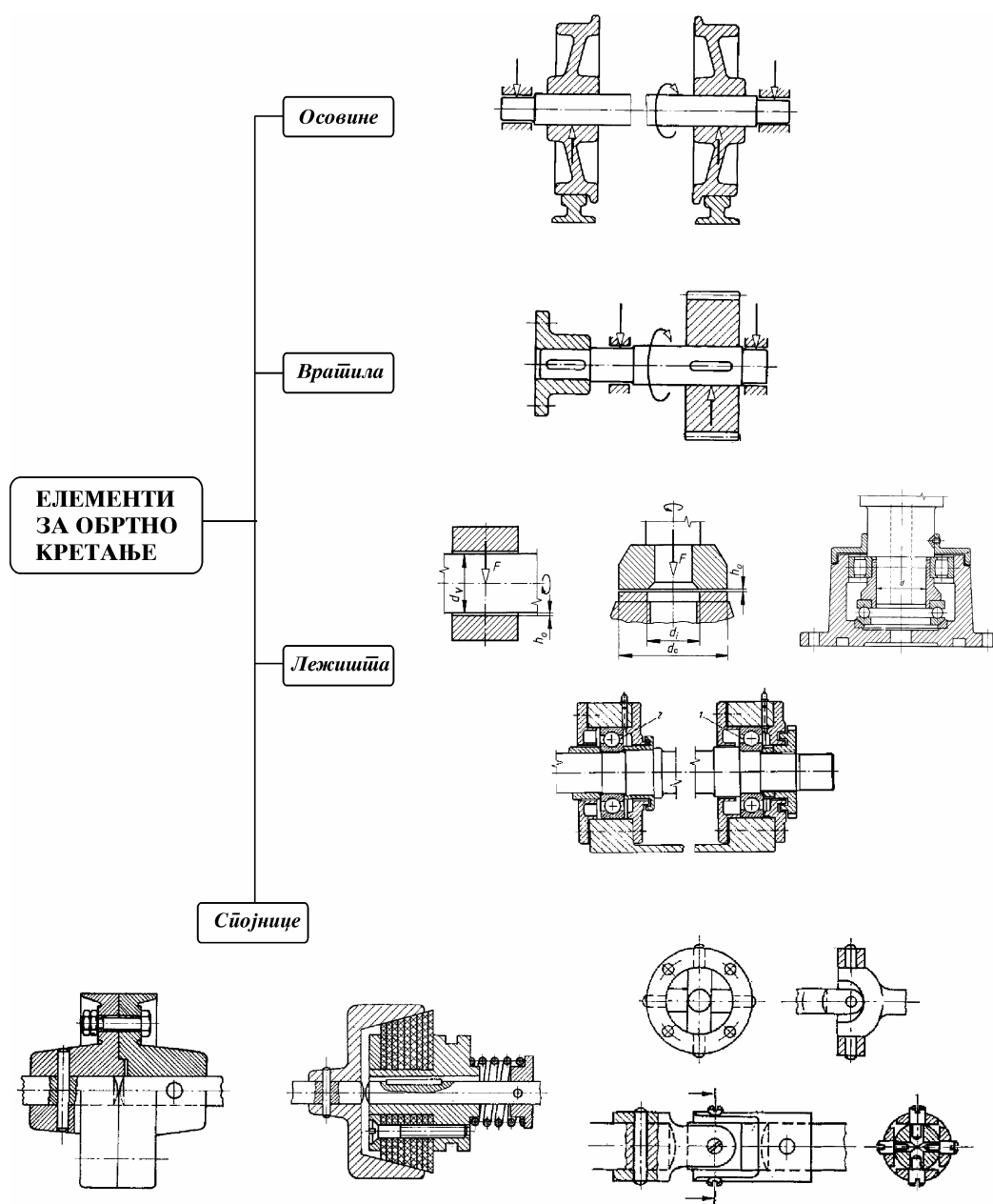


2 ЕЛЕМЕНТИ ЗА ОБРТНО КРЕТАЊЕ

Обртно кретање постоји скоро код свих врста машина. Због тога елементи за обртно кретање имају врло важну улогу. Њихов задатак је да омогуће обртно кретање и преношење сила и обртних момената. Ови елементи су у тесној вези са елементима за пренос снаге.

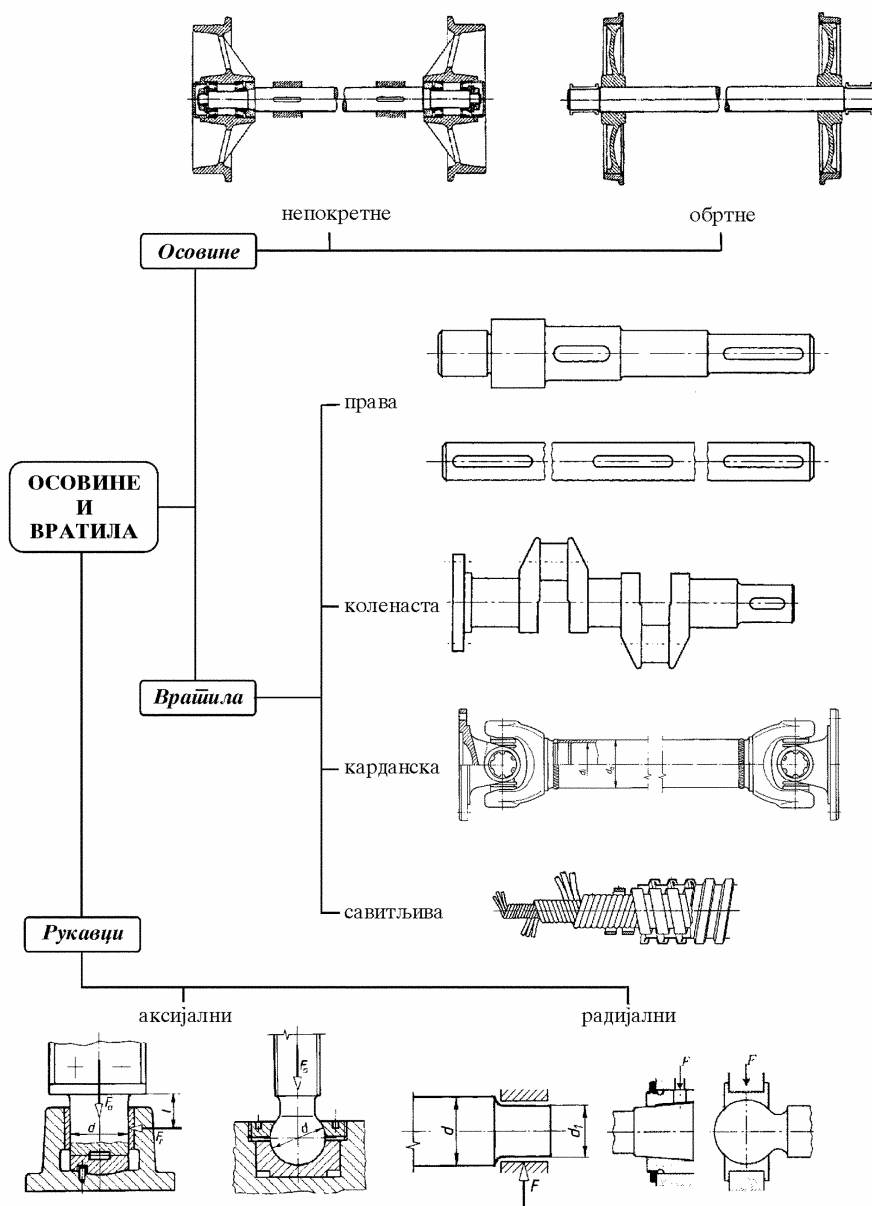


2.1 ОСОВИНЕ И ВРАТИЛА

Вртлиа су искључиво обртни елементи који служе за пренос обртног момента дуж осе обртања, а у циљу покретања склопова зупчаника, ременика, спојница итд.

Осовине служе само као носачи обртних делова и оптерећене су попречним силама а ређе и уздужним силама. Осовине које су кратке у односу на пресек су осовинице.

Делови вртила и осовина преко којих се остварује веза са лежиштима називају се рукавци, а делови за везу са обртним деловима који се на њима налазе називају се подглавци.



Као материјали за израду вратила и осовина најчешће се примењују конструкциони челици, челици за побољшање и челици за цементацију.

За јача оптерећења вратила или осовина користе се челици за побољшање
 Š1330; Š1430; Š1530 и легирани челици Š3230; Š4131; Š4730; Š4731; Š4732; Š4734.

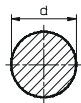
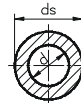
При избору висококвалитетних легираних челика за израду вратила и осовина добијају се мање димензије али се смањује и њихова крутост. Смањење крутости доводи до знатних еластичних деформација вратила и осовина у току рада, а код брзоходних вратила и до динамичке нестабилности. Права вратила и осовине пречника до 150 (mm) се најчешће израђују од округлог челика обрадом на стругу и брушењем. Мање оптерећена вратила могу се радити извлачењем. Степенаста вратила већих димензија израђују се ковањем од челичних блокова а завршна обрада је на стругу и брусилицу. При томе се пре завршне обраде израђују жлебови за клинове да би се избегле деформације вратила при изради ових жлебова.

Карактеристике издржљивости материјала за вратила и осовине

Бр.	Материјал	Ознака	Тврдоћа НВ	R_m N/mm^2	$R_{m0.2}$ N/mm^2	$\sigma_{Df(0)}$ N/mm^2	$\sigma_{Df(-1)}$ N/mm^2	$\tau_{Df(0)}$ N/mm^2	$\tau_{Df(-1)}$ N/mm^2
1	Конструкциони челик	Č 0460	120 - 140	420 - 500	240	340	220	160	130
2		Č 0545	140 - 170	500 - 600	280	400	250	200	150
3		Č 0645	170 - 195	600 - 700	320	440	300	220	180
4		Č 0745	195 - 240	700 - 850	350	490	340	250	200
5	Побољшани челик	Č 1430	150 - 180	550 - 740	330	520	300	255	175
6		Č 1530	180 - 220	630 - 820	380	555	320	270	190
7		Č 3230	200 - 225	700 - 950	450	700	430	350	245
8		Č 4131	220 - 240	800 - 1100	570	780	450	360	260
9		Č 4730	212 - 220	700 - 950	470	620	350	310	210
10		Č 4731	217 - 223	800 - 1100	570	720	410	330	250
11		Č 4732	217 - 241	900 - 1200	650	840	500	400	290
12		Č 4734	248 - 260	1100 - 1450	900	1000	570	500	340
13	Челик за цементацију	Č 1121	90 - 126	500 - 650	300	500	290	220	180
14		Č 1221	103 - 140	600 - 800	360	560	335	250	200
15		Č 4320	156 - 207	700 - 1000	450	600	390	330	215
16		Č 4321	170 - 217	850 - 1200	550	670	420	390	240
17		Č 5421	170 - 217	1100 - 1400	700	750	450	470	270
18		Č 4720	156 - 207	800 - 1100	600	620	370	400	220
19		Č 4721	170 - 217	1000 - 1350	700	630	445	465	260

Ознаке: R_m -затезна чврстоћа; $R_{m0.2}$ ($R_{0.2H}$) -граница течења; $\sigma_{Df(0)}$ -трајна динамичка издржљивост при једносмерном променљивом оптерећењу на савијање; $\sigma_{Df(-1)}$ -трајна динамичка издржљивост при наизменично променљивом оптерећењу на савијање; $\tau_{Df(0)}$ -Трајна динамичка издржљивост при једносмерном променљивом оптерећењу на увијање; $\tau_{Df(-1)}$ -трајна динамичка издржљивост при наизменично променљивом оптерећењу на увијање.

Табела 2.1 ВРАТИЛА И ОСОВИНЕ

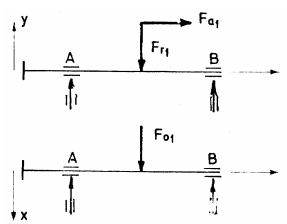
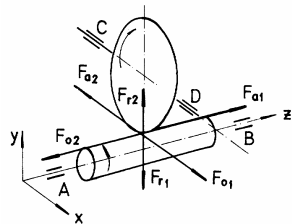
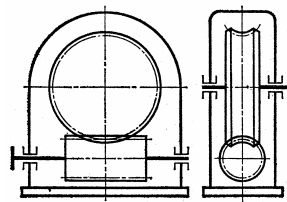
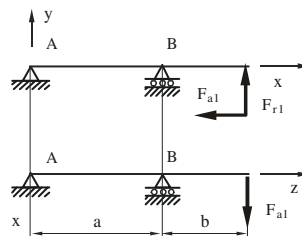
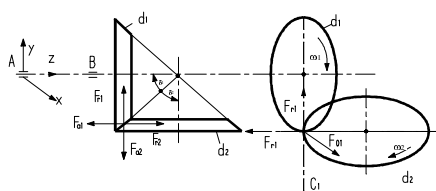
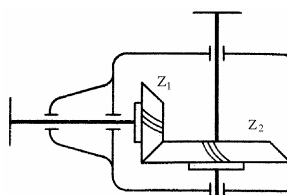
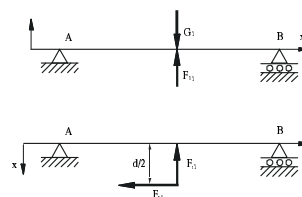
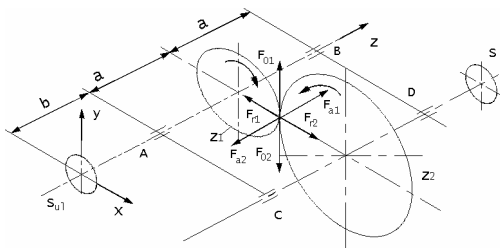
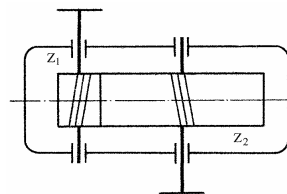
Ознака	Јединица мере	Назив и вредност
T	(Nm)	номинални обртни момент $T = \frac{P}{\omega} = 9549 \frac{P}{n}$
P	(kW)	погонска снага
ω	(min ⁻¹)	угаона брзина $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$
n	(min ⁻¹)	учестаност обртања
σ_s	(N/mm ²)	напон од савијања $\sigma_s = \frac{M}{W} \leq \sigma_{doz}$
τ	(N/mm ²)	напон од увијања $\tau = \frac{T}{W_p} \leq \tau_{doz}$
σ_z	(N/mm ²)	напон од затезања $\sigma_z = \frac{F_a}{A} \leq \sigma_{doz}$
τ_s	(N/mm ²)	напон од смицања $\tau_s = \frac{F_T}{A} \leq \tau_{doz}$
M	(Nm)	момент савијања
F _a	(N)	аксијална сила
F _T	(N)	трансверзална сила
W	(mm ³)	отпорни момент површине пресека  $W = \frac{\pi d^3}{32}$  $W = \frac{\pi d_s^3}{32} (1 - \Psi^4)$
W _p	(mm ³)	поларни отпорни момент  $W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$
Ψ		однос пречника $\Psi = d_e / d_i$
M _i	(Nm)	еквивалентни момент савијања $M_i = \sqrt{M^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1)}}{2\tau_{D(0)}} \cdot T \right)^2}$
σ_i	(N/mm ²)	еквивалентни напон $\sigma_i = \sqrt{\sigma^2 + 3(\alpha_0 + \tau)^2}$
α_0		фактор $\alpha_0 = [\sigma] / [\tau]$
$\sigma_{D(-1)}$	(N/mm ²)	трајна динамичка издржљивост при наизменично променљивом савијању
$\tau_{D(0)}$	(N/mm ²)	трајна динамичка издржљивост при једносмерно променљивом увијању
d	(mm)	пречник вратила у карактеристичном пресеку у односу на савијање  $d \geq \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi \sigma_{doz}}}$  $d_e \geq \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi (1 - \Psi^4) \sigma_{doz}}}$

Табела 2.1 Наставак табеле

Ознака	Јединица мере	Назив и вредност
d	(mm)	пречник вратила у карактеристичном пресеку у односу на увијање  $d \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_{\text{doz}}}}$  $d_e \geq \sqrt[3]{\frac{16M}{\pi(1-\Psi^4)\tau_{\text{doz}}}}$
d	(mm)	пречник вратила у карактеристичном пресеку у односу на увијање и савијање  $d \geq \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi\sigma_{\text{doz}}}}$  $d_e \geq \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi(1-\Psi^4)\sigma_{\text{doz}}}}$
σ_{doz} τ_{doz}	(N/mm ²)	дозвољени напон $\sigma_{\text{doz}} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{K \cdot S}$; $\tau_{\text{doz}} = \frac{\tau_{D(0)}}{K \cdot S}$
K	-	фактор који узима у обзир концентрацију напона и остале утицаје на динамичку издржљивост
S	-	степен сигурности (1,5÷2,5) $S = \frac{[\sigma]}{\sigma} = \frac{\sigma_{D(-1)} \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3}{\beta_k \cdot \sigma};$ $S = \frac{[\tau]}{\tau} = \frac{\tau_{D(0)} \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3}{\beta_k \cdot \tau}$
ξ_1	-	фактор величине пресека
ξ_2	-	фактор храпавости
ξ_3	-	фактор ојачања површинског слоја
β_k	-	ефективни фактор концентрације напона
ω_k	-	критична угаона брзина вратила $\omega_k = \sqrt{c/m}$
c	(N/mm)	крутост вратила
m	(kg)	маса
n_k	(min ⁻¹)	критични минутни број обртаја у односу на савијање $n_{ks} = 950 \cdot \sqrt{k_u / f}$, у односу на увијање $n_{ku} = \frac{p}{\pi} \sqrt{\frac{T_1}{\phi \cdot J}}$
f	(mm)	угиб вратила
k_u		фактор улежиштења: $k_u = 1$ за вратила са подесивим лежајевима, $k_u = 1,7$ за круто улежиштена вратила, $k_u = 0,8$ за вратила са обртним елементом на препуст
ϕ	(rad)	угао увијања
J	(kgm ²)	момент инерције обртне масе

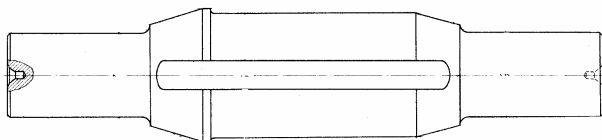
Цилиндрични фрикциони пар	Спољашњи пар	
Унутрашњи пар	Конусни фрикциони пар	
Каишни и ремени пар	Ланчани пар	Опшерећење вратила код каишног и ланчаног пара

A detailed technical illustration of a mechanical device, likely a pump or engine component. It features a large gear and a smaller gear mounted on a base. The device has a complex, multi-part construction with various bolts and a central shaft. The illustration is in a classic, engraved style.

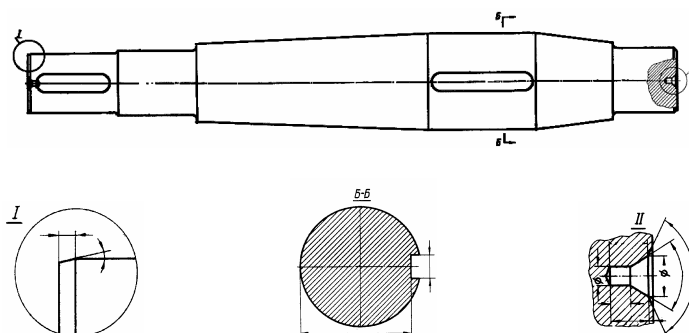


Конструкција извођења

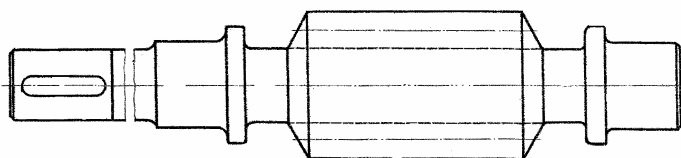
Осовина



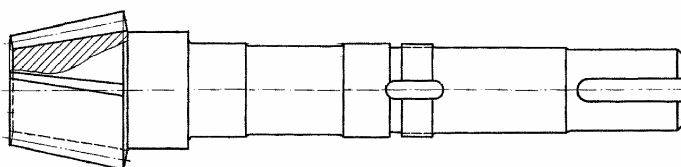
Враћило



Враћило са њужем

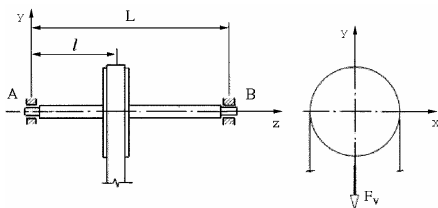


Враћило са конусним зупчаником



РАЧУНСКИ ПРИМЕРИ

Задатак 2.1.1 На осовину дужине L улежиштено у ослоцима А и В, причвршћен је каишник на растојању l од ослоца А. Резултујуће оптерећење вратила од преноса каишем је F_v .



Нацртати статичке дијаграме.

Решење:

На основу статичких услова равнотеже

$$\begin{aligned}\sum y_i &= 0 \\ F_A + F_B - F_v &= 0, \\ \sum M_A &= 0 \\ F_v \cdot l - F_B \cdot L &= 0,\end{aligned}$$

отпори ослоца имају вредност:

$$F_A = F_v \cdot \left(1 - \frac{l}{L}\right) \text{ и } F_B = \frac{F_v \cdot l}{L}.$$

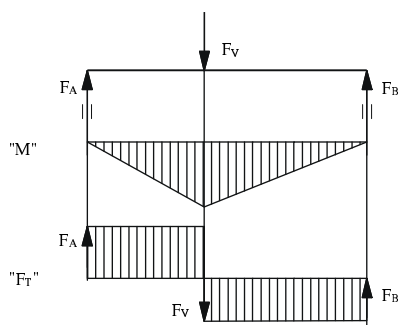
За $l = L/2$ су отпори ослоца

$$F_A = F_B = F_v / 2,$$

и максимални момент савијања је:

$$M_{Smax} = \frac{F_v \cdot L}{4}.$$

Статички дијаграми



Задатак 2.1.2 На основу задатка 2.1.1 димензионисати осовину не узимајући у обзир концентрацију напона. Материјал за израду осовине је Č545.

Подаци:

$$\begin{aligned}F_v &= 2,3 \text{ (kN)}, \\ L &= 200 \text{ (mm)}, \\ l &= L/2.\end{aligned}$$

Решење:

Нормални напон од савијања треба да је мањи од дозвољеног напона:

$$\sigma_s = \frac{M_{Smax}}{W} \leq \sigma_{doz},$$

где су: M_{Smax} - максимални момент савијања,

$$M_{Smax} = \frac{F_v \cdot L}{4},$$

W - отпорни момент површине попречног пресека

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32},$$

σ_{doz} - Дозвољени напон

$$\sigma_{doz} = \frac{[\sigma]}{S} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{S}$$

$\sigma_{D(-1)}$ - динамичка издржљивост

S - степен сигурности.

Пречник осовине има вредност:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{Smax}}{\pi \cdot \sigma_{doz}}},$$

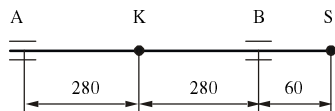
$$d = \sqrt[3]{\frac{32(F_v \cdot L/4)}{\pi \cdot \sigma_{D(-1)} / S}},$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32(2,3 \cdot 10^3 \cdot 200/4)}{\pi \cdot 250/2}} = 21,086 \text{ (mm)}.$$

Усваја се стандардни пречник $d=25 \text{ (mm)}$.

Анализа оптерећења вратила

Карактеристични пресеци вратила су ослонци А и В и подглавци на месту каишника К и спојнице S.



оптерећења од	Карактеристични пресек			
		K	B	S
F_T	$\neq 0$	$\neq 0$	$\neq 0$	$= 0$
M	$= 0$	$\neq 0$	$= 0$	$= 0$
T	$= 0$	$\neq 0$	$\neq 0$	$\neq 0$

Критични пресек је на месту каишника К. Занемарујући утицај трансверзалне силе еквивалентни нападни момент има вредност:

$$M_i = \sqrt{M^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-)} \cdot T}{2\tau_{D(0)}} \right)^2}$$

где су: M - момент савијања,
 T - обртни момент,
 $\sigma_{D(-)} = 250 \text{ (N/mm}^2\text{)},$
 $\tau_{D(-)} = 200 \text{ (N/mm}^2\text{)}.$

$$M_i = \sqrt{1078^2 + \left(\frac{250}{2 \cdot 200} \cdot 800 \right)^2},$$

$$M_i = 1188,3 \text{ (Nm)}.$$

Пречник вратила у критичном пресеку је:

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_i}{\sigma_{\text{doz}}}}.$$

Где је дозвољени напон:

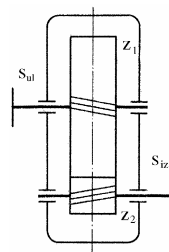
$$\sigma_{\text{doz}} = [\sigma] / K \cdot S = 250 / 2 \cdot 2 = 62,5 \text{ (N/mm}^2\text{)}.$$

Пречник вратила на месту каишника има вредност:

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 M_i}{\sigma_{\text{doz}}}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 1210 \cdot 10^3}{62,5}} = 57,85 \text{ (mm)}.$$

Усваја се $d = 60 \text{ (mm)}.$

Задатак 2.1.10. Једностепени хоризонтални редуктор са цилиндричним зупчаницима са косим зупцима конструиран је за следеће податке:



$$P_{ul} = 1,5 \text{ (kW)},$$

$$n_{ul} = 750 \text{ (min}^{-1}\text{)},$$

$$z_1 = 41,$$

$$\beta_0 = 14^\circ$$

$$m = 3,5 \text{ (mm)}.$$

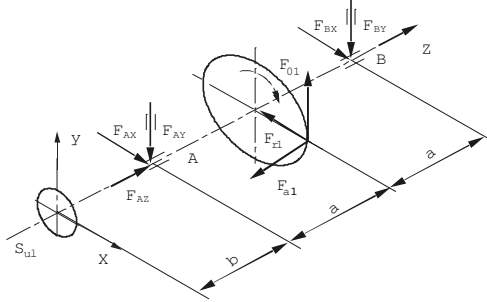
Треба:

а) нацртати шему оптерећења погонског вратила

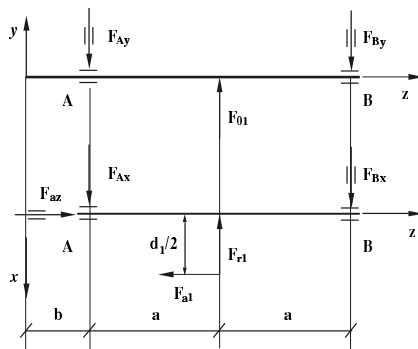
- б) нацртати статичке дијаграме
 ц) Израчунати вредност трансверзалне силе и момента савијања у критичном пресеку

Решење:

а) шема општећења погонског вратила



б) Статички дијаграм вратила АВ



На основу статичких услова равнотеже одређују се отпори ослонаца.

Вертикална равна (y, z)

$$\begin{aligned}\sum Y_i &= 0 \\ F_{01} - F_{Ay} - F_{By} &= 0 \\ \sum M_B &= 0 \\ F_{01} \cdot a - F_{Ay} \cdot 2a &= 0 \\ F_{Ay} &= F_{By} = F_{01} / 2\end{aligned}$$

Хоризонтална равна (x, z)

$$\begin{aligned}\sum X_i &= 0 \\ F_{Ax} + F_{Bx} - F_{r1} &= 0 \\ \sum M_B &= 0\end{aligned}$$

$$F_{r1} \cdot a + F_{a1} \cdot (d_1 / 2) - F_{Ax} \cdot 2a = 0$$

Отпори ослонаца у радијалном правцу су:

$$F_A = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{By}^2},$$

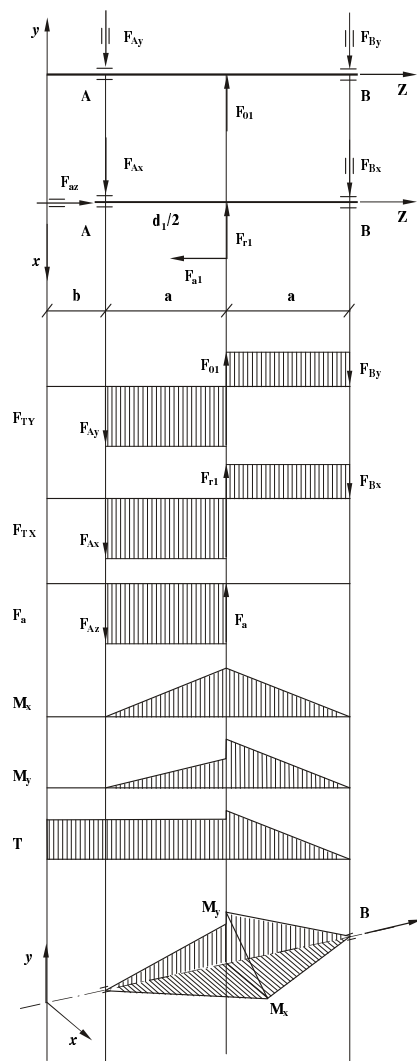
$$F_B = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{By}^2}$$

Компонента отпора ослонаца у аксијалном правцу је:

$$\sum Z_i = 0$$

$$F_{Az} - F_{a1} = 0;$$

$$F_{Az} = F_{a1}$$



ц) трансверзална сила и најадни момент од савијања у критичном пресеку.