

MĚŘENÍ VELKÝCH POSUVŮ NA ZAKŘIVENÉM POVRCHU

Doc. Ing. Jiří Michalec, CSc. ČVUT-fakulta strojní Praha
katedra nauky o pružnosti a pevnosti

Resumé: V příspěvku jsou analyzovány chyby, které vznikají při měření velkých posuvů (řádově milimetry) na rotačně symetrickém povrchu v důsledku jeho zakřivení. Jsou odvozeny výpočtové vztahy, které umožňují korekci naměřených hodnot dvou snímačů velkých deformací umístěných na uvedeném povrchu ve dvou vzájemně kolmých směrech. Na příkladu z konkrétního měření je ukázána aplikace.

Na obr. 1 je naznačen plnou čarou kruhový průřez se dvěma snímači velkých deformací umístěnými ve směru souřadných os x a y u kterého se mají měřit posuvy ve směrech souřadných os. Po zatížení se průřez posune do polohy naznačené čárkovou čarou, takže posuvy středu průřezu budou v uvedeném souřadném systému Δx a Δy . Na snímačích ovšem naměříme odlišné hodnoty Δx_M a Δy_M . Rozdíl mezi naměřenými a skutečnými posuvy závisí na velikosti průřezu (poloměr r) a na velikostech posuvů.

Najdeme vztahy, které umožní provést výpočtově korekci naměřených hodnot v závislosti na poloměru r . Podle obr. 1 platí z trojúhelníků BMS' a ANS' pro skutečné posuvy středu průřezu

$$\begin{aligned}\Delta x &= r \cdot \sin \varepsilon \\ \Delta y &= r \cdot \sin \varphi\end{aligned}\quad (1)$$

Pro úhly ε a φ lze z pravouhlých trojúhelníků BPS' a APS' najít vztahy

$$\begin{aligned}\varepsilon &= 90^\circ - \gamma - \alpha \\ \varphi &= 90^\circ - \gamma - \beta\end{aligned}\quad (2)$$

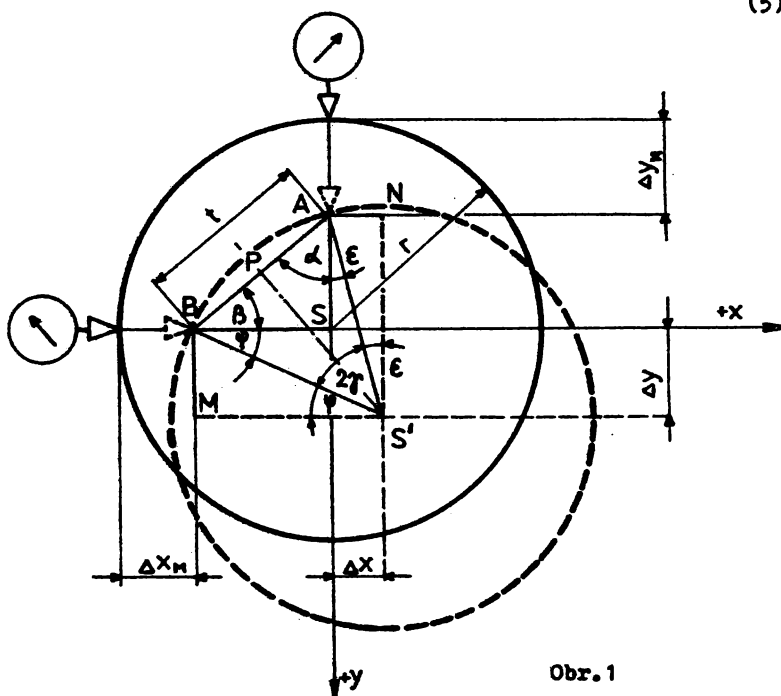
kde pro úhly α a β můžeme z trojúhelníku ABS psát

$$\begin{aligned}\alpha &= \arctg \frac{r - \Delta x_M}{r - \Delta y_M} \\ \beta &= \arctg \frac{r - \Delta y_M}{r - \Delta x_M}\end{aligned}\quad (3)$$

Pro úhel γ platí z trojúhelníku APS' $\sin \gamma = \frac{t}{2r}$ (4)

kde přepomnu t stanovíme z pravouhlého trojúhelníka ASB , který

má délkou odvěsen $r - \Delta x_M$ a $r - \Delta y_M$, takže $t = \sqrt{(r - \Delta x_M)^2 + (r - \Delta y_M)^2}$ (5)



Obr. 1

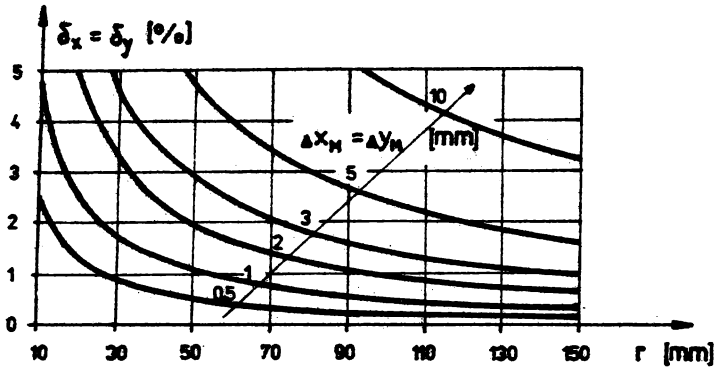
Použitím vztahů (3), (4) a (5) můžeme podle (2) stanovit úhly ε a φ jako funkci naměřených hodnot Δx_M a Δy_M a poloměru r ve tvaru

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 90 - \arcsin \left(\frac{\sqrt{(r - \Delta x_M)^2 + (r - \Delta y_M)^2}}{2r} \right) - \arctg \frac{r - \Delta x_M}{r - \Delta y_M} \\ \varphi &= 90 - \arcsin \left(\frac{\sqrt{(r - \Delta x_M)^2 + (r - \Delta y_M)^2}}{2r} \right) - \arctg \frac{r - \Delta y_M}{r - \Delta x_M} \end{aligned} \quad (6)$$

Z rovnic (1) lze již nyní provést požadovanou korekci naměřených hodnot.

Naskytá se otázka za jakých podmínek by uváděná korekce nebyla nutná. Na obr.2 jsou vyneseny velikosti chyb δ_x a δ_y vzniklých bez použití korekce. Chyby, vztažené ke skutečným hodnotám posuvů, byly stanoveny pro případ, kdy oba

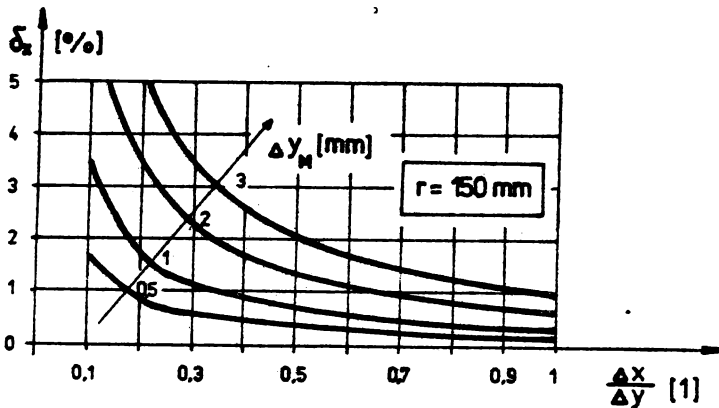
naměřené posuvy jsou stejně velké v závislosti na poloměru součásti r .



Obr.2

Když uvážíme maximální přípustnou chybu do 1%, potom pro případ, kdy obě deformace jsou stejné, lze bez korekce přijmout pouze posuvy do 1 mm, naměřené na poloměru od 50 mm výše. Pro posuvy do 2 mm lze za stejných podmínek přijmout naměřené hodnoty až od poloměru 100 mm.

Ve většině případů však nejsou posuvy Δx a Δy stejné. Potom se u menšího posuvu uváděná chyba výrazně zvětšuje, zatímco u většího posuvu je chyba menší. Na obr.3 je vynesena



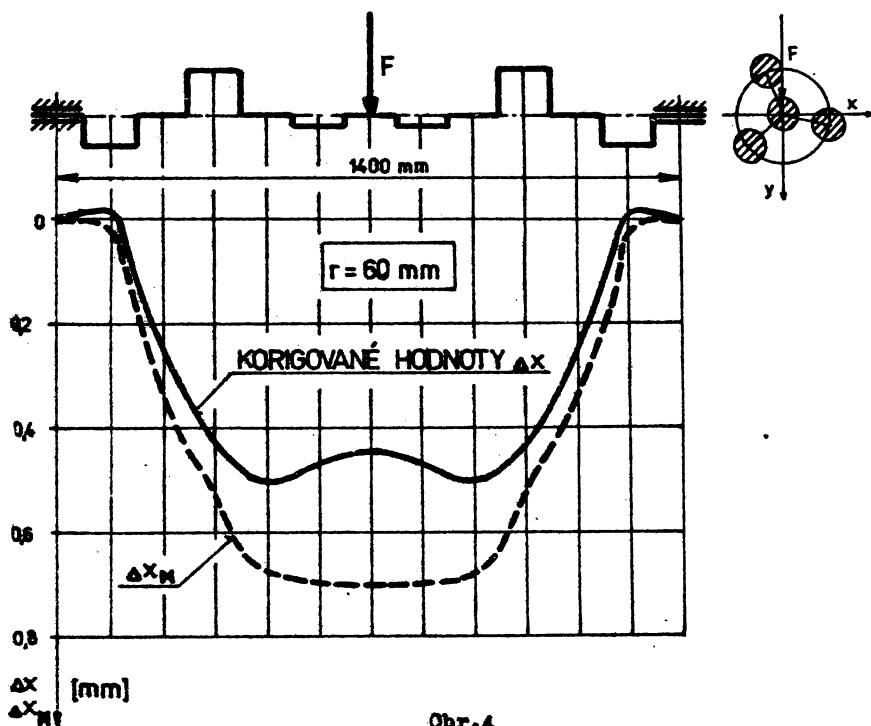
Obr.3

závislost chyby δ_x menšího posuvu Δx_M v závislosti na poměru posuvů $\frac{\Delta x_M}{\Delta y_M}$ při různých velikostech většího posuvu Δy_M pro největší z uvažovaných poloměrů $r = 150$ mm.

Z obrázku (3) je vidět, že i pro největší poloměr 150 mm je pro menší poměry $\frac{\Delta x_M}{\Delta y_M}$ chyba vždy větší než 1%.

Rozbor chyb ukázal, že pro běžné rozměry měřených průřezů je u větších posuvů vždy nutné provést korekci naměřených hodnot.

Na závěr ukážeme praktickou aplikaci při měření posuvů ložiskových a klikových čepů $\varnothing 120$ mm šestkrát zalomeného klikového hřídele stacionárního motoru 6S 150PV. Konečným cílem prováděné experimentální analýsy tuhosti bylo stanovení příčinkových činitelů. Hřídel byl v uváděném případě podepřen



Obr.4

pouze v krajních ložiskách a zatěžován uprostřed svíslou sílou. Zalomení klik bylo souměrné podle působíště zatěžující síly, kliky byly pootočeny o 120° . Příklad je schematicky naznačen na obr.4. Posuvy naměřené ve svíslém směru y byly řádově desetkrát větší, než ve směru vodorovném x . Jak je z předešlého rozboru zřejmé budou naměřené posuvy ve vodorovném směru Δx_M zatížené větší chybou než ve svíslém směru. Na obr.4 jsou tyto hodnoty vyneseny čárkovanou čarou. Z průběhu korigovaných hodnot Δx (plná čára) je zřejmé, že v oblasti největších posuvů dostaneme po korekci zcela odlišný charakter sledované závislosti.

Měření posuvů bylo v popisovaném případě uskutečněno speciálními snímači velkých deformací, vyvinutými na katedře nauky o pružnosti a pevnosti. Vlastní měření bylo realizováno automatickou ústřednou UPM-60 řízenou počítačem Hewlet-Packard 86B. Tím bylo umožněno provádět snadno popisované korekce ještě během samotného měření.