

Potrubné mikrostroje - štetiny namiesto kolies (2)

Michal Kelemen
Tatiana Maťašová

Deformácia štetiny a silové pôsobenie na stenu potrubia

Cieľom je nájsť funkciu, ktorá by analyticky popisovala závislosť deformácie štetiny od vnútorného priemeru potrubia a závislosť silového pôsobenia štetiny na stenu potrubia.

Vhodnú aproximáciu trajektórie konca štetiny pri jej deformovaní predstavuje kružnicový oblúk so stredom vo vzdialenosti L od voľného konca štetiny (t. j. v mieste voľného konca štetiny) a polomerom L . Podobné nahradenie je použité v práci [11]. Ide o tzv. pseudotuhý model (angl. pseudo-rigid-body model). Model pozostáva z:

- ideálne tuhého prvku, pripojeného k „charakteristickému kĺbu“, ktorý reprezentuje posunutie konca štetiny,
- a „nelineárnej pružiny“ reprezentujúcej tuhosť štetiny.

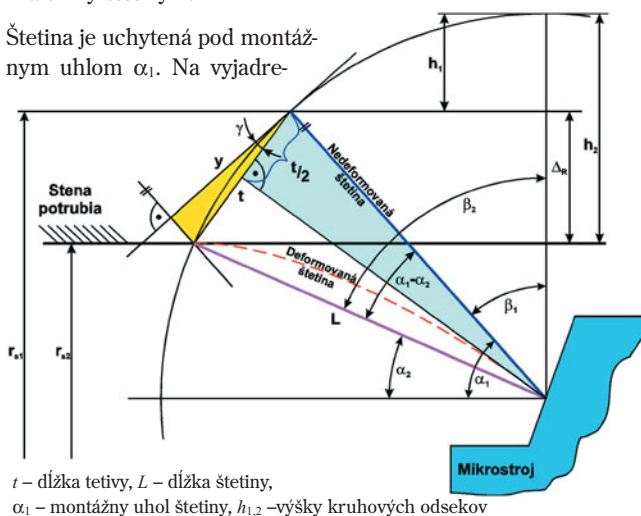
Tento model popisuje priehybovú trajektóriu zaťaženého konca štetiny pri jej deformovaní, pričom chyba, ktorej sa dopustíme týmto zjednodušením, nepresiahne 1 až 2 % riešenia získaného pomocou uzatvorenej formy riešenia eliptických integrálov pre riešenie veľkých deformácií. Pseudotuhé modely sú pre jednotlivé poddajné prvky zjednodušenou metódou určenia veľkých deformácií. Jej prínos je významný najmä pri zložených poddajných mechanizmoch, t. j. ak na seba nadväzujú pohyby a deformácie viacerých poddajných členov.

Na obr. 6 je schéma aplikácie štetiny ako nosného prvku zabezpečujúceho silovú väzbu so stenou potrubia. Počiatočný stav štetiny je v prípade, keď potrubný mikrostroj je mimo potrubia, takže štetina je nedeformovaná. Voľný koniec štetiny má počiatočné rozpätie r_{S1} (vzdialenosť protíľahlých koncov štetín alebo priemer kružnice opísanej okolo voľných koncov štetín). Po vložení potrubného mikrostroja do potrubia dôjde k zmene rozpätia štetín na hodnotu r_{S2} , pričom toto rozpätie je zhodné s priemerom v danom mieste potrubia. Vstupným parametrom do systému štetín je teda zmena ich rozpätia ($r_{S1} - r_{S2}$). Ak je počet štetín nepárny, potom je vhodnejšie uvažovať o opísanej kružnici okolo voľných koncov štetín. Uvažujme teda, že voľný koniec štetiny bude posunutý po vložení do potrubia o hodnotu „radiálneho posunutia štetiny Δ_R “ (obr. 6).

Priehyb štetiny y je teda funkciou:

- montážneho uhla α_1 ,
- radiálneho posunutia konca štetiny Δ_R ,
- a dĺžky štetiny L .

Štetina je uchytená pod montážnym uhlom α_1 . Na vyjadre-



t – dĺžka tetivy, L – dĺžka štetiny, α_1 – montážny uhol štetiny, $h_{1,2}$ – výšky kruhových odsekov

Obr.6 Deformácie štetiny po vložení mikrostroja do potrubia [10]

nie veľkosti deformovaného uhla α_2 po jej deformácii môžeme využiť známe vzťahy pre výšky h_1 a h_2 , pričom ich rozdiel je definovaný ako radiálne posunutie konca štetiny Δ_R , t. j. vzdialenosť, o koľko sa posunie koniec štetiny po vložení mikrostroja do potrubia.

Ak uvažujeme pseudotuhý model, potom radiálne posunutie voľného konca štetiny je dané vzťahom:

$$\Delta_R = L \cdot \sin \alpha_1 - L \cdot \sin \alpha_2 \quad (2)$$

Deformovaný uhol α_2 je možné určiť:

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{L \cdot \sin \alpha_1 - \Delta_R}{L}\right) \quad (3)$$

Priehyb štetiny y je potom:

$$y = L \cdot \sin\left(\alpha_1 - \arcsin\left(\frac{L \cdot \sin \alpha_1 - \Delta_R}{L}\right)\right) \quad (4)$$

Ak bude známy maximálny priehyb (oblasť pružných deformácií), potom maximálne radiálne posunutie je možné určiť zo vzťahu:

$$\Delta_{R \max} = L \cdot \left[\sin \alpha_1 - \sin\left(\alpha_1 - \arcsin\left(\frac{y_{\max}}{L}\right)\right) \right] \quad (5)$$

kde y_{\max} je maximálny priehyb definovaný oblasťou pružných deformácií.

Zo vzťahu (4) vyplýva, že priehyb štetiny je iba funkciou geometrických parametrov, pričom deformáciu steny potrubia považujeme za zanedbateľnú oproti deformáciám štetiny. Zaťaženie štetiny teda v tomto prípade vyplýva z deformácie, ktorá závisí od geometrických parametrov štetiny (montážny uhol štetiny, dĺžka štetiny, vnútorný priemer potrubia, v ktorom je aplikovaný potrubný mikrostroj).

Ak porovnáme experimentálne zistené hodnoty priehybu štetiny s hodnotami určenými aplikáciou teórie pseudotuhej štetiny, maximálna odchýlka medzi nimi tvorí 1,7 %. Pritom rozšírená neistota merania deformácií je 0,01 mm (neistota merania uvedená na hladine významnosti $P = 0,95$ pri predpoklade normálneho zákona rozloženia, koef., pokr. $k_{95} = 2$).

Silové pomery na štetine (obr. 7) sa menia v závislosti od deformácie štetiny, resp. uhla naklonenia deformovanej štetiny.

- F_y – sila, ktorej smer je kolmý na nedeformovanú štetinu a jej veľkosť vieme určiť z experimentálne určenej charakteristiky,
- F_N – reakcia steny potrubia,
- F_o – ohybová sila,
- F_B – vzperná sila.

Z obr. 7 vyplýva, že: ohybová sila

$$F_o = F_y \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

vzperná sila

$$F_B = F_y \cdot \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1 - \varphi) \quad (7)$$

reakcia steny potrubia:

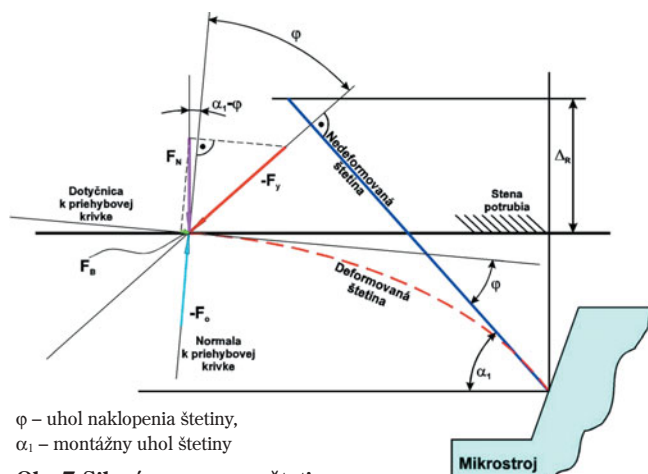
$$F_N = \frac{F_y \cdot \cos \varphi}{\cos(\alpha_1 - \varphi)} \quad (8)$$

kde φ je uhol naklonenia štetiny,

α_1 – montážny uhol štetiny.

Výsledný ohybový moment potom vyplýva z ohybovej a vzpernej sily (F_o a F_B).

Uvedené vzťahy teda zohľadňujú vplyv deformácie štetiny na silové pomery na štetine. V prípadoch malých deformácií je vplyv uhla



φ – uhol naklonenia šetiny,
 α_1 – montážny uhol šetiny

Obr.7 Silové pomery na šetine pri nepohybujúcom sa mikrostroji vo vodorovnom smere [10]

naklonenia zanedbateľný a možno ho v uvedených vzťahoch zanedbať (t. j. $\varphi = 0$) a vzťahy (6), (7), (8) vedú potom ku klasickým učebnicovým príkladom. Ako už bolo uvedené, prieťah šetiny dosahuje až 25 % jej celkovej dĺžky, preto vplyv deformácie na silové pomery v tomto prípade nemožno zanedbať.

Záver

Aplikácia šetín v úlohe nosných prvkov pre potrubný mikrostroj prináša so sebou rad výhod v podobe eliminácie preklzovania na znečistenom vnútornom povrchu potrubia. Prispievajú aj k lepšej adaptácii vzhľadom na geometrické odchýlky rozmeru a tvaru potrubia. Ich aplikácia má význam predovšetkým pri potrubiach s malým vnútorným priemerom (menej ako 25 mm). Pre návrh šetín je potrebné poznať aj charakteristiku trecej sily medzi koncom šetiny a stenou potrubia. Tieto charakteristiky je najschodnejšie určiť experimentálnou cestou.

Podakovanie

Autori týmto dakujú za čiastkovú podporu Slovenskej grantovej agentúry pre vedu (grant VEGA 1/0410/03 „Optimalizácia pohybu šetinového potrubného mikrostroja“) za čiastkovú podporu tejto práce.

Literatúra

(vybrané tituly)

[10] KELEMEN, M.: Mechatronické aspekty optimalizácie pohybu potrubného mikrostroja. Doktorandská dizertačná práca. Košice, apríl 2002.

[11] HOWELL, L., MIDHA, A., NORTON, T., W.: Evaluation of equivalent spring stiffness for use in a pseudo-rigid-body model of large-deflection compliant mechanism. Transaction of ASME. Vol. 118, March 1996, pp. 126 - 131.

Ing. Michal Kelemen, PhD.

Technická Univerzita v Košiciach, SjF, KAMaM

Ing. Tatiana Maťašovská

Technická Univerzita v Košiciach, SjF, KPABl

26