

ДО ПИТАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОФІЛЮВАННЯ МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ УЩІЛЬНЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

© Роман Шеремета, 1999

ДУ "Львівська політехніка"

Робота присвячена проблемі оптимального конструювання елементів пневмо-гідроарматури, зокрема проектуванню металополімерної клапанної пари.

Наведено вимоги щодо конструкцій металополімерних заслопів, визначено функціонал обмеження перетікання герметизованого середовища через проєктовану клапанну пару. Також наведені умови збільшення ресурсу роботи і функціонали мінімізації зусилля герметизації і енергосмності приводу пари. Наведено вираз, який в аналітичній формі описує профіль проєктованого сідла. Складена цільова функція оптимізації конструкції металополімерної клапанної пари.

Під час проектування металополімерної клапанної пари вирішується низка технічних проблем, пов'язаних із забезпеченням необхідних експлуатаційних характеристик і вимог до розроблюваної конструкції [1]. При цьому [2] першою основною вимогою до профілю синтезованого клапана і сідла є обмеження погонного перетікання герметизованого середовища

$$Q_1 < \frac{k_M \cdot c \cdot (p_1 - p_2)}{\int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{[q(X)]^m}}, \quad (1)$$

де k_M - константа, яка характеризує властивість газу; c , m - константи, що визначаються якістю поверхні; Q_1 - погонне перетікання середовища; X - лінія контакту синтезованих клапана і сідла; $q(X)$ - функція, яка описує епюру контактних тисків по ширині контакту.

Другою важливою вимогою є довговічність конструкції. Виходячи з експериментальних даних, конструкція відпрацьовує заданий ресурс, якщо максимальний контактний тиск (з врахуванням динамічних явищ) менший від певного допустимого значення

$$k_d \cdot q_{\max} < [q], \quad (2)$$

де k_d - коефіцієнт динамічності.

Для збільшення довговічності необхідно також зменшити енергію, що витрачається на заглиблювання сідла в клапан, оскільки частина цієї енергії спрямована на ушкоджувальність

$$E = \int_0^{h_b} P(h) dh \rightarrow \min, \quad (3)$$

де h_b - значення заглиблювання сідла в клапан.

З умови забезпечення герметичності мінімальним зусиллям герметизації одержуємо

$$q_1 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{q(x)dx}{\sqrt{1+[f'(x)]^2}} \rightarrow \min, \quad (4)$$

де $f'(x)$ - похідна функції, що описує синтезований профіль індентора.

Отже, задача синтезу зводиться до оптимізації виразів (3) і (4) з виконанням умов (1) і (2). Вимоги (3) і (4) можна звести до одного виразу, який з умовами (1), (2) і визначатиме цільову функцію синтезованого клапана, а саме

$$F = \gamma_1 \int_0^{h_b} P(h)dh + \gamma_2 \int_{x_1}^{x_2} \frac{q(x)dx}{\sqrt{1+[f'(x)]^2}} \rightarrow \min, \quad (5)$$

де γ_1, γ_2 - вагові коефіцієнти, що вибираються з умови $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$ і кожний з яких враховує ступінь важливості параметрів синтезованого клапана.

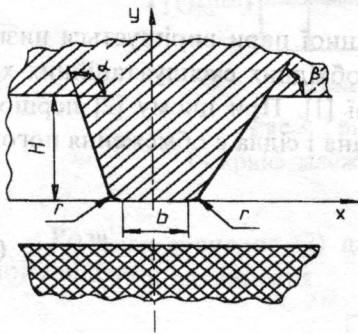


Рис.1. Узагальнена модель профілю сідла металополімерної клапанної пари.

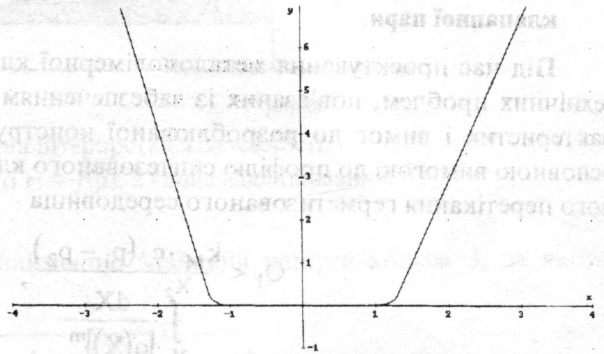


Рис.2. Графік функції (8), яка описує профіль ущільнюючого елемента.

З технологічних міркувань форма синтезованих елементів повинна бути простою, тобто складатися зі складових елементів правильної геометричної форми (рис.1). Форма рівчачка, в якому розміщений полімерний ущільнювач, за певних розмірів не впливає на епюру контактних тисків. Отже, у розглянутій задачі синтез стосується тільки сідла (індентора). Форму сідла задаємо чотирма геометричними параметрами α, β, b, r . Конструктивно для клапанних пар з умовним діаметром отвору до $D_u 40$, можна задатися обмеженнями

$$\left. \begin{aligned} 90^\circ &\leq \alpha \leq 150^\circ \\ 30^\circ &\leq \beta \leq 90^\circ \\ 0 &\leq b \leq 2 \\ 0,2 &\leq r \leq 0,8 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

При кожному конкретному значенні α, β, b, r цільова функція (5) набуває однозначне конкретне значення, тобто F можна розглядати як функцію чотирьох змінних α, β, b, r

$$F(\alpha, \beta, b, r) \rightarrow \min \quad (7)$$

з обмеженнями (1), (2) і (6).

У загальному вигляді профіль синтезованого індентора описується рівнянням

$$f(x) = S(a_1, x, b_1)\Phi_1 + S(a_2, x, b_2)\Phi_2 + S(a_3, x, b_3)\Phi_3 + S(a_4, x, b_4)\Phi_4 + S(a_5, x, b_5)\Phi_5 \quad (8)$$

де $S(a, x, b)$ - функція Хевісайда.

Якщо $a < x < b$, то $S(a, x, b) = 1$; якщо $x < a < b$ або $x > a > b$, то $S(a, x, b) = 0$;

$$\Phi_1 = \left[r + \left(x + \frac{b}{2} \right) \cdot \operatorname{tg}\alpha - r \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\alpha} \right]; \quad \Phi_2 = \left[r - \sqrt{r^2 - \left(x + \frac{b}{2} \right)^2} \right]; \quad \Phi_3 = (x \cdot 0);$$

$$\Phi_4 = \left[r - \sqrt{r^2 - \left(x - \frac{b}{2} \right)^2} \right]; \quad \Phi_5 = \left[r + \left(x - \frac{b}{2} \right) \cdot \operatorname{tg}\beta - r \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\beta} \right];$$

$$a_1 = -r \operatorname{Sin}\alpha - \frac{b}{2} + [H - r(1 + \operatorname{Cos}\alpha)] \cdot \operatorname{ctg}\alpha;$$

$$b_1 = -r \operatorname{Sin}\alpha - \frac{b}{2}; \quad a_2 = b_1; \quad b_2 = -\frac{b}{2}; \quad a_3 = b_2; \quad b_3 = \frac{b}{2}; \quad a_4 = b_3; \quad b_4 = \frac{b}{2} + r \cdot \operatorname{Sin}\beta;$$

$$a_5 = b_4; \quad b_5 = \frac{b}{2} + r \operatorname{Sin}\beta + [H - r(1 - \operatorname{Cos}\beta)] \cdot \operatorname{ctg}\beta.$$

На рис.2 показаний профіль сідла металополімерної клапанної пари, одержаний за допомогою комп'ютерної графіки при підстановці у рівняння (8) таких значень параметрів: $\alpha = 100^\circ; \beta = 75^\circ; b = 2; r = 0,3; H = 7$.

Якщо значення заглиблення сідла в клапан знаходиться в межах $0 < h_b < H$, то контакт полімерної поверхні клапана з індентором (сідлом) по ширині відбувається в межах $a_1 < x < b_5$.

У таких межах зміни аргументу похідна з виразу (8) має вигляд

$$f'(x) = S(a_1, x, b_1) \cdot \Phi'_1 + S(a_2, x, b_2) \cdot \Phi'_2 + S(a_3, x, b_3) \cdot \Phi'_3 + S(a_4, x, b_4) \cdot \Phi'_4 + S(a_5, x, b_5) \cdot \operatorname{tg}\beta,$$

де

$$\Phi'_1 = \operatorname{tg}\alpha; \quad \Phi'_2 = \sqrt{\frac{(2x + b) \left[-\operatorname{SIGN}(4x^2 + 4bx + b^2 - 4r^2) \right]^3}{-4x^2 - 4bx - b^2 + 4r^2}};$$

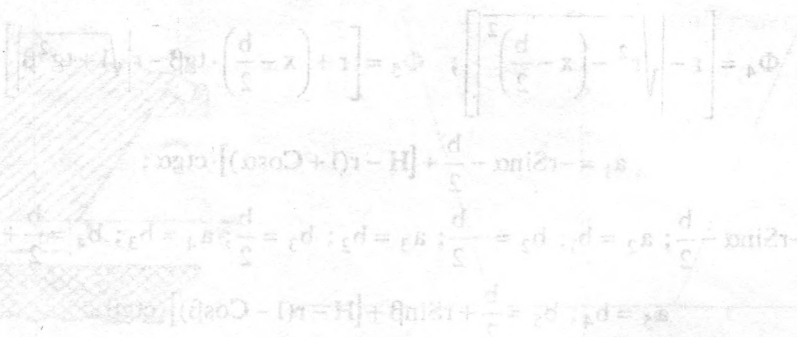
$$\Phi'_3 = 0; \quad \Phi'_4 = \sqrt{\frac{(2x - b) \left[-\operatorname{SIGN}(4x^2 - 4bx + b^2 - 4r^2) \right]^3}{-4x^2 - 4bx - b^2 + 4r^2}}; \quad \Phi'_5 = \operatorname{tg}\beta.$$

Отже, цільову функцію (5) можна записати у вигляді

$$F = \gamma_1 \int_0^{h_b} P(h)dh + \gamma_2 \left[\begin{aligned} &|\cos\alpha| \cdot \int_{a_1}^{b_1} q(x)dx + \int_{a_2}^{b_2} \frac{q(x)dx}{\sqrt{1+(\Phi'_2)^2}} + \int_{a_3}^{b_3} q(x)dx + \\ &+ \int_{a_4}^{b_4} \frac{q(x)dx}{\sqrt{1+(\Phi'_4)^2}} + |\cos\beta| \cdot \int_{a_5}^{b_5} q(x)dx \end{aligned} \right] \rightarrow \min .$$

Розв'язком даної задачі є оптимальний профіль сідла, при якому забезпечується мінімальне зусилля герметизації металополімерної клапанної пари, конструкція якої забезпечує задані герметичність і ресурс.

1. Эдельман А.И. *Топливные клапаны жидкостных ракетных двигателей*. М., 1970.
2. Шеремета Р.М. *Основи оптимального конструювання металополімерних клапанних пар* // *Машинознавство*. 1998. N 2.



На рис. 2 показаний профіль сідла металополімерної клапанної пари, який забезпечує мінімальне зусилля герметизації металополімерної клапанної пари при заданій герметичності і ресурсі. Цей профіль є результатом розв'язання задачі оптимізації, в якій цільовою функцією є зусилля герметизації металополімерної клапанної пари, а обмеженнями є задані герметичність і ресурс.

Важливою характеристикою профілю сідла є його висота, яка визначається висотою сідла H та висотою сідла h_b . Висота сідла H визначається висотою сідла H та висотою сідла h_b . Висота сідла h_b визначається висотою сідла h_b та висотою сідла H .

Висота сідла H визначається висотою сідла H та висотою сідла h_b . Висота сідла h_b визначається висотою сідла h_b та висотою сідла H .

$$\Phi_3 = \left[1 - \left(\frac{d}{2} - x\right)\right]$$

$$\Phi_4 = \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2} - x\right)^2}\right]$$