

КАРМАЛІТА АНАТОЛІЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-4397-298>e-mail: akarmalita89@gmail.com**БАРТКОВ МИКОЛА**

Хмельницький національний університет

e-mail: nikiissport@gmail.com**ПУНДИК СЕРГІЙ**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5832-5527>e-mail: sera88p@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ВАКУУМНОГО ЗАХВАТУ З ПОВЕРХНЯМИ РІЗНОЇ ШОРСТКОСТІ

У статті досліджується процес взаємодії вакуумного захвату з поверхнями різної шорсткості, а саме визначення підйомної сили вакуумного захоплення деталі з шорсткою поверхнею, із зазором між площиною вакуумного захоплення та шорсткою поверхнею деталі з урахуванням нерівностей поверхонь і відсмоктування повітря з порожнин присосок через малий отвір дротеля. Розроблена фізична модель процесу взаємодії присоски і поверхні деталі. Визначені фактори, які впливають на реалізацію досліджуваного процесу і ступінь їх впливу. Побудована математична модель для визначення зусилля присмоктування присоски до поверхні деталі в залежності від параметрів умовних зазорів, величини підведеного розрідження, діаметра отвору дротеля і розмірів вакуумного захоплювача.

Ключові слова: вакуум, асиметрія, присоски, нерівності, тиск.

ANATOLIY KARMALITA, MYKOLA BARTKOV, SERHIY PUNDYK

Khmelnytsky National University

RESEARCH OF THE INTERACTION PROCESS OF VACUUM CAPTURE WITH SURFACES OF VARIOUS ROUGHNESS

The article investigates the process of interaction of a vacuum gripper with surfaces of different roughness, namely, determining the lifting force of a vacuum gripper of a part with a rough surface, with a gap between the plane of the vacuum gripper and the rough surface of the part, taking into account the unevenness of the surfaces and the suction of air from the cavities of the suction cups through a small orifice of the throttle. The tasks of position control and orientation include elements of the problem of object recognition, namely, recognizing the position of objects in relation to the working bodies of technological machines or grippers of industrial robots. Parts with asymmetry of surface properties are divided into those that have asymmetry of hardness, roughness, elasticity, density, electrical conductivity, color, friction coefficient and other properties. A physical model of the process of interaction of the suction cup and the surface of the part has been developed. Factors that affect the implementation of the studied process and the degree of their influence have been determined, namely: parameters of conditional gaps, the value of the supplied vacuum; size of the active part of the suction cup; cross-section size of the calibrated orifice of the throttle; inner radius of the suction cup. The above considerations are valid for the interaction of the working surface of the controlled suction cups and the surface of the part that has irregularities with an open contour. The vast majority of processed materials have such surfaces. Surfaces that have irregularities with a closed contour, created artificially, are less common. A mathematical model has been built to determine the suction force of the suction cup to the surface of the part depending on the parameters of the conditional gaps, the value of the supplied vacuum, the diameter of the orifice of the throttle and the dimensions of the vacuum gripper.

Key words: vacuum, asymmetry, suction cups, unevenness, pressure.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Все більшу частку в технічному оснащенні підприємств легкої промисловості займають промислові роботи. Більша частина з них це не адаптивні програмні роботи, які працюють по жорсткій програмі. Менша частина це адаптивні роботи, які мають сенсорні захвати. Якщо для програмних роботів необхідне обов'язкове впорядкування середовища об'єктів обробки то для адаптивних потрібні сенсорні захвати, які будуть розпізнавати положення тих же об'єктів. Як в першому так і в другому випадку необхідно створити системи для контролю положення об'єктів роботизації.

Задачі контролю положення та орієнтування включають в себе елементи проблеми розпізнавання об'єктів, а саме розпізнавання положення об'єктів по відношенню до робочих органів технологічних машин чи захватів промислових роботів. Признаками для розпізнавання є властивості асиметрії деталей: форми, фізичних властивостей, положення центра мас, властивостей поверхонь. Деталі з асиметрією форми поділяються на ті, що мають асиметрію зовнішньої поверхні (виступи на торцях, пази на циліндричних поверхнях та ін.) і на ті, що мають асиметрію внутрішніх поверхонь. Деталі з асиметрією фізичних властивостей мають асиметрію магнітних, електричних, пружних та інших властивостей. Деталі, що мають асиметрію центра мас, діляться на деталі, в яких центр мас співпадає з геометричним центром деталі і в яких центр мас не співпадає з геометричним центром деталі. Деталі з асиметрією властивостей поверхонь поділяються на тих, що мають асиметрію твердості, шорсткості, пружності, щільності, електропровідності, кольору, коефіцієнта тертя та інших властивостей. В

залежності від характеристик, для кожного конкретного об'єкта можна вибрати один із відомих методів контролю його положення.

Розрізняють сенсорні пристрої внутрішньої і зовнішньої інформації. Це в більшості випадків перетворювачі механічних параметрів (переміщень, обертань, зусиль, тисків, крутних моментів) в електричні сигнали, що застосовуються в системах управління об'єктами. Сенсорні пристрої зовнішньої інформації призначені для отримання відомостей про стан зовнішнього середовища. Інформація збирається з допомогою тактильних, оптичних, ультразвукових, пневматичних та інших датчиків.

Виклад основного матеріалу

Сенсорні захвати можуть бути різні за конструкцією в залежності від їх принципу роботи. В цій статті розглядаємо вакуумні захоплювачі.

Існує визначення підйомної сили вакуумного захоплення гладкої, непроникної деталі з зазором між площиною вакуумного захоплення та гладкою поверхнею деталі [1]. Його можна застосувати для визначення зусиль присмокування контрольних присосок до поверхонь деталі з урахуванням нерівностей поверхонь і відсмокування повітря з порожнин присосок через малий отвір дроселя (рис. 1).

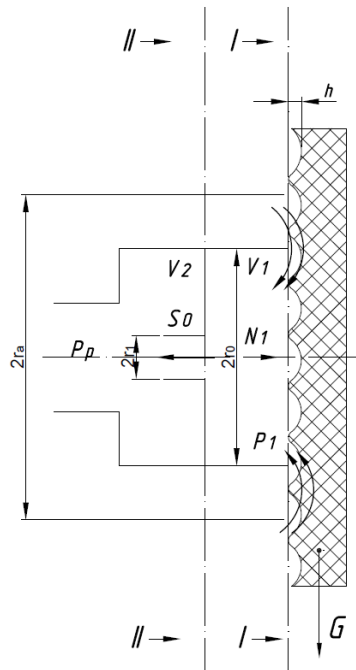


Рис.1. Схема взаємодії присоски і деталі

Вирази для визначення цих зусиль мають вигляд:

$$N = \int_{r_0}^{r_a} (P_a - P) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot d \cdot r + (P_a - P) \cdot \pi \cdot r_0^2; \tag{1}$$

де P_a - атмосферний тиск; P - тиск між поверхнями присосок і поверхнею деталі; r - радіус, на якому визначається тиск; r_0 - внутрішній радіус присоски; r_a - зовнішній радіус присоски; P_1 - тиск в порожнині присоски; P_p - величина розрідження повітря, що підводиться до присоски.

Розв'язуючи (1), отримаємо:

$$N = \pi \cdot (r_a^2 - r_0^2) \cdot P_a - \int_{r_0}^{r_a} 2 \cdot \pi \cdot P \cdot r \cdot d \cdot r + (P_a - P) \cdot \pi \cdot r_0^2; \tag{2}$$

Оскільки обчислення інтегралів необхідне для оціночних розрахунків і помилки інтегрування при визначенні різниці сил віднімаються, виконуємо наближене обчислення інтегралів за допомогою формули Ньютона-Котеса, яка має вигляд [2]:

$$\int_a^b f \cdot (x) \cdot d \cdot x = \frac{n \cdot h}{P_n} \sum_{j=0}^n f \cdot (a + j \cdot h) \cdot P_{jn} + R_n \cdot (f); \tag{3}$$

де: $P_n = \sum_{j=0}^n P_{jn}$; $h = \frac{b-a}{n}$; $a = x_0$; $b = x_n$; $j = 0,1$; $R_n(f)$ - похибка інтегрування, n - число рівновіддалених вузлових точок від початкової, x - координати вузлових точок.

Приймаємо розташування вузлових точок наступне: початкова - на внутрішньому радіусі присоски, друга - на середньому радіусі присоски і третя - на зовнішньому радіусі присоски.

Тоді з [2]:

$$P_n = P_2 = 6, P_{01} = 1, P_{11} = 1, P_{22} = 1,$$

і формула (3) набуває вигляду:

$$2 \cdot \pi \int_{r_0}^{r_a} P^l \cdot r \cdot d \cdot r = \pi \cdot \frac{(r_a - r_0)}{3} \cdot (P_1 \cdot r_0 + 4 \cdot P_{cp}^l \cdot r_{cp} + P_a \cdot r_a); \tag{4}$$

де $r_{cp} = \frac{r_a + r_0}{2}$ - середній радіус присоски; P_{cp}^l - тиски на середньому радіусі присосок.

Для визначення значень тиску P_{cp}^I необхідно зробити ряд допущень:

1. Розглядаємо зазор між робочою поверхнею присоски і поверхнею впадин нерівностей деталі як пористе середовище (з урахуванням того, що нерівності не утворюють замкнених контурів).
2. Кількість повітря, що проходить крізь матеріал деталі під дією різниці тисків ($P_a - P_1$), значно менше кількості повітря, що надходить у порожнину присоски з її периферії.
3. Рух повітря в пористому середовищі (зазорі) ламінарний, і до нього застосовується лінійний закон фільтрації - закон Дарсі.
4. Рух повітря встановлений.
5. Через низький тиск повітря, його стан супроводжується незначною зміною густини, і тому розглядаємо повітря як рідину, що не стискається.

Використовуючи допущення 1 і 3 та теорію фільтрації газу в пористому середовищі, можна записати формулу розподілу тиску повітря всередині пористого середовища при його радіальному русі [3,4]:

$$P = \sqrt{P_a^2 - \frac{P_a^2 - P_1^2}{\ln \frac{r_a}{r_0}} \ln \frac{r_a}{r}}; \quad (5)$$

Для тиску на середньому радіусі присоски:

$$P = \sqrt{P_a^2 - \frac{P_a^2 - P_1^2}{\ln \frac{r_a}{r_0}} \ln \frac{2r_a}{r_a + r_0}}; \quad (6)$$

Для аналітичного визначення тиску P_1 у внутрішньому каналі присосок будемо виходити з прийнятих допущень, а також враховуємо, що виступи на поверхнях не утворюють замкнених контурів.

Для перерізів I-I та II-II (рис. 1) можна записати рівняння неперервності струменя у вигляді:

$$V_1 \cdot \alpha_1 \cdot S_1 \cdot \rho = V_2 \cdot \alpha_2 \cdot S_0 \cdot \rho, \quad (7)$$

де V_1 - швидкість проходження повітря через умовний зазор (або швидкість фільтрації); V_2 - швидкість проходження повітря через отвір дроселя; α_1 - коефіцієнт витрати через умовний зазор; α_2 - коефіцієнт витрати через дросель; ρ - густина повітря.

Для визначення швидкості фільтрації використовуємо основний і в даний час найбільш узагальнений теоретичний підхід пористого середовища - модель суцільного середовища [4]. В цьому випадку швидкість фільтрації пов'язана з дійсною швидкістю руху рідини в порах середовища співвідношенням:

$$V_1 = m_1 U, \quad (8)$$

де m_1 - коефіцієнт пористості середовища (або пористість середовища); U - дійсна швидкість руху рідини в порах середовища.

Згідно з прийнятим допущенням (5) про незмінність густини повітря, можемо визначити швидкість його течії за рівнянням для крапельної рідини:

$$U = \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot (P_a - P_0)}; \quad (9)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot (P_1 - P_p)}; \quad (10)$$

де $\gamma = \rho \cdot g$.

Враховуючи (9), рівняння (8) набуває вигляду:

$$V_1 = m_1 \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot (P_a - P_1)}; \quad (11)$$

Експериментальним шляхом [5] встановлено, що коефіцієнт витрати α практично не залежить від тиску підживлення і при певному конструктивному оформленні вхідних сопел приймає постійне значення, трохи менше одиниці. Встановлено також [5], що для випадку коротких циліндричних отворів та кільцевих щілин узагальнений коефіцієнт витрати $\alpha_0 = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ може бути прийнятий рівним одиниці.

Враховуючи це і підставляючи значення швидкостей в рівняння нерозривності струменя (7), після перетворення отримаємо:

$$P_1 = \frac{S_1^2 \cdot m_1^2 \cdot P_a + S_0^2 \cdot P_p}{S_0^2 + m_1^2 \cdot S_1^2}; \quad (12)$$

Розміри умовних зазорів при вході в порожнину присосок:

$$S_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot h_1 \cdot \psi_1 \quad (13)$$

де h_1 - висоти нерівностей; ψ_1 - коефіцієнти живого перерізу.

Тоді тиск у внутрішніх каналах присосок:

$$P_1 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r_0^2 \cdot h_1^2 \cdot \psi_1^2 \cdot m_1^2 \cdot P_a + S_0^2 \cdot P_p}{S_0^2 + 4 \cdot \pi^2 \cdot r_0^2 \cdot h_1^2 \cdot \psi_1^2 \cdot m_1^2}; \quad (14)$$

Позначимо:

$$\xi_1 = h \cdot \psi_1 \cdot m \quad (15)$$

де ξ_1 - коефіцієнт висоти нерівностей для кожного типу (топографії) поверхні.

Тоді:

$$P_1 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r_0^2 \cdot \xi_1^2 \cdot P_a + S_0^2 \cdot P_p}{S_0^2 + 4 \cdot \pi^2 \cdot r_0^2 \cdot \xi_1^2}; \quad (16)$$

Підставивши (16) в (2) з урахуванням (4), після перетворення отримаємо вираз для визначення зусилля присмоктування:

$$N_1 = \pi(r_a^2 - r_0^2) \cdot P_a + \pi \cdot r_0^2 \cdot P_a - \pi \cdot r_a \cdot \frac{r_a - r_0}{3} \cdot R_a - \left(\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r_0^2 \cdot \xi_1^2 \cdot P_a + \pi \cdot r_0 \cdot S_0^2 \cdot P_p}{S_0^2 + 4 \cdot \pi^2 \cdot r_0^2 \cdot \xi_1^2} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot r_0 + r_a}{3} \right) - 2 \cdot \pi \cdot \frac{(r_a^2 - r_0^2)}{3} \cdot \sqrt{P_a^2 - \left(P_a^2 - \frac{16 \cdot \pi^4 \cdot r_0^4 \cdot \xi_1^4 \cdot P_a^2 + 8 \cdot \pi^2 \cdot r_0^2 \cdot \xi_1^2 \cdot S_0^2 \cdot P_a \cdot P_p + S_0^4 \cdot P_p^2}{S_0^4 + 8 \cdot S_0^2 \cdot \pi^2 \cdot r_0^2 \cdot \xi_1^2 + 16 \cdot \pi^4 \cdot r_0^4 \cdot \xi_1^4} \right) \cdot \frac{\ln \frac{2 \cdot r_a}{r_a + r_0}}{\ln \frac{r_a}{r_0}}}. \quad (17)$$

Висновки

Таким чином реалізація досліджуваного процесу залежить від кількох факторів:

- параметри умовних зазорів - (h, ψ_1 , m);
- величина підведеного розрідження - (Pp);
- розмір активної частини присоски - (r0+ r0);
- величина перерізу каліброваного отвору дроселя - S0;
- внутрішній радіус присоски - r0.

Вищенаведені міркування справедливі для взаємодії робочої поверхні контрольованих присосок і поверхні деталі, що має нерівності з незамкнутим контуром.

Переважає більшість оброблюваних матеріалів має саме такі поверхні. Рідше зустрічаються поверхні, що мають нерівності з замкнутим контуром, створювані штучно.

Література

1. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів. Навчальний посібник./ Я.І. Проць – Тернопіль: Тернопільський технічний університет ім. І.Пулюя, 2008. – 232с.
2. Кричевський В. К. Курс вищої математики. У 2-х частинах. Київ: Наукова думка, 2005. Ч. 1. 320 с.
3. Zhang, Y. & Liu, J. (2020). Fluid transport properties of porous metals and applications. Materials Science Forum, 987, 15-24.
4. Fox R. W., McDonald A. T., Pritchard P. J. Introduction to Fluid Mechanics. Wiley, 2011. 816 с.
5. Liu X., Zhang Y. Design of pneumatic throttling converters for linear measurements. Journal of Fluid Engineering. 2018.

References

1. Prots Ya.I. Zakhopliuvalni prystroi promyslovykh robotiv. Navchalnyi posibnyk./ Ya.I. Prots – Ternopil: Ternopilskiyi tekhnichnyi universytet im. I.Puliuia, 2008. – 232s.
2. Krychevskiy V.K. Kurs vyshchoi matematyky. U 2-kh chastynakh. Kyiv: Naukova dumka, 2005. Ch. 1.320s.
3. Zhang, Y. & Liu, J. (2020). Fluid transport properties of porous metals and applications. Materials Science Forum, 987, 15-24.
4. Fox R. W., McDonald A. T., Pritchard P. J. Introduction to Fluid Mechanics. Wiley, 2011. 816 с.
5. Liu X., Zhang Y. Design of pneumatic throttling converters for linear measurements. Journal of Fluid Engineering. 2018.