

## Namáhání na tah, tlak

Pro namáhání na tah i tlak platí stejné vztahy a rovnice. Velikost normálového napětí v tahu, resp. tlaku vypočítáme ze vztahu:

$$\sigma_t = \frac{F}{S}$$

resp.

$$\sigma_d = \frac{F}{S}$$

kde  $\sigma_t$  je napětí v tahu,  $\sigma_d$  je napětí v tlaku (dále jen  $\sigma_n$  - normálové napětí),

$F(N)$  - velikost síly namáhající součást na tah (tlak),

$S(mm^2)$  – plocha průřezu kolmá ke směru působení síly  $F$ .

Hodnoty mezí pevnosti, kluzu, únavy a dovolených napětí (MPa)							
Konstrukční oceli			11370	11423	11500	11600	12020
Mez pevnosti v tahu			370 - 450	420 - 520	500 - 620	600 - 720	400 - 750
Mez kluzu v tahu			200 - 240	230 - 260	260 - 290	300 - 340	230 - 250
Mez únavy v ohybu			130 - 155	145 - 180	175 - 215	210 - 250	140 - 260
Mez únavy v krutu			90 - 110	105 - 130	125 - 155	150 - 280	100 - 185
Dovolené napětí	tah (tlak)	I. statický	100 - 140	115 - 170	140 - 210	150 - 230	115 - 135
		II. míjivý	85 - 120	75 - 105	90 - 135	110 - 165	95 - 115
		III. střídavý	65 - 90	55 - 80	65 - 95	75 - 115	75 - 87
	ohyb	I. statický	110 - 155	120 - 175	150 - 220	170 - 250	125 - 150
		II. míjivý	95 - 120	80 - 125	100 - 150	125 - 180	105 - 125
		III. střídavý	70 - 100	60 - 85	70 - 105	85 - 115	80 - 95
	krut	I. statický	65 - 90	70 - 105	85 - 125	105 - 145	70 - 85
		II. míjivý	55 - 75	45 - 70	55 - 85	65 - 105	45 - 55
		III. střídavý	40 - 60	35 - 50	40 - 60	50 - 70	33 - 40
Tlak v stykových plochách			30 - 110	80 - 200	35 - 200	40 - 180	-

Rozměry součástí namáhaných na tah, resp. na tlak určujeme pomocí kriteria, podle něhož napětí v tahu (nebo tlaku) nesmí překročit velikost dovoleného napětí

$$\frac{F}{S} \leq \sigma_{Dt} \quad \text{resp.} \quad \frac{F}{S} \leq \sigma_{Dd},$$

kde  $\sigma_{Dt}$ , resp.  $\sigma_{Dd}$  (MPa) je dovolené napětí v tahu, resp. tlaku.

Deformace při namáhání na tah (tlak) se zjistí ze vztahu

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{S \cdot E}$$

nebo

$$\Delta l = \frac{\sigma_n \cdot l}{E}$$

kde  $\Delta l$  (mm) je prodloužení (zkrácení) délky součásti,

$E$  (MPa) - modul pružnosti materiálu v tahu,

$l$  (mm) - délka součásti.

Hodnoty modulů pružnosti v tahu a ve smyku (MPa)		
Materiál	E	G
tažená ocel	(1,90 - 2,15).10 <sup>5</sup>	(8,0 - 8,5).10 <sup>4</sup>
ocel na odlitky	(1,95 - 2,00).10 <sup>5</sup>	(8,0 - 8,1).10 <sup>4</sup>
žíhaná ocel	(1,70 - 1,80).10 <sup>5</sup>	(7,5 - 7,6).10 <sup>4</sup>
litina	(0,80 - 1,25).10 <sup>5</sup>	(3,0 - 5,5).10 <sup>4</sup>
kalená ocel	(1,80 - 1,85).10 <sup>5</sup>	(7,0 - 8,5).10 <sup>4</sup>
bronz	(0,85 - 1,20).10 <sup>5</sup>	(4,0 - 4,1).10 <sup>4</sup>
mosaz	(0,90 - 1,00).10 <sup>5</sup>	(3,0 - 4,5).10 <sup>4</sup>
hliník	(0,60 - 0,75).10 <sup>5</sup>	(2,3 - 2,7).10 <sup>4</sup>
olovo	(0,40 - 0,53).10 <sup>5</sup>	1,7.10 <sup>4</sup>
cín	(0,41 - 0,47).10 <sup>5</sup>	-
dřevo	(0,09 - 0,20).10 <sup>5</sup>	(0,003 - 0,007).10 <sup>4</sup>

Napětí v tahu (tlaku) způsobené změnou teploty součásti, která se nemůže deformovat, určíme ze vztahu

$$\sigma_n = \alpha \cdot E \cdot \Delta t$$

kde  $\alpha$  (K<sup>-1</sup>) je teplotní součinitel délkové roztažnosti,

$\Delta t$  (K) nebo (°C) - změna teploty (rozdíl teplot).

Hodnoty součinitelů délkové teplotní roztažnosti			
Látka	$\alpha$	Látka	$\alpha$
bronz	0,000 017 5	ocel slitinová	0,000 018
cín	0,000 026 7	ocel uhlíková	0,000 012
dural	0,000 023	olovo	0,000 029 2
elektron	0,000 023 5	stříbro	0,000 019 7
hliník	0,000 023 8	zinek	0,000 029
měď	0,000 017	pryž tvrdá	0,000 017
mosaz	0,000 018 4	sklo obyčejné	0,000 008

## Namáhání na otláčení

Velikost tlaku ve stykové ploše určíme ze vztahu

$$p = \frac{F}{S_p}$$

kde  $p$  (MPa) je tlak ve stykových plochách,

$F$  (N) - zatížení stykových ploch – zatěžující síla,

$S_p$  (mm<sup>2</sup>) - průmět stykové plochy do roviny kolmé ke směru zatěžující síly.

Kontrolu dimenzování při namáhání na otláčení provádíme podle vztahu

$$\frac{F}{S_p} \leq p_D$$

kde  $p_D$  (MPa) je přípustná hodnota tlaku ve stykových plochách.

## Namáhání na smyk

Velikost napětí ve smyku určíme ze vztahu

$$\tau_s = \frac{F}{S}$$

kde  $\tau_s$  (MPa) je napětí ve smyku,

$F$  (N) - síla namáhající součást na smyk,

$S$  (mm<sup>2</sup>) - plocha průřezu namáhaného na smyk.

Velikost rozměrů strojních součástí navrhujeme tak, aby byla splněna podmínka nepřekročení dovoleného napětí pro daný případ namáhání

$$\frac{F}{S} \leq \tau_{Ds}$$

kde  $\tau_{Ds}$  (MPa) je dovolené napětí ve smyku.

Deformaci pro namáhání na smyk zjistíme ze vztahu

$$\gamma = \frac{\tau_s}{G}$$

kde  $\gamma$  (rad) je tzv. zkos,

$G$  (MPa) - modul pružnosti při namáhání na smyk.

## Namáhání na krut

Velikost napětí v krutu se určí ze vztahu

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k}$$

kde  $\tau_k$  (MPa) je napětí v krutu,

$M_k$  (N · mm) - krouticí moment,

$W_k$  (mm<sup>2</sup>) - modul průřezu v krutu.

Pro kruhový průřez

$$W_k = \frac{\pi}{16} \cdot d^3$$

Pro mezikruhový průřez

$$W_k = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$$

Pro obdélníkový průřez

$$W_k = \beta \cdot a \cdot b^2$$

kde  $d$  (mm) je průměr kruhového průřezu, resp. vnitřní průměr mezikruhového průřezu,

$D$  (mm) - vnější průměr mezikruhového průřezu

$a$  (mm) - delší strana obdélníkového průřezu

$b$  (mm) – kratší strana obdélníkového průřezu

$\beta$  - součinitel závislý na poměru stran obdélníkového průřezu

Hodnoty součinitelů $\beta, \gamma$								
a:b	1	1,2	1,5	2	3	4	10	nekonečno
$\beta$	0,208	0,219	0,231	0,246	0,267	0,291	0,312	0,333
$\gamma$	0,141	0,166	0,196	0,229	0,263	0,291	0,312	0,333

Rozměry hřídele namáhaného na krut se určí ze vztahu

$$\frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{Dk}$$

kde  $\tau_{Dk}$  (MPa) je dovolené napětí v krutu.

Deformaci při namáhání na krut zjistíme ze vztahu

$$\varphi = \frac{M_k \cdot l}{J_p \cdot G}$$

kde  $\varphi$  (*rad*) je úhel zkroucení hřídele,

$l$  (*mm*) - délka hřídele,

$J_p$  (*mm<sup>4</sup>*) - polární moment průřezu,

$G$  (*MPa*) - modul pružnosti materiálu ve smyku.

Pro kruhový průřez

$$J_p = \frac{\pi}{32} \cdot d^4$$

Pro mezikruhový průřez

$$J_p = \frac{\pi}{32} \cdot (D^4 - d^4)$$

Pro obdélníkový průřez

$$J_p = \gamma \cdot a \cdot b^3$$

Význam všech veličin je stejný jako u modulu průřezu v krutu.

Na stupně se radiány převádějí podle vztahu

$$\varphi (^{\circ}) = \varphi \cdot \frac{180^{\circ}}{\pi} (\text{rad})$$

kde  $\varphi (^{\circ})$  je úhel zkroucení hřídele ve stupních.

Známe-li přenášený krouticí výkon  $P$ , určíme krouticí moment ze vztahu

$$M_k = \frac{P}{\omega}$$

kde  $P$  (*W*) je přenášený výkon

$\omega$  (*s<sup>-1</sup>*) - úhlová rychlost.

Mezi úhlovou rychlostí  $\omega$  a otáčkami  $n$  platí vztah

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad \text{resp.} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

kde  $n$  jsou otáčky hřídele za minutu, resp. za sekundu.

## Namáhání na ohyb

Velikost napětí v ohybu určíme ze vztahu

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o}$$

kde  $\sigma_o$  (MPa) je napětí v ohybu

$M_o$  (N · mm) - ohybový moment

$W_o$  (mm<sup>3</sup>) - modul průřezu v ohybu.

Pro kruhový průřez

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

Pro mezikruhový průřez

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$$

Pro obdélníkový průřez

$$W_o = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2, \quad \text{resp.} \quad W_o = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2$$

Rozměry součástí namáhaných na ohyb navrhujeme tak, aby byla splněna podmínka nepřekročení dovoleného napětí pro daný případ namáhání“:

$$\frac{M_{o \max}}{W_o} \leq \sigma_{Do}$$

kde  $\sigma_{Do}$  (MPa) je dovolené napětí v ohybu.

Úhel natočení průřezu vypočítáme ze vztahu

$$\varphi = \frac{S_M}{E \cdot J}$$

Průhyb nosníku určíme ze vztahu

$$y = \frac{M_M}{E \cdot J}$$

kde  $S_M$  (N · mm<sup>2</sup>) je obsah momentové plochy,

$M_M$  (N · mm<sup>3</sup>) - moment momentové plochy,

$J$  (mm<sup>4</sup>) - kvadratický moment průřezu.

*Poznámka:* Celková velikost momentové plochy  $S_M$  a moment momentové plochy  $M_M$  se určí jako algebraický součet dílčích obsahů momentových ploch, resp. dílčích momentů momentových ploch na jedné straně bodu, ve kterém zjišťujeme úhel natočení  $\varphi$ , resp. průhyb  $y$ , přičemž je nutné do výpočtu zahrnout i fiktivní vazbové síly.

Pro kruhový průřez

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot d^4$$

pro mezikruhový průřez

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$$

pro obdélníkový průřez

$$J = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3, \quad \text{resp.} \quad J = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3$$

Mezi modulem průřezu a kvadratickým momentem průřezu platí vztah

$$W_o = \frac{J}{y_{max}}$$

kde  $y_{max}$  ( $mm$ ) je největší vzdálenost osy procházející těžištěm průřezu od krajního vlákna průřezu.

Použitá literatura:

Sbírka úloh z technické mechaniky pro SOU, Ing. K. Mičkal, SNTL, 1990