6 m6 k6 js6 n5 m5 k5 js5	G7 G6 H7 H6 J7 J6

При наличието на колебателно натоварване на лагерните пръстени (фиг.5.3) с променливи по големина и посока сили (F_0 - центробежна сила от колебателното движение; F_{01} – радиална сила от външното натоварване) се предписват пресови сглобки и по двата лагерни пръстена.

При известна големина на радиалния товар F_R се използват два аналитични метода за избор на сглобки по присъединителните размери на търкалящи лагери:

1. **Чрез интензитета на натоварването:**

$$P_R = \frac{F_R}{B - 2r} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot 10^{-3}, \frac{kN}{m} \quad (5.1)$$

където:

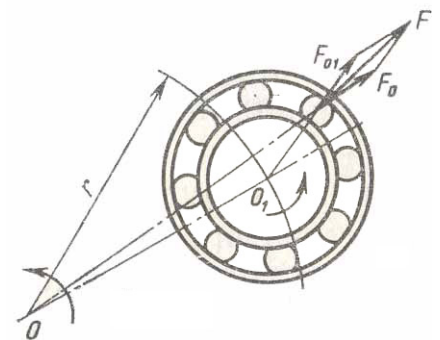
F_R – големина на радиалния товар в опората, N

B – ширина на лагера, m

r – размер на фаската на външната лагерна гривна, m

k_1 – динамичен коефициент на сглобката, $k_1 = 1$ при кратковременно претоварване до 150% на лагера, $k_1 = 1,8$ при кратковременно претоварване на лагера до 300%

k_2 – коефициент, отчитащ намаляването на стегнатостта при сглобяването на тънкостенни валове и корпусни детайли по присъединителните повърхнини на лагера (табл.5.2).



Фиг.5.3

Таблица 5.2 : Стойности на коефициента k_2					
$\frac{d_{отв}}{d}$ или $\frac{D}{D_{кут}}$		Стойности на коефициента k_2 за			
		вала			кутията
Над	До	$\frac{D}{d} \leq 1,5$	$\frac{D}{d} > (1,5 \div 2,0)$	$\frac{D}{d} > (2 \div 3)$	За всички лагери
-	0,4	1	1	1	1
0,4	0,7	1,2	1,4	1,6	1
0,7	0,8	1,5	1,7	2	1,4
0,8	-	2	2,3	3	1,8

k_3 – коефициент, отчитащ неравномерността на радиалното натоварване на лагера при действието и на аксиални сили (табл. 5.4).

Таблица 5.3 : Стойности на коефициент k_3 за двуредни и пакети лагери					
$\frac{F_a \cdot \cot g\alpha}{F_R}$	<0,2	0,2 - 0,4	0,4 – 0,6	0,6 - 1	>1
k_3	0,5	0,6	0,7	0,8	1

*Забележка: $k_3 = 1$ за едноредни търкалящи лагери

След изчисляване на P_R се предписват подходящи допускови зони за валове и отвори, образуващи сглобки по външни и вътрешни пръстени на търкалящи лагери от табл.5.5.

Таблица 5.4 : Препоръчителни допускови зони на валове и отвори, образуващи съединения по присъединителните размери на лагера в зависимост от интензитета на натоварването.					
Вътрешен диаметър на лагера d , mm		Допустими стойности на P_R , kN/m			
		При сглобяване с вала			
Над	До	js5; js6	k5; k6	m5; m6	n5; n6
18	80	До 300	300-1400	1400-1600	1600-3000
80	180	600	600-2000	2000-2500	2500-4000
180	360	700	700-3000	3000-3500	3500-6000
360	630	900	900-3500	3500-4500	4500-8000
Външен диаметър на лагера D , mm		При сглобяване в кутията			
		K6; K7	M6; M7	N6; N7	P7
50	180	До 800	800-1000	1000-1300	1300-2500
180	360		1000-1500	1500-2000	2000-3300
360	630		1200-2000	2000-2600	2600-4000
630	1600		1600-2500	2500-3500	3500-5500

2. Чрез големината на радиалния товар F_R .

Когато вътрешния пръстен е натоварен обиколно или колебателно и определянето на коефициенти k_1 и k_2 е затруднено, сглобката между вала и вътрешния пръстен на лагера може да бъде определена чрез пресмятане на минималната и максимална стегнатост от зависимостите:

$$[S \min]_f = \frac{1,234 \cdot F_R \cdot k}{B - 2r} \cdot 10^{-2}, \mu m \quad (5.2)$$

$$[S \max]_f = \frac{11,4 \cdot [\sigma_{оп}] \cdot d \cdot k}{2k - 2} \cdot 10^{-9}, \mu m \quad (5.3)$$

където:

k – лагерно число, зависещо от серията на лагера (табл.5.6).

Серия на лагера	Лека	Средна	Тежка
k	2,78	2,27	1,96

B – ширина на лагера, mm

r – фаска на външната лагерна гривна, mm

F_R – големина на радиалния товар, N

$[\sigma_{оп}] = 4 \cdot 10^8$ Pa – допустимо напрежение на опън за лагерна стомана ШХ15.

Сглобката е подбрана правилно, когато са изпълнени едновременно неравенствата

$$[S \min]_f \leq |S \min| ; \quad [S \max]_f \geq |S \max| \quad (5.4)$$

Радиалната хлабина в лагерите (производствена, монтажна или работна) е важен функционален и диагностичен параметър за оценка състоянието на лагерния възел (фиг.5.4).

Върху промяната на хлабината в лагера влияние оказват множество фактори, като силовите и температурните деформации са с най-големи стойности. Осигуряването на необходимата коравина и отчитането на тези фактори са в основата на избора на вида на лагера и класа на точност и пряко влияят при оразмеряване на корпуса и вала на лагерния възел.

При образуване на пресови съединения по присъединителните диаметри на лагера, повърхностните налягания p в тях могат да се изчислят от уравнението:

$$p_1 = \frac{\bar{S}_1}{d \cdot 10^3 \cdot \left[\frac{1}{E_n} \cdot \left(\frac{1+C_1^2}{1-C_1^2} \right) + \mu_n + \frac{1}{E_e} \cdot \left(\frac{1+C_2^2}{1-C_2^2} \right) - \mu_e \right]}, MPa \quad (5.5)$$

p_1 – повърхностно налягане в съединението вал-лагер, МПа

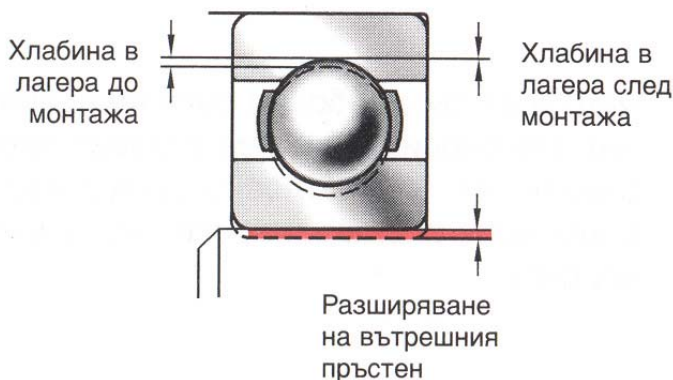
\bar{S} – средна стегнатост в съединението вал-лагер, mm

d – номинален диаметър на отвора на вътрешния пръстен на лагера, mm

E_n – модулна еластичност за материала на лагерния пръстен, МПа

E_e – модулна еластичност за материала на вала, МПа

μ_n, μ_e – коефициенти на Поасон за материалите на лагерния пръстен и вала



Фиг.5.4

$C_1 = \frac{d}{d_a}$ - коефициент, отчитащ коравината на вътрешната лагерна гривна

$d_a = \frac{D+3d}{4}$, mm – приведен диаметър на пътеката на търкаляне на вътрешната лагерна гривна

$C_2 = \frac{d_i}{d}$ - коефициент, отчитащ коравината на вала

d_i – диаметър на отвора на вала, mm

Деформацията на вътрешната лагерна гривна ще увеличи диаметъра по пътеката на търкаляне, респективно ще намали монтажната радиална хлабина в лагера. Числената стойност на тази промяна може да се пресметне от зависимостта:

$$\Delta\delta_1 = \frac{2000 \cdot d \cdot C_1 \cdot p_1}{E_l \cdot (1 - C_1^2)}, \mu\text{m} \quad (5.6)$$

Ако и по външната лагерна гривна е образувано неподвижно съединение с пресова сглобка, повърхностното налягане в съединението може да се пресметне от формулата:

$$p_2 = \frac{\overline{S_2}}{D \cdot 10^3 \cdot \left[\frac{1}{E_k} \cdot \left(\frac{1 + C_4^2}{1 - C_4^2} \right) + \mu_k + \frac{1}{E_l} \cdot \left(\frac{1 + C_3^2}{1 - C_3^2} \right) - \mu_l \right]}, \text{MPa} \quad (5.7)$$

а деформацията по пътеката на търкаляне

$$\Delta\delta_2 = \frac{2000 \cdot D \cdot C_3 \cdot p_2}{E_l \cdot (1 - C_3^2)}, \mu\text{m} \quad (5.8)$$

D – номинален диаметър на външната лагерна гривна, mm

$C_3 = \frac{D_i}{d}$ - коефициент на коравина на външната лагерна гривна

$D_i = \frac{3D+d}{4}$ - приведен диаметър на пътеката на търкаляне на външната лагерна гривна

$C_4 = \frac{D}{D_a}$ - коефициент на коравина на корпуса

D_a – диаметър на корпуса, mm

E_k – модулна еластичност за материала на корпуса, МРа

μ_k – коефициент на Поасон за материала на корпуса

Радиалната хлабина в лагера зависи и от температурния режим на експлоатацията му (фиг.5.5). Разликата между температурата на вътрешния и външния пръстен води до намаляване на радиалната хлабина. При стационарен режим и изработени от стомана вал и корпусен детайл, числената стойност на промяната на хлабината може да се изчисли от израза:

$$\Delta\delta_t = 0,012 \frac{d+D}{2} \cdot \Delta t, \mu\text{m} \quad (5.9)$$

$\Delta t = t_d - t_D$, °С – разлика между температурата на вътрешния и външния лагерни пръстени.

Ако корпусният детайл е изработен от материал с различен коефициент на температурно разширение от този на лагерния пръстен при стационарен режим на експлоатация ще се промени стегнатостта по външния пръстен.

Промяната може да се изчисли от израза

$$\Delta D_t = 10^{-3} \cdot D \cdot (\alpha_A - \alpha_{Ar}) \cdot (t - t_m), \mu\text{m} \quad (5.10),$$

където:

t – температура на външната лагерна гривна при стационарен режим, °C

t_m – температура, при която е монтиран лагерния възел, °C (приема се най-често $t_m = 20^\circ\text{C}$)

α_A, α_{Ar} – коефициенти на температурно разширение за материалите на корпусния детайл и лагерния пръстен

При $t > 20^\circ\text{C}$ стегнатостта в съединението намаля и обратно, при $t < 20^\circ\text{C}$ се увеличава.

Влиянието на точността на формата и грапавост на повърхнините на вала и отвора, с които се сглобява лагера, може да бъде отчетено с обобщен параметър G . Неговата числена стойност зависи от номиналните размери и окончателната технологична операция при обработката им (табл.5.6).

Номинален размер на d или D , mm	Шлифоване	Разстъргване
<50	4	6
50 – 100	6	8
>100	8	10

Стегнатостта в съединението се коригира чрез параметъра G като:

$$\bar{S}_f = \bar{S} - G, \mu\text{m} \quad (5.11)$$

където:

\bar{S}_f - функционална стойност на средната стегнатост

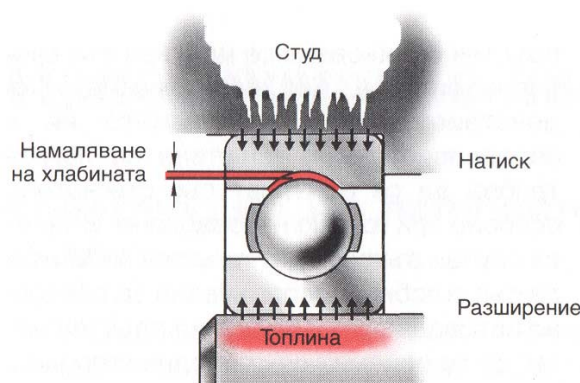
\bar{S} - средна стегнатост в пресовото съединение

За всяко от пресовите съединения допълнително \bar{S}_f се коригира с коефициенти $\Delta\delta_i$ и $\Delta\delta_t$, което позволява да бъде отчетена промяната на радиалната хлабина в лагерите.

Изборът на клас на точност на лагера е оптимално да бъде направен по числената стойност на работната радиална хлабина. За различните типове лагери и класове на точност, числените стойности на радиалната хлабина могат да бъдат определени от каталозите на водещи в производството на лагери фирми SKF (www.skf.bg) и FAG (www.fag.com).

Работната хлабина в лагера трябва да бъде по-голяма или равна на производствената за съответния клас на точност, коригирана с $\Delta\delta_1 \Delta\delta_2 \Delta D_t$.

За радиални едноредни сачмени лагери, радиалната хлабина за различните класове на точност може да бъде определена от таблица (5.7).



Нагряването на вала и охлаждането на корпуса влияят върху стегнатостта на пръстените и вътрешната хлабина в лагера:

Фиг.5.5

Таблица 5.7 : Радиална хлабина на едноредни радиални сачмени лагери

Диаметър на отвора d		Радиална вътрешна хлабина									
		C2		Нормална		C3		C4		C5	
над	до	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		μm									
2.5	10	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10	18	0	9	3	18	11	25	18	33	25	45
18	24	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
24	30	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
30	40	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
40	50	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
50	65	1	15	8	28	23	43	38	61	55	90
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105
80	100	1	18	12	36	30	58	53	84	75	120
100	120	2	20	15	41	36	66	61	97	90	140
120	140	2	23	18	48	41	81	71	114	105	160
140	160	2	23	18	53	46	91	81	130	120	180
160	180	2	25	20	61	53	102	91	147	135	200
180	200	2	30	25	71	63	117	107	163	150	230
200	225	4	32	28	82	73	132	120	187	175	255
225	250	4	36	31	92	87	152	140	217	205	290
250	280	4	39	36	97	97	162	152	237	255	320
280	315	8	45	42	110	110	180	175	260	260	360
315	355	8	50	50	120	120	200	200	290	290	405
355	400	8	60	60	140	140	230	230	330	330	460
400	450	10	70	70	160	160	260	260	370	370	520
450	500	10	80	80	180	180	290	290	410	410	570
500	560	20	90	90	200	200	320	320	460	460	630
560	630	20	100	100	220	220	350	350	510	510	700
630	710	30	120	120	250	250	390	390	560	560	780
710	800	30	130	130	280	280	440	440	620	620	860
800	900	30	150	150	310	310	490	490	690	690	960
900	1000	40	160	160	340	340	540	540	760	760	1040
1000	1120	40	170	170	370	370	590	590	840	840	1120