

DOI 10.31891/2307-5732-2023-321-3-87-90
УДК 621.865

РОМАНЕЦЬ ТАРАС

Хмельницький національний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0848-0825>
e-mail: romanetsta@khmnu.edu.ua

НЕЙМАК ВІТАЛІЙ

Хмельницький національний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1204-3932>
e-mail: nejmakvit@gmail.com

МАЙДАН ПАВЛО

Хмельницький національний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3319-8730>
e-mail: maidanps@gmail.com

СМУТКО СВІТЛАНА

Хмельницький національний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7344-3799>
e-mail: svsmutko@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВАКУУМНИХ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ У ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Робота стосується автоматизації технологічних процесів у легкій промисловості. Зокрема розглядається можливість оснащення промислових роботів та маніпуляторів безнасосними вакуумними захватними пристроями вакуумного типу. Проаналізовано існуючі технічні рішення вакуумних захватних пристроїв для плоских об'єктів малої жорсткості та складної форми. Отримано залежності зміни об'єму вакуумної камери безнасосного захвату в процесі маніпулювання, що необхідні для розрахунку конструктивних параметрів робочих органів цих захватів та для визначення технологічних режимів їх роботи. Також вказані залежності, що можуть бути використані при аналітичному описі процесу натікання повітря в камеру безнасосного вакуумного захвату для визначення залежності часу натікання повітря у вакуумну камеру від конструктивних і технологічних параметрів захватного пристрою, а також від фізико-механічних властивостей об'єкта маніпулювання. Це дасть змогу проектувати безнасосні вакуумні захватні пристрої для маніпулювання деталями взуттєвої промисловості, а також буде корисним при виборі режимів роботи захватних пристроїв такого типу.

Ключові слова: маніпулювання, промисловий робот, захватний пристрій, безнасосний захват, натікання повітря.

ROMANETS TARAS, NEIMAK VITALII, MAIDAN PAVLO, SMUTKO SVITLANA
Khmelnytskyi National University

PROSPECTS FOR THE USE OF VACUUM CAPTURE DEVICES IN LIGHT INDUSTRY

The work concerns the automation of technological processes in light industry. In particular, the possibility of equipping industrial robots and manipulators with pumpless vacuum gripping devices of the vacuum type is being considered. The existing technical solutions of vacuum gripping devices for flat objects of low rigidity and complex shape are analyzed. The dependences of the change in the volume of the vacuum chamber of the pumpless gripper during the manipulation process, which are necessary for calculating the structural parameters of the working bodies of these grippers and for determining the technological modes of their operation, have been obtained. Also, the indicated dependencies can be used in the analytical description of the process of air inflow into the chamber of a pumpless vacuum gripper to determine the dependence of the time of air inflow into the vacuum chamber on the structural and technological parameters of the gripping device, as well as on the physical and mechanical properties of the manipulation object. This will make it possible to design pumpless vacuum gripping devices for handling parts of the shoe industry, and will also be useful in choosing the modes of operation of gripping devices of this type.

Keywords: manipulation, industrial robot, gripper, pumpless gripper, air inflow.

Постановка проблеми

Розвиток техніки і технологій вимагає збільшення ступеня автоматизації технологічних процесів у легкій промисловості. Особливе місце в загальному комплексі завдань із автоматизації вказаних процесів належить операціям завантаження і розвантаження технологічного обладнання плоскими деталями верху взуття. Для їх виконання можуть використовуватись робототехнічні пристрої, роботи, маніпулятори та автоматизовані системи керування технологічними процесами [1]. Автоматизація виробничих процесів дозволяє збільшити продуктивність обладнання, підвищити якість продукції, зменшити кількість обслуговуючого персоналу.

Робочими органами промислових роботів та маніпуляторів є захватні пристрої. Вони повинні забезпечувати надійне захоплення і утримання об'єктів маніпулювання, забезпечувати їх чітку орієнтацію в просторі; стабільність базування; швидкість переміщення; не повинні пошкоджувати об'єкт в місці контакту. Вид захоплення визначається формою, розміром, масою та властивостями захоплюваного об'єкта маніпулювання, а також специфічними вимогами технологічного процесу.

Оснащення промислових роботів захватними пристроями вакуумного типу дозволяє застосовувати їх для різних технологічних процесів взуттєвих та швейних виробництв. Останнім часом інтенсивно ведуться розробки вакуумних захватних пристроїв (ВЗП), які здатні захоплювати і базувати об'єкти різних форм. Тому аналіз конструкцій ВЗП, розробка методів їх вибору, розрахунку та проєктування, встановлення

технічних вимог до них в залежності від характеру виконуваних операцій є актуальною задачею.

Поява та вдосконалення високошвидкісних приводів, що значно скорочують час виконання транспортних операцій, призвели до необхідності пошуку технічних рішень, спрямованих на зменшення часу захоплення та переміщення об'єкта маніпуляційним механізмом у загальному технологічному циклі.

Тому актуальним є розробка нових швидкодіючих безнасосних вакуумних захватних пристроїв для деталей легкої промисловості.

Аналіз останніх джерел

Важливий вклад у формування наукових основ автоматизації технологічних процесів завантаження і розвантаження обладнання штучними заготовками з допомогою промислових роботів внесли дослідження відомих учених: Ямпольського Л.С., Волчкєвича Я.І., Камишного Н.І., Малова А.Н., Шаумяна Г.А. та ін. [2]. Дослідження з кінематики і динаміки промислових роботів, з розроблення алгоритмів керування та інших питань проводили Юревич Є.І., Козирєв Ю.Г., Спиноу Г.А., Костюк В.І. [3]. Питанням автоматизації складальних процесів в легкій промисловості присвячені роботи Піскорського Г.А., Орловського Б.В., Дрожжина В.І., Тонковиди Л.А., Ганулича О.А. тощо [4].

В своїх працях автори статті теж вже торкалися цієї теми. Зокрема пропонувалось для маніпулювання деталями верху взуття використовувати безнасосні вакуумні захвати [5]. Їх перевага у автономності роботи (відсутність джерел живлення). Безнасосні вакуумні захвати бувають поршневі, діафрагмові та сильфонні. У поршневих системах вакуум створюється шляхом зміни об'єму захоплюючої камери під час руху поршня в циліндрі. Діафрагмові схожі на поршневі, але замість поршня використовується діафрагма. У сильфонних принцип дії відповідає діафрагмовим, але він виконаний у вигляді гофрованого циліндра, що складається.

Ми проаналізували продукцію провідних європейських фірм, зокрема, Festo, Schmalz, Camozzi, FEZER, AERO-LIFT Vakuumtechnik, SMI Handling Systeme, GRIPWIQ, HOVA, що займаються виробництвом вакуумних захватних пристроїв. Однак відповідних готових технічних рішень ВЗП для плоских об'єктів малої жорсткості та складної форми, якими є деталі верху взуття, не виявили. Звичайно серед продукції вказаних виробників є достатньо пропозицій самих робочих органів ВЗП, а саме круглих та овальних присосів різних розмірів та різної жорсткості. Також є струминні захватні пристрої (захвати Бернуллі), які можуть справитись з поставленою задачею, однак вони мають інший принцип дії.

Найбільш близькими за вимогами, які ставляться авторами, є захватні пристрої фірми Vaculift серії Green Line. Щоправда це стосується лише автономності роботи пристрою.

Таким чином, спираючись на наші попередні дослідження та враховуючи аналіз відомих конструкцій ВЗП, ставиться задача створення вакуумних захватних пристроїв, що відповідають сучасним вимогам.

Вклад основного матеріалу

Розрідження у вакуумній камері безнасосного захвату в процесі маніпулювання, на відміну від вакуумних захватів що використовують активний вакуум, не залишається сталим. В процесі маніпулювання має місце натікання повітря в вакуумну камеру захвату крізь контактний зазор між юбною присоса і поверхнею деталі, який утворюється через наявність на контактуючих поверхнях нерівностей, а також крізь матеріал деталі. Для вакуумних захватів, що використовують активний вакуум, основні параметри пристроїв і режими їх роботи досліджені досить добре. Безнасосні ж вакуумні захвати з цього погляду досліджені мало. Внаслідок натікання повітря у вакуумну камеру захвату в процесі маніпулювання розрідження в порожнині безнасосного вакуумного захвату буде поступово зменшуватися, і в певний момент часу, коли сила утримання стане меншою від сил відриву деталі, захват перестане її утримувати. Таким чином постає задача визначення часу натікання повітря в робочий орган, тобто часу утримання деталі безнасосним вакуумним захватом.

Оскільки в процесі маніпулювання робочий об'єм безнасосного вакуумного захвату не залишається сталим, то виникає необхідність його визначення. Розрахунок зміни робочого об'єму зробимо на прикладі безнасосного вакуумного захвату поршневого типу (рис. 1). Всі інші типи безнасосних вакуумних захватів можна привести до поршневого.

На першому етапі поршень 1 захвату під дією сили деформації F переміщається в крайнє нижнє положення стискаючи при цьому пружний елемент 2 (Рис. 1, а). При цьому об'єм порожнини присоса зменшується до мінімально можливого об'єму V_0 . Тиск в ній дорівнює атмосферному тиску p_a . Для створення розрідження силу деформації знімають. Сила пружності F_{np} пружного елемента переміщує поршень захвату вгору. Робочий об'єм в початковий момент захвату збільшується до величини V_1 . При цьому в робочому органі захвату створюється розрідження $p_p = p_a - p_{e,0}$, де $p_{e,0}$ величина тиску в присосі в момент захвату об'єкта. При збільшенні робочого об'єму від V_1 до V_2 тиск в порожнині присоса залишається сталим. Визначимо величину розрідження, що створюється в робочому органі захвату в початковий момент захвату. Для цього розглянемо сили що діють на поршень захвату. Як видно з наведеної на рисунку 2 схеми процесу взаємодії елементів захвату, на поршень діють сила пружності пружного елемента F_{np} , а також тиск повітря в штоковій порожнині p_a та поршневій порожнині $p_{e,0}$. Тому можна записати:

$$p_a(S_{nop} - S_{um}) = F_{np} + p_{e,0}S_{nop}, \quad (1)$$

де $S_{шт}$ і $S_{пор}$ – площа штока та поршня захвату відповідно.

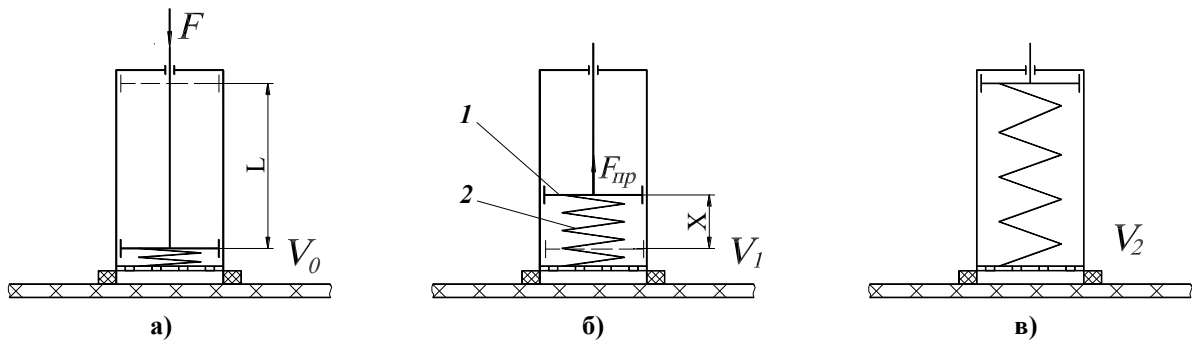


Рис. 1. Зміна робочого об'єму безнасосного вакуумного захвату

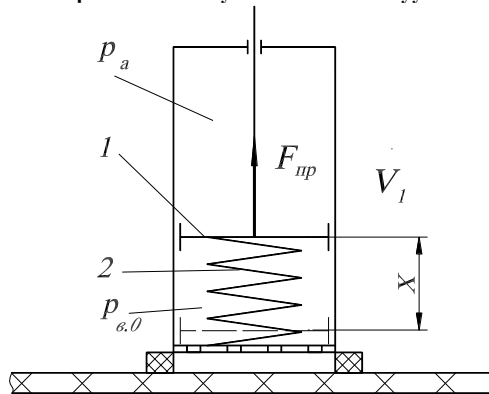


Рис. 2. Силова взаємодія елементів захвату

Підставивши значення цих величин і нехтуючи площею штока через незначну її величину отримаємо:

$$(p_a - p_{в.0})S_{пор} = kX, \tag{2}$$

де k - жорсткість пружного елемента захвату, X - переміщення поршня.

При збільшенні об'єму порожнини захвату від V_0 до V_1 тиск в ній змінюється від p_a до $p_{в.0}$. Вважаючи що процес протікає адіабатично можна записати:

$$p_a V_0 = p_{в.0} V_1,$$

звідки

$$p_{в.0} = \frac{p_a V_0}{V_1}. \tag{3}$$

Підставимо значення тиску p_0 з формули (3) в (2):

$$\left(p_a - \frac{p_a V_0}{V_1} \right) S_{пор} = kX. \tag{4}$$

При зміні робочого об'єму від V_0 до V_1 поршень переміщується на величину ходу $X = \frac{V_1 - V_0}{S_{пор}}$.

Підставимо його значення в формулу (4):

$$\left(p_a - \frac{p_a V_0}{V_1} \right) S_{пор} = k \frac{V_1 - V_0}{S_{пор}}.$$

Після нескладних математичних перетворень отримаємо:

$$\frac{k}{S_{пор}} V_1^2 - \left(\frac{k}{S_{пор}} V_0 + p_a S_{пор} \right) V_1 + p_a S_{пор} V_0 = 0. \tag{5}$$

Об'єм V_0 є величиною сталою. Таким чином ми маємо квадратне рівняння відносно змінної V_1 .

Корені цього рівняння V_{11} та V_{12} дорівнюють $V_{11} = V_0$; $V_{12} = \frac{p_a S_{пор}^2}{k}$. Перший з цих коренів позбавлений фізичного змісту. А отже розв'язком рівняння (5) є:

$$V_1 = \frac{p_a S_{\text{нор}}^2}{k}. \quad (6)$$

Знайдемо тиск в порожнині присоса в початковий момент захоплення об'єкта маніпулювання. При цьому може бути два випадки:

- перший - $V_1 \geq V_2$;

- другий - $V_1 < V_2$.

Для визначення тиску скористаємось рівнянням (3). В першому випадку

$$p_{в.0} = \frac{p_a V_0}{V_2}, \quad (7)$$

тобто після зняття деформуючого навантаження пружний елемент захвату відразу повертає камеру до вихідного стану.

В другому випадку:

$$p_{в.0} = \frac{p_a V_0}{\frac{p_a S_{\text{нор}}^2}{k}} = \frac{V_0 k}{S_{\text{нор}}^2}, \quad (8)$$

а отже спочатку розмір камери набуває певного проміжного стану об'ємом V_1 за якого в ній створюється розрідження $p_p = p_a - p_{в.0}$. Далі, внаслідок натікання повітря, камера поступово збільшується до вихідного стану.

Час натікання повітря в присос можна розділити на два етапи. Перший з них – час протягом якого робочий об'єм збільшується від V_1 до V_2 . При цьому тиск в камері присоса $p_{в.0}$ залишається сталим і його можна визначити за формулою (8). Другий відрізок часу відповідає тривалості процесу натікання повітря в камеру захвату від моменту коли форма камери набуває вихідного стану, тобто робочий об'єм стане рівним V_2 , до моменту коли деталь самовільно відокремиться від присоса. Протягом цього етапу робочий об'єм залишається сталим і рівним V_2 , а внаслідок натікання повітря зростає тиск від $p_{в.0}$ до $p_{гр}$ - граничного тиску, за якого деталь ще утримується присосом.

Висновки

Отримані залежності зміни об'єму вакуумної камери безнасосного захвату в процесі маніпулювання що необхідні для розрахунку конструктивних параметрів робочих органів цих захватів, а також для визначення технологічних режимів їх роботи. Вони будуть використані при аналітичному описі процесу натікання повітря в камеру безнасосного вакуумного захвату для визначення залежності часу натікання повітря у вакуумну камеру від конструктивних і технологічних параметрів захватного пристрою, а також від фізико-механічних властивостей об'єкта маніпулювання. Що дасть змогу проектувати безнасосні вакуумні захватні пристрої для маніпулювання деталями взуттєвої промисловості, а також буде корисним при виборі режимів роботи захватних пристроїв такого типу.

Література

1. Проць. Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів : навчальний посібник. Тернопіль : Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. 232 с.
2. Автоматическая загрузка технологических машин : справочник / под ред. И.А. Клусова. М. : Машиностроение, 1990. 358 с.
3. Костюк В.И., Ямпольский Л.С. Гибкие сборочные робототехнические систем. К. : Выща шк., Головное изд-во, 1988. 722 с.
4. Тонковид Л.А. Автоматические манипуляторы в обувном производстве. М. : Легпромбытгиздат, 1987. 176 с.
5. Драпак Г.М., Романець Т.П., Онофрійчук В.І. Використання пасивних вакуумних захватів у взуттєвій промисловості. Вісник Технологічного університету Поділля. Хмельницький, 2003. № 6. Ч. 1, Т. 2.

References

1. Prots. Ya.I. Zakhopliuvalni prystroi promyslovykh robotiv : navchalnyi posibnyk. Ternopil : Ternopil'skyi derzhavnyi tekhnichnyi universytet im. I. Puliuia, 2008. 232 s.
2. Avtomaticheskaja zagruzka tehnologicheskikh mashin : spravochnik / pod red. I.A. Klusova. M. : Mashinostroenie, 1990. 358 s.
3. Kostjuk V.I., Jampol'skij L.S. Gibkie sborochnye robototekhnicheskie sistem. K. : Vyshha shk., Golovnoe izd-vo, 1988. 722 s.
4. Tonkovid L.A. Avtomaticheskie manipulyatory v obuvnom proizvodstve. M. : Legprombytizdat, 1987. 176 s.
5. Drapak H.M., Romanets T.P., Onofriichuk V.I. Vykorystannia pasyvnykh vakuumnykh zakhvativ u vzuttievii promyslovosti. Visnyk Tekhnolohichnoho universytetu Podillia. Khmelnytskyi, 2003. № 6. Ch. 1, T. 2.