

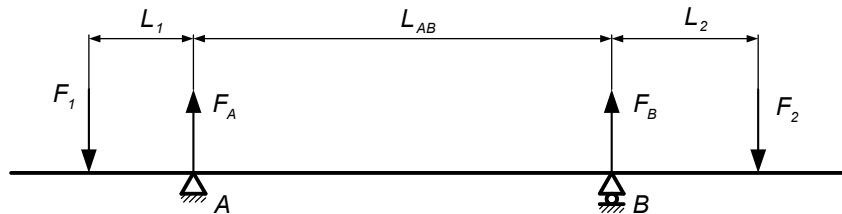
Segédlet a „Tengely gördülő-csapágyazása” feladathoz

Összeállította:

Bihari Zoltán egyetemi adjunktus

Tengely gördülő-csapágyazása

Adott az 1. ábrán egy csapágyazott tengely kinematikai vázlata. A rajz szerint az A jelű csapágy a vezető csapágy. A tengelyt az F_1 [kN] és F_2 [kN] erők, valamint a P [kW] teljesítmény és n_1 [1/min] fordulatszám felhasználásával számolható, és az F_1 és F_2 erők között fellépő - csavarónyomaték terheli. Az A és B helyeken a beépítésre kerülő csapágyak típusa és mérete adott (1. táblázat).



1. ábra

A feladat célja az F_A [kN], F_B [kN] támasztó erők, valamint az alapadatok ismeretében annak meghatározása, hogy várhatóan mekkora élettartamúak lesznek a csapágyak.

A feladat megoldása lépésekre bontva:

1. A megadott P teljesítmény, valamint n_1 fordulatszám alapján határozza meg a tengelyt terhelő M [Nm] csavarónyomatékot.
2. Az 1. ábrán szereplő kinematikai vázlat méretparamétereit, valamint az F_1 és F_2 erők segítségével határozza meg a csapágyakon, mint támaszokon ébredő radiális támasztóerők értékeit (F_A [kN], F_B [kN]).
3. Készítse el a tengely T [kN] nyírőerő ábráját, M_{hj} [Nm] hajlító nyomatéki ábráját, valamint M_{cs} [Nm] csavarónyomatéki ábráját.
4. Számítsa ki a csapágyazási helyeken ébredő σ_{hj} [MPa] hajlító feszültséget.
5. Számítsa ki a csapágyazási helyeken ébredő τ_{cs} [MPa] csavarásból származó feszültséget.
6. Számítsa ki a csapágyazási helyeken ébredő σ_{red} [MPa] redukált feszültséget a HMM elmélet szerint.
7. Határozza meg a tengely minimálisan szükséges legkisebb átmérőjét tiszta csavarás esetén, ha az anyagjellemző adott, és a biztonsági tényező $n=2$.
8. Számítással határozza meg a csapágyak élettartamát üzemórákban, 90% megbízhatósági valószínűsége.
9. Szerkessze meg a kiadott segédábra, valamint táblázatok alapján a tengely csapágyazását A3 méretű rajzlapon 1:1 méretarányban. Adja meg az összeállítási rajzon szokásos mérethálózatot, valamint a számításhoz felhasznált méreteket.
10. A szerkesztett rajz elkészítéséhez válassza ki táblázatból a reteszek méreteit, és határozza meg a nyomaték átviteléhez szükséges hosszt (ld. 1. feladat). A

csapágycak axiális irányú rögzítése rugós rögzítőgyűrű alkalmazásával történik. A szükséges méreteket a 3. táblázat tartalmazza.

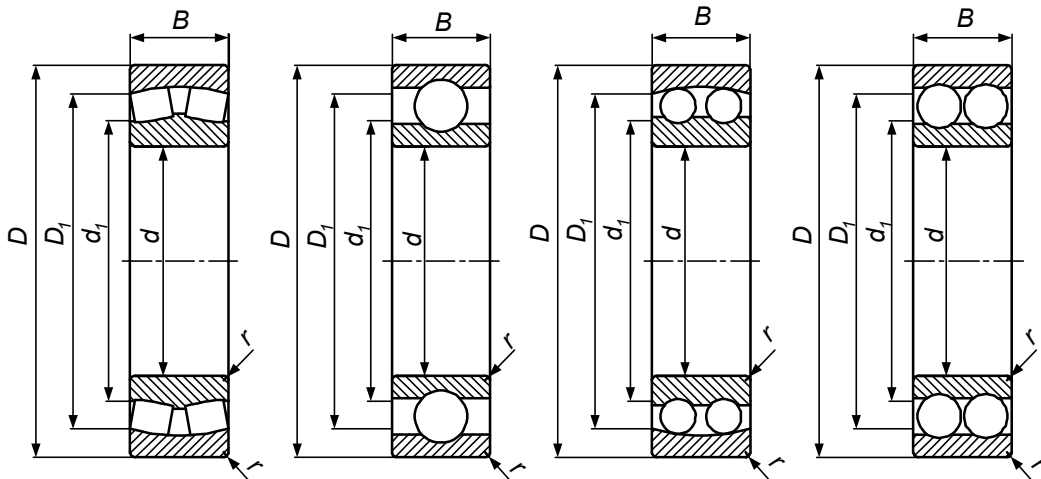
11. A csapágy megbízható működése érdekében kenőanyagot kell használni. Annak érdekében, hogy a kenőanyag a szerkezeten belül maradjon, tömítést kell alkalmazni. Erre a célra rugós tömítőgyűrűt választottunk (5. táblázat).

12. A szerkesztett rajzhoz - a gyakorlatvezető útmutatása alapján - készítsen darabjegyzéket.

1. táblázat. Adatok

Ssz.	P [kW]	n_1 [min ⁻¹]	F_1 [kN]	F_2 [kN]	R_{eH} [MPa]	L_{AB} [mm]	L_1 [mm]	L_2 [mm]	A jelű csapágy	B jelű csapágy
1	80	720	6	4	275	400	100	120	6016	1213
2	120	960	6	4	275	400	100	120	6216	2214
3	160	1440	5	12	275	400	100	120	16016	22213 C
4	12	110	12	5	275	400	100	120	4216	16013
5	9	80	8	6	275	400	100	120	1216	6013
6	85	750	5	5	275	400	100	120	2216	6213
7	150	1440	15	6	275	400	100	120	22216 C	4213
8	310	2880	2,2	1,5	275	400	100	120	6016	1213
9	80	720	6	4	275	500	100	120	6216	2214
10	30	250	7	19	275	500	100	120	16016	22213 C
11	40	350	7	2,8	275	500	100	120	4216	16013
12	320	2880	2,5	1,9	275	500	100	120	1216	6013
13	78	720	6	6	275	500	100	120	2216	6213
14	100	960	20	8	275	500	100	120	22216 C	4213
15	60	500	4	3	275	600	100	120	6016	1213

Csapógy kiválasztás

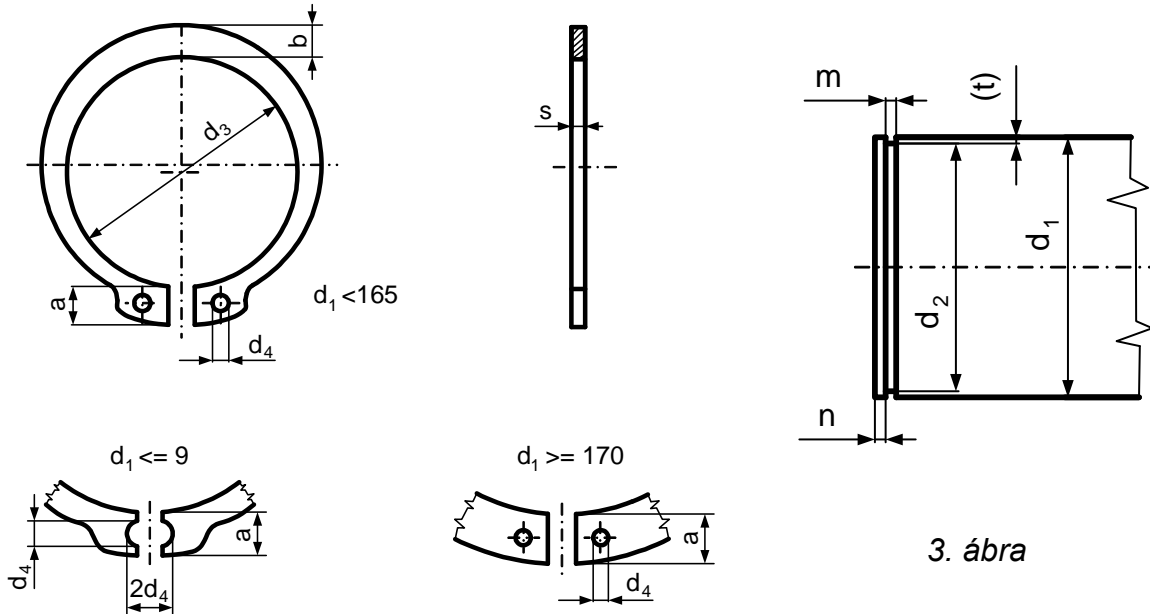


2. ábra

2. táblázat. Csapógy adatok

Megnevezés	Csapógy- szám	d [mm]	D [mm]	B [mm]	d₁ [mm]	D₁ [mm]	r [mm]	C [kN]
Mélyhornyú golyóscsapógy	6016	80	125	22	94,4	112	2	36,5
Mélyhornyú golyóscsapógy	6216	80	140	26	101	123	3	54
Mélyhornyú golyóscsapógy	16016	80	125	14	95,3	110	1	25,5
Kétsorú mélyhornyú golyóscsapógy	4216	80	140	33	101	119	3	61
Beálló golyóscsapógy	1216	80	140	26	101	125	3	30,5
Beálló golyóscsapógy	2216	80	140	33	98,8	124	3	37,5
Beálló görgőscsapógy	22216 C	80	140	33	95	123	3	153
Mélyhornyú golyóscsapógy	16013	65	100	11	76,5	88,5	1	16,3
Mélyhornyú golyóscsapógy	6013	65	100	18	76,3	89,1	2	23,6
Mélyhornyú golyóscsapógy	6213	65	120	23	83,3	103	2,5	43
Kétsorú mélyhornyú golyóscsapógy	4213	65	120	31	84,5	101	2,5	50
Beálló golyóscsapógy	1213	65	120	23	85,3	105	2,5	23,6
Beálló golyóscsapógy	2214	65	125	31	87,5	111	2,5	34
Beálló görgőscsapógy	22213 C	65	120	31	79	106	2,5	125

Rugós rögzítőgyűrű tengelyhez



3. ábra

3. táblázat. Rugós rögzítőgyűrű adatok

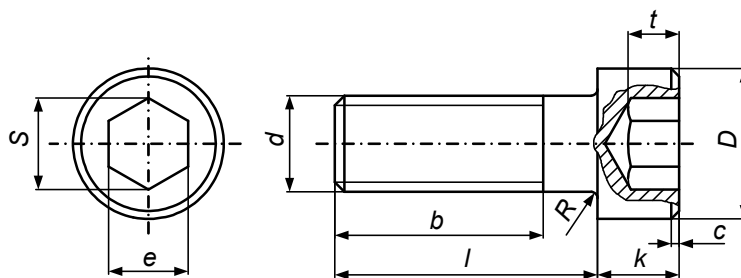
Névleges tengely- átmérő, d_1	Gyűrű							Horony				F_r kN			
	s		d_3		a max	b kb.	d_4 min	d_2		m H12	n min				
	mé- ret	tűrés	méret	tűrés				méret	tűrés						
3	0,4	0-0,05	2,7	+0,04 -0,15	1,9	0,8	1	0,017	2,8	0-0,04	0,5	0,3	0,47		
4	0,4	0-0,05	3,7	+0,04 -0,15	2,2	0,9	1	0,022	3,8	0-0,048	0,5	0,3	0,50		
5	0,6		4,7	2,5	1,1	0,066		4,8	0,7		1,0				
6	0,7		5,6	2,7	1,3	0,084	5,7	0,8	1,45						
7	0,8	0-0,06	6,5	+0,06 -0,18	3,1	1,4	1,2	0,121	6,7	0-0,06	0,9	0,5	2,60		
8			7,4	3,2	1,5	0,158		7,6	3,00						
9	1	0-0,06	8,4	+0,10 -0,36	3,3	1,7	1,5	0,300	8,6	0-0,11	1,1	0,6	3,50		
10			9,3			1,8		0,340	9,6				4,00		
11			10,2	1,7	0,410	10,5	0,500	11,5	0-0,13			1,3	1,5	4,50	
12			11,0											0,530	12,4
13			11,9	2	1,77	22,9	1,90	23,9	0-0,21			1,7	1,6	6,35	
14			12,9											0,640	13,4
15			13,8	+0,21 -0,42	4,4	3	4,5	3,1	2,92			26,6	1,6	2,1	6,90
16			14,7												4,7
17			15,7	0-0,06	22,2	4,4	3	4,4	3,8			30,3	1,6	2,6	8,00
18			16,5												3,9
19	17,5	+0,13 -0,42	4,0	2,6	4,0	2,6	1,30	19	1,3	1,5	17,1				
20	18,5										4,1	2,7	1,42	20	16,8
21	19,5	0-0,21	4,2	2,8	4,2	2,8	1,50	21	1,3	1,5	16,9				
22	20,5										4,4	3	1,77	22,9	16,1
24	22,2	+0,21 -0,42	4,5	3,1	4,5	3,1	1,96	23,9	1,7	1,7	16,2				
25	23,2										4,7	3,2	2,92	26,6	16,1
26	24,2	0-0,13	4,7	3,2	4,7	3,2	2,92	26,6	1,3	1,5	32,1				
28	25,9										5	3,5	3,31	28,6	32,1
30	27,9	0-0,25	5,2	3,6	5,2	3,6	3,54	30,3	1,6	2,6	31,2				
32	29,6										5,4	3,8	3,80	32,3	31,3
34	31,5	+0,25 -0,25	5,6	3,9	5,6	3,9	4,00	33	1,6	2,6	30,8				
35	32,2										5,8	4,2	5,00	34	49,4
36	33,2	0-0,25	5,8	4,2	5,8	4,2	5,62	36	1,85	3,8	49,5				
38	35,2										6	4,4	6,03	37,5	51,0
40	36,5	+0,40 -0,90	6,5	4,5	6,5	4,5	6,50	39,5	1,85	3,8	50				
42	38,5										6,7	4,7	7,50	42,5	49,0
45	41,5	0-0,25	6,9	5	6,9	5	7,90	45,5	1,85	3,8	49,4				
48	44,5										6,9	5	7,90	45,5	49,4

Névleges tengely- átmérő, d_1	Gyűrű							Horony				F_R kN							
	s		d_3		a max	b kb.	d_4 min	Tömeg kg/1000 db kb.	d_2		m H12		n min						
	mé- ret	tűrés	méret	tűrés					méret	tűrés									
50	2	0- 0,07	45,8	+0,40		5,1	2,5	10,2	47	0-0,25	2,15	4,5	73,3						
52			47,8	-0,90	7	5,2		11,1	49				73,1						
55			50,8		7,2	5,4		11,4	52				71,4						
56			51,8		7,3	5,5		11,8	53				70,8						
58			53,8			5,6		12,6	55				71,1						
60			55,8		7,4	5,8		12,9	57				69,2						
62			57,8		7,5	6		14,3	59				69,3						
63			58,8		7,6	6,2		15,9	60				70,2						
65			60,8	+0,45	7,8	6,3		18,2	62				135,6						
68			63,5	-1,1	8	6,5		21,8	65				135,9						
70	2,5	0-0,07	65,5		8,1	6,6	3	22,0	67	0-0,30	2,65	5,3	134,2						
75			70,5		8,4	7		24,6	72				130,0						
80			74,5		8,6	7,4		27,3	76,5				128,4						
82			76,5			7,6		31,2	78,5				128,0						
85			79,5		8,7	7,8		36,4	81,5				215,4						
90			84,5		8,8	8,2		44,5	86,5				217,2						
95			89,5	+0,55	9,4	8,6		49,0	91,5				212,2						
100			94,5	-1,3	9,6	9		53,7	96,5				206,4						
105			4	0-0,1	98	+0,55		9,9	9,3				3,5	80,0	101	0-0,54	4,15	6	471,8
110					103	-1,3		10,1	9,6					82,0	106				457
120	113				11	10,2	86,0	116	424,6										
130	123				11,6	10,7	100	126	395,5										
140	133				12	11,2	110	136	376,5										
150	142	+0,65			13	11,8	120	145	357,5										
160	151	-1,5			13,3	12,2	150	155	349,2										
180	170,5					13,5	190	175	345,3										
200	190,5	+0,70			14,2	14	230	195	319,2										
		-1,7																	

Jelölések:

- a A gyűrűszem sugárirányú mérete
 b A rögzítőgyűrű legnagyobb sugárirányú szélessége
 d_1 Tengelyátmérő
 d_2 Horonyátmérő
 d_3 A rögzítőgyűrű feszítetlen állapotú belső átmérője
 d_4 A szemfurat átmérője
 F_R A rögzítőgyűrű hordképessége (éles sarkú alkatrész támaszkodása esetén)
 t Horonymélység ($\frac{d_1 - d_2}{2}$ képlettel számítható)
 m Horonyszélesség
 n Vállszélesség
 s Gyűrűvastagság

Belső kulcsnyílású hengeresfejű csavar

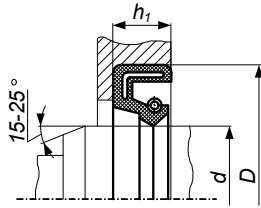


4. ábra

4. táblázat. Belső kulcsnyílású hengeres fejű csavar adatai

d	M3	M4	M5	M6	M8	M10
D	5,5	7	8,5	10	13	16
k	3	4	5	6	8	10
S	2,5	3	4	5	6	8
e_{min}	2,87	3,44	4,58	5,72	6,86	9,15
w_{min}	1,15	1,4	1,9	2,3	3,3	4,0
t_{min}	1,3	2	2,5	3	4	5
h_{max}	1,85	2,6	3,1	3,7	4,7	6,0
R_{min}	0,1	0,2	0,2	0,25	0,4	0,4
d_{a min}	3,6	4,7	5,7	6,8	9,2	11,2
d_{w min}	5,07	6,53	8,03	9,38	12,33	15,33
c_{max}	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
b	18	20	22	24	28	32
l						
5						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						
60						
65						
70						
75						
80						
90						
100						

Rugós tömítőgyűrű



5. ábra

d	D		h ₁
	I.	II.	
6	22	16	7
		16	
7	22	16	7
		20	
8	22	16	7
		20	
		24	
9	22	26	10
		30	
		30	
10	26	19	7
		22	
		24	
		30	
11	26	22	7
		30	
		30	
12	28	22	7
		24	
		30	
13	28	24	10
		32	
		32	
14	28	24	7
		30	
		32	
		35	
15	30	24	7
		26	
		32	
16	30	32	10
		35	
		40	
17	32	28	7
		30	
		35	
18	35	30	10
		32	
		40	
19	35	30	7
		32	
		35	
20	40	30	10
		32	
		35	
		42	
21	40	47	10
		40	

d	D		h ₁
	I.	II.	
22	40	32	7
		35	
		42	
		47	
		47	
23	40	35	7
		35	
24	40	47	10
		47	
		47	
25	42	35	7
		37	
		40	
		47	
		50	
		52	
26	45	40	7
		47	
		40	
		40	
28	47	50	10
		52	
		52	
30	52	40	7
		42	
		47	
		50	
		50	
		55	
32	52	47	7
		47	
		50	
35	55	47	7
		50	
		52	
		58	
		62	
		72	
36	52	62	10
		62	
38	58	52	10
		55	
		62	
40	60	52	7
		55	
		62	
		65	
		72	
42	62	55	8
		65	
		72	
45	65	60	8
		62	
		68	
		72	
		80	

5. táblázat

d	D		h ₁
	I.	II.	
48	70	62	8
		65	
		72	
		80	
		80	
50	72	65	8
		68	
		70	
		70	
		75	
		80	
52	75	68	8
		72	
		72	
55	80	70	8
		72	
		75	
		85	
		90	
58	80	75	8
		75	
60	85	80	10
		80	
		90	
62	90	80	10
		90	
63	90	85	10
		85	
65	90	95	10
		100	
		100	
68	90	90	10
		100	
70	95	90	10
		100	
		110	
72	100	100	12
		110	
		110	
75	100	95	10
		105	
		110	
78	110	100	12
		110	
80	105	100	10
		110	
		115	
85	110	105	12
		120	
90	115	110	15
		120	
		125	
95	120	110	12
		125	
		120	
100	125	120	12
		130	
		140	

5. táblázat

d	D		h ₁
	I.	II.	
105	130	125	12
		140	
		140	
110	140	130	12
		135	
		150	
115	140	140	15
		150	
		140	
120	150	160	12
		160	
125	155	160	15
		160	
		160	
130	160	170	12
		170	
135	170	180	15
		180	
140	170	180	12
		180	
145	180	190	15
		190	
150	180	190	12
		190	
155	190	200	15
		200	
160	200	210	12
		210	
165	200	220	15
		220	
170	200	230	12
		230	
180	220	240	15
		240	
190	230	250	12
		250	
200	240	260	15
		260	
210	250	270	12
		270	
220	260	280	15
		280	
230	270	290	12
		290	
240	280	300	15
		300	
250	290	310	12
		310	
260	300	320	15
		320	
270	310	330	12
		330	
280	320	340	15
		340	
300	340	360	12
		360	
320	360	380	15
		380	
340	380	400	12
		400	
360	400	420	15
		420	
380	420	440	12
		440	
400	440	470	15
		470	
420	470	500	12
		500	
450	500	530	15
		530	
480	530	560	12
		560	
500	550	600	15
		600	
530	580	630	12
		630	
560	610	670	15
		670	
600	650	710	12
		710	
630	690	750	15
		750	
670	730	800	12
		800	
710	770	850	15
		850	
750	810	900	12
		900	
800	860	950	15
		950	
850	910	1000	12
		1000	
900	960	1060	15
		1060	

Segédlet a feladat megoldásához

1. A tengelyt terhelő csavarónyomaték meghatározása

A megadott n_1 [1/min] fordulatszám alapján a tengely szögsebessége:

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60} \quad [\text{s}^{-1}].$$

A teljesítmény és a szögsebesség ismeretében a tengelyt terhelő csavarónyomaték:

$$M_{cs} = \frac{P}{\omega_1} \quad [\text{Nm}].$$

Ez a csavarónyomaték a tengely minden egyes keresztmetszetét terheli.

2. Radiális irányú F_A [kN] és F_B [kN] támasztóerők meghatározása

A kinematikai vázlaton szereplő méretek, valamint F_1 [kN] és F_2 [kN] erők ismeretében írjunk fel egy nyomatéki egyenletet az A pontra:

$$m_A = 0 = L_1 \cdot F_1 + L_{AB} \cdot F_B - (L_{AB} + L_2) \cdot F_2.$$

Ezt az egyenletet F_B -re rendezve, megkapjuk a B jelű csapágyon ébredő radiális erőt:

$$F_B = \frac{(L_{AB} + L_2) \cdot F_2 - L_1 \cdot F_1}{L_{AB}} \quad [\text{kN}]$$

Hasonlóan a B pontra is írjunk fel egy nyomatéki egyenletet:

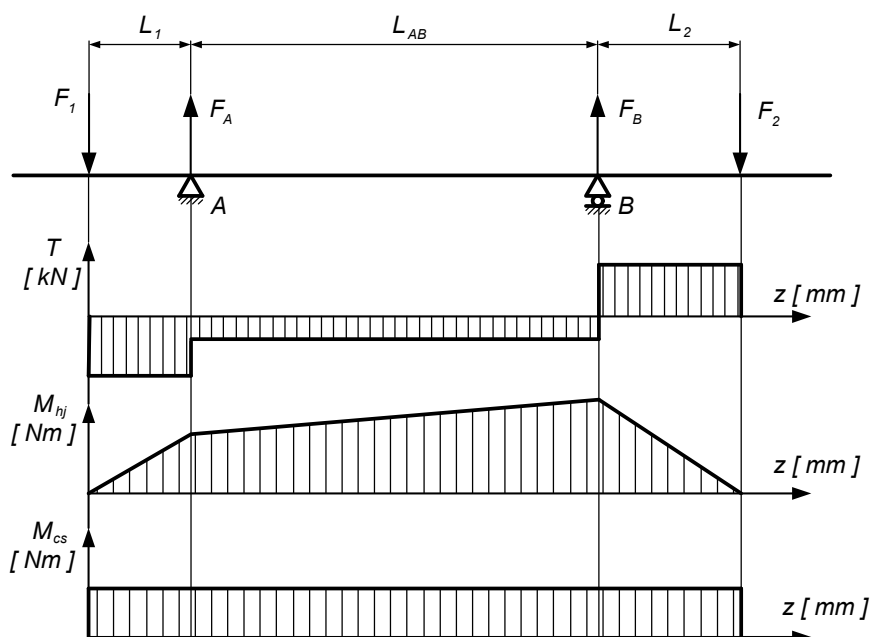
$$m_B = 0 = (L_1 + L_{AB}) \cdot F_1 - L_{AB} \cdot F_A - L_2 \cdot F_2.$$

A kapott egyenletet F_A -ra rendezve, az A jelű csapágyon ébredő radiális támasztó erőt kapjuk.

$$F_A = \frac{(L_1 + L_{AB}) \cdot F_1 - L_2 \cdot F_2}{L_{AB}} \quad [\text{kN}]$$

3. Nyíróerő és nyomatéki ábrák

A kinematikai vázlat alatt (5. ábra) az elkészített nyíróerő ábra, hajlítónyomatéki ábra, valamint csavarónyomatéki ábra egy lehetséges változata látható.



5. ábra.

4. Hajlító feszültség számítása

A csapágyazási helyeken a hajlító feszültség a

$$\sigma_{hj} = \frac{M_{hj}}{K} \quad [\text{MPa}]$$

összefüggéssel határozható meg, ahol

M_{hj} - az adott keresztmetszetet terhelő hajlítónyomaték [Nmm] egységben, (az igénybevételi ábráról leolvasható),

K - az adott keresztmetszet keresztmetszeti tényezője [mm³] egységben,

$$K = \frac{d^3 \cdot \pi}{32} \quad [\text{mm}^3]$$

d - az adott keresztmetszet átmérője [mm] egységben (csapágy belső gyűrűjének névleges furatátmérője (2. táblázat).

5. Csavarásból származó feszültség számítása

A csapágyazási helyeken ébredő feszültség:

$$\tau_{cs} = \frac{M_{cs}}{K_p} \quad [\text{MPa}]$$

ahol,

M_{hj} - a csavarónyomaték [Nmm] egységben, (ld. igénybevételi ábra),

K_p - a keresztmetszet poláris keresztmetszeti tényezője [mm³] egységben,

$$K_p = \frac{d^3 \cdot \pi}{16} \quad [\text{mm}^3]$$

d - a keresztmetszet átmérője [mm] egységben.

6. Redukált feszültség számítása

A vizsgált keresztmetszetekben ébredő redukált feszültség HMH elmélet szerint:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{hj}^2 + 3 \cdot \tau_{cs}^2}$$

7. Legkisebb szükséges átmérő meghatározása

A műszaki gyakorlatban használt anyagjellemzők közül a felső folyáshatár R_{eH} [MPa] az, amely feszültség esetén az alkatrész maradé alakváltozást szenved. Azt a terhelést, mely hatására ez a feszültség ébred az anyag belső szerkezetében, nem engedjük meg, sőt egy bizonyos biztonsággal közelítjük meg. Ezt a biztonságot jelöli a biztonsági tényező „ n ”. A tengely anyagára jellemző felső folyáshatár az 1. táblázatból kiválasztható.

A tengelyvégeket csak csavaró nyomaték terheli, így a szükséges legkisebb átmérő meghatározása tiszta csavarásra történő méretezéssel történik.

Tiszta csavarás esetén a σ feszültség értéke 0. A τ_{cs} csavarásból származó feszültség pedig:

$$\tau_{cs}^* = \frac{M_{cs}}{K_p^*} \quad [\text{MPa}], \text{ ahol}$$

$$K_p^* = \frac{d_t^3 \cdot \pi}{16} \quad [\text{mm}^3]$$

Az ismert

$$\sigma_{red}^* \leq \sigma_{meg} = \frac{R_{eH}}{n}$$

összefüggésbe helyettesítsük be a tiszta csavarásból származó feszültséget :

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{cs}^* \leq \sigma_{meg} = \frac{R_{eH}}{n},$$

$$\sqrt{3} \cdot \frac{16 \cdot M_{cs}}{d_t^3 \cdot \pi} \leq \sigma_{meg} = \frac{R_{eH}}{n}.$$

Rendezzük az egyenletet, és fejezzük ki belőle a d_t átmérőt:

$$d_t = \sqrt[3]{\sqrt{3} \cdot \frac{16 \cdot M_{cs} \cdot n}{R_{eH} \cdot \pi}}.$$

Abban az esetben, ha a nyomatékokat [Nmm] egységben, a felső folyáshatárt [N/mm²] egységben helyettesítettük a fenti összefüggésbe, akkor a tengelyátmérőt [mm] egységben kapjuk.

8. Csapágyak élettartamának meghatározása

A csapágyak tönkremenetele üzemszerű működtetés során is elkerülhetetlenül bekövetkezik. Azt a folyamatot, mely során egy csapágy az időben periodikusan ismétlődő terhelés hatására károsodik, kifáradásnak nevezzük. A tönkremenetel során a csapágyat alkotó elemek felületén először mikroszkopikus méretű kipattogzás, repedések ún. pitting jelenik meg. Ezek a mikro-repedések a használat során makro-repedésekhez, végső soron töréshez vezetnek. A kifáradásra történő méretezés során azt az időtartamot vagy ismételt igénybevételi ciklusszámot számítjuk ki, melyet a szerkezet egy adott százalékban kifejezhető valószínűséggel tönkremenetel nélkül kibír.

Ehhez a csapágy gyártója minden egyes típushoz megad egy ún. dinamikus alapterherbírás értéket (C [kN]), mely felhasználásával könnyen kiszámítható a névleges élettartam millió fordulatokban kifejezve. A fordulatszám ismeretében ezt üzemórákban is megadhatjuk.

A névleges élettartam millió körülfordulásokban:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad [\text{millió körülfordulás}]$$

ahol,

- C - dinamikus alapterherbírás [kN] egységben (csapágykatalógusból választható),
- P - dinamikus csapágyterhelés, értéke megegyezik a számított F_A és F_B támasztó erőkkel [kN] egységben,
- p - értéke 3, ha golyóscsapágyról, 10/3, ha görgőscsapágyról van szó.

A névleges élettartam üzemórákban kifejezve:

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot n_1} \cdot L_{10} \quad [h]$$

ahol,

- n_1 - tengely fordulatszáma [1/min] egységben,
- L_{10} - névleges élettartam millió körülfordulásban.