Ing Dr Vladislav Mydlarčík

Pracovní poměry ozubených rotorů hnacích motorů důlních strojů s hlediska dynamické pružnosti

(Pokračování.)

Pro normální chod soukolí musí býti mezi zuby minimální vůle, která je dána jednak podmínkami mazání, jednak proto, aby za provozu nenastalo zaklínění zubů a z něho plynoucí velké tlaky a poškození zubů. Je tudíž tloušťka zubu menší než mezera. Při záběru kola s pastorkem provádí se zmenšení tloušťky zubu u většího kola z pevnostních důvodů. Normálně se toto zmenšení tloušťky zubu provede při frezování zpravidla tím, že se provede vyšší zub. Je-li vůle mezi zuby tvořena zmenšením tloušťky zubů u obou kol, pak $x_1 = \frac{e_1}{4_{\sin \alpha_2}}$ mm, kde e_1 = vůle mezi zuby v mm, α_2 = úhel záběru nástroje. Je-li vůle provedena zmenšením tloušťky jen u jednoho kola, pak $x_2 = \frac{e_1}{2_{\sin \alpha_2}}$, při čemž x_1 a x_2 udávají prohloubení, nutné pro vytvoření vůle.

Při určování vůle musíme bráti v úvahu celou skříň, hlavně je-li z jiného materiálu než kola. Ohřevem kol ohřívá se celá skříň a záleží tu na koeficientech lineární roztažnosti, zda vůle za provozu bude dostatečná. To platí především pro skříně z hliníkové slitiny. Různou deformací součástí mohou tu nastat velmi značné úchylky od vůle mezi zuby, stanovené za studena. Uvažujeme: A — osová vzdálenost kol, α_k — koeficient lineární roztažnosti skříně (hliník 0,00024, ocel 0,000012), α — koef. lineární roztažnosti materiálu kol, t — pracovní teplota skříně, $t_š$ — pracovní teplota kol. Osová vzdálenost za provozu bude $A_k = A + A\,\alpha_k t_k = A\,(1 + \alpha_k \cdot t_k)$ cm, t. j. osy se od sebe vzdálí. Součet poloměrů kol za provozu bude

$$A_š = (1 + \alpha_š t_š) \cdot \left(\frac{d_1}{2} + \frac{d}{2}\right) = A\,(1 + \alpha_š t_š)\ \text{cm}.$$

Obě kola se ohřevem na průměru zvětší, takže změna polohy zubů kol ve směru spojnice středů kol bude

$$\triangle A = A_š - A_k = A\,(\alpha_š t_š - \alpha_k t_k)\ \text{cm}.$$

Řekli jsme, že pro práci kol musí býti zajištěna vůle mezi zuby. Normálně je tato vůle předepsána lícováním. Někdy však s ohledem na ohřev je zapotřebí vůle větší. Je-li podle obr. 2 S_1 = tloušťka zubu na roztečné kružnici, S_2 = šířka zubové mezery a λ_k = úhel, jejž svírá tečna s pracovním povrchem zubu v centrálním bodě, pak vůle, jež musí býti z výrobních důvodů zachována, je

$$e_1 = S_2 - S_1.$$

Pro práci bez zaklínění pak zvětšíme tuto vůli na

$$e_2 = e_1 + 2 \triangle A \,.\, \operatorname{tg} \lambda_k, \; e_2 = e_1 + 2\ A\, (\alpha_š t_š - \alpha_k t_k) \,.\, \operatorname{tg} \lambda_k =$$
$$= e_1 + 2 \left(\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2}\right) . \, (\alpha_š t_k - \alpha_k t_k) \,.\, \operatorname{tg} \lambda_k$$

Součtové vůle pro převodové skříně, kde kola jsou z ocele a skříně z hliníkové slitiny, udává orientační tabulka č. I. při rychlostech větších a menších na 8 m/sec.

Tab. č. I.

Modul	2	2,5	3	4	5	6	8
v < 8 m/sec	0,1	0,1	0,13	0,18	0,2	0,25	0,3
v > 8 m/sec	0,18	0,18	0,2	0,23	0,28	0,35	0,4

Součtová vůle e_2 v mm v závislosti na modulu a rychlosti.

Pevnostní výpočet ozubení.

Pevnostní výpočet zubu provedeme po těchto úvahách. Za rotace vejde zub do záběru na počátku čáry záběrové a po proběhnutí této čáry za současného klouzání a rotace ze záběru vyběhne. Rozvineme-li jednu otáčku kola, t. j. 360°, pak jen část této dráhy je aktivní, kdežto zbytek dráhy běží zub bez přenosu sil. U velkých modulů, velkých roztečných kružnic a velkých obvodových rychlostí působí na zub po celou otáčku stále síla odstředivá, která však u normálního ozubení je zanedbatelná. Dynamický účinek od hnací síly bude značný, poněvadž zub zabírá svým ostrým okrajem a hodnota maximální síly naroste v krátkém časovém intervalu. Jako základ pro každé řešení jest první otázkou stanovení velikosti vnějších sil, na součástku působících, t. j. stanovení maximální a minimální síly.

Zub představuje nosník balkonový, zatížený tlakem na pracovním povrchu v místě dotyku zubů. Současně uvažujeme dva zuby v dotyku, takže deformace od tlaku bude výslednicí deformací zubu hnacího a hnaného. Deformaci zubu hnacího spočteme podle Timošenka a bude

$$\delta_1' = \frac{P_3}{E_1} 2 \frac{1 - m_1^2}{\pi} \left(\frac{2}{3} + \lg \frac{4r_1}{b_1} + \lg \frac{4r_2}{b_1}\right) \text{ cm};$$

r_1, r_2 jsou poloměry křivosti pracovních povrchů zubů, b_1 = šířka plochy dotyku $P_3 = \frac{P}{b}$ = obvodová síla, připadající na 1 cm délky zubu, E_1 = modul pružnosti materiálu zubu a m_1 = Poissonova konstanta pro materiál zubu. Analogicky deformace zubu hnaného bude

$$\delta_2' = \frac{P_3}{E_2} 2 \frac{1 - m_2^2}{\pi} \left(\frac{2}{3} + \lg \frac{4r_1}{b_1} + \lg \frac{4r_2}{b_1}\right) \text{ cm}.$$

Vedle této deformace vzniká deformace ohybovým momentem. Uvažujeme-li zub jako balkonový nosník proměnné výšky a konstantní šířky b, pak deformace od ohybu pro zub hnací (obr. 2) je

$$\delta_1'' = \frac{P_3}{E_1} \cdot \frac{12\, l_1^3}{h_{01}^3} \left[\left(\frac{3}{2} - \frac{x_1}{2 \,.\, l_1}\right) \cdot \left(\frac{x_1}{l_1} - 1\right) + \lg \frac{l_1}{x_1}\right] + \frac{P_3}{E_1} \times$$
$$\times \frac{4\,(l_1 - x_1) \,.\, (1 \times m_1)}{(h_1 \times h_{01})} \text{ cm}$$

a pro zub hnaného kola analogicky

$$\delta_2'' = \frac{P_3}{E_2} \cdot \frac{12\, l_2^3}{h_{02}^3} \left[\left(\frac{3}{2} - \frac{x_2}{2 \,.\, l_2}\right) \cdot \left(\frac{x_2}{l_2} - 1\right) + \lg \frac{l_2}{x_2}\right] + \frac{P_3}{E_2} \times$$
$$\times \frac{4\,(l_2 - x_2) \,.\, (1 + m_2)}{(h_2 + h_{02})} \text{ cm}.$$

Potom celkové deformace zubu hnacího $\delta_1 = \delta_1' + \delta_1''$ cm a po dosazení

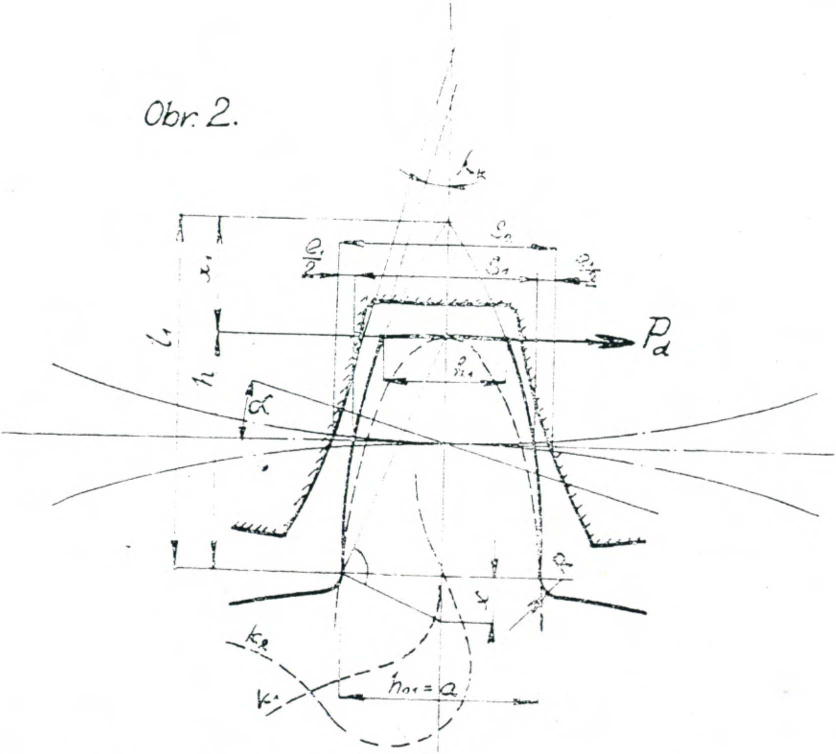
$$\delta_1 = \frac{P_3}{E_1}\left\{2 \frac{1 - m_1^2}{\pi}\left(\frac{2}{3} + \lg \frac{4r_1}{b_1} + \lg \frac{4r_2}{b_1}\right) + \frac{12 \,.\, l_1^3}{h_{01}^3}\left[\left(\frac{3}{2} - \frac{x_1}{2\, l_1}\right) \times\right.\right.$$
$$\left.\left.\times \left(\frac{x_1}{l_1} - 1\right) + \lg \frac{l_1}{x_1}\right] + \frac{4\,(l_1 - x_1) \,.\, (1 + m_1)}{h_1 + h_{01}}\right\} \text{ cm}.$$

Označíme-li hodnotu v závorce výrazem $\frac{1}{\omega_1}$, dostaneme $\delta_1 = \frac{P_3}{E_1\,\omega_1}$ cm a pro hnaný zub $\delta_2 = \delta_2' + \delta_2'' = \frac{P_3}{E_2\,\omega_2}$ cm; ω_1, ω_2 = koeficient elasticity. Celkový průhyb obou zubů pak

$$\delta_1 + \delta_2 = \frac{P_3}{E_1\,\omega_1} + \frac{P_3}{E_2\,\omega_2} = P_3 \left(\frac{E_1\,\omega_1 + E_2\,\omega_2}{E_1\,\omega_1 \,.\, E_2\,\omega_2}\right), \text{ potom}$$

$$\frac{P_3}{\delta_1 + \delta_2} = \frac{E_1\,\omega_1 + E_2\,\omega_2}{E_1\,\omega_1 \,.\, E_2\,\omega_2} = C_1 \text{ kg/cm}^2.$$

Obr. 2.



Obr. 2. Zub jako nosník balkonový: e = provozně nutné vůle mezi zuby k_1, k_2 koeficientu místního napětí statického a rychlostního.

Konstanta C_1 pro různé materiály a úhly záběru je vypočtena a sestavena do tabulky č. II. Připustíme-li největší chybu profilu zubu ozubeného kola, zjištěnou na zkušebnách e a udanou v závislosti na rychlosti a modulu její číselnou hodnotu v diagramu I., potom dynamický deformační faktor $C_d = C_1 \cdot e$ kg/cm.

Tab. č. II. **Konstanta C_1 pro různé druhy materiálu a úhly záběru.**

Materiál	Litina po litině	Litina po oceli	Ocel po oceli
zub normální $\alpha = 14{,}5^0$	56 000	77 000	112 000
zub normální $\alpha = 20^0$	58 000	80 000	116 000
zub snížený $\alpha = 20^0$	60 000	83 000	120 000