



## AXIAL FORCE TRANSDUCER IN THE MOTION SCREW SNÍMAČ OSOVÉ SÍLY V POHYBOVÉM ŠROUBU

Růžička Milan, Michalec Jiří, Konvičková Svatava

*It was developed the load transducer for the control of the axial load on the rotating shaft or bolt. Four strain gauges are installed on the nut flange and they are connected to the full bridge and registered with the UPM 60 System. Different factors which influence the accuracy of the measurement are tested.*

**Keywords:** load control, force transducer, strain gauge measurement

Snímače sil jsou běžnými prvky řídicích a regulačních řetězců. Pro měření rovnicích sil trubek na rovnací stolici VRM ve VTŽ Chomutov jsme navrhli snímače nestandardního pojetí. Úkolem bylo určení osové síly v pohybovém šroubu, jehož občasným otáčením je nastavován průměr rovnaných trubek a rovnací síla. Tenzometrické snímání síly přímo na otáčejícím se šroubu se ukázalo z důvodu komplikovaného přenosu signálu pro dlouhodobé měření jako nevhodné. Rozhodli jsme se proto pro měření zatížení, která jsou přenášena kruhovou bronzovou maticí pohybového šroubu, podle uspořádání na obr.1.

Testovali jsme tyto varianty snímání síly:

- a) přímé tenzometrické měření prodloužení válcového těla matice
- b) nepřímé měření pomocí siloměrného kroužku, který se umístí pod přírubu matice
- c) využití samotné příruby matice, jako analogického měřicího kroužku

ad a) Na vnějším povrchu válcové části matice byla vytvořena dřížka, v které jsme umístili v podélném a tečném směru čtyři tenzometry zapojené do celého mostu. Rozložení zatížení do jednotlivých závitů matice však není rovnoměrné, podle lit.[1] odpovídá závislosti, která je vynesena pro dvě hloubky zašroubování závitu na obr.2. Závislost je popsána rovnicemi:

$$q(x) = \frac{Q \cdot \beta}{\alpha \cdot \operatorname{sh}(\beta \cdot H)} \left\{ \frac{\operatorname{ch}(\beta \cdot x)}{E_1 A_1} + \frac{\operatorname{ch}[\beta(H-x)]}{E_2 A_2} \right\}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\alpha}{\lambda}} \quad , \quad \alpha = \frac{1}{E_1 A_1} + \frac{1}{E_2 A_2} \quad , \quad \lambda = \lambda_1 + \lambda_2$$

$$\lambda_1 = \frac{p^2}{\pi d_2 t E_1} \left[ 1 + \frac{d_2(1-\mu_1)t \cdot t g^2 \frac{\alpha}{2}}{2 p^2} \right]$$

$$\lambda_2 = \frac{p^2}{\pi d_2 t E_2} \left[ 1 + \frac{d_1 t}{2 p^2} (\mu_2 + \frac{D^2 + d_1^2}{D^2 - d_1^2}) t g^2 \frac{\alpha}{2} \right]$$

kde  $p$  je stoupání závitu,  $\alpha$  jeho úhel (30 stupňů),  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $D$  jsou vnější, vnitřní a ekvivalentní průměr závitu a  $t = 0.65 \cdot p$ . Snímači bude proto měřena pouze ta část výsledné zatěžující síly, která je dána částí plochy pod funkcí  $q$  tj. integrálem  $\int_0^L q(x) dx$ . Teoreticky dostáváme hodnoty 56.3% a 76.2% z výsledné síly pro hloubku zašroubování 75 resp. 55 mm. Tenzometrická měření odpovídala hodnotám 64% resp. 74%, což je v souladu s teoretickým odhadem. K dosažení dostatečně velkého signálu snímače se však provozní síly ukázaly jako velmi malé a tato varianta jako nevhodná.

ad b) Siloměrný kroužek jsme opatřili osazením podle obr.3 tak, aby při jeho dotažení pod přírubu matice, bylo v něm vyvozeno ohybové napětí. Snímáním tečných deformací kroužku na horním i dolním povrchu při celomostovém zapojení jsme tak měřili nepřímo zátěžnou sílu. Teoreticky pro tzv. Grammelův kroužek lze určit maximální tečná napětí podle vztahu

$$\sigma_o(y) = \frac{12 M_o}{h^3 \ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot \frac{y}{r}$$

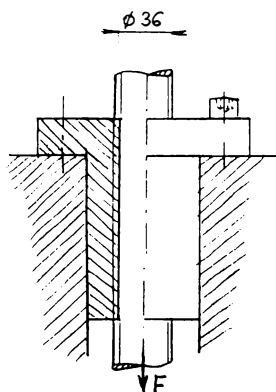
což pro poloměry kroužku  $r_1 = 25.5$  mm a  $r_2 = 37$  mm a zatížení 10 kN dává 90 resp. 130 MPa na vnitřním a vnějším poloměru kroužku. Experimentální měření dávala značnou hysterizi signálu a podstatně odlišné hodnoty napětí v kroužku např.:  $\sigma_o = 110$  MPa při nedotažené přírubě matice a  $\sigma_o = 92$  MPa při dotažení k tělesu.

Podle výše uvedené rovnice tomu odpovídá součinitel tření po utažení asi 0.27. Třecí poměry v dosedacích plochách se tak ukázaly jako nestálé a silně ovlivňující výsledky měření. Proto i tato varianta snímače byla zamítnuta.

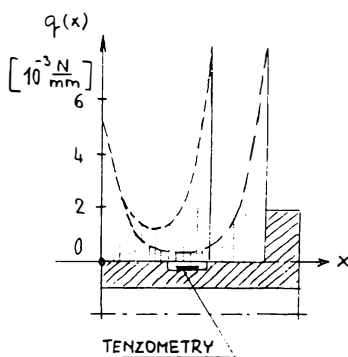
ad c) K měření síly ve šroubu jsme využili vlastní přírubu kruhové matice pohybového šroubu. Zvláštní úpravou příruby jejím osazením (viz obr. 4) jsme docílili její ohybovou napjatost, jejíž přírůstek je úměrný síle ve šroubu a nezávislý na utažení matice k tělesu. Výpočtem MKP a tenzometrickým měřením jsme optimalizovali polohu dvou radiálních a dvou tečných tenzometrů na horní straně příruby matice. Vhodným zapojením snímačů do celého mostu jsme kompenzovali vlivy asymetrie uložení příruby v tělese a asymetrii zatěžování šroubu, která v provozu může nastat. Při cejchování snímačů sil na trhacím stroji jsme testovali zejména vlivy těchto faktorů na přesnost měření :

- velikost utahovací síly příruby matice k tělesu
- vliv tolerance uložení pohybového šroubu a matice
- vliv hloubky zašroubování šroubu do tělesa matice
- vliv natočení šroubu vůči matici a matice vůči tělesu

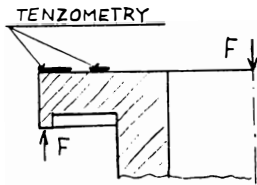
Snímače byly v rozsahu provozních sil lineární s uplatněním výše uvedených faktorů v tolerančním pásmu  $\pm 2\%$  . Protože největší rozptyl výsledků je způsoben vlivem tolerance uložení šroubu v matici, lze při scejchování páru matice-šroub počítat s přesností  $\pm 0.6\%$  , což bylo pro uvažovaný provoz na rovnáče trubek dostačující. Popsaný způsob snímání sil v pohybovém šroubu byl přihlášeno k patentování.



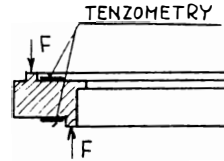
Obr.1: Uložení matice pohybového šroubu



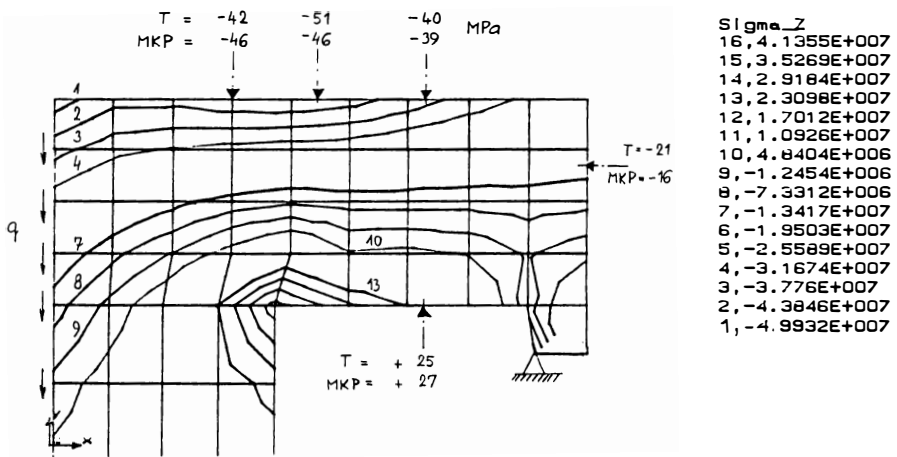
Obr.2: Teoretický průběh rozložení osově síly ve šroubu



Obr.3: Umístění tenzometrů na kroužku



Obr.4: Umístění tenzometrů na přírubě



Obr. 5: Porovnání tečných napětí stanovených metodou MKP a tenzometricky

**Literatura:**

[1] Iosilevič, V. J. :

Koncentracija naprjaženij v detalach mašin.  
Moskva, Mašinostrojenije 1981**Ing. Milan Růžička, CSc., Doc. Ing. Jiří Michalec, CSc., Ing. Svatava Konvičková, CSc.**  
Zaměstnavatel:České vysoké učení technické v Praze  
strojní fakulta, katedra pružnosti a pevnosti  
Technická 4  
166 07 Praha 6 - Dejvice

Telefon:

(02) 332 25 09

Telefax:

(02) 311 27 68