گرداننده تسمه‌ای نیروی انتقال ۶۰ (Kw) از پولی کوچکتر با قطر ۴۰ (cm) و سرعت زاویه‌ای ۱۲۰۰ (rpm) به پولی با قطر ۱۰۰ (cm) استفاده می‌شود. تسمه از جنس بالاتا، دولایه شده با مقطع ۱×۱۰ (cm) و ضریب اصطکاک ۰٫۳ می‌باشد. فاصله مراکز دو پولی ۳ (m) می‌باشد.

۱) مقدار گشتاور مورد نیاز؟

۲) طول مورد نیاز تسمه؟

۳) نیروی اینکه لغزش نداشته باشیم بیشترین کشش در تسمه چقدر می‌باشد؟

۴) آیا یک تسمه نیروی انتقال توان کافیست؟

$$H = 60\ (Kw) \rightsquigarrow H = T\omega_d \rightsquigarrow T = \frac{60 * 1000}{1200 * 2\pi/60} = 477.645\ (N.m)$$

$$\sin\alpha = \frac{D-d}{2C} = \frac{1-0.4}{2*3} \rightsquigarrow \alpha = 5.74^\circ$$

$$\theta_D = \pi + 2\alpha = 191.48^\circ = 3.342\ (rad) \qquad \theta_d = \pi - 2\alpha = 168 = 2.941\ (rad)$$

$$V = \frac{\omega_d \cdot d}{2} = 0.2 * 1200 * 2\pi/60 = 25.133\ (m/s)$$

$$L = \sqrt{4C^2 - (D-d)^2} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d) = 8.23\ (m)$$

جدول ص ۶۹۳ $\rightarrow$ $\rho = 1100\ (kg/m^3) \rightsquigarrow m = 1100\,(0.1 * 0.1 * 8.23) = 9.053\ (kg)$

$$m' = \frac{m}{\ell} = \frac{9.053}{8.23} = 1.1\ (kg/m)$$

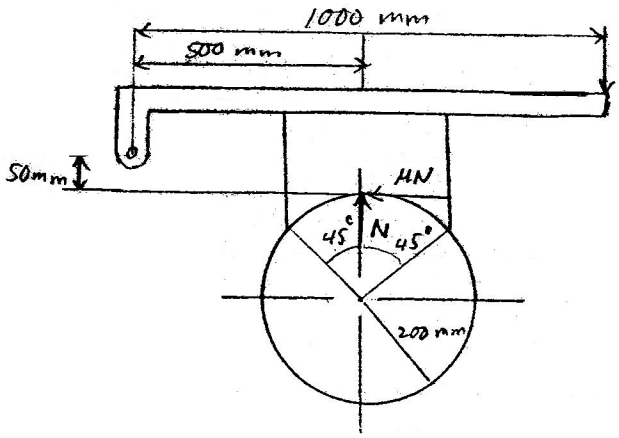
$$\rightsquigarrow \frac{F_1 - 1.1\,(25.133)^2}{F_2 - 1.1\,(25.133)^2} = e^{(0.3\theta_d)} \simeq 2.416 \rightsquigarrow 2.416\,F_2 - F_1 = 9823.9\ (N/m)$$

$$H = (F_1 - F_2)\,V \rightsquigarrow F_1 - F_2 = 2387.3\ (N/m)$$

$$\rightsquigarrow F_2 = 2380.791\ (N/m)$$

$$F_1 = 4768.1\ (N/m) > F_{all}$$ (جدول ص ۶۹۳) $\rightsquigarrow$ باید ۲ تسمه استفاده شود.

مثال:



Width $b = 50$ mm

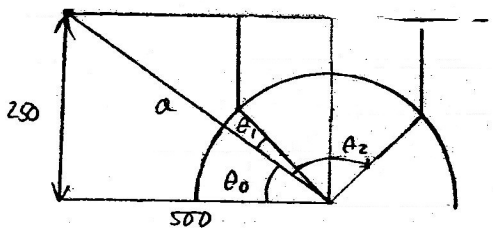
$\mu = 0.2$

$T = ?$

$\theta_0 = \tan^{-1}\left(\frac{0.2+0.05}{0.5}\right) \simeq 27°$: مثلث

$\theta_1 = 45 - \theta_0 \simeq 18°$

$\theta_2 = 90 + \theta_0 = 108°$



$\therefore a = \sqrt{0.5^2 + 0.25^2} = 0.56$ m

$\theta_{max} = 90° \Rightarrow \sin\theta_{max} = 1$

$$M_N = \frac{P_{max}\, b\, r a}{\sin\theta_{max}} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin^2\theta\, d\theta = \frac{P_{max}\,(0.05)(0.2)(0.56)}{1}\left[\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4}\sin 2\theta\right]_{18}^{108}$$

$$= 6.05 \times 10^{-5} P_{max}$$

$$M_f = \frac{\mu P_{max}\, b r}{\sin\theta_{max}} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta\,(r - a\cos\theta)\, d\theta$$

$$= \frac{0.2\, P_{max}(0.05)(0.2)}{1}\left\{ r\int_{18}^{108} \sin\theta\, d\theta - a\int_{18}^{108} \sin\theta\cos\theta\, d\theta \right\}$$

$$= 0.002\, P_{max}\left\{ (0.2)\left[-\cos\theta\right]_{18}^{108} - (0.56)\frac{1}{2}\left[\sin^2\theta\right]_{18}^{108} \right\}$$

$$= 0.002\, P_{max}\left\{0.252 - 0.227\right\} = 5.1 \times 10^{-5} P_{max}$$

$$F = \frac{M_N - M_f}{c} = \frac{(6.05 - 0.051)\times 10^{-3} P_{max}}{1.0} = 6.0 \times 10^{-3} P_{max} = 2000$$

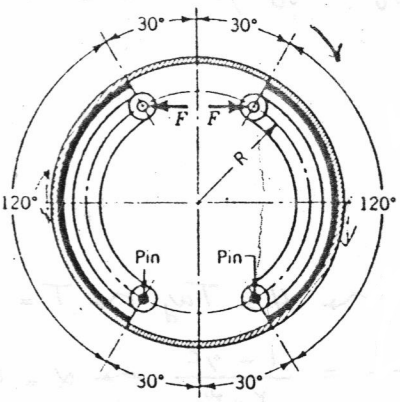
$$\Rightarrow P_{max} = 0.167 \times 10^{3} (2000) = 0.333 \times 10^{6}\ \text{Pa}$$

$$T = \frac{\mu P_{max}\, b r^2 (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)}{\sin\theta_{max}} = \frac{(0.2)(0.333\times 10^6)(0.05)(0.2)^2\left[\cos 18 - \cos 108\right]}{1}$$

$$= 138\ \text{N.m}$$

Problem 16-1	Shigley, Metric Edition	Mohsen Esfahanian

Known: $d = 250$ mm, $R = 100$ mm, $b = 28$ mm, $P_{max} = 600$ kPa, $\mu = 0.32$



Find: $F = ?$, $T = ?$, $F_x = ?$, $F_y = ?$

Solution: $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 120°$

$\Rightarrow \theta_{max} = 90°$ $\quad (\sin\theta)_{max} = 1$

$$M_n = \frac{P_{max}\, b\, r R}{(\sin\theta)_{max}} \int_0^{120°} \sin^2\theta\, d\theta = \frac{P_{max}\ (0.028)(0.125)(0.1)}{4}\left[\frac{4\pi}{3} - \sin 240°\right]$$

$$= 4.423 \times 10^{-4}\, P_{max}$$

$$M_f = \frac{\mu P_{max}\, b\, r}{(\sin\theta)_{max}} \int_0^{120°} \sin\theta\,(r - R\cos\theta)\, d\theta$$

$$= \frac{(0.32)\, P_{max}\, (0.028)(0.125)}{1}\left[0.125\,(1-\cos 120°) + \frac{(0.1)}{4}(\cos 240° - 1)\right] =$$

$$= 1.68 \times 10^{-4}\, P_{max}$$

$$C = 2R\sin 60° = 2(0.1)\sin 60° = 0.173\ m$$

$$F = \frac{M_N - M_f}{C} = \frac{(4.423 - 1.68)\times 10^{-4}\, P_{max}}{0.173} = 950.19\ N$$

For the other shoe

$$F = \frac{M_N + M_f}{C} = \frac{(4.423 + 1.68)\times 10^{-4}\, P_a}{0.173} = 950.19\ N \quad \Rightarrow P_a = 270\ kPa$$

$$T = \frac{\mu(P_{max} + P_a)\, b\, r^2}{(\sin\theta)_{max}}(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) = \frac{0.32(600+270)\times 10^3\,(0.028)(0.125)^2}{1}(1-\cos 120°)$$

$$= 182.70\ N.m$$

$$A = \frac{\sin^2\theta_2}{2} = 0.375 \qquad B = \frac{\theta_2}{2} - \frac{1}{4}\sin 2\theta_2 = 1.264$$

$$K_{max} = \frac{P_{max}\, b\, r}{(\sin\theta)_{max}} = \frac{600\times 10^3\,(0.028)(0.125)}{1} = 2100$$

$$K_a = \frac{P_a\, b\, r}{(\sin\theta)_a} = \frac{270\times 10^3\,(0.028)(0.125)}{1} = 945$$

$$F_x = F\sin 30° = 475.1\ N \qquad F_y = F\cos 30° = 822.90\ N$$

$$R_{max} = \sqrt{\left[K_{max}(A-\mu B) - F_x\right]^2 + \left[K_{max}(B+\mu A) - F_y\right]^2} = \sqrt{(-537)^2 + (2083.5)^2} = 2151.6\ N$$

$$R_a = \sqrt{\left[K_a(A+\mu B) - F_x\right]^2 + \left[K_a\ (B-\mu A) - F_y\right]^2} = \sqrt{(261.51)^2 + (258.19)^2} = 367.5\ N$$

دستگاه الکتریکی کاهنده سرعت 5.5 کیلووات که با سرعت 300 rpm می‌گردد، قطر تقریبی را با سرعت 200 rpm می‌گرداند تا حداکثر حدود 710 mm باشد.

تعداد دندانه‌ها را 18 و 27 می‌گیریم. برای کار با تکان متوسط $k_s = 1.3$

$k_1 = 1.05$

الف) برای زنجیر یک ردیفه $k_2 = 1$

$$H_r = \frac{k_s H}{k_1 k_2} = \frac{1.3(5.5)}{1.05(1)} = 6.81 \text{ kW}$$

از جدول 17-6 زنجیر 1 A80 با $H_r = 11.63$ kW

ب) برای زنجیر دو ردیفه $k_2 = 1.7$

$$H_r = \frac{k_s H}{k_1 k_2} = \frac{1.3(5.5)}{1.05(1.7)} = 4.01 \text{ kW}$$

از جدول 17-6 با A60-2 $H_r = 4.56$ kW

ج) برای زنجیر سه ردیفه $k_2 = 2.5$

$$H_r = \frac{k_s H}{k_1 k_2} = \frac{1.3(5.5)}{1.05(2.5)} = 2.72 \text{ kW}$$

از جدول 17-6 با A50-3 $H_r = 2.6$ kW جواب می‌دهد

برای زنجیر چهار ردیفه $k_2 = 3.3$

$$H_r = \frac{1.3(5.5)}{1.05(3.3)} = 2.06 \text{ kW}$$

این زنجیر A50-4 جواب می‌دهد

انتخاب زنجیر A60-2 از جدول 17-4 با $p = 19.05$ mm

$$\frac{L}{p} = \frac{2(710)}{19.05} + \frac{18+27}{2} + \frac{(27-18)^2}{4\pi^2(710/19.05)} = 97.09$$

$C' = 709$ mm, $\frac{L}{p} = 97$ ⇐

$$\frac{C'}{p} = \frac{709}{19.05} = 37.22 < 80 \quad \Rightarrow \text{خوب است}$$

$$V = NP\pi/60 = (18)(19.05 \times 10^{-3})(300)/60 = 1.715 \text{ m/s}$$

$$F = \frac{H}{V} = \frac{5500}{1.715} = 3.208 \text{ kN}$$

$$\sigma_{max} = C_p \sqrt{\frac{2F}{d_s W}} = 191 \sqrt{\frac{2(3208)}{(11.91)(12.7)}} = 1243.95 \text{ MPa} = S_H$$

$$S_H' = \frac{C_R}{C_L} S_H = \frac{0.8}{1.1}(1243.95) = 904.7 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow Bhn = \frac{S_H' + 70}{2.76} = \frac{904.7 + 70}{2.76} = 353.15$$

Given: Double strand No. 60 type A roller chain
$N_1 = 13$, $n_1 = 300$ rpm $N_2 = 52$

Find: a) Rated power?
b) $C = ?$ if $L_p = 82$ pitches

Solution:

a) From table 17-6, for No. 60 chain at 300 rpm, $H_r = 4.56$ kW

From table 17-8, for $N_1 = 13$, $K_1 = 0.70$

From table 17-9, for double strand, $K_2 = 1.7$

Assuming smooth running condition

$$H = \frac{K_1 K_2 H_r}{K_s} = \frac{(0.7)(1.7)(4.56)}{1.0} = 5.43 \text{ kW}$$

b) $$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 (C/p)} = 82$$

$$2\left(\frac{C}{p}\right)^2 + \left(\frac{N_1 + N_2}{2} - 82\right)\frac{C}{p} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2} = 0$$

$$2\left(\frac{C}{p}\right)^2 - 49.5\left(\frac{C}{p}\right) + 38.53 = 0$$

$$\frac{C}{p} = \frac{49.5 \pm \sqrt{(49.5)^2 - 4(38.53)(2)}}{2(2)} = 23.95$$

$$C = 23.95\, p = 23.95\,(19.05) = 456.17 \text{ mm}$$

c) $d = 11.91$ mm (table 17-4) $\qquad V = \frac{\pi p N}{60} = \frac{3500\,(0.01905)\,(13)}{60} = 14.45$ m/s

$$H = (F_1 - F_2)V = F_1 V \implies F_1 = \frac{H}{V} = \frac{5.43\,k}{14.45} = 376 \text{ N}$$

$E = 207$ GPa $\qquad \nu = 0.3$

$$\Rightarrow E' = \frac{E}{1-\nu^2} = \frac{207}{1-0.3^2} = 227 \text{ GPa}$$

$$w' = \frac{F'}{R_x E'} = \frac{376\,/(0.0127)}{(0.011491/2)\,(227\times10^9)} = 2.19\times10^{-5}$$

$$\sigma_{max} = E'\sqrt{\frac{w'}{2\pi}} = 424 \text{ MPa}$$

مثال: یک بالابر موقت ساختمانی برای حمل مصالح ساختمان و کارگران به ارتفاع 90ft از کابل سیمی 1" 6X19 فولاد خیش استفاده می‌کند. این بالابر برای بار بیشینه 5000 lb در سرعت بیشینه 2fps و شتاب $4fps^2$ باید طراحی بشود و کابل سیمی آن دارای مغزه الیافی و قرقره آن از فولاد ریخته شده می‌باشد. بر اساس قطر کمینه قرقره و حداقل ضریب ایمنی چند عدد کابل لازم است ؟

۱) بارگذاری:

برای قطر کمینه قرقره: $D = 34d = 34''$

برای حداقل ضریب ایمنی: $n = 9.2$

بار بالابر: $F_w = 5000\ lbf$

وزن هر کابل: $F_r = 1.6\, d^2\, h = 1.6\,(1)^2(90) = 144\ lbf$

نیروی شتاب یک کابل: $F_a = ma = \frac{W}{g}a = \frac{5000+144}{32.2}(4) = 639\ lbf$

کل بار: $F_t = 5000 + 144 + 639 = 5783\ lbf$

تنش مجاز: $S_{all} = (1-0.05)\frac{S_{ut}}{n} = \frac{(0.95)(93\ ksi)}{9.2} = \frac{88.35\ ksi}{9.2} = 9.6\ ksi$ ← افت استحکام شکل (17-8)

یک کابل کافی است: $S_t = \frac{F_t}{Ad} = \frac{5783}{\pi/4\,(1)^2} = 7367\ ksi > S_{all}$

برای دو کابل (جزء حل مسئله):

$$F_a = \frac{(5000/2)+(144)}{32.2}(4) = 328.45\ lbf$$

$$S_t = \frac{(5000/2)+(144)+328.45}{0.7854} = \frac{2972.45}{0.7854} = 3.78$$

تغییر طول: $\delta = \frac{Fl}{A_m E} = \frac{5783\ (90\times12)}{0.38(1)^2(12\times10^6)} = 1.369''$

۲) فشار تکیه گاهی: $P_{all} = 900\ psi$ جدول (17-14)

$$P = \frac{2F}{dD} = \frac{2(5783)}{(1)(34)} = 340.176\ Psi < P_{all}$$

۳) خمش: $E = 12\ MPsi$, $d_w = d/14$

$$\sigma_b = \frac{E d_w}{D} = \frac{(12\times10^6)(1/14)}{34} = 25.21\ ksi < 88.35\ ksi$$

۴) شکست خستگی: $F_f = \frac{S_{ut}\, dD}{2000} = \frac{(88350)(1)(34)}{2000} = 1502\ lbf$

$$n_f = \frac{F_f}{F_t} = \frac{1502}{5783} = 0.26$$

$$\frac{1000\,P}{S_{ut}} = \frac{1000\,(340.18)}{88350} \simeq 3.85$$

عمر: 120,000 دفعه

Problem 17-5:
A temporary construction elevator is to carry workers and materials to a height of 30 m. The maximum load to be hoisted is 30kN at velocity not exceeding 1.5 m/s. Based on minimum sheave diameters and an acceleration of 2 m/s², find the factors of safety against tension, bending, and fatigue, if two 25 mm plow steel 6 x 19 standard hoisting ropes are used.

Solution: Calculating the total load:

a) For 6X19 rope, $D_{min} = 34d = 34(25) = 850$ mm

Dead wieght $= 30000N/2 = 15000$ N

weight of rope $= (0.39d^2)\,hg = (0.39)(25)^2(0.3)(9.81) = 717.36$ N

Acceleration $= ma = \frac{15000 + 717.36}{9.81}(2) = 1602.18$ N

$F_t = 15000 + 717.36 + 1602.18 = 17,319.54$ N

$F_u = A\,d^{1.95} = 0.643\,(25)^{1.95} = 342132.2$ N

From Figure 17-8, 5% strength loss for $\frac{D}{d} = 34$

$n_t = \frac{(0.95)F_u}{F_t} = \frac{(0.95)(342132.2)}{17319.54} = 18.77 > 9.20$

b) Bending stress:

$\sigma = E\frac{dw}{D} = (74.4 \times 10^9)\frac{(25/14)}{850} = 156.3$ MPa

$S_u = \frac{0.95\,F_u}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{4(0.95)(342132.2)}{\pi(0.025)^2} = 662$ MPa

$n_b = \frac{662}{156.3} = 4.24$

c) Maximum bearing pressure = 6.20 MPa (table 17.14)

$P = \frac{2F_t}{dD} = \frac{2(17319.54)}{(25)(850)} = 1.63$ MPa

$n_p = \frac{6.20}{1.63} = 3.8$

d) $F_f = \frac{S_u d D}{2000} = \frac{(662 \times 10^6)(0.025)(0.85)}{2000} = 7035.2$ N

$n_f = \frac{F_f}{F_t} = \frac{7035.2}{17319.54} = 0.41$

$\frac{1000P}{S_{ut}} = \frac{1.63\,GPa}{662\,MPa} = 2.46 \Rightarrow L > 230{,}000$ rev.