

УДК 621.865

Володимир Савків, к.т.н., доц., Роман Михайлишин, к.т.н., Франтішек Духон к.т.н., проф., Міхал Келемен, к.т.н., проф.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна
Словацький технічний університет в Братиславі, Словаччина
Технічний університет в Кошице, Словаччина

АНАЛІЗ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМИННОГО ЗАХОПЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ МАНІПУЛЮВАННЯ ТЕКСТИЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Обґрунтовано актуальність застосування струминних захоплювачів при роботизації швейних виробництв. Проаналізовано параметри потоку повітря у радіальному проміжку між взаємодіючими поверхнями струминного захоплювального пристрою та деталі з текстильного матеріалу. Представлено методику розрахунку сили утримування струминним захоплювачем деталі з текстильного матеріалу.

Ключові слова: струминний захоплювальний пристрій, ефект Бернуллі, швейне виробництво, потік повітря.

Volodymyr Savkiv, Roman Mykhailshyn, Frantisek Duchon, Michal Kelemen ANALYSIS OF POWER CHARACTERISTICS OF A BERNOULLI GRIPPING DEVICE FOR MANIPULATION OF TEXTILE MATERIALS

Actuality of the use of Bernoulli grippers with robotics garment industries. The parameters of the air flow in the radial gap between the interacting surfaces of the Bernoulli gripper device and the details of the textile material have been analyzed. The method of calculating the lifting force an Bernoulli gripper of a textile material component is presented.

Keywords: Bernoulli gripping device, Bernoulli effect, garment industries, airflow.

Сучасний етап автоматизації виробничих процесів характерний охопленням багатьох галузей промисловості. Промислові роботи з успіхом використовуються для виконання як основних (технологічних), так і допоміжних (транспортно-завантажувальних) операцій. Роботизація швейного виробництва в даний час стає все більш актуальною, так як дозволяє підприємствам суттєво знизити собівартість продукції та конкурувати з дешевою продукцією із країн що розвиваються. Однією з проблем впровадження промислових роботів на підприємствах швейної промисловості є проблема маніпулювання деталями з текстильного матеріалу. Ця проблема пов'язана з безформністю (відсутністю жорсткості) та пористою структурою текстильного матеріалу, що не дозволяє використовувати типові механічні та вакуумні захоплювальні пристрої. Частково дана проблема вирішується з допомогою використання голчастих механічних або криогенних захоплювачів. Проте вони конструктивно складні та здатні пошкоджувати текстильний матеріал. Більш перспективними для автоматизації процесів відділення від стосу деталей з текстилю або їх захоплення з невеликої відстані будуть струминні захоплювачі ежекційного типу [1-3]. При адаптації даних захоплювачів для утримування текстильного матеріалу у його конструкції передбачено спеціальну сітку 1 (рис. 1). До цієї сітки притягується деталь 2 з текстилю, за рахунок утворення на її поверхні розрідження. Типовий розподіл розрідження на поверхні деталей з щільного текстилю представлено під конструктивною схемою струминного захоплювача.

Математична модель для розрахунку сили утримування струминним захоплювачем деталі з текстилю полягає в еквівалентній заміні даного матеріалу

пластиною сталюї товщини a , рівномірно пронизаною капілярами. Для розрахунку параметрів газового потоку в проміжку між взаємодіючими поверхнями захоплювача та деталі з текстилю прийнято наступні припущення: сумарна площа отворів у сітці 1 наближається до загальної площі сітки; режим підсмоктування повітря через пори у деталі з текстилю та радіальному проміжку проміжку h_1 – ламінарний; термодинамічний процес зміни стану повітря в порах деталі з текстилю – ізотермічний; перехід витікаючого із кільцевої щілини 3 надзвукового потоку в дозвуковий відбувається на радіусі, що дорівнює радіусу конічної вставки r_1 ; параметри дозвукового потоку в зоні торця корпусу 4 приймаються рівними параметрам атмосферного повітря.

Сила притягування струминним захоплювачем деталі з текстилю

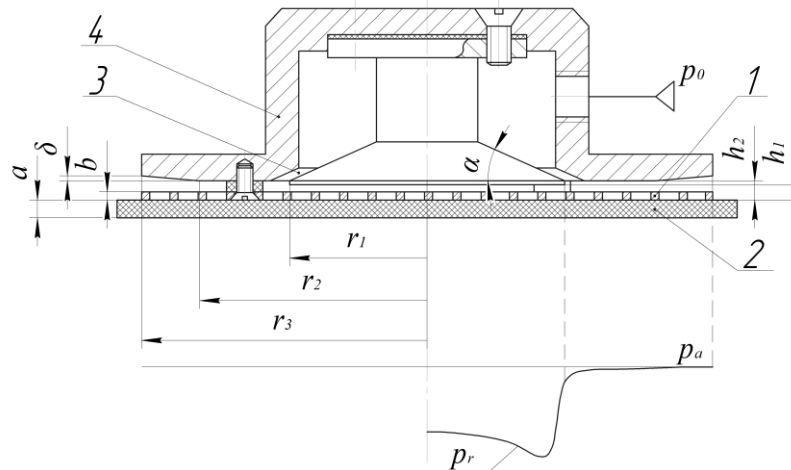


Рис. 1. Конструктивна схема струминного захоплювача для деталей з текстилю

$$F = \int_0^{r_3} (p_a - p_r) 2\pi r dr, \quad (1)$$

де p_a , p_r – відповідно атмосферний та абсолютний тиски повітря в радіальному проміжку на радіусі r .

Об'ємна витрата атмосферного повітря, що підсмоктується через елементарну кільцеву площадку dS деталі з текстилю

$$dQ_n = \frac{\xi}{a\mu_0} \frac{p_a^2 - p_r^2}{p_r} dS, \quad (2)$$

де ξ – коефіцієнт пропорційності, що характеризує проникність повітря через текстильний матеріал; μ_0 – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря.

Середнє значення проникності ξ текстильного матеріалу можна визначити експериментально. Для цього необхідно виміряти об'ємну витрату повітря $Q_{експ}$, яке проходить через текстильний матеріал при створенні на його поверхні площею $S_{експ}$ абсолютного тиску $p_{експ}=120...150$ кПа. Відповідно до формули (2)

$$\xi = \frac{Q_{експ} a \mu_0}{S_{експ}} \frac{p_{експ}}{p_{експ}^2 - p_a^2}. \quad (3)$$

Масова витрата повітря у радіальному проміжку на радіусі r

$$G_r = -\frac{h_2^3}{12\mu_0 R T_a} p_r \frac{dp_r}{dr} 2\pi r = -\frac{\pi h_2^3}{12\mu_0 R T_a} r \frac{dp_r^2}{dr}, \quad (4)$$

де $R=287,14$ Дж/(кг·К) – газова стала для повітря; T_a – абсолютна температура атмосферного повітря.

Витрата G_r збільшується разом із радіусом r унаслідок припливу повітря через

пори в деталі із текстилю. Приріст масової витрати dG_r на елементарному кільці шириною dr є диференціалом (4) по r :

$$dG_r = -\frac{\pi h_1^3}{12\mu_0 RT_a} \left[r \frac{d^2 p_r^2}{dr^2} + \frac{dp_r^2}{dr} \right] dr, \quad (5)$$

і повинен дорівнювати масовій витраті повітря dG_n , що поступає в проміжок через кільцевий елемент поверхні деталі із текстилю площею $2\pi r dr$.

Враховуючи залежність (2), отримуємо:

$$dG_n = \frac{2\pi\xi}{a\mu_0 RT_a} (p_a^2 - p_r^2) r dr. \quad (6)$$

Прирівнюючи праві частини формул (5) і (6) та виконуючи необхідні перетворення, одержимо диференціальне рівняння розподілу тиску в радіальному проміжку в зоні торця конічної вставки в безрозмірних параметрах:

$$(\sigma^2)'' + \frac{1}{R_1} (\sigma^2)' - \eta^2 (\sigma^2) = -\eta^2 \sigma_a^2, \quad (7)$$

де $\sigma = p_r/p_1$ – відносний тиск повітря в радіальному проміжку h_1 на радіусі r ; $\sigma_a = p_a/p_1$ – відносний тиск повітря на вході в пори деталі з текстилю; p_1 – абсолютний тиск повітря на його виході із кільцевої конічної щілини, який внаслідок явища ежекції менший за атмосферний; $R_1 = r/r_1$ – відносний радіус; $\eta = \sqrt{24r_1^2 \xi / ah_1^3}$ – характеристика пористості текстильного матеріалу.

Рівняння (7) є неоднорідним диференціальним рівнянням Бесселя нульового порядку. Його розв'язок має вигляд:

$$\sigma^2 = \sigma^{2*} + C_3 I_0(z) + C_4 K_0(z), \quad (8)$$

де σ^{2*} – частковий розв'язок рівняння (7); C_3, C_4 – сталі інтегрування; $I_0(z), K_0(z)$ – фундаментальні розв'язки цього рівняння без правої частини, які є бесселевими функціями уявного аргументу; $z = R_1 \eta$.

Враховуючи частковий розв'язок $\sigma^{2*} = I_0(z) + \sigma_a^2$, функція розподілу тиску в радіальному проміжку приведеється до вигляду

$$\sigma^2 = \sigma_a^2 + C_3 I_0(z) + C_4 K_0(z). \quad (9)$$

Масову витрату повітря, що підсмоктується через деталь з текстилю, можна визначити, підставивши у вираз (4) значення $d\sigma/dr$, знайдене диференціюванням рівняння (9) з врахуванням співвідношень

$$I_0'(z) = I_1(z); \quad K_0'(z) = -K_1(z).$$

Тоді

$$G = \frac{\pi h_1^3 p_1^2}{12\mu_0 RT_a} [-C_3 I_1(\eta) + C_4 K_1(\eta)] \eta. \quad (10)$$

Відповідно до граничних умов $\left. \frac{d\sigma^2}{dz} \right|_{r=0} = 0$, $\sigma|_{r=r_1} = 1$, знайдемо сталі

$$C_4 = 0, \quad C_3 = -((\sigma_a^2 - 1)/I_0(\eta)).$$

Підстановка цих величин у рівняння (9) і (10) дає розрахункові формули: для змінного тиску в радіальному проміжку h_1

$$\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 - \frac{I_0(z)}{I_0(\eta)} (\sigma_a^2 - 1)}; \quad (11)$$

для масової витрати повітря, що підсмоктується через деталь з текстилю

$$G = \frac{\pi h_1^3}{12\mu_a RT_a} \cdot \frac{I_1(\eta) \cdot \eta}{I_0(\eta)} (p_a^2 - p_1^2). \quad (12)$$

Для визначення абсолютного тиску p_1 на виході із кільцевої конічної щілини, складемо рівняння імпульсів сил у перерізах радіусами r_1 і r_3 для виділеного елемента $d\varphi$ кільцевої щілини 3 та радіального проміжку h_2 :

$$dG_0 V_0 + dG V_1 + p_1 h_2 r_1 d\varphi + 2p_a h_2 (r_3 - r_1) \sin \frac{d\varphi}{2} = (dG_0 + dG) V_2 + p_a h_2 r_3 d\varphi + dF_{mp}, \quad (13)$$

де $dG_0 = G_0 (d\varphi/2\pi)$, $dG = G (d\varphi/2\pi)$ – елементарні масові витрати повітря через сектор $d\varphi$ кільцевої щілини 3 та повітря, що підсмоктується з атмосфери в секторі $d\varphi$ радіального проміжку; $V_1 = GRT_a/2\pi r_1 h_1 p_1$ – швидкість потоку повітря в радіальному проміжку h_1 на радіусі r_1 ; $V_2 = (G_0 + G)/2\pi r_3 h_2 \rho_a$ – швидкість потоку повітря в радіальному проміжку h_2 на радіусі r_3 ; ρ_a – густина атмосферного повітря; dF_{mp} – елементарна сила в'язкого тертя потоку повітря до торців корпусу й об'єкта.

Швидкість і масову витрату повітря на виході з кільцевої щілини обчислюють за формулами Сен-Венана-Ванцеля [4]. Користуючись методикою наведеною в [1], одержимо рівняння, з якого визначають абсолютний тиск p_1

$$G_0 V_0 + \frac{G^2 RT_a}{2\pi p_1 r_1 h_2} - \frac{(G_0 + G)^2}{2\pi \rho_a h_2 r_3} \left[1 + \frac{\lambda_{cp}}{4h_2} r_3 \ln \frac{r_3}{r_1} \right] - 2\pi h_2 r_1 (p_a - p_1) = 0,$$

де λ_{cp} – коефіцієнт в'язкого тертя потоку повітря в радіальному проміжку h_2 .

В результаті, враховуючи (1), силу притягування захоплювачем деталі з текстилю можна визначити за формулою

$$F = \pi r_1^2 p_1 \int_0^1 (\sigma_a - \sigma) 2R_1 dR_1 = \pi r_1^2 p_1 K_n; \quad K_n = 2 \int_0^1 (\sigma_a - \sigma) R_1 dR_1$$

де K_n – коефіцієнт піднімальної сили, що розраховується наближеним інтегруванням.

При $\eta \rightarrow \infty$, $I_0(\eta) \rightarrow \infty$ і $p_r \rightarrow p_a$ у всіх точках радіального проміжку, тобто сила утримування деталі з текстилю $F \rightarrow 0$. При $\eta \rightarrow 0$, $I_0(\eta) \rightarrow 1$ і $p_r \rightarrow p_1$, у результаті піднімальна сила $F \rightarrow \pi r_1^2 (p_a - p_1)$. З іншого боку, зменшення параметра η приводить до зростання масової витрати підсмоктуваного повітря і, як наслідок, до зростання абсолютного тиску p_1 . Звідси випливає висновок, що максимальна піднімальна сила відповідає визначеному оптимальному значенню параметра η_{opt} , а при відомій проникності ξ деталі з текстилю та розмірах $b=0,2$ мм, $h_0=0,1$ мм – оптимальним значенням проміжків $h_1=0,3\dots 0,4$ мм, $h_2=0,5\dots 0,6$ мм.

Література

1. Савків В.Б. Удосконалення конструкції струменевих ежекційних захоплювачів автоматичних пристроїв завантаження / В.Б. Савків, О.М. Фендьо, Г.В. Савків. // Вісник Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. – 2010. – Том 15. – № 3. – С. 64–74.
2. Justification of Design and Parameters of Bernoulli-Vacuum Gripping Device / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, O. Fendo // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2017. – № 14(6), DOI: 1729881417741740.
3. Gasdynamic analysis of the Bernoulli grippers interaction with the surface of flat objects with displacement of the center of mass / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon // Vacuum. – 2019. – № 159, P. 524 – 533.
4. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. – М.: Энергия, 1974. – 592 с.