

Since the flange naturally thickens during drawing in the corner sections of the part contour, this phenomenon taken into account when determining the gap between the punch and the die of the drawing die: in the corner sections, the gap should be greater than in the straight sections of the die contour.

Extrusion of box-shaped parts from bimetal causes even greater unevenness of deformations. A different amount of deformation of the layers of the bimetallic work piece imposed on the general sign change of the voltages, which causes bending and warping of the rectilinear parts of the semi-finished product, and therefore, the impossibility of obtaining a high-quality product. Based on the analysis of the stress-strain state of the workpiece in the process of drawing bimetal. The following provisions are proposed: if the mechanical properties of the metal layers do not differ - the two-layer metal behaves like a single-layer, then the ratio of the thicknesses of the two-layer metal does not change after drawing; if the mechanical properties of the layers differ, then the ratio of the thicknesses of the two-layer metal changes after drawing. Thus, when the ratio σ_{s1}/σ_{s2} decreases, the thickness of the first layer, which has lower mechanical properties, decreases at the output; the thickness ratio after drawing also depends on the initial ratio of metal thicknesses.

Based on the analysis of the stress-strain state of the work piece during the extraction of box parts, the following methods and techniques have been determined for obtaining high-quality parts by extraction and saving material: use metals with similar mechanical properties; the desire to increase the curvature of the corner zones of the work piece; to calculate the dimensions of the work piece for the hood with the involvement of modern mathematical apparatus (potential method); use brake media instead of brake ribs; affect the center of deformation, increasing the effect of unloading tangential stresses.

bimetal, drawing, anisotropic material, workpiece, deformation, stress, mechanical properties

Одержано (Received) 26.04.2023

Прорецензовано (Reviewed) 04.05.2023

Прийнято до друку (Approved) 29.05.2023

УДК 007.52

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.27-33](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.27-33)

М.О. Годунко, доц., канд. техн. наук, **О.А. Кислун**, доц., канд. техн. наук, **В.А.Мажара**, доц., канд. техн. наук, **В.К. Щербина**, асп., **Р.А. Кравченко**, асп., **В.В. Ключкін**
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: maksimgodunko83@gmail.com

Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою

Виконано обґрунтування силового розрахунку важільних захватних пристроїв роботів із врахуванням їх конструктивних параметрів та умов функціонування. Виведено рівняння для розрахунку сил затиску в захватному пристрої та на основі цих рівнянь побудовано залежності сил затиску від приведених умов. На основі побудованих залежностей зроблено висновки та надано відповідні рекомендації по виконанню та функціонуванню захватних пристроїв роботів.

захватні пристрої, сили затиску, промислові роботи, сумарні сили затиску

Постановка проблеми. Виходячи із основного цільового призначення промислових роботів, їх захватні пристрої повинні забезпечувати надійний затиск утримуваних ними деталей при різних напрямках і режимах їх руху та виконанні необхідних операцій (встановлення, з'єднання, запресовування деталей та ін.). Сам процес транспортування та позиціонування повинен здійснюватись з дотриманням наступних вимог: максимально-доцільною швидкістю або прискоренням; необхідною точністю; мінімальними силовими навантаженнями на захват та конструкцію робота; необхідною якістю виконання операції; мінімальними енергетичними потребами; дотриманням необхідних вимог по безпеці виконання операцій та ін.

© М.О. Годунко, О.А. Кислун, В.А.Мажара, В.К. Щербина, Р.А. Кравченко, В.В. Ключкін, 2023

Окрім цього захватні пристрої роботів повинні бути достатньо універсальними, щоб мати можливість працювати з різними деталями за формою і розмірами, а також виконувати обслуговування різного обладнання, працюючи з різними пристроями і ін. Тому функціональні дослідження захватних пристроїв є достатньо важливими. Одним із напрямків таких досліджень є створення методики силових розрахунків з урахуванням вище розглянутих умов, тому поставлена задача є актуальною на сьогоднішній день.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За період існування та розвитку промислової робототехніки питання силового розрахунку їх захватних пристроїв було завжди актуальним у зв'язку з тим, що це робочий орган, який постійно контактує з об'єктами виробництва різної форми, матеріалу та властивостей. У процесі маніпулювання об'єктами виробництва, вони не мають бути пошкоджені, при цьому цикл роботи робота також має бути точно відпрацьований за певний проміжок часу згідно такту виробництва. Найбільш ґрунтовно всі ці питання розглядалися в дослідженнях І.І. Павленка [1, 4], Shimon Y. Nof, G.J. Monkman [3], Я.І. Проць [2] та ін. Особливу увагу силам захватних пристроїв приділено саме в працях Павленка І.І. Саме ці дослідження взято за основу ідеї обґрунтування умов функціонування захватних пристроїв та створення методики, різних підходів до силового розрахунку із подальшим його використанням у конструюванні цих виконавчих модулів, а також у корегуючи програмах роботи промислового робота.

Постановка завдання. Таким чином, метою наукової роботи є дослідження силових характеристик захватного пристрою промислового робота за різних умов його функціонування, виведення формул для визначення мінімально необхідних сил затиску деталі та побудова залежностей розрахованих сил від конструктивних характеристик захвату.

Виклад основного матеріалу. Варто зазначити, що актуальність даного питання на сьогоднішній день зросла в багато разів. Це пов'язано з використанням робототехніки не тільки на виробництві, а й у військових цілях. У машинобудівному виробництві використовуються промислові роботи (маніпулятори), які обслуговують основне технологічне обладнання [1, с.58], а у військовій справі - мобільні роботи із вбудованими маніпуляторами для взяття небезпечних предметів. Запропонована нами методика силового розрахунку полягає у визначенні мінімально необхідних сил затиску. Нижче приведено приклад розрахункової схеми (рис.1) та отриманих рівнянь для визначення мінімально необхідних сил затиску.

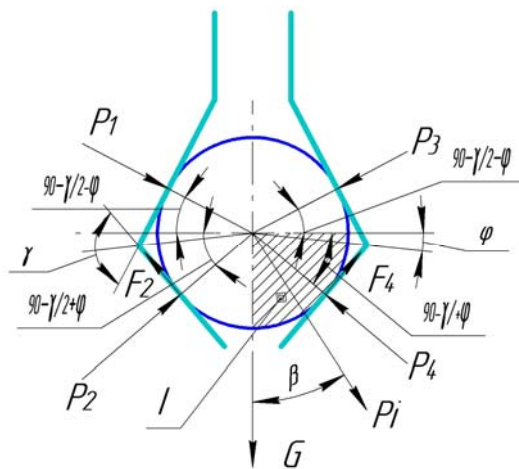


Рисунок 1 – Схема для розрахунку сил затиску заготовки

Джерело: розроблено автором

Розрахункова схема складається з урахуванням особливостей затиску захватом деталі, де вказуємо такі позначення: G – сила ваги деталі; P_i (I) – сила інерції; γ – кут призми; β – кут напрямку сили інерції; φ – кут розміщення вершини призми; P_1, P_2, P_3, P_4 – мінімально необхідні сили затиску деталі. За умову приймаємо, що сила інерції менше або дорівнює силі ваги ($P_i \leq G$).

Для подальших розрахунків складаємо рівняння рівноваги на вісь "X":

$$\sum X = 0;$$

$$P_1 x \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_2 x \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_3 x \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) - P_4 x \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_i \sin \beta = 0 \quad ; \quad (1)$$

Так як $P_1 x$ та $P_2 x$ дорівнюють 0, отримаємо:

$$\begin{aligned} -P_3 x \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) - P_4 x \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) &= -P_i \sin \beta \\ \text{або } P_3 x \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_4 x \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) &= P_i \sin \beta \end{aligned} \quad (2)$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо:

$$\frac{P_3}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = \frac{P_4}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = \frac{R_2}{\sin(180 - \gamma)} \quad (3)$$

де R_2 – сумарна сила затиску, яка дорівнює:

$$R_2 = \sqrt{P_3^2 + P_4^2 + 2P_3P_4 \cos(180 - \gamma)} \quad (4)$$

де γ – кут призми губок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_3 x = \frac{P_4 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_4 x \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} + P_4 y \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) = P_i \sin \beta$$

$$\frac{P_4 x [\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) \sin(90 - \gamma/2 - \varphi)]}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = P_i \sin \beta$$

$$\frac{P_4 x \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = P_i \sin \beta$$

$$P_4 x = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Так як $P_4 = P_4 x + P_4 y$ то отримаємо:

$$P_4 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P_i \cos \beta + G}{2[(\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi))]}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{3x} = \frac{P_4x \sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_{3x} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) \cos(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} + P_{3x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) = P_i \sin \beta$$

$$\frac{P_{3x} [\sin(90 - \gamma/2 - \varphi) \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)]}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = P_i \sin \beta$$

$$\frac{P_{3x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = P_i \sin \beta$$

$$P_{3x} = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\sum Y = 0;$$

$$-P_1y \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_2y \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_3y \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_4y \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + F_2 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + F_4 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_i \cos \beta - G = 0; \quad (7)$$

де

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя, яка дорівнює :

$$F \text{ тертя} = f P_i; \quad (8)$$

де f – сила тертя губки захвата об деталь ;

P_i – нормальна сила для i – i точки контакту.

Так як P_1y та P_3y дорівнюють 0, та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_2y \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_4y \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f P_2y \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f P_4y \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_i \cos \beta - G = 0;$$

Так як $P_2y = P_4y = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)] = P_i \cos \beta + G$$

$$P_y [2 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + 2f \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)] = P_i \cos \beta + G$$

$$P_y = \frac{P_i \cos \beta + G}{2 [\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi)]} \quad \text{отримаємо:}$$

$$P_2y = P_4y = \frac{P_i \cos \beta + G}{2 [\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску:

$$P_1 = 0.$$

$$P_2 = \frac{P_i \cos \beta + G}{2[(\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi))]}$$

$$P_3 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

$$P_4 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P_i \cos \beta + G}{2[(\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi))]}$$

Розглянемо на даному прикладі вплив конструктивних параметрів на сили затиску P_1, P_2, P_3, P_4 коли сила інерції у I квадранті.

Досліджуючи вплив конструктивних параметрів бачимо, що на сили затиску мають вплив такі кути: кут призми γ ; кут напрямку сили інерції β ; кут розміщення вершинки призми φ .

Приймаємо такі значення цих кутів:

- кут призми γ ($60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$);
- кут напрямку сили інерції β ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$);
- кут розміщення вершинки призми φ ($0^\circ, 5^\circ, 15^\circ$);

Для полегшення розрахунків приймаємо, що $P_i = 1$ та сила ваги також дорівнює $G = 1$, а коефіцієнт тертя $f = 0,12$. Розглянемо окремо вплив цих кутів на сили затиску захватного пристрою та будуємо графіки залежності сил затиску від кута призми γ , кута напрямку сили інерції β , кута розміщення вершинки призми φ .

Спочатку розглянемо вплив кута призми γ на сили затиску. Для цього розраховуємо сили затиску при таких значеннях кутів:

- кут призми γ ($60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$);
- кут напрямку сили інерції β ($0^\circ, 90^\circ$);
- кут розміщення вершинки призми φ ($0^\circ, 5^\circ$);

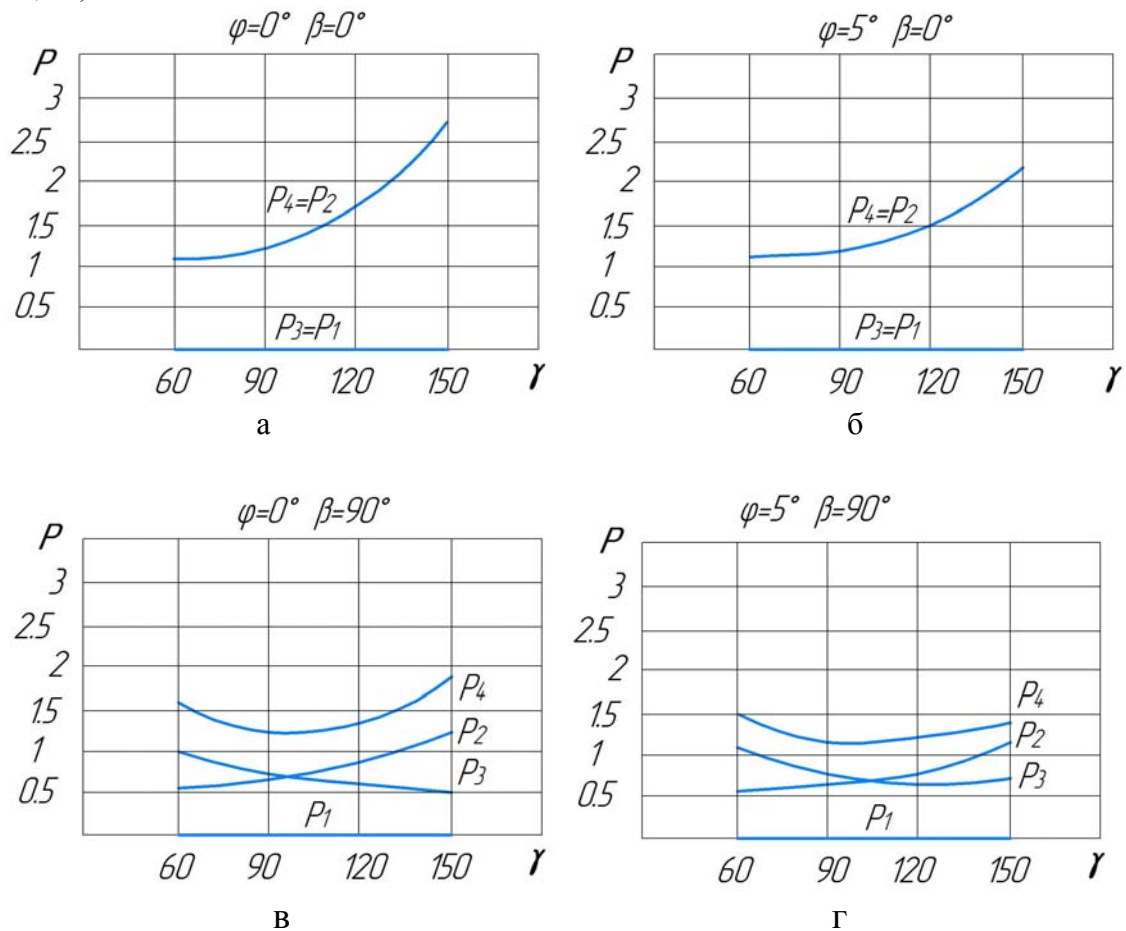
Результати розрахунку сил затиску приводимо в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку сил затиску за визначених умов

Значення кутів			Значення сил затиску		
φ	β	γ	P2	P3	P4
0°	0°	60°	1,1	0	1,1
		90°	1,25	0	1,25
		120°	1,7	0	1,7
		150°	2,7	0	2,7
5°	0°	60°	1,04	0	1,04
		90°	1,2	0	1,2
		120°	1,5	0	1,5
		150°	2,2	0	2,2
0°	90°	60°	0,53	1	1,53
		90°	0,63	0,71	1,34
		120°	0,83	0,58	1,41
		150°	1,33	0,52	1,85
5°	90°	60°	0,52	1,04	1,5
		90°	0,59	0,77	1,23
		120°	0,77	0,66	1,26
		150°	1,1	0,68	1,45

Джерело: розроблено автором

Будуємо графіки залежності сил затиску P_1, P_2, P_3, P_4 від кута призми γ (рис.2а, 2б, 2в, 2г).



а – вплив кута γ на сили затиску при $\varphi=0^\circ$ і $\beta=0^\circ$; б – вплив кута γ на сили затиску при $\varphi=5^\circ$ і $\beta=0^\circ$;
в – вплив кута γ на сили затиску при $\varphi=0^\circ$ і $\beta=90^\circ$; г – вплив кута γ на сили затиску при $\varphi=5^\circ$ і $\beta=90^\circ$;

Рисунок 2 – Графіки впливу кута затискових призм γ на сили затиску P_1, P_2, P_3, P_4
Джерело: розроблено автором

Висновки. Коли кут розміщення вершини призми буде дорівнювати $\varphi=0$, а кут $\beta=0$ то сили затиску зі збільшенням кута призми γ від 60° до 150° $P_4 = P_2$ будуть збільшуватися, $P_1=P_3=0$ (рис. 2,а), а тому кут призми γ необхідно вибирати в межах від 60° - 90° , збільшуючи кут напрямку сили інерції від 0 до 90° , сила P_2 буде збільшуватись, P_3 – зменшуватися, сила P_4 - буде збільшуватися, тому кут призми рекомендується вибирати від 90° - 120° (рис.2,в). Змінюючи кут розміщення вершинки призми, наприклад $\varphi=5^\circ$, бачимо, що зі збільшенням кута призми γ від 60° до 150° при $\beta=0$ сили $P_4= P_2$ будуть збільшуватися, $P_1=P_3=0$ (рис. 2, в), а тому кут призми γ необхідно вибирати в межах від 60° - 90° (рис. 2, в). Збільшуючи кут інерції β від 0 до 90° , сила P_2 буде збільшуватись, P_3 – буде зменшуватися, сила P_4 - буде збільшуватися, тому кут призми рекомендується вибирати від 90° - 120°

Список літератури

1. Павленко І.І., Годунко М.О. Захватні пристрої роботів: навч. посібн. Кіровоград: КНТУ, 2014. 367с.
2. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: навч. посібн. Тернопільський державний технічний університет ім.І.Пулужа, 2008. 232с.

3. Robot Grippers. G.J. Monkman, S.Hesse, R.Steinmann, H.Schunk. Copyright 2007 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
4. Павленко І.І. Промислові роботи та РТК: монографія . Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2016. 492с.

Referencis

1. Pavlenko, I.I. & Godunko. M.O. (2014). *Zakhvatni prystroi robotiv [Grippersofrobots]*. Kirovograd: KNTU [in Ukrainian].
2. Prots, Ya.I. (2008). *Zakhopliuval'ni prystroi promyslovykh robotiv [Grippers of industrial robots]*. Ternopol State Technical University named after I.Pulyuya, 232p. [in Ukrainian].
3. Robot Grippers. G.J. Monkman, S.Hesse, R.Steinmann, H.Schunk. (2007). Copyright 2007 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim [in English].
4. Pavlenko, I.I. (2016). *Promyslovi roboty ta RTK [Industrialrobotsand RTC]*. Kropivnitsky: Publisher Lysenko V.F. [in Ukrainian].

Maksym Hodunko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleg Kyslun**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vitalii Mazhara**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Shcherbyna**, post-graduate, **Roman Kravchenko**, post-graduate, **Vladyslav Klyushkin**, master student

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Development of the Method of Force Calculation of a Vertically Oriented Gripping Device

Based on the main purpose of industrial robots, their gripping devices must provide reliable clamping of the parts they hold in different directions and modes of their movement and perform the necessary operations (installation, connection, pressing of parts, etc.). The process of transportation and positioning itself must be carried out in compliance with the following requirements: the maximum appropriate speed or acceleration; necessary accuracy; minimal force loads on the robot grip and structure; the necessary quality of the operation; minimum energy requirements; compliance with the necessary requirements for the safety of operations, etc.

In addition, the gripping devices of robots should be versatile enough to be able to work with different parts in shape and size, as well as perform maintenance of different equipment, working with different devices, etc. Therefore, functional studies of gripping devices are quite important. One of the directions of such research is the creation of a methodology for force calculations taking into account the conditions discussed above, therefore the task is relevant today.

During the period of existence and development of industrial robotics, the issue of force calculation of their gripping devices has always been relevant due to the fact that this is a working body that is constantly in contact with production objects of various shapes, materials and properties. In the process of manipulating production objects, they must not be damaged, while the robot's work cycle must also be precisely worked out in a certain period of time according to the production cycle. All these issues were considered most thoroughly in the studies of I.I. Pavlenko [1, 4], Shimon Y. Nof, G.J. Monkman [3], Ya.I. Prots [2] and others. Particular attention was paid to the power of gripping devices in the works of I.I. Pavlenko. These studies are taken as the basis of the idea of substantiating the operating conditions of gripping devices and creating a methodology, different approaches to force calculation with its subsequent use in the design of these executive modules, as well as in the correcting programs of the industrial robot.

Thus, the purpose of the scientific work is to study the power characteristics of the gripping device of an industrial robot under different conditions of its operation, to derive formulas for determining the minimum necessary clamping forces of the part, and to build the dependence of the calculated forces on the design characteristics of the gripper.

It is worth noting that the relevance of this issue has increased many times today. This is due to the use of robotics not only in production, but also for military purposes. Industrial robots (manipulators) are used in the machine-building industry, which serve the main technological equipment, and in military affairs - mobile robots with built-in manipulators for taking dangerous objects. The method of force calculation proposed by us consists in determining the minimum necessary clamping forces.

gripping devices, clamping forces, industrial works, total clamping forces

Одержано (Received) 24.05.2023

Прорецензовано (Reviewed) 27.05.2023

Прийнято до друку (Approved) 29.05.2023