

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ СТІЙКОСТІ ЗАГОТОВКИ У ВЕРСТАТНОМУ ПРИСТРОЇ
ЗІ СХЕМОЮ БАЗУВАННЯ ЗА ТРЬОМА ПЛОЩИНАМИ****І. В. Павленко**, к.т.н., ст. викладач**В. О. Іванов**, к.т.н., доцент

Сумський державний університет

У роботі розглядаються умови забезпечення стійкого рівноважного положення заготовки у верстатному пристрої зі схемою базування за трьома площинами. Отримано аналітичні вирази для визначення контактних зусиль між заготовкою та функціональними елементами. З умов стійкості та навантаженості опор визначено мінімальне зусилля затискання. Запропоновано вираз для визначення критичних значень компонент сил різання.

Ключові слова: заготовка, верстатний пристрій, рівновага, стійкість, сила різання, зусилля затискання.

Постановка проблеми. Верстатні пристрої (ВП) призначені для точного базування та надійного закріплення заготовок при механічній обробці на металорізальних верстатах та є невід'ємною частиною замкненої технологічної системи «верстат – ВП – різальний інструмент – заготовка». Саме ВП значно впливають на випуск конкурентоспроможної продукції, забезпечуючи задану точність та якість оброблюваних поверхонь, достатню жорсткість технологічної системи, гнучкість виробничого процесу та собівартість кінцевого виробу. Це підтверджується тим, що ВП становлять 70–80% від загального обсягу технологічної оснастки [1]; у загальному обсязі вартості виробничої системи на частку ВП відноситься 10–20% [2]; 80–90% витрат часу на технологічну підготовку виробництва витрачається на проектування та виготовлення ВП [3]; 40% бракованих деталей після механічної обробки є наслідком недосконалості ВП [4]. Таким чином, проблема проектування ВП є актуальною, пов'язаною з важливими науково-практичними завданнями забезпечення стійкого положення заготовки у ВП у процесі формоутворення поверхонь деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На даний час у світі розвиваються різні підходи до проектування та дослідження ВП для операцій механічної обробки деталей різних класів. Для визначення сучасного стану досліджень у галузі проектування ВП та визначення актуальності дослідження розглянуті основні підходи до проектування ВП із позиції взаємодії між ВП та заготовкою.

У роботі [5] досліджено тертя між елементами ВП та заготовкою, а також визначено деформації, які виникають у місцях їх контакту. Автори статті [6] створили методику моделювання системи «ВП – заготовка» та визначили вплив попереднього навантаження від дії сил закріплення та сил різання на похибку оброблюваної поверхні. У роботі [7] розроблена методика аналізу стійкості системи «ВП – заготовка» та обчислення мінімального зусилля закріплення, необхідного для механічної обробки, а також досліджено вплив

послідовності закріплення заготовки. J. Asante аналітично обчислив і дослідив вплив режимів різання та податливості ВП на стійкість заготовки [8]. У роботі [9] представлено спрощену аналітичну модель контактної взаємодії між затискними елементами ВП і заготовкою, а розроблена скінченноелементна модель дозволяє оцінити контактну деформацію у місцях контакту між затискними елементами та заготовкою. Y. Zheng створив скінченноелементну модель визначення стійкості положення заготовки у ВП, а також розробив методику оптимізації попереднього навантаження [10]. У роботі [11] авторами створена математична модель взаємодії ВП із заготовкою та аналізу детермінованого позиціонування ВП. Автори Y. Rong і Y. Bai мають ряд досліджень у галузі точності обробки та аналізу стійкості положення ВП, що ґрунтуються на розгляді плоскої задачі та введенні «діючого фактору», що враховує сили тертя [12]. У роботі [13] розроблена методика визначення місць і сил закріплення для забезпечення стійкого положення заготовки у ВП із гвинтовим механізмом. Праця [14] присвячена розробці методики контролю сили закріплення з урахуванням контактної взаємодії між заготовкою та затискними елементами за допомогою методів нелінійного програмування. У роботі [15] досліджено проблему тимчасовості стійкості положення ВП із урахуванням обмеження сили та напрямку її дії у системі «ВП – заготовка». H. Deng на відміну від квазістатичного підходу попередників розглянув вплив видалення оброблюваного матеріалу на динамічний стан системи «ВП – заготовка» [16].

Постановка завдання. Враховуючи, що існуюча інформація щодо визначення місць контакту функціональних елементів (ФЕ) ВП, до яких належать установлювальні та затискні елементи, носить рекомендаційний характер і не ґрунтується на аналітичних дослідженнях, а також на підставі того, що існуючі методики розрахунку сил закріплення не враховують умову стійкості заготовки і дають необґрунтовано завищені значення, метою даної роботи є забезпечення стійкого рів-

новажного положення заготовки у ВП під дією складових сил різання та закріплення.

Для досягнення поставленої мети сформульовані задачі наукового дослідження:

– створення математичної моделі стійкості рівноважного положення заготовки у ВП;

– визначення з умов стійкості місць контакту ФЕ із заготовкою, мінімально необхідної сили закріплення, складових сил різання та місць прикладання цих сил;

– створення методики статичного розрахунку системи «ВП – заготовка».

Методика досліджень. Установлення корпусних деталей у ВП здійснюється за трьома

основними схемами базування (за трьома площинами, за двома площинами та отвором, за площиною та двома отворами), які складають 76% від усіх схем базування деталей цього класу. Характерною особливістю цих схем є те, що одна з плоских поверхонь використовується як установлювальна база, забезпечуючи стійкість, зручність базування та усунення вібрацій.

Розглядається схема закріплення заготовки за трьома площинами, позбавленої шести ступенів вільності. Механічна система «ВП – заготовка» має ФЕ 1–6 і зорієнтована у просторі у глобальній системі координат X, Y, Z з центром O (рисунки 1).

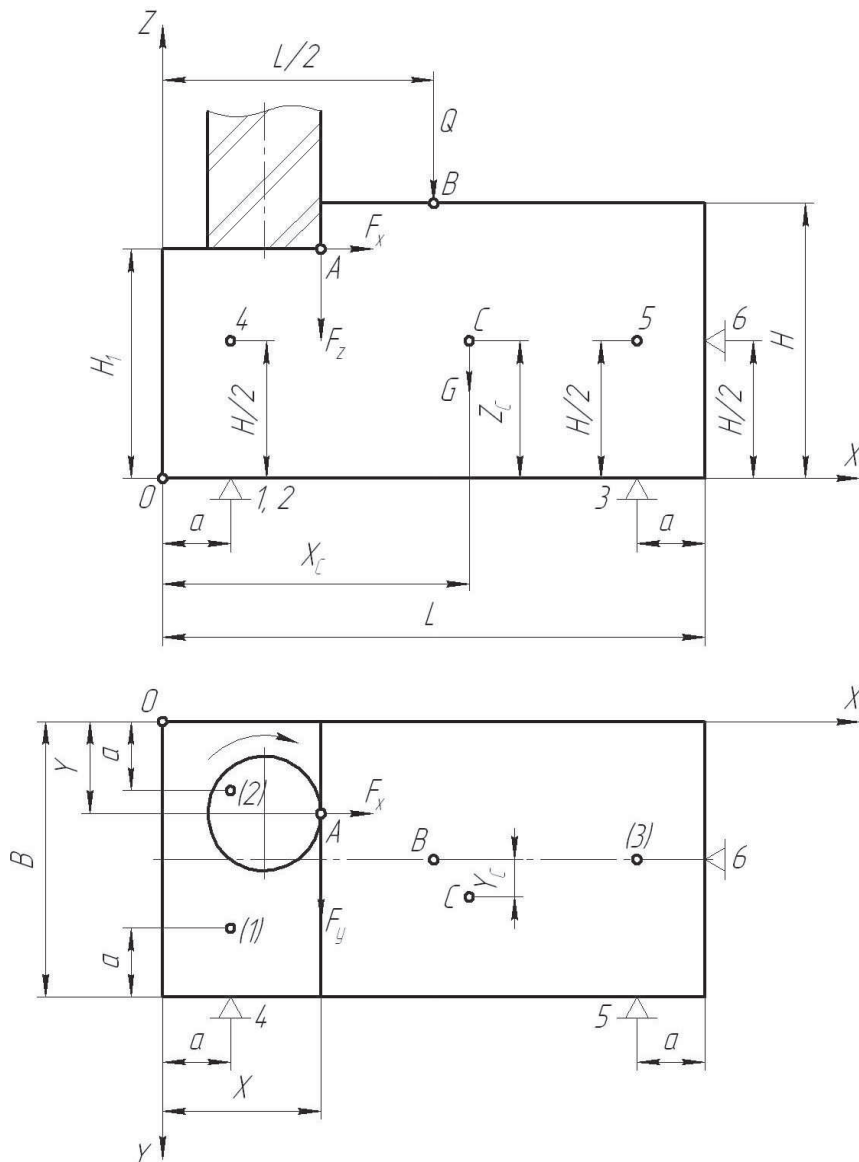


Рисунок 1 – Розрахункова схема при дослідженні системи «ВП – заготовка»

Зовнішніми активними силами є сили різання F_x, F_y, F_z , закріплення Q і вага G заготовки, прикладені відповідно точках $A(X, Y, H_1)$, $B(L/2, B/2, H)$, $C(X_c, Y_c, Z_c)$. Керуючись принципом звільнення від в'язей, дія ФЕ на заготовку замінюється реакціями $R_1, \dots, 6$, що є елементами шукано-

го вектора $\{R\}$. Умови рівноваги заготовки у ВП для просторової системи сил і моментів для змінних параметрів у межах $0 \leq Y \leq B$, $X < L/2$, $H_1 < H$ у матричній формі запису має вигляд:

$$[A]\{R\} = \{F\} + \{Q\} + \{G\}, \quad (1)$$

де $[A]$ – матриця коефіцієнтів впливу; $\{F\}$, $\{Q\}$, $\{G\}$ – вектори-стовпці сил різання, закріплення і тяжіння:

$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ B-a & a & B/2 & H/2 & H/2 & 0 \\ a & a & L-a & 0 & 0 & H/2 \\ 0 & 0 & 0 & a & L-a & -B/2 \end{bmatrix}; \quad \{Q\} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ Q \\ QB/2 \\ QL/2 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \{G\} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ G \\ GY_C \\ GX_C \\ 0 \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$$\{F\}^T = \{F_x; F_y; F_z; F_y H_1 + F_z Y; F_x H_1 + F_z X; F_y X - F_x Y\}$$

Рівноважне положення заготовки має місце при виконанні умови $\det[A] \neq 0$, що забезпечується нерівністю $a < \min\{B; L\}/2$. Також визначені з рівняння (1) способом оберненої матриці компоненти вектора $\{R\} = [A]^{-1}(\{F\} + \{Q\} + \{G\})$ мають забезпечувати умову навантаженості опор: $R_i > 0$. Найменше значення реакції ФЕ 1 (2) відповідає положенню $Y = 0$ ($Y = B$). При цьому умова навантаженості дозволяє визначити необхідну силу закріплення заготовки: $Q_{min} = F_z(B + 2a)/(B - 2a)$. Найменше значення реакції ФЕ 3 відповідає умові відсутності сили закріплення ($Y = 0$). Для цього випадку необхідним є забезпечення умови $H > H_1/2$. Умова навантаженості ФЕ 4, 6 завжди виконуються. Для ФЕ 5 ця умова у випадку $B/2$ обмежує координату прикладання сил різання: $X < a$. При цьому найменше значення реакції ФЕ, що відповідає граничному випадку $Y = B$, накладає обмеження на складові сили різання: $F_x < 2F_y(X - a)/B$.

Результати досліджень. У результаті розв'язків рівняння (1) і дослідження аналітичних виразів компонентів вектора $\{R\}$ з умови стійкості системи «ВП – заготовка» отримані нерівності та обмеження для геометричних розмірів і компонент сил різання та закріплення – необхідні та

достатні умови забезпечення стійкості заготовки:

$$a < \min\{B; L\}/2; \quad a < X < \frac{L}{2}; \quad H_1 > H/2; \quad (3)$$

$$F_x < 2F_y(X - a)/B; \quad Q > F_z(B + 2a)/(B - 2a).$$

Висновки. У роботі розглянуто встановлення корпусних деталей у ВП за трьома площинами, реалізуючи установлювальну, пряму та опорну бази. З умов забезпечення стійкого рівноважного положення отримані аналітичні вирази для визначення місць контакту заготовки з ФЕ ВП. Із умов стійкості та навантаженості ФЕ визначено мінімально необхідну силу закріплення, а також отримано вираз для критичних значень складових сил різання та місць прикладання цих сил.

Подальші дослідження спрямовані на розроблення універсальної методики розрахунку схем базування заготовки у ВП із різними схемами базування з урахуванням динамічних складових сил різання. Враховуючи велику трудомісткість виконуваних розрахунків актуальним є розроблення автоматизованого програмного комплексу, який дозволить скоротити витрати часу при проектуванні та інженерному аналізі ВП.

Список використаної літератури:

1. Ряховский А. В. Разработка и внедрение комплекта унифицированной технологической оснастки для обработки корпусных деталей специзделий : дис. канд. техн. наук : 05.02.08 / Ряховский Алексей Владимирович. – Харків, 1996. – 135 с.
2. Іванов В.О. Вибір оптимальних компоновок верстатних пристроїв для верстатів з ЧПК : дис. канд. техн. наук : 05.02.08 / Іванов Віталій Олександрович. – Харків, 2010. – 239 с.
3. Hashemi H. A case-based reasoning for design of machining fixture / H. Hashemi, A. M. Shaharoum, I. Sudin // Int Journal of Manufacturing Technology, 2014. – Vol. 74. – P. 113–124.
4. Wang H. Computer aided fixture design: recent research and trends / H. Wang, Y. Rong, H. Li, P. Shaun // Computer-Aided Design, 2010. – Vol. 42 (12). – P. 1085–1094.
5. Kumbhar N. FiniteElementModellingandAnalysisofWorkpiece-Fixturesystem / N. Kumbhar, G. Patil, S. Mohite, M. Sutar. // InternationalJournalofAppliedResearchinMechanicalEngineering, 2012. – Vol. 2. – Is. 2.
6. Hu S. AnIntegratedModelofaFixture-WorkpieceSystemforSurfaceQualityPrediction / S. Hu, Y. Liao. // InternationalJournal “AdvancedManufacturingTechnologies”, 2001.– Vol. 17. – P. 810–818.
7. Kang Y. Computer-Aided Fixture Design Verification : Part 3 – Stability Analysis / Y. Kang, Y. Rong, J. C. Yang. // InternationalJournal “AdvancedManufacturingTechnologies”, 2003. – Vol. 21. – P. 842–849.
8. Asante J. N. Effect of Fixture Compliance and Cutting Conditions on Workpiece Stability / J. N. Asante. // InternationalJournal “AdvancedManufacturingTechnologies”, 2010. – Vol. 48. – P. 33–43.
9. Cioata V. The Machining Error Due to Contact Deformation of Workpiece-Fixture System / V. Cioata, I. Kiss. // ACTA Technical Bulletin of Engineering, 2009. – P. 33–36.

10. Zheng Y. Finite Element Analysis for Fixture Stiffness : Ph.D. Thesis. – Worcester : Worcester Polytechnic Institute, 2005.
11. Asada H. Kinematics Analysis of Work Part Fixturing for Flexible Assembly with Automatically Reconfigurable Fixtures / H. Asada, A. By // Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1985. – Vol. 1. – No. 2. – P. 86–93.
12. Rong Y. Automated Generation of Modular Fixture Configuration Design / Y. Rong, Y. Bai. // Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1997. – Vol. 119.
13. Chou Y. C. Automated Fixture Design for Concurrent Manufacturing Planning / Y. C. Chou. // Concurrent Engineering : Res. & Appl., 1993. – Vol. 1. – P. 219–229.
14. Wu Y. Automated Generation of Dedicated Fixture Configuration / Y. Wu, Y. Rong, T. Chu. // International Journal “Computer Application in Technology”, 1997. – Vol. 10, No. 3. – P. 213–235.
15. Trappey A. J. C. Computer-Aided Fixture Analysis Using Finite Element Analysis and Mathematical Optimization Modeling / A. J. C. Trappey, C. S. Su, J. L. Hou // ASME, 1995. – Vol. 2. – P. 777–787.
16. Deng H. Analysis and Synthesis of Fixturing Dynamic Stability in Machining Accounting for Material Removal Effect : Ph.D. Thesis. – Atlanta : Georgia Institute of Technology, 2006.

Павленко І. В., Іванов В. А. Обеспечение условий устойчивости заготовки в станочном приспособлении со схемой базирования по трём плоскостям

В работе рассматриваются условия обеспечения устойчивого равновесного положения заготовки в станочном приспособлении со схемой базирования по трём плоскостям. Получены аналитические выражения для определения контактных усилий между заготовкой и функциональными элементами. Из условий устойчивости и нагруженности опор определено минимальное прижимное усилие. Предложено выражение для определения критических значений компонент сил резания.

Ключевые слова: заготовка, станочное приспособление, равновесие, устойчивость, сила резания, прижимное усилие.

Pavlenko V., Ivanov V. O. Ensuring of the workpiece stability conditions in the fixture with locating scheme on three planes

Fixtures are designed for accuracy and fixing of workpieces in machine tools. They are an integral part of the closed technological system “machine – fixture – tool – workpiece”. Fixtures affect significantly to the production and ensure the required accuracy and quality of machined surfaces, sufficient rigidity of the technological system and flexibility of the production process and prime cost of the final product. The problem of fixture designing is an actual and related to important scientific and practical problems to ensure stable position of the workpiece during surfaces forming.

Nowadays there are different approaches to the design and research of the fixtures for machining operations developed. To determine the current state of research in designing the fixtures and actuality of the basic approaches research of cooperation between the fixture and the workpiece have been investigated.

The existing information as to identifying the position of the functional elements including contacts has advisable recommendation and is not based on the analytical research. The purpose of this article is ensuring of the equilibrium state of the workpiece in the fixture under the action of the clamping and cutting forces components.

The main problems of scientific research are formulated to get the aim: the mathematical model creation for determination the stable equilibrium state of the workpiece in fixture; pointing of the relations between functional elements and workpiece, minimal clamping force, fixing and cutting forces components among stability conditions; the procedure creation of static calculation of the system “fixture – workpiece”.

In this paper conditions for ensuring of the workpiece stable equilibrium position in the fixture on three planes was considered. Analytical expressions that determine contact areas between the workpiece and functional elements were obtained from conditions of ensuring the equilibrium position of the workpiece. The minimum clamping force is defined from conditions of stability and loading of the elements. The expression for critical values of cutting force components was received.

Keywords: workpiece, fixture, equilibrium, stability, cutting force, clamping force.

Стаття надійшла в редакцію: 15.04.2015р.

Рецензент: д.т.н., проф. Павлюченко А.М.

Павленко І. В. Забезпечення умов стійкості заготовки у верстатному пристрої зі схемою базування за трьома площинами / І. В. Павленко, В. О. Іванов // Вісник СНАУ : науковий журнал. – 2015. – серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». – № 11 (27). – С. 23–26.