

## Фрикциона спојница са ламелама - прорачун

Снага на вратилу спојнице:	$P = 12 \text{ kW}$
Број обртаја вратила спојнице:	$n = 900 \frac{\text{о}}{\text{min}}$
Фактор спољних динамичких сила:	$K_A = 1.25$
Материјал вратила:	Č.0545
Материјал унутрашњих ламела:	каљен челик
Материјал спољашњих ламела:	каљен челик са облогом од синтерованог метала
Површине:	подмазане прскањем
Степен сигурности против клизања:	$S_{\mu} = 1.1 \text{ до } 1.6$
излазни пречник вратила електромотора:	$d_e = 55 \text{ mm}$
Веза вратила и главчине остварена је:	клином
Пречници вратила која се спајају спојницом су једнаки по димензијама!	

Решење задатка:

### 1 Меродавни обртни момент

$$T \cdot K_A = \frac{P}{\omega} \cdot K_A = 0.159 \text{ kNm} \quad 159154.9 \text{ Nmm} \quad \omega = \frac{n \cdot \pi}{30} = 94.248 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{Иделани пречник вратила: } d_i \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T \cdot K_A}{\pi \cdot \tau_{ud}}} = 24.275 \text{ mm}$$

$$\tau_{D(0)} = 170 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad T \text{ 2.3 M.E.I за } \check{C}.0545 \quad S = 3 \text{ T 2.5 M.E.I}$$

$$\tau_{ud} = \frac{\tau_{D(0)}}{S} = 56.667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

С обзиром да је веза вратила и главчине клином, и да је излазни пречник вратила електромотора  $d_e = 55 \text{ mm}$  усваја се пречник прикључног вратила:

$$d = 55 \text{ mm}$$

Пречник главчине спојнице на погонском вратилу:

$$d_g = 1,8 \cdot d = 99 \text{ mm} \quad \text{усвајам: } d_g = 100 \text{ mm}$$

### 2 Димензије ламела

$$\text{Унутрашњи пречник: } d_u = (2 \dots 2,3) \cdot d = (110 \text{ до } 126,5) \text{ mm}$$

$$\text{Спољашњи пречник: } d_s = (3,5 \dots 4) \cdot d = (192,5 \text{ до } 220) \text{ mm}$$

**Усвајају се за погонску ламелу следеће димензије:**  $\varnothing 210 / \varnothing 120 \times 3$

$$d_{sp} = 210 \text{ mm} \quad d_{up} = 120 \text{ mm} \quad \delta = 3 \text{ mm}$$

$$r_{sp} = \frac{d_{sp}}{2} = 105 \text{ mm} \quad r_{up} = \frac{d_{up}}{2} = 60 \text{ mm}$$

**Усвајају се за гоњену ламелу следеће димензије:**  $\varnothing 200 / \varnothing 110 \times 3$

$$d_{sg} = 200 \text{ mm} \quad d_{ug} = 110 \text{ mm} \quad \delta = 3 \text{ mm}$$

$$r_{sg} = \frac{d_{sg}}{2} = 100 \text{ mm} \quad r_{ug} = \frac{d_{ug}}{2} = 55 \text{ mm}$$

### 3 Број тарних површина и број ламела

Гранични обртни момент који спојница може да пренесе:  $i \cdot F_n \cdot \mu \cdot r_\mu \geq S_\mu \cdot K_A \cdot T$

средњи полупречник момента трења се рачуна:

$$r_\mu = \frac{2}{3} \cdot \frac{r_s^3 - r_u^3}{r_s^2 - r_u^2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{r_{sg}^3 - r_{up}^3}{r_{sg}^2 - r_{up}^2} = 81.667 \text{ mm}$$

по поставци задатка:  $S_\mu = 1.2$

Коефицијент отпора клизању за тарне површине из Т 7.161 износи:

$\mu = 0.06$  до  $0.11$  за каљен челик по синтерованом металу и подмазивање прскањем

усвајам:  $\mu = 0.06$

Потребна вредност нормалне силе притиска на ламеле износи:

$$F_n \geq \frac{S_\mu \cdot K_A \cdot T}{i \cdot \mu \cdot r_\mu}$$

непознат је број тарних површина:  $i$

Површински притисак на додирним површинама ограниченим спољашњим полупречн.

$r_{sg} = 100 \text{ mm}$  и унутрашњим  $r_{up} = 60 \text{ mm}$  се рачуна:

$$p = \frac{F_n}{A} \leq p_{doz}$$

$$A = (r_{sg}^2 - r_{up}^2) \cdot \pi = 20106.19 \text{ mm}^2 \quad \text{тарна површина}$$

$p_{doz} = 0.5$  до  $2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  Т 7.161 - дозвољени површински притисак

усвајам:  $p_{doz} = 0.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Заменом израза за нормалну силу у једначину за површински притисак можемо да одредимо број тарних површина:

$$i \geq \frac{S_{\mu} \cdot K_A \cdot T}{P_{doz} \cdot \mu \cdot r_{\mu} \cdot A} = 3.877086 \text{ усвајам: } i = 4 \text{ тарних површина!}$$

потребна вредност нормалне силе притиска износи:  $F_n \geq \frac{S_{\mu} \cdot K_A \cdot T}{i \cdot \mu \cdot r_{\mu}} = 9744.18 \text{ N}$

број унутрашњих ламела:  $z_1 = \frac{i}{2} = 2$  гоњених дискова

број спољашњих ламела:  $z_2 = z_1 + 1 = 3$  погонских дискова

површински притисак:  $p = \frac{F_n}{A} = 0.485 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

#### 4 Жлебни спој на ламелама

**погонска ламела:**  $d_{sp} = 210 \text{ mm}$

гранична вредност за подножни пречник ожлебљења је:  $d_{sg} = 200 \text{ mm}$

усвајам пречник подножне кружности за жлебни профил погонске ламеле:  $d_{fp} = 202 \text{ mm}$

обимна сила делује на средњем пречнику:  $d_{srp} = \frac{d_{sp} + d_{fp}}{2} = 206 \text{ mm}$

вредност обимне силе:  $F_{tp} = \frac{2 \cdot T \cdot K_A}{d_{srp}} = 1545.194 \text{ N}$

фактор неравномерности расподеле оптерећења:  $\xi_r = 1.15$  до  $1.35$

усвајам:  $\xi_r = 1.15$

корисна дужина бокова се рачуна на основу усвојене дебљине ламеле, при чему се узима у обзир слој синтерованог метала са сваке стране ламеле у вредности:  $0.5 \text{ mm}$   
а не улази у димензије жлебног споја:

$\delta = l_k + 2 \cdot 0,5 = 3 \text{ mm}$   $l_k = 2 \text{ mm}$

висина озубљења погонске ламеле:  $h_p = \frac{d_{sp} - d_{fp}}{2} = 4 \text{ mm}$

површински притисак на боковима жлебног профила се рачуна:

$$p = \xi_r \cdot \frac{F_{tp}}{h_p \cdot l_k \cdot z \cdot z_2} \leq p_{doz}$$

Дозвољени површински притисак на боковима:  $p_{doz} = 100$  до  $120 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

усвајам:  $p_{doz} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  стр. 96 М.Е.1

број жлебних профила на погонској ламели:  $z \geq \xi_r \cdot \frac{F_{tp}}{h_p \cdot l_k \cdot p_{doz} \cdot z_2} = 0.740405$

усвајам:  $z = 3$  жлебних профила на погонској ламели! Т 4.8.М.Е.І

$p = \xi_r \cdot \frac{F_{tp}}{h_p \cdot l_k \cdot z \cdot z_2} = 24.680 \frac{N}{mm^2} \leq p_{doz}$  површински притисак задовољава!

$\tau_s = \frac{F_{tp}}{A_s} = \frac{F_{tp}}{l_k \cdot b \cdot z \cdot z_2} = 9.538 \frac{N}{mm^2} \leq \tau_{sd}$   $R_{eH} = 360 \frac{N}{mm^2}$  Т 2.3. М.Е.І Č.1220

$\tau_{sd} = \frac{[\tau]}{S} = \frac{R_{eH(\tau)}}{S} = \frac{0,8 \cdot R_{eH}}{S} = 96.000 \frac{N}{mm^2}$   $S = 3$  Т 2.5. М.Е.І

напон смицања задовољава!

ширина жлебног профила се усваја:  $b = 9 \text{ mm}$  Т 4.8.М.Е.І

**гоњена ламела:**  $d_{ug} = 110 \text{ mm}$

гранична вредност за горњи пречник ожлебљења је:  $d_{up} = 120 \text{ mm}$

усвајам горњи пречник кружнице за жлебни профил гоњене ламеле:  $d_{ag} = 120 \text{ mm}$

обимна сила делује на средњем пречнику:  $d_{srg} = \frac{d_{ug} + d_{ag}}{2} = 115 \text{ mm}$

вредност обимне силе:  $F_{tg} = \frac{2 \cdot T \cdot K_A}{d_{srg}} = 2767.912 \text{ N}$

фактор неравномерности расподеле оптерећења:  $\xi_r = 1.15$  до 1.35

усвајам:  $\xi_r = 1.15$

корисна дужина бокова се рачуна на основу усвојене дебљине ламеле, али на гоњеној ламели се не ставља слој синтерованог метала, па је:

$\delta = l_k = 3 \text{ mm}$

висина озубљења гоњене ламеле:  $h_g = \frac{d_{ag} - d_{ug}}{2} = 5 \text{ mm}$

површински притисак на боковима жлебног профила се рачуна:

$p = \xi_r \cdot \frac{F_{tg}}{h_g \cdot l_k \cdot z \cdot z_1} \leq p_{doz}$

Дозвољени површински притисак на боковима:  $p_{doz} = 100$  до  $120 \frac{N}{mm^2}$

усвајам:  $p_{doz} = 100 \frac{N}{mm^2}$  стр. 96 М.Е.І

број жлебних профила на гоњеној ламели:  $z \geq \xi_r \cdot \frac{F_{tg}}{h_g \cdot l_k \cdot p_{doz} \cdot z_1} = 1.061033$

усвајам:  $z = 3$  жлебних профила на гоњеној ламели! Т 4.8.М.Е.І

$$p = \xi_r \cdot \frac{F_{tg}}{h_g \cdot l_k \cdot z \cdot z_1} = 35.368 \frac{N}{mm^2} \leq p_{doz} \quad \text{површински притисак задовољава!}$$

$$\tau_s = \frac{F_{tg}}{A_s} = \frac{F_{tg}}{l_k \cdot b \cdot z \cdot z_1} = 17.086 \frac{N}{mm^2} \leq \tau_{sd} \quad R_{eH} = 360 \frac{N}{mm^2} \quad \text{T 2.3. M.E.I } \check{C}.1220$$

$$\tau_{sd} = \frac{[\tau]}{S} = \frac{R_{eH(\tau)}}{S} = \frac{0,8 \cdot R_{eH}}{S} = 96.000 \frac{N}{mm^2} \quad S = 3 \quad \text{T 2.5. M.E.I}$$

напон смицања задовољава!

ширина жлебног профила се усваја:  $b = 9 \text{ mm}$  T 4.8.M.E.I

### 5 Спој вратила са клином

За усвојен пречник вратила:  $55 \text{ mm}$  T 4.7 M.E. I мере клина износе:

$$b = 16 \text{ mm} \quad h = 10 \text{ mm} \quad t = 6.2 \text{ mm} \quad t_1 = h - t = 3.8 \text{ mm}$$

За главчину од сивог лива дозвољени површински притисак је:

$$Pd = 45 \text{ до } 65 \frac{N}{mm^2} \quad \text{усвајам: } Pd = 45 \frac{N}{mm^2}$$

корисна дужина клина одређује се из услова да је површински притисак између клина и главчине мањи од дозвољеног:

$$P_2 = \frac{F_{tk}}{A_2} = \frac{F_{tk}}{l_k \cdot t_1} \leq Pd \quad \text{обимна сила на клину: } F_{tk} = \frac{2 \cdot T \cdot K_A}{d} = 5787.452 \text{ N}$$

$$\text{корисна дужина клина је: } l_k \geq \frac{F_{tk}}{Pd \cdot t_1} = 33.845 \text{ mm}$$

$$\text{усвајам дужину клина: } l = 50 \text{ mm}$$

$$l_k = l - b = 34 \text{ mm}$$

$$\text{површински притисак на клину: } P_2 = \frac{F_{tk}}{A_2} = \frac{F_{tk}}{l_k \cdot t_1} = 44.795 \frac{N}{mm^2} \leq Pd$$

$$\text{Напон смицања: } \tau_s = \frac{F_{tk}}{A_s} = \frac{F_{tk}}{l_k \cdot b} = 10.639 \frac{N}{mm^2} \leq \tau_{sd}$$

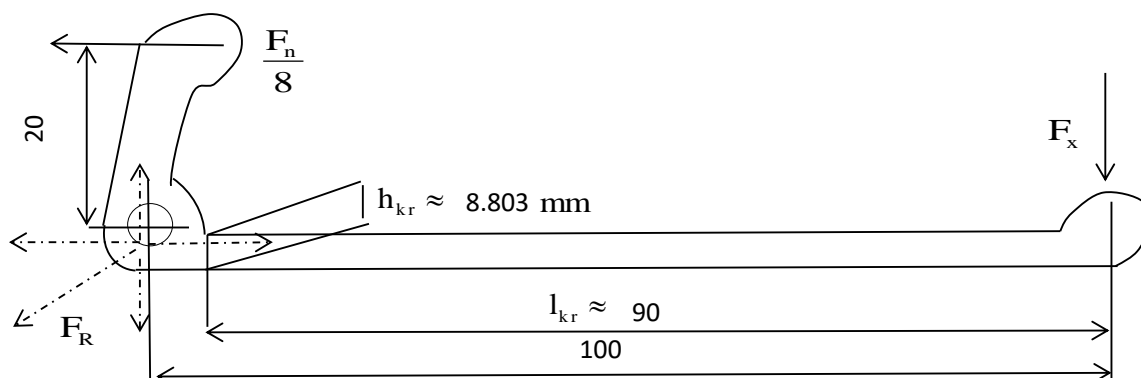
$$\tau_{sd} = \frac{[\tau]}{S} = \frac{R_{eH(\tau)}}{S} = \frac{0,8 \cdot R_{eH}}{S} = 85.333 \frac{N}{mm^2}$$

$$R_{eH} = 320 \frac{N}{mm^2} \quad \text{T 2.3. M.E.I } \check{C}.0645, \text{ материјал клина}$$

$$S = 3 \text{ T 2.5. M.E.I}$$

$$\text{дужина клина на гоњеном вратилу: } l = 100 \text{ mm}$$

## 6 Конструкција полуге

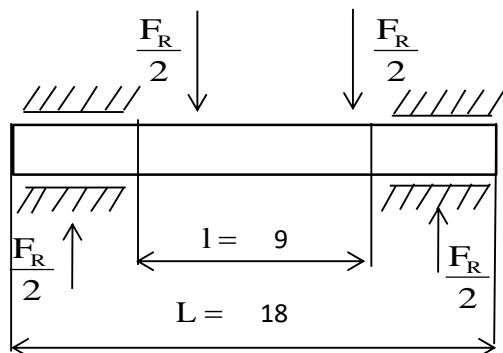


због равномерније расподеле нормалне силе на дискове, нормална сила се остварује помоћу осам полуга, које су равномерно распоређене по обиму спојнице са угаоним размаком од:  $45^\circ$

У центру зглобне везе сума момената мора бити једнака нули:

$$\sum M_s = \frac{F_n}{8} \cdot 20 - F_x \cdot 100 = 0 \Rightarrow F_x = \frac{F_n \cdot 20}{8 \cdot 100} = 243.6045 \text{ Nmm}$$

Полуга се окреће око осовинице - зглобна веза, која је оптерећена на савијање:



На месту зглобне везе од сила:  $\frac{F_n}{8}$  и  $F_x$  се формирају два супротна спрега сила

и резултантна сила:  $F_R$  која оптерећује осовиницу на савијање, стр 123 М.Е.!!

$$F_R = \sqrt{\left(\frac{F_n}{8}\right)^2 + (F_x)^2} = 1242.144 \text{ N} \quad M_s = \frac{F_R}{8} \cdot L = 2794.824 \text{ Nmm}$$

Пречник осовинице:  $d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_s}{\pi \cdot \sigma_{sd}}} = 5.251 \text{ mm}$  усвајам:  $d = 14 \text{ mm}$   
увећано за 10 % због хабања

$$\sigma_{sd} = \frac{[\sigma]}{S} = \frac{\sigma_{D(0)}}{S} = 196.6667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{D(0)} = 590 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{T 2.3. М.Е.І } \checkmark.1730, \text{ материјал осовинице!}$$

$$S = 3$$

Осовиница је оптерећена на смицање и површински притисак:

$$\tau_s = \frac{F_R}{A} = \frac{2 \cdot F_R}{d^2 \cdot \pi} = 4.035 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \tau_{sd} \quad R_{eH} = 460 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad S = 3$$

$$\tau_{sd} = \frac{[\tau]}{S} = \frac{R_{eH(\tau)}}{S} = \frac{0,8 \cdot R_{eH}}{S} = 122.667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Површински притисак на дужини  $l$ :  $p = \frac{F_R}{A} = \frac{F_R}{d \cdot l} = 9.858287 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq Pd$

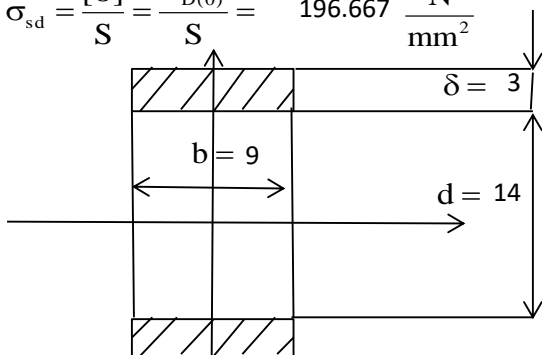
Површински притисак на дужини  $L \div l$ :  $p = \frac{F_R}{A} = \frac{F_R}{d \cdot (L-l)} = 9.858287 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq Pd$

Дозвољени површински притисак:  $Pd = 10$  до  $14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

уважај:  $Pd = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  за каљене и брушене додирне површине!

Полуга је оптерећена на савијање:  $M_s = \frac{F_n}{8} \cdot l = \frac{F_n}{8} \cdot 20 = 24360.45 \text{ Nmm}$

$$\sigma_{sd} = \frac{[\sigma]}{S} = \frac{\sigma_{D(0)}}{S} = 196.667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{D(0)} = 590 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad S = 3$$



T 2.3. M.E.I Č.1730, материјал полуге

$b = 9 \text{ mm}$   
успојена ширина полуге!

Отпорни момент инерције попречног пресека полуге на месту највећег оптерећења

$$W = 2 \cdot \frac{\left( \frac{b \cdot \delta^3}{12} + b \cdot \delta \cdot \left( \frac{d}{2} + \frac{\delta}{2} \right)^2 \right)}{\left( \frac{d}{2} + \delta \right)} = 394.2 \text{ mm}^3$$

па је напон савијања:  $\sigma_s = \frac{M_s}{W} = 61.797 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \sigma_{sd}$

Критичан пресек је на месту преласка са прстенастог попречног пресека на правоугаони!

$$h_{kr} = 8.8 \text{ mm} \quad W_{min} = \frac{b \cdot h_{kr}^2}{6} = 116.239 \text{ mm}^3 \quad M_s = F_x \cdot l_{kr} = F_x \cdot 90 = 21924.41 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_s = \frac{M_s}{W} = 188.615 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \sigma_{sd}$$

На месту дејства силе напон савијања је нула, па се због тога висина полуге постепено смањује ка месту дејства нормалне силе - идеалан би био облик кубног параболоида!

У обзир није узета центрифугална сила (константан број обртаја - константан интензитет силе) која растеређује осовинице - полуге у раду, тј прорачун је рађен узимајући у обзир неповољније услове рада!