EAN 93
31. konference o experimentální analýze napětí
25.–27.5.1993 Měřín ČESKÁ REPUBLIKA

EXPERIM. ANALYSIS OF FORCE AND MOMENT ACTING ON THIN-WALL TUBE

EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA OBECNÝCH SILOVÝCH A MOMENTOVÝCH ÚČINKŮ NA VÁLCOVOU SKOŘEPINU

P. Jaroš

The solution of this problem with the significant practical importance in a pipe supporting at vicinity of machines as turbines, pumpes and compressors demands the determination of six vector components. The paper presents one possible way of doing it based on surface strain analysis in only the one section perpendicular to the tube axis.

ÚVOD

V některých případech je velmi důležité experimentálně stanovit skutečné hodnoty a směry obecně působící síly $\overline{F}$ a momentu $\overline{M}$ v určitém řezu potrubí, zejména v blízkosti pevnostně významných uzlů (tvarovek, armatur, hrdel skříní turbin, čerpadel a kompresorů) nebo při kontrole dodržení maximálních limit vnějších sil s ohledem na tuhost kotvení stroje, aby nedošlo k porušení jeho souososti s pohonem. Ve všech těchto případech, jakož i při seřizování opěrných a nosných prvků uložení potrubí, je experiment nezbytným doplňkem moderních výpočtových postupů potrubních systémů.

ANALYTICKÉ ŘEŠENÍ

Rovná část tenkostěnného potrubí představuje válcovou skořepinu s vnitřním průměrem d a vnějším průměrem D. Analytické řešení lze výhodně provést v cylindrických souřadnicích r, φ, z zavedených dle obr.1. Tyto souřadnice jsou vhodné i z hlediska rozkladu obecné síly $\overline{F}$ a momentu $\overline{M}$, neboť jejich složky v cylindrické soustavě (viz obr.2) představují běžně zavedené pevnostní veličiny specifikované v TAB.1.

Tyto vnější silové účinky musí být v rovnováze s integrály napěťových složek σ_z a τ_r v řezu kolmém k ose z.

Pro uvažovanou tenkostěnnou skořepinu jsou oprávněné následující předpoklady:

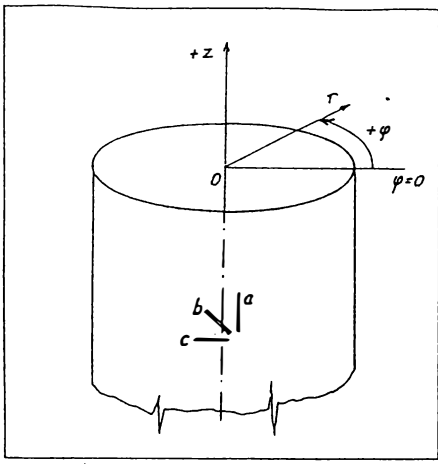
1. Ohybové napětí ve stěně jsou zanedbatelná vůči napětím membránovým. Napjatost stěn je tedy rovnoměrná po tloušťce.
2. Normálné i smykové složky kolmé k povrchu jsou zanedbatelné, t.j.

$$\sigma_r = \tau_\varphi = \tau_z = 0$$

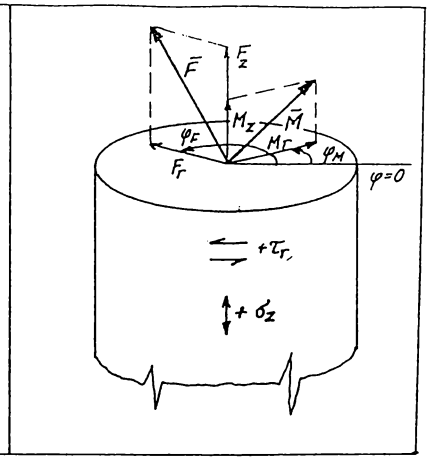
3. Deplanace průřezu není natolik výrazná, aby zcela zkreslila charakter obvodového průběhu následujících napěťových složek:

σ_z .....normálné napětí k ploše řezu z=0,

τ_r .....smykové napětí na ploše řezu z=0.



Obr.1: Zavedení souřadnic a orientace růžice



Obr.2: Silové a momentové zatížení

V ideálním případě je obvodový průběh napěťových složek σ_z a τ_r harmonická funkce (obr.3), jejíž parametry jsou s vnějším zatížením vázány následovně:

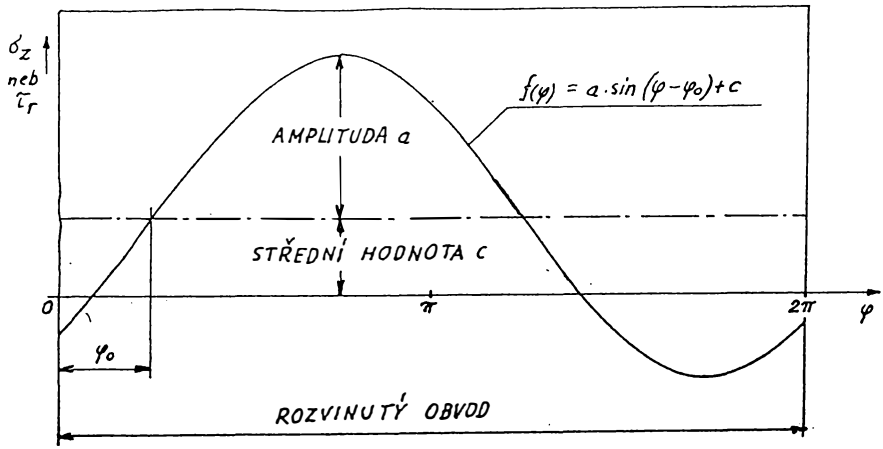
	Střední hodnota (statická složka)	Amplituda (střídavá složka)
σ_z	osová síla F_z	ohybový moment M_r
τ_r	kroutící moment M_z	posouvající síla F_r

Kvantitativní relace plyne z podmínek rovnováhy vnějších sil a integrálů napětí. Zavedeme-li veličiny

tloušťka stěny $s = \frac{D-d}{2}$, střední poloměr $R = \frac{D+d}{4}$,

mají rovnice rovnováhy tvar (1),(3),(4),(6) dle TAB.1A.

Vztahy (3)a(6) platí obecně pro libovolné hodnoty úhlů φ_F a φ_M, cílem je však určení maxim, které přísluší hodnotám φ_F podle (2) a φ_M podle (5). V obou případech musí být funkce arctg chápána dvouparametricky s výsledky $\varphi \in (-180°;+180°\rangle$ obdobně jako u růžic.



Obr.3:Schema ideálního průběhu napěťových složek v rozvinutém řezu válcové skořepiny pod vnějším zatížením

DISKRETIZACE ŘEŠENÍ

V praktickém případě aplikace tenzometrie jsou k disposici pouze diskrétní hodnoty funkcí σ_z a τ_r v n bodech rozmístěných nejlépe pravidelně po obvodě. I když v ideálním případě je postačující volba n=3, je vhodné pro potlačení vlivu odchylek od harmonického průběhu vlivem deplanace průřezu volit n = 8. Výrazy (1)až(6) lze pak s dobrou technickou přesností nahradit ekvivalenty v sumačním tvaru uvedenými v TAB.1B.

Jednotlivé diskrétní hodnoty normálné a smykové složky napjatosti určíme například při aplikaci pravoúhlých růžic s orientací a→b→c podle obr.1 pro každý bod i=0,1,2,.....,n-1 podle následujících vztahů:

$$\sigma_z = \frac{E}{1-\nu^2}\left(\varepsilon_a + \nu\varepsilon_c\right), \qquad \tau_r = \frac{E}{2(1+\nu)}\left(2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c\right).$$

Určení složek je samozřejmě možné i při jiných orientacích a typech růžic, pozornost však musí být věnována správnosti znaménka smykové složky.

ZÁVĚR

Tento původní postup experimentálního určení vnějších silových účinků byl úspěšně ověřen na potrubí výstupní větve kompresoru tranzitního plynovodu s rozměry D=1020, s=22mm při n=8 pravoúhlých růžicích rozmístěných pravidelně po obvodě.

Ing Petr Jaroš CSc
SVÚSS Běchovice, 190 11 Praha 9
Tel:(02) 734151/2710
Fax:(02) 742078

TAB. 1		A	B	
		ANALYTICKÉ ŘEŠENÍ	DISKRÉTNÍ TVAR	Rov.
F_z	OSOVÁ SÍLA	$F_z = s \cdot R \int_0^{2\pi} \sigma_{z(\varphi)} \, d\varphi$	$F_z = \frac{2\pi}{n} \cdot s \cdot R \sum_{i=0}^{n-1} (\sigma_z)_i$	(1)
φ_F	SMĚR POSOUVAJÍCÍ SÍLY	$\varphi_F = \operatorname{arctg} \frac{-\int_0^{2\pi} \tau_{r(\varphi)} \cdot \cos\varphi \, d\varphi}{\int_0^{2\pi} \tau_{r(\varphi)} \cdot \sin\varphi \, d\varphi}$	$\varphi_F = \operatorname{arctg} \frac{-\sum_{i=0}^{n-1} (\tau_r)_i \cdot \cos \frac{360°}{n} \cdot i}{\sum_{i=0}^{n-1} (\tau_r)_i \cdot \sin \frac{360°}{n} \cdot i}$	(2)
F_r	POSOUVAJÍCÍ SÍLA	$F_r = s \cdot R \int_0^{2\pi} \tau_{r(\varphi)} \cdot \sin(\varphi - \varphi_F) \, d\varphi$	$F_r = \frac{2\pi}{n} \cdot s \cdot R \sum_{i=0}^{n-1} (\tau_r)_i \cdot \sin\left(\frac{360°}{n} \cdot i - \varphi_F\right)$	(3)
M_z	KROUTICÍ MOMENT	$M_z = -s \cdot R^2 \int_0^{2\pi} \tau_{r(\varphi)} \, d\varphi$	$M_z = -\frac{2\pi}{n} \cdot s \cdot R^2 \sum_{i=0}^{n-1} (\tau_r)_i$	(4)
φ_M	SMĚR OHYBOVÉHO MOMENTU	$\varphi_M = \operatorname{arctg} \frac{-\int_0^{2\pi} \sigma_{z(\varphi)} \cdot \cos\varphi \, d\varphi}{\int_0^{2\pi} \sigma_{z(\varphi)} \cdot \sin\varphi \, d\varphi}$	$\varphi_M = \operatorname{arctg} \frac{-\sum_{i=0}^{n-1} (\sigma_z)_i \cdot \cos \frac{360°}{n} \cdot i}{\sum_{i=0}^{n-1} (\sigma_z)_i \cdot \sin \frac{360°}{n} \cdot i}$	(5)
M_r	OHYBOVÝ MOMENT	$M_r = s \cdot R^2 \int_0^{2\pi} \sigma_{z(\varphi)} \cdot \sin(\varphi - \varphi_M) \, d\varphi$	$M_r = \frac{2\pi}{n} s \cdot R^2 \sum_{i=0}^{n-1} (\sigma_z)_i \cdot \sin\left(\frac{360°}{n} \cdot i - \varphi_M\right)$	(6)