

8. Folga Interna e Pré-carga dos Rolamentos

8.1 Folga interna dos rolamentos

A folga interna de um rolamento (folga inicial) é a folga que um rolamento tem antes de ser instalado sobre o seu eixo e / ou alojamento.

Como está indicado na **fig. 8.1**, quando o anel interno ou anel externo estão fixos e o outro anel se move livremente pode haver deslocamento na direção radial ou axial. Este deslocamento total (radial ou axial) se denomina folga interna e, dependendo da sua direção, é denominado como folga interna radial ou folga interna axial.

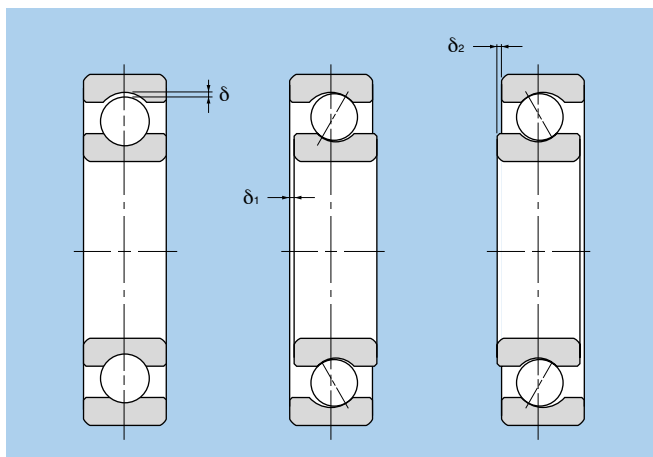
Para se medir a folga interna de um rolamento, deve-se aplicar uma carga leve sobre a pista de tal maneira que a folga interna possa ser medida de forma precisa.

Entretanto, neste instante, uma pequena parcela de deformação elástica do rolamento ocorre com a aplicação desta carga de medição e o valor da medição da folga (folga medida) é ligeiramente maior que a folga interna efetiva. A discrepância entre a folga efetiva do rolamento e a folga aumentada, devido à deformação elástica, deve ser compensada. Estes valores de compensação são fornecidos pela **tabela 8.1**. Para rolamentos de rolos, a quantidade da deformação elástica pode ser desconsiderada.

Os valores da folga interna para cada classe de rolamento estão indicados nas **tabelas 8.3 - 8.11**.

8.2 Seleção da folga interna

A folga interna de um rolamento sob condições de operação (folga efetiva) é usualmente inferior à folga inicial do mesmo rolamento antes da sua montagem e funcionamento. Isto se deve a vários fatores, incluindo o ajuste do rolamento, a diferença de temperatura entre o anel interno e o anel externo (em funcionamento) etc. Em função de que a folga de operação de um rolamento afeta sua vida, a geração de calor, vibrações, ruídos, etc., deve-se selecionar cuidadosamente a folga interna de funcionamento mais apropriada.



Folga radial = δ

Folga axial = $\delta_1 + \delta_2$

Fig. 8.1 Folga interna

8.2.1 Critérios para seleção de folga interna do rolamento

A vida do rolamento teoricamente é máxima quando a folga operacional é ligeiramente negativa no momento de equilíbrio da operação. Na realidade é difícil manter constantemente esta condição ótima de operação. Se a folga negativa aumenta pelas condições flutuantes de operação haverá aquecimento e conseqüentemente a diminuição na vida do rolamento. Em condições comuns deve-se selecionar uma folga interna onde a folga em operação seja ligeiramente maior do que zero.

Para condições simples de operação utilizar ajustagens para cargas comuns. Se a rotação e a temperatura de operação são comuns (normais) selecionar a folga normal que é capaz de produzir a folga operacional adequada. A **tabela 8.2** mostra exemplos da aplicação onde as folgas internas são diferentes da folga normal (CN)

8.2.2 Folga interna efetiva

A diferença entre a folga interna inicial e a folga interna efetiva de operação, devido a quantidade de redução da folga causada por ajustes por interferência ou da variação da folga devido a diferença de temperatura entre o anel interno e o anel externo, pode ser determinada pela seguinte equação:

$$\delta_{eff} = \delta_o - (\delta_f + \delta_t) \dots\dots\dots (8.1)$$

onde,

δ_{eff} : Folga interna efetiva, mm

δ_o : Folga interna do rolamento, mm

Table 8.1 Ajustagem da folga interna radial baseado na medição da carga

Unidades em μm

Diâmetro nominal do furo d mm	Carga de medição N {kgf}	Ajustagem da folga radial				
		C2	CN	C3	C4	C5
10 ¹	18	24.5 {2.5}	3~4	4	4	4
18	50	49 {5}	4~5	5	6	6
50	200	147 {15}	6~8	8	9	9

¹ Este diâmetro está incluso no grupo

Table 8.2 Exemplos de aplicação onde são usadas folgas internas diferentes da folga normal

Condições de operação	Aplicação	Seleção folga
Com cargas pesadas ou de choque, a folga é grande.	Eixos de veículos ferroviários	C3
	Peneiras vibratórias	C3, C4
Com cargas com direção indeterminada, os anéis internos e externos são ajustados com interferência.	Motores de tração de veículos ferroviários	C4
	Tratores e reguladores de velocidade máxima	C4
O eixo ou o anel interno recebem calor.	Máquinas de papel e secadores	C3, C4
	Mesas de laminadores	C3
Para reduzir ruídos e vibrações quando em giro.	Micromotores	C2, CM
Para reduzir batimento do eixo, a folga é ajustada.	Fusos principais de tornos (rolamentos de rolos cilíndricos de dupla carreira)	C9NA, CONA
Ajuste livre para ambos anéis interno e externo	Laminação	C2

- δ_f : Quantidade de redução da folga em função da interferência, mm
- δ_t : Quantidade de redução da folga em função do diferencial de temperatura do anel interno em relação ao externo, mm

(1) Redução da folga interna em função da interferência

Quando se instalam rolamentos com ajustes por interferência em eixos ou alojamentos, o anel interno se expande e o anel externo se contrai, **reduzindo a folga interna do rolamento**. A quantidade de expansão ou contração varia em função da forma do rolamento, da forma do eixo ou alojamento, das dimensões das respectivas partes e, o tipo de material usado. **O diferencial pode variar desde aproximadamente 70% a 90% da interferência efetiva.**

$$\delta_f = (0.70 \sim 0.90) \Delta_{def} \dots\dots\dots (8.2)$$

onde,

- δ_f : Quantidade de redução da folga devido à interferência, mm
- Δ_{def} : Interferência efetiva, mm

(2) Redução da folga interna em função da diferença de temperatura entre o anel interno e o externo

Durante o funcionamento, normalmente o anel externo estará 5 a 10 °C mais frio do que o anel interno ou do

componente giratório. Entretanto, se o efeito de resfriamento do alojamento é grande, ou o eixo está conectado a uma fonte de calor, ou uma substância aquecida é transportada através de um eixo oco; **A diferença de temperatura entre os dois anéis, pode ser ainda maior. A quantidade da folga interna é reduzida pela expansão diferencial dos dois anéis.**

$$\delta_t = \alpha \cdot \Delta T \cdot D_o \dots\dots\dots (8.3)$$

onde,

- δ_t : Quantidade de redução devido a diferença de temperatura, mm
- α : Coeficiente de expansão linear do aço do rolamento $12.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
- ΔT : Diferencial de temperatura do anel interno / externo, °C
- D_o : Diâmetro da pista do anel externo, mm

Os valores do diâmetro da pista do anel externo, D_o , podem ser aproximados com o uso das equações (8.4) ou (8.5)

Para rolamentos de esferas e rolamentos Auto-compensadores de rolos,

$$D_o = 0.20 (d + 4.0D) \dots\dots\dots (8.4)$$

Para rolamentos de rolos (excluindo os Auto-compensadores),

$$D_o = 0.25 (d + 3.0D) \dots\dots\dots (8.5)$$

onde,

- d : Diâmetro interno do rolamento, mm
- D : Diâmetro externo do rolamento, mm

Tabela 8.3 Folga interna radial de rolamentos rígidos de esferas

Unidades em μm

Diâmetro nominal do furo d mm		C2		CN		C3		C4		C5	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
—	2.5	0	6	4	11	10	20	—	—	—	—
2.5	6	0	7	2	13	8	23	—	—	—	—
6	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	2	35	25	85	75	140	125	195	175	265
225	250	2	40	30	95	85	160	145	225	205	300
250	280	2	45	35	105	90	170	155	245	225	340
280	315	2	55	40	115	100	190	175	270	245	370
315	355	3	60	45	125	110	210	195	300	275	410
355	400	3	70	55	145	130	240	225	340	315	460
400	450	3	80	60	170	150	270	250	380	350	510
450	500	3	90	70	190	170	300	280	420	390	570
500	560	10	100	80	210	190	330	310	470	440	630
560	630	10	110	90	230	210	360	340	520	490	690

Tabela 8.4 Folga interna radial de rolamentos autocompensadores de esferas

Unidades em μm

Diâmetro nominal do furo d mm		Rolamento com furo cilíndrico									
		C2		Normal		C3		C4		C5	
acima	inclusive	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
2.5	6	1	8	5	15	10	20	15	25	21	33
6	10	2	9	6	17	12	25	19	33	27	42
10	14	2	10	6	19	13	26	21	35	30	48
14	18	3	12	8	21	15	28	23	37	32	50
18	24	4	14	10	23	17	30	25	39	34	52
24	30	5	16	11	24	19	35	29	46	40	58
30	40	6	18	13	29	23	40	34	53	46	66
40	50	6	19	14	31	25	44	37	57	50	71
50	65	7	21	16	36	30	50	45	69	62	88
65	80	8	24	18	40	35	60	54	83	76	108
80	100	9	27	22	48	42	70	64	96	89	124
100	120	10	31	25	56	50	83	75	114	105	145
120	140	10	38	30	68	60	100	90	135	125	175
140	160	15	44	35	80	70	120	110	161	150	210

Tabela 8.5 (1) Folga interna radial de rolamentos de esferas de contato angular quando montados em pares (pareados)

Unidades em μm

Diâmetro nominal do furo d mm	C1	C2	CN	C3	C4		
						min	max
— 10	3 8	6 12	8 15	15 22	22 30		
10 18	3 8	6 12	8 15	15 24	30 40		
18 30	3 10	6 12	10 20	20 32	40 55		
30 50	3 10	8 14	14 25	25 40	55 75		
50 80	3 11	11 17	17 32	32 50	75 95		
80 100	3 13	13 22	22 40	40 60	95 120		
100 120	3 15	15 30	30 50	50 75	110 140		
120 150	3 16	16 33	35 55	55 80	130 170		
150 180	3 18	18 35	35 60	60 90	150 200		
180 200	3 20	20 40	40 65	65 100	180 240		

Nota: O grupo de folga da tabela só pode ser aplicado conforme os ângulos da tabela abaixo.

Símbolo de ângulo de contato	Ângulo nominal de contato	Grupo de folga aplicável ②
C	15°	C1, C2
A ^①	30°	C2, Normal, C3
B	40°	Normal, C3, C4

① Usualmente não indicado.

② Para informação sobre folga que não sejam as aplicáveis, consulte a Engenharia NTN.

Tabela 8.5 (2) Folga interna radial de rolamentos de esferas de contato angular de dupla carreira

Unidades em μm

Diâmetro nominal do furo d mm	C2	CN	C3	C4	C5
10 apenas	0 10	5 15	10 21	16 28	24 36
10 18	1 11	6 16	12 23	19 31	28 40
18 24	1 11	6 16	13 24	21 33	31 43
24 30	1 13	6 19	13 26	21 35	31 45
30 40	2 15	7 22	15 30	24 39	35 50
40 50	2 15	9 24	17 32	28 45	40 57
50 65	0 15	7 24	16 33	28 48	41 61
65 80	1 17	11 31	21 42	34 56	50 74
80 100	3 20	13 36	25 49	40 65	58 67

Tabela 8.6 Folga interna radial de rolamentos para motores elétricos

Unidades em μm

Diâmetro nominal do furo d mm	Folga radial interna CM	Rolamentos rígidos de esferas		Rolamentos de rolos cilíndricos	
		min	max	min	max
10 (incl.)	18	4	11	—	—
18	24	5	12	—	—
24	30	5	12	15	30
30	40	9	17	15	30
40	50	9	17	20	35
50	65	12	22	25	40
65	80	12	22	30	45
80	100	18	30	35	55
100	120	18	30	35	60
120	140	24	38	40	65
140	160	24	38	50	80
160	180	—	—	60	90
180	200	—	—	65	100

Nota 1: O sufixo CM é adicionado ao número (código) do rolamento.

Exemplo: 6205ZZCM

2: Folga não intercambiável para rolamentos de rolos cilíndricos.

Unidades em μm

Rolamento com furo cônico										Diâmetro nominal do furo	
C2		Normal		C3		C4		C5		d mm	
min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	acima	inclusive
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5	6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	10
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	14
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	18
7	17	13	26	20	33	28	42	37	55	18	24
9	20	15	28	23	39	33	50	44	62	24	30
12	24	19	35	29	46	40	59	52	72	30	40
14	27	22	39	33	52	45	65	58	79	40	50
18	32	27	47	41	61	56	80	73	99	50	65
23	39	35	57	50	75	69	98	91	123	65	80
29	47	42	68	62	90	84	116	109	144	80	100
35	56	50	81	75	108	100	139	130	170	100	120
40	68	60	98	90	130	120	165	155	205	120	140
45	74	65	110	100	150	140	191	180	240	140	160

Tabela 8.7 Folga interna radial de rolamentos de rolos cilíndricos (rolamentos com furo cilíndrico intercambiáveis)

Unidades em μm

Diâmetro nominal do furo		C2		Normal		C3		C4		C5	
d mm		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
acima	inclusive										
—	10	0	25	20	45	35	60	50	75	—	—
10	24	0	25	20	45	35	60	50	75	65	90
24	30	0	25	20	45	35	60	50	75	70	95
30	40	5	30	25	50	45	70	60	85	80	105
40	50	5	35	30	60	50	80	70	100	95	125
50	65	10	40	40	70	60	90	80	110	110	140
65	80	10	45	40	75	65	100	90	125	130	165
80	100	15	50	50	85	75	110	105	140	155	190
100	120	15	55	50	90	85	125	125	165	180	220
120	140	15	60	60	105	100	145	145	190	200	245
140	160	20	70	70	120	115	165	165	215	225	275
160	180	25	75	75	125	120	170	170	220	250	300
180	200	35	90	90	145	140	195	195	250	275	330
200	225	45	105	105	165	160	220	220	280	305	365
225	250	45	110	110	175	170	235	235	300	330	395
250	280	55	125	125	195	190	260	260	330	370	440
280	315	55	130	130	205	200	275	275	350	410	485
315	355	65	145	145	225	225	305	305	385	455	535
355	400	100	190	190	280	280	370	370	460	510	600
400	450	110	210	210	310	310	410	410	510	565	665
450	500	110	220	220	330	330	440	440	550	625	735

Tabela 8.8 Folga interna radial de rolamentos de rolos cilíndricos não intercambiáveis

Diâmetro nominal do furo <i>d</i> mm		Rolamento com furo cilíndrico											
		C1NA		C2NA		NA [●]		C3NA		C4NA		C5NA	
acima	inclusive	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
—	10	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	—	—
10	18	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	65	75
18	24	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	65	75
24	30	5	10	10	25	25	35	40	50	50	60	70	80
30	40	5	12	12	25	25	40	45	55	55	70	80	95
40	50	5	15	15	30	30	45	50	65	65	80	95	110
50	65	5	15	15	35	35	50	55	75	75	90	110	130
65	80	10	20	20	40	40	60	70	90	90	110	130	150
80	100	10	25	25	45	45	70	80	105	105	125	155	180
100	120	10	25	25	50	50	80	95	120	120	145	180	205
120	140	15	30	30	60	60	90	105	135	135	160	200	230
140	160	15	35	35	65	65	100	115	150	150	180	225	260
160	180	15	35	35	75	75	110	125	165	165	200	250	285
180	200	20	40	40	80	80	120	140	180	180	220	275	315
200	225	20	45	45	90	90	135	155	200	200	240	305	350
225	250	25	50	50	100	100	150	170	215	215	265	330	380
250	280	25	55	55	110	110	165	185	240	240	295	370	420
280	315	30	60	60	120	120	180	205	265	265	325	410	470
315	355	30	65	65	135	135	200	225	295	295	360	455	520
355	400	35	75	75	150	150	225	255	330	330	405	510	585
400	450	45	85	85	170	170	255	285	370	370	455	565	650
450	500	50	95	95	190	190	285	315	410	410	505	625	720

● Para rolamentos com folga normal, somente é acrescentado o sufixo NA ao código do rolamento. Ex.: NU 310 NA

Tabela 8.9 Folga interna axial de rolamentos de rolos cônicos da série métrica de dupla carreira e pareados (exceto as séries 329X, 322C, 323C)

Diâmetro nominal do furo <i>d</i> mm		Ângulo de contato $\alpha \leq 27^\circ$ ($e \leq 0.76$)							
		C2		Normal		C3		C4	
acima	inclusive	min	max	min	max	min	max	min	max
18	24	25	75	75	125	125	170	170	220
24	30	25	75	75	125	145	195	195	245
30	40	25	95	95	165	165	235	210	280
40	50	20	85	85	150	175	240	240	305
50	65	20	85	110	175	195	260	280	350
65	80	20	110	130	220	240	325	325	410
80	100	45	150	150	260	280	390	390	500
100	120	45	175	175	305	350	480	455	585
120	140	45	175	175	305	390	520	500	630
140	160	60	200	200	340	400	540	520	660
160	180	80	220	240	380	440	580	600	740
180	200	100	260	260	420	500	660	660	820
200	225	120	300	300	480	560	740	720	900
225	250	160	360	360	560	620	820	820	1,020
250	280	180	400	400	620	700	920	920	1,140
280	315	200	440	440	680	780	1,020	1,020	1,260
315	355	220	480	500	760	860	1,120	1,120	1,380
355	400	260	560	560	860	980	1,280	1,280	1,580
400	500	300	600	620	920	1,100	1,400	1,440	1,740

Nota1: Esta tabela se aplica a rolamentos contidos no catálogo. Para informações referentes a outros rolamentos, por favor contate a Engenharia NTN.

2: A correlação da folga interna axial (Δ_a) e folga interna radial (Δ_r) é expressa por $\Delta_r = 0.667 \cdot e \cdot \Delta_a$.

e: Constante (veja tabela dimensional)

3: Rolamentos das séries 329X, 330, 322C e 323C não se aplicam à tabela acima.

Unidades em μm

Rolamento com furo cônico												Diâmetro nominal do furo d mm	
C9NA ^②		C0NA ^②		C1NA		C2NA		NA ^①		C3NA		acima	inclusive
min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max		
5	5	7	17	10	20	20	30	35	45	45	55	—	10
5	10	7	17	10	20	20	30	35	45	45	55	10	18
5	10	7	17	10	20	20	30	35	45	45	55	18	24
5	10	10	20	10	25	25	35	40	50	50	60	24	30
5	12	10	20	12	25	25	40	45	55	55	70	30	40
5	15	10	20	15	30	30	45	50	65	65	80	40	50
5	15	10	20	15	35	35	50	55	75	75	90	50	65
10	20	15	30	20	40	40	60	70	90	90	110	65	80
10	25	20	35	25	45	45	70	80	105	105	125	80	100
10	25	20	35	25	50	50	80	95	120	120	145	100	120
15	30	25	40	30	60	60	90	105	135	135	160	120	140
15	35	30	45	35	65	65	100	115	150	150	180	140	160
15	35	30	45	35	75	75	110	125	165	165	200	160	180
20	40	30	50	40	80	80	120	140	180	180	220	180	200
20	45	35	55	45	90	90	135	155	200	200	240	200	225
25	50	40	65	50	100	100	150	170	215	215	265	225	250
25	55	40	65	55	110	110	165	185	240	240	295	250	280
30	60	45	75	60	120	120	180	205	265	265	325	280	315
30	65	45	75	65	135	135	200	225	295	295	360	315	355
35	75	50	90	75	150	150	225	255	330	330	405	355	400
45	85	60	100	85	170	170	255	285	370	370	455	400	450
50	95	70	115	95	190	190	285	315	410	410	505	450	500

② C9NA, C0NA e C1NA são aplicados somente em rolamentos de precisão da classe 5 e acima.

Unidades em μm

Ângulo de contato $\alpha > 27^\circ$ ($e > 0.76$)								Diâmetro nominal do furo d mm	
C2		Normal		C3		C4		acima	inclusive
min	max	min	max	min	max	min	max		
10	30	30	50	50	70	70	90	18	24
10	30	30	50	60	80	80	100	24	30
10	40	40	70	70	100	90	120	30	40
10	40	40	70	80	110	110	140	40	50
10	40	50	80	90	120	130	160	50	65
10	50	60	100	110	150	150	190	65	80
20	70	70	120	130	180	180	230	80	100
20	70	70	120	150	200	210	260	100	120
20	70	70	120	160	210	210	260	120	140
30	100	100	160	180	240	240	300	140	160
—	—	—	—	—	—	—	—	160	180
—	—	—	—	—	—	—	—	180	200
—	—	—	—	—	—	—	—	200	225
—	—	—	—	—	—	—	—	225	250
—	—	—	—	—	—	—	—	250	280
—	—	—	—	—	—	—	—	280	315
—	—	—	—	—	—	—	—	315	355
—	—	—	—	—	—	—	—	355	400
—	—	—	—	—	—	—	—	400	500

Tabela 8.10 Folga interna radial de rolamentos autocompensadores de rolos

Diâmetro nominal do furo <i>d</i> mm		Rolamento com furo cilíndrico									
		C2		CN		C3		C4		C5	
acima	inclusive	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
14	18	10	20	20	35	35	45	45	60	60	75
18	24	10	20	20	35	35	45	45	60	60	75
24	30	15	25	25	40	40	55	55	75	75	95
30	40	15	30	30	45	45	60	60	80	80	100
40	50	20	35	35	55	55	75	75	100	100	125
50	65	20	40	40	65	65	90	90	120	120	150
65	80	30	50	50	80	80	110	110	145	145	180
80	100	35	60	60	100	100	135	135	180	180	225
100	120	40	75	75	120	120	160	160	210	210	260
120	140	50	95	95	145	145	190	190	240	240	300
140	160	60	110	110	170	170	220	220	280	280	350
160	180	65	120	120	180	180	240	240	310	310	390
180	200	70	130	130	200	200	260	260	340	340	430
200	225	80	140	140	220	220	290	290	380	380	470
225	250	90	150	150	240	240	320	320	420	420	520
250	280	100	170	170	260	260	350	350	460	460	570
280	315	110	190	190	280	280	370	370	500	500	630
315	355	120	200	200	310	310	410	410	550	550	690
355	400	130	220	220	340	340	450	450	600	600	750
400	450	140	240	240	370	370	500	500	660	660	820
450	500	140	260	260	410	410	550	550	720	720	900
500	560	150	280	280	440	440	600	600	780	780	1,000
560	630	170	310	310	480	480	650	650	850	850	1,100
630	710	190	350	350	530	530	700	700	920	920	1,190
710	800	210	390	390	580	580	770	770	1,010	1,010	1,300
800	900	230	430	430	650	650	860	860	1,120	1,120	1,440
900	1,000	260	480	480	710	710	930	930	1,220	1,220	1,570
1,000	1,120	290	530	530	780	780	1,020	1,020	1,330	1,330	1,720
1,120	1,250	320	580	580	860	860	1,120	1,120	1,460	1,460	1,870
1,250	1,400	350	640	640	950	950	1,240	1,240	1,620	1,620	2,080

Tabela 8.11 Folga interna axial de rolamentos com 4 pontos de contato

Unidades em μm

Diâmetro nominal do furo <i>d</i> mm		C2		CN		C3		C4	
		min	max	min	max	min	max	min	max
17	40	26	66	56	106	96	146	136	186
40	60	36	86	76	126	116	166	156	206
60	80	46	96	86	136	126	176	166	226
80	100	56	106	96	156	136	196	186	246
100	140	66	126	116	176	156	216	206	266
140	180	76	156	136	196	176	236	226	296
180	220	96	176	156	216	196	256	246	316

Unidades em μm

Rolamento com furo cônico										Diâmetro nominal do furo	
C2		CN		C3		C4		C5		d mm	
min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	acima	inclusive
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	18
15	25	25	35	35	45	45	60	60	75	18	24
20	30	30	40	40	55	55	75	75	95	24	30
25	35	35	50	50	65	65	85	85	105	30	40
30	45	45	60	60	80	80	100	100	130	40	50
40	55	55	75	75	95	95	120	120	160	50	65
50	70	70	95	95	120	120	150	150	200	65	80
55	80	80	110	110	140	140	180	180	230	80	100
65	100	100	135	135	170	170	220	220	280	100	120
80	120	120	160	160	200	200	260	260	330	120	140
90	130	130	180	180	230	230	300	300	380	140	160
100	140	140	200	200	260	260	340	340	430	160	180
110	160	160	220	220	290	290	370	370	470	180	200
120	180	180	250	250	320	320	410	410	520	200	225
140	200	200	270	270	350	350	450	450	570	225	250
150	220	220	300	300	390	390	490	490	620	250	280
170	240	240	330	330	430	430	540	540	680	280	315
190	270	270	360	360	470	470	590	590	740	315	355
210	300	300	400	400	520	520	650	650	820	355	400
230	330	330	440	440	570	570	720	720	910	400	450
260	370	370	490	490	630	630	790	790	1,000	450	500
290	410	410	540	540	680	680	870	870	1,100	500	560
320	460	460	600	600	760	760	980	980	1,230	560	630
350	510	510	670	670	850	850	1,090	1,090	1,360	630	710
390	570	570	750	750	960	960	1,220	1,220	1,500	710	800
440	640	640	840	840	1,070	1,070	1,370	1,370	1,690	800	900
490	710	710	930	930	1,190	1,190	1,520	1,520	1,860	900	1,000
530	770	770	1,030	1,030	1,300	1,300	1,670	1,670	2,050	1,000	1,120
570	830	830	1,120	1,120	1,420	1,420	1,830	1,830	2,250	1,120	1,250
620	910	910	1,230	1,230	1,560	1,560	2,000	2,000	2,470	1,250	1,400

8.3 Pré-carga

Normalmente, quando em operação, os rolamentos são usados com uma folga interna leve. Entretanto, em algumas aplicações os rolamentos recebem uma carga inicial, isto significa que a folga interna dos rolamentos é negativa antes do seu funcionamento. Isto se denomina "pré-carga" e é comumente aplicada em rolamentos de esferas de contato angular e em rolamentos de rolos cônicos.

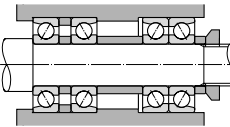
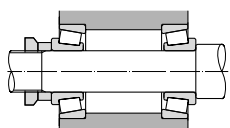
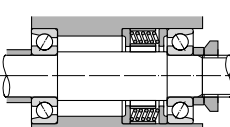
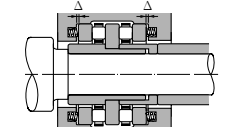
8.3.1 Propósito da pré-carga

Os seguintes resultados são obtidos pela força de compressão elástica constante aplicada nos pontos de contato dos corpos rolantes e a pista obtendo-se a pré-carga.

- (1) Aumento da rigidez do rolamento, e tendência a não ocorrer folga interna mesmo com altas cargas sendo aplicadas.
- (2) A frequência do rolamento aumenta e pode ser submetido a rotações elevadas.
- (3) A variação do eixo é suprimida; a rotação e a posição de precisão são aumentadas.
- (4) Vibração e ruído são controlados.
- (5) Redução do escorregamento dos corpos rolantes.
- (6) Atritos produzidos por vibrações externas são prevenidas.

Aplicar pré-carga excessiva pode causar redução na vida, aquecimento anormal e aumento do torque. Devem ser considerados os objetivos antes de determinar o valor da pré-carga.

Tabela 8.12 Métodos e características de pré-carga

Método	Padrão básico	Rolamentos aplicáveis	Objetivo	Características	Aplicações
Pré-carga de posição fixa		Rolamentos de esferas de precisão de contato angular	Mantendo a precisão rotativa do eixo, prevenindo vibrações e aumentando a rigidez	A pré-carga é conseguida com uma determinada excentricidade dos anéis ou utilizando espaçadores. Para a pré-carga padrão, veja a tabela 8.13	Retificas, tornos, fresadoras, instrumentos de medição
		Rolamentos de rolos cônicos, rolamentos axiais de esferas, rolamentos de esferas de contato angular	Aumentando a rigidez do rolamento	A pré-carga é conseguida ajustando o parafuso. A quantidade de pré-carga se estabelece medindo o torque de arranque ou o deslocamento axial.	Tornos, fresadoras, engrenagens do diferencial de automóveis, máquinas para impressão, eixos de automóveis
Pré-carga de pressão constante		Rolamentos de esferas de contato angular, rolamentos rígidos de esferas, rolamentos de rolos cônicos de precisão	Mantendo a precisão e prevenindo vibrações e ruídos, com uma quantidade constante de pré-carga sem ser afetada por cargas e temperaturas.	A pré-carga é conseguida pelo uso de uma mola espiral ou belleville (laminada / prato). As pré cargas recomendadas são as seguintes: Para rolamentos rígidos de esferas 4~10 d N Para rolamentos de esferas com contato angular veja a tabela 8.13 .	Retificas internas, motores elétricos, máquinas pequenas com eixos com altas rotações, polias de tensão
		Rolamentos axiais autocompensadores de rolos, rolamentos axiais de esferas, rolamentos axiais de rolos cilíndricos	Prevenir o desalinhamento do lado oposto à carga axial	A pré-carga é conseguida pelo uso de uma mola espiral ou belleville (laminada / prato). As pré-cargas recomendadas são as seguintes: Para rolamentos axiais de esferas $T_1 = 0.42 (nC_{oa})^{1.9} \times 10^{-13} \text{ N}$ $= 3.275 (nC_{oa})^{1.9} \times 10^{-13} \text{ {kgf}}$ $T_2 = 0.00083 C_{oa} \text{ N {kgf}}$ Aquele que for maior para rolamentos axiais autocompensadores de rolos e rolamentos axiais de rolos cilíndricos $T = 0.025 C_{oa}^{0.8} \text{ N}$ $= 0.0158 C_{oa}^{0.8} \text{ {kgf}}$	Laminadores, máquinas extrusoras

Nota: Nas formulas acima

T = pré-carga, N {kgf}

n = rotação, rpm

C_{oa} = capacidade básica de carga axial estatica, N {kgf}

8.3.2 Métodos e quantidade de pré-carga

O método mais comum de aplicação de pré-carga em um rolamento é mudar a posição relativa dos anéis interno e externo na direção axial enquanto se aplica uma carga axial nos rolamentos em lados opostos.

Existem dois tipos de pré-carga: Pré-carga de posição fixa e pré-carga de pressão constante. O padrão básico, propósito e características da pré-carga dos rolamentos estão demonstrados na tabela 8.12. A pré-carga da posição fixa é efetiva para posicionar dois rolamentos e também para aumentar a rigidez. Devido ao uso de uma mola para a pré-carga por pressão constante, a quantidade da pré-carga pode manter-se constante, mesmo quando a distância entre os dois rolamentos flutua em razão da influência do calor e carga de funcionamento.

A pré-carga padrão para o par de rolamentos de esfera de contato angular está indicada na tabela 8.13. Uma pré-carga leve e normal é geralmente aplicada para se prevenir vibrações e uma pré-carga média e pesada é aplicada especialmente quando se requer rigidez.

8.3.3 Pré-carga e rigidez

O efeito de aumento de rigidez através da pré-carga está ilustrado na **figura 8.2**. Quando os anéis internos excêntricos de dois pares de rolamentos de esferas de contato angular são pressionados um contra o outro, cada anel interno movimenta-se axialmente uma quantidade δ_o , e em razão disto obtém-se uma pré-carga F_o , nesta direção. Sob estas condições, quando uma carga axial externa F_a é aplicada, o rolamento I tenderá a um deslocamento incrementado pela quantidade δ_a e o deslocamento do rolamento II se reduzirá. Neste instante, as forças aplicadas nos rolamentos I e II serão F_I e F_{II} , respectivamente.

Na ausência de pré-carga, o rolamento I se deslocará uma quantidade δ_b quando se aplica uma carga axial F_a . Já que a quantidade de deslocamento, δ_a é menor que δ_b ; isto indica uma maior rigidez para δ_a .

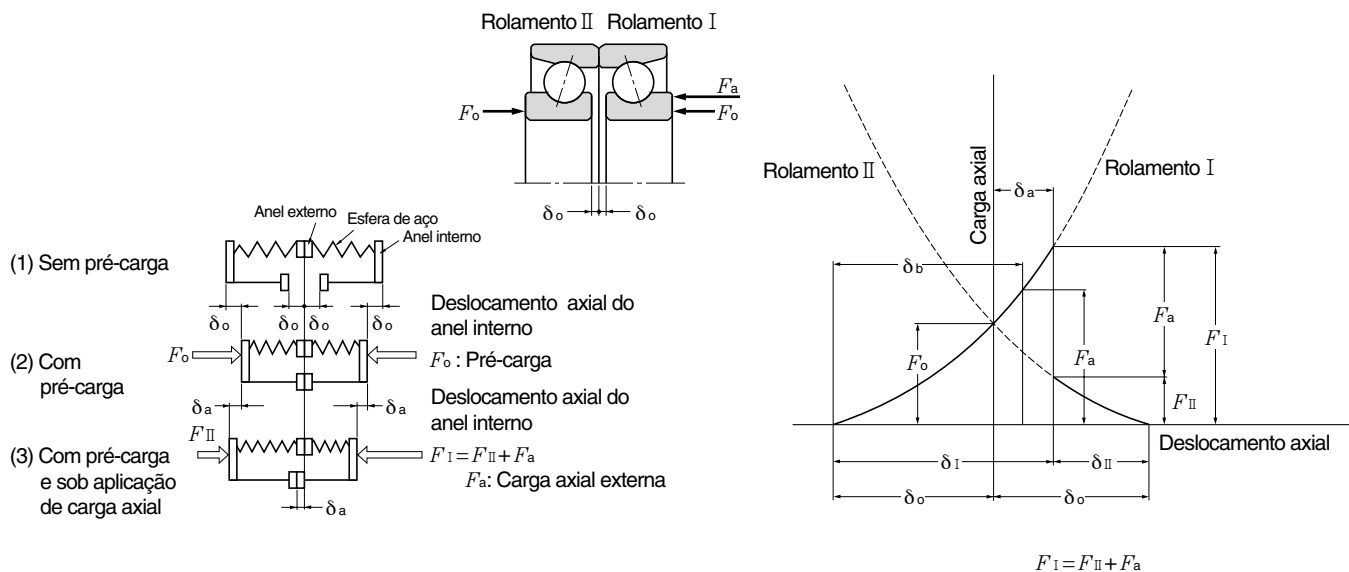


Fig. 8.2 Pré-carga por posição fixa e deslocamento axial

Tabela 8.13 Pré-carga normal para rolamentos de esferas de contato angular pareados

Diâmetro nominal do furo <i>d</i> mm		78C				79C, HSB9C				Rolamento 70C, BNT0,	
acima	inclusive	Leve GL	Normal GN	Média GM	Pesada GH	Leve GL	Normal GN	Média GM	Pesada GH	Leve GL	Normal GN
-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	20 { 2}	29 { 3}
12	18	-	-	-	-	-	-	-	-	20 { 2}	29 { 3}
18	32	10 { 1}	29 { 3}	78 { 8}	147 { 15}	20 { 2}	49 { 5}	98 { 10}	196 { 20}	29 { 3}	78 { 8}
32	40	10 { 1}	29 { 3}	78 { 8}	147 { 15}	29 { 3}	78 { 8}	196 { 20}	294 { 30}	49 { 5}	147 { 15}
40	50	20 { 2}	49 { 5}	98 { 10}	196 { 20}	39 { 4}	98 { 10}	245 { 25}	490 { 50}	49 { 5}	147 { 15}
50	65	29 { 3}	98 { 10}	196 { 20}	390 { 40}	49 { 5}	118 { 12}	294 { 30}	590 { 60}	98 { 10}	196 { 20}
65	80	29 { 3}	98 { 10}	196 { 20}	390 { 40}	78 { 8}	196 { 20}	390 { 40}	785 { 80}	98 { 10}	294 { 30}
80	90	49 { 5}	147 { 15}	294 { 30}	590 { 60}	98 { 10}	245 { 25}	490 { 50}	980 { 100}	147 { 15}	390 { 40}
90	95	49 { 5}	147 { 15}	294 { 30}	590 { 60}	98 { 10}	245 { 25}	490 { 50}	980 { 100}	147 { 15}	390 { 40}
95	100	49 { 5}	147 { 15}	294 { 30}	590 { 60}	118 { 12}	294 { 30}	685 { 70}	1,470 { 150}	147 { 15}	390 { 40}
100	105	49 { 5}	147 { 15}	294 { 30}	590 { 60}	118 { 12}	294 { 30}	685 { 70}	1,470 { 150}	196 { 20}	590 { 60}
105	110	78 { 8}	196 { 20}	490 { 50}	980 { 100}	118 { 12}	294 { 30}	685 { 70}	1,470 { 150}	196 { 20}	590 { 60}
110	120	78 { 8}	196 { 20}	490 { 50}	980 { 100}	147 { 15}	390 { 40}	880 { 90}	1,960 { 200}	196 { 20}	590 { 60}
120	140	98 { 10}	294 { 30}	590 { 60}	1,270 { 130}	196 { 20}	490 { 50}	980 { 100}	2,450 { 250}	294 { 30}	785 { 80}
140	150	147 { 15}	390 { 40}	785 { 80}	1,470 { 150}	245 { 25}	685 { 70}	1,470 { 150}	2,940 { 300}	294 { 30}	785 { 80}
150	160	147 { 15}	390 { 40}	785 { 80}	1,470 { 150}	245 { 25}	685 { 70}	1,470 { 150}	2,940 { 300}	490 { 50}	980 { 100}
160	170	147 { 15}	490 { 50}	980 { 100}	1,960 { 200}	245 { 25}	685 { 70}	1,470 { 150}	2,940 { 300}	490 { 50}	980 { 100}
170	180	147 { 15}	490 { 50}	980 { 100}	1,960 { 200}	294 { 30}	880 { 90}	1,960 { 200}	3,900 { 400}	490 { 50}	980 { 100}
180	190	196 { 20}	590 { 60}	1,270 { 130}	2,450 { 250}	294 { 30}	880 { 90}	1,960 { 200}	3,900 { 400}	590 { 60}	1,470 { 150}
190	200	196 { 20}	590 { 60}	1,270 { 130}	2,450 { 250}	490 { 50}	1,270 { 130}	2,940 { 300}	5,900 { 600}	590 { 60}	1,470 { 150}

Diâmetro nominal do furo <i>d</i> mm		79, HSB9			70, HSB0			
acima	inclusive	Normal GN	Média GM	Pesada GH	Leve GL	Normal GN	Média GM	Pesada GH
-	12	39 { 4}	78 { 8}	147 { 15}	29 { 3}	78 { 8}	147 { 15}	196 { 20}
12	18	49 { 5}	147 { 15}	196 { 20}	29 { 3}	78 { 8}	147 { 15}	294 { 30}
18	32	98 { 10}	196 { 20}	294 { 30}	49 { 5}	147 { 15}	294 { 30}	490 { 50}
32	40	147 { 15}	294 { 30}	590 { 60}	78 { 8}	294 { 30}	590 { 60}	880 { 90}
40	50	196 { 20}	390 { 40}	635 { 70}	78 { 8}	294 { 30}	590 { 60}	980 { 100}
50	65	245 { 25}	490 { 50}	785 { 80}	147 { 15}	490 { 50}	880 { 90}	1,470 { 150}
65	80	390 { 40}	785 { 80}	1,180 { 120}	147 { 15}	590 { 60}	1,470 { 150}	1,960 { 200}
80	90	490 { 50}	980 { 100}	1,470 { 150}	196 { 20}	880 { 90}	1,960 { 200}	2,940 { 300}
90	95	490 { 50}	980 { 100}	1,470 { 150}	196 { 20}	880 { 90}	1,960 { 200}	2,940 { 300}
95	100	685 { 70}	1,274 { 130}	1,960 { 200}	196 { 20}	880 { 90}	1,960 { 200}	2,940 { 300}
100	105	685 { 70}	1,274 { 130}	1,960 { 200}	294 { 30}	980 { 100}	2,450 { 250}	3,900 { 400}
105	110	685 { 70}	1,274 { 130}	1,960 { 200}	294 { 30}	980 { 100}	2,450 { 250}	3,900 { 400}
110	120	880 { 90}	1,780 { 180}	2,940 { 300}	294 { 30}	980 { 100}	2,450 { 250}	3,900 { 400}
120	140	980 { 100}	1,960 { 200}	3,450 { 350}	490 { 50}	1,470 { 150}	3,450 { 350}	5,900 { 600}
140	150	1,270 { 130}	2,450 { 250}	4,400 { 450}	490 { 50}	1,470 { 150}	3,450 { 350}	5,900 { 600}
150	160	1,270 { 130}	2,450 { 250}	4,400 { 450}	685 { 70}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	8,800 { 900}
160	170	1,270 { 130}	2,450 { 250}	4,400 { 450}	685 { 70}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	8,800 { 900}
170	180	1,780 { 180}	3,450 { 350}	5,900 { 600}	685 { 70}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	8,800 { 900}
180	190	1,780 { 180}	3,450 { 350}	5,900 { 600}	880 { 90}	3,450 { 350}	6,850 { 700}	9,800 { 1,000}
190	200	2,450 { 250}	4,900 { 500}	7,850 { 800}	880 { 90}	3,450 { 350}	6,850 { 700}	9,800 { 1,000}

Unidades em N (kgf)

série		72C, BNT2				73C			
HSB0C		Leve GL	Normal GN	Média GM	Pesada GH	Leve GL	Normal GN	Média GM	Pesada GH
98 { 10}	147 { 15}	20 { 2}	49 { 5}	98 { 10}	196 { 20}	29 { 3}	78 { 8}	147 { 15}	294 { 30}
98 { 10}	196 { 20}	20 { 2}	49 { 5}	147 { 15}	294 { 30}	29 { 3}	78 { 8}	196 { 20}	390 { 40}
147 { 15}	294 { 30}	49 { 5}	98 { 10}	294 { 30}	490 { 50}	76 { 8}	147 { 15}	390 { 40}	685 { 70}
294 { 30}	590 { 60}	78 { 8}	196 { 20}	490 { 50}	785 { 80}	98 { 10}	294 { 30}	590 { 60}	980 { 100}
294 { 30}	685 { 70}	98 { 10}	294 { 30}	590 { 60}	980 { 100}	145 { 15}	390 { 40}	980 { 100}	1,960 { 200}
490 { 50}	980 { 100}	147 { 15}	390 { 40}	785 { 80}	1,470 { 150}	196 { 20}	590 { 60}	1,470 { 150}	2,940 { 300}
685 { 70}	1,470 { 150}	196 { 20}	490 { 50}	980 { 100}	1,960 { 200}	294 { 30}	785 { 80}	1,960 { 200}	3,900 { 400}
980 { 100}	1,960 { 200}	294 { 30}	685 { 70}	1,470 { 150}	2,940 { 300}	390 { 40}	980 { 100}	2,450 { 250}	4,900 { 500}
980 { 100}	1,960 { 200}	294 { 30}	685 { 70}	1,960 { 200}	3,900 { 400}	390 { 40}	980 { 100}	2,950 { 300}	5,900 { 600}
980 { 100}	1,960 { 200}	294 { 30}	685 { 70}	1,960 { 200}	3,900 { 400}	390 { 40}	980 { 100}	2,950 { 300}	5,900 { 600}
1,470 { 150}	2,450 { 250}	390 { 40}	980 { 100}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	590 { 60}	1,470 { 150}	3,450 { 350}	6,850 { 700}
1,470 { 150}	2,450 { 250}	390 { 40}	980 { 100}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	590 { 60}	1,470 { 150}	3,450 { 350}	6,850 { 700}
1,470 { 150}	2,450 { 250}	390 { 40}	980 { 100}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	590 { 60}	1,470 { 150}	3,450 { 350}	6,850 { 700}
1,960 { 200}	3,900 { 400}	490 { 50}	1,470 { 150}	2,940 { 300}	5,900 { 600}	785 { 80}	1,960 { 200}	4,400 { 450}	8,800 { 900}
1,960 { 200}	3,900 { 400}	490 { 50}	1,470 { 150}	2,940 { 300}	5,900 { 600}	785 { 80}	1,960 { 200}	4,400 { 450}	8,800 { 900}
2,450 { 250}	5,900 { 600}	685 { 70}	1,960 { 200}	4,400 { 450}	7,850 { 800}	880 { 90}	2,450 { 250}	5,900 { 600}	9,800 { 1,100}
2,450 { 250}	5,900 { 600}	685 { 70}	1,960 { 200}	4,400 { 450}	7,850 { 800}	880 { 90}	2,450 { 250}	5,900 { 600}	9,800 { 1,100}
2,450 { 250}	5,900 { 600}	685 { 70}	1,960 { 200}	4,400 { 450}	7,850 { 800}	880 { 90}	2,450 { 250}	5,900 { 600}	9,800 { 1,100}
3,450 { 350}	6,850 { 700}	785 { 80}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	9,800 { 1,000}	980 { 100}	2,940 { 300}	6,850 { 700}	11,800 { 1,200}
3,450 { 350}	6,850 { 700}	785 { 80}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	9,800 { 1,000}	980 { 100}	2,940 { 300}	6,850 { 700}	11,800 { 1,200}

Unidades em N (kgf)

série				72, 72B				73, 73B			
Leve GL	Normal GN	Média GM	Pesada GH	Leve GL	Normal GN	Média GM	Pesada GH	Leve GL	Normal GN	Média GM	Pesada GH
29 { 3}	98 { 10}	196 { 20}	294 { 30}	49 { 5}	147 { 15}	294 { 30}	390 { 40}	49 { 5}	147 { 15}	294 { 30}	390 { 40}
29 { 3}	98 { 10}	294 { 30}	390 { 40}	49 { 5}	147 { 15}	390 { 40}	490 { 50}	49 { 5}	147 { 15}	390 { 40}	490 { 50}
78 { 8}	196 { 20}	490 { 50}	785 { 80}	98 { 10}	294 { 30}	590 { 60}	980 { 100}	98 { 10}	294 { 30}	590 { 60}	980 { 100}
98 { 10}	390 { 40}	880 { 90}	1,470 { 150}	147 { 15}	490 { 50}	980 { 100}	1,960 { 200}	147 { 15}	490 { 50}	980 { 100}	1,960 { 200}
147 { 15}	590 { 60}	980 { 100}	1,960 { 200}	196 { 20}	785 { 80}	1,470 { 150}	2,450 { 250}	196 { 20}	785 { 80}	1,470 { 150}	2,450 { 250}
196 { 20}	785 { 80}	1,470 { 150}	2,940 { 300}	294 { 30}	980 { 100}	2,450 { 250}	3,900 { 400}	294 { 30}	980 { 100}	2,450 { 250}	3,900 { 400}
294 { 30}	980 { 100}	2,450 { 250}	3,900 { 400}	390 { 40}	1,470 { 150}	3,450 { 350}	4,900 { 500}	390 { 40}	1,470 { 150}	3,450 { 350}	4,900 { 500}
490 { 50}	1,470 { 150}	2,940 { 300}	4,900 { 500}	590 { 60}	1,960 { 200}	3,900 { 400}	5,880 { 600}	590 { 60}	1,960 { 200}	3,900 { 400}	5,880 { 600}
490 { 50}	1,960 { 200}	3,900 { 400}	5,900 { 600}	590 { 60}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	6,854 { 700}	590 { 60}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	6,854 { 700}
490 { 50}	1,960 { 200}	3,900 { 400}	5,900 { 600}	590 { 60}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	6,860 { 700}	590 { 60}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	6,860 { 700}
590 { 60}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	7,850 { 800}	685 { 70}	2,940 { 300}	5,900 { 600}	8,800 { 900}	685 { 70}	2,940 { 300}	5,900 { 600}	8,800 { 900}
590 { 60}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	7,850 { 800}	685 { 70}	2,940 { 300}	5,900 { 600}	8,800 { 900}	685 { 70}	2,940 { 300}	5,900 { 600}	8,800 { 900}
590 { 60}	2,450 { 250}	4,900 { 500}	7,850 { 800}	685 { 70}	2,940 { 300}	5,900 { 600}	8,800 { 900}	685 { 70}	2,940 { 300}	5,900 { 600}	8,800 { 900}
785 { 80}	2,940 { 300}	5,900 { 600}	9,800 { 1,000}	880 { 90}	3,900 { 400}	7,850 { 800}	11,800 { 1,200}	880 { 90}	3,900 { 400}	7,850 { 800}	11,800 { 1,200}
785 { 80}	2,940 { 300}	5,900 { 600}	9,800 { 1,000}	880 { 90}	3,900 { 400}	7,850 { 800}	11,800 { 1,200}	880 { 90}	3,900 { 400}	7,850 { 800}	11,800 { 1,200}
880 { 90}	3,900 { 400}	7,850 { 800}	11,800 { 1,200}	980 { 100}	4,400 { 450}	8,800 { 900}	13,700 { 1,400}	980 { 100}	4,400 { 450}	8,800 { 900}	13,700 { 1,400}
880 { 90}	3,900 { 400}	7,850 { 800}	11,800 { 1,200}	980 { 100}	4,400 { 450}	8,800 { 900}	13,700 { 1,400}	980 { 100}	4,400 { 450}	8,800 { 900}	13,700 { 1,400}
880 { 90}	3,900 { 400}	7,850 { 800}	11,800 { 1,200}	980 { 100}	4,400 { 450}	8,800 { 900}	13,700 { 1,400}	980 { 100}	4,400 { 450}	8,800 { 900}	13,700 { 1,400}
980 { 100}	4,400 { 450}	8,800 { 900}	13,700 { 1,400}	1,470 { 150}	5,900 { 600}	11,800 { 1,200}	15,700 { 1,600}	1,470 { 150}	5,900 { 600}	11,800 { 1,200}	15,700 { 1,600}
980 { 100}	4,400 { 450}	8,800 { 900}	13,700 { 1,400}	1,470 { 150}	5,900 { 600}	11,800 { 1,200}	15,700 { 1,600}	1,470 { 150}	5,900 { 600}	11,800 { 1,200}	15,700 { 1,600}