

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ЧИСТОВИМ ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ НА БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконано аналіз точності обробки на прикладі чистового фрезерування площини заготовки корпусної деталі на багатоцільовому свердильно-фрезерно-розточувальному верстаті. Це дозволило виявити і проаналізувати рівень впливу елементарних похибок на точність розмірів і знайти сумарну похибку обробки.

Ключові слова: механічна обробка, чистове фрезерування, точність, сумарна похибка обробки, елементарні похибки обробки, багатоцільовий верстат.

Abstract

The analysis of the accuracy of the processing is performed on the example of the milling of the workpiece surface of the body detail on a multi-purpose drilling and milling boring machine. This allowed to detect and analyze the level of influence of elemental errors on the accuracy of the sizes and to find the total error of processing.

Keywords: mechanical processing, pure milling, precision, total error of processing, elemental processing errors, multipurpose machine.

Вступ

Необхідною умовою роботи без браку під час виконання певного технологічного переходу механічної обробки партії заготовок деталей на настроєному верстаті є забезпечення співвідношення

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T, \quad (1)$$

де ε_{Σ} – сумарна похибка обробки, яка дорівнює полю розсіювання розмірів, отриманих в результаті механічної обробки партії заготовок; T – допуск забезпечуваного розміру.

Виникнення сумарної похибки обробки є наслідком впливу низки технологічних факторів, кожний з яких зумовлює появу первинної або елементарної похибки.

Якщо здійснюється остаточна обробка, як у випадку, що розглядається, то, визначивши ε_{Σ} , потрібно перевірити виконання умови (1). Якщо ця умова не виконується, то мають бути вжиті заходи щодо зменшення ε_{Σ} . Визначивши ступінь впливу кожної з елементарних похибок на величину ε_{Σ} , можна встановити, яких саме заходів потрібно вжити для її зменшення.

Метою роботи є виявлення і порівняння рівнів впливу елементарних похибок на сумарну похибку під час чистового торцевого фрезерування на багатоцільовому верстаті з ЧПК.

Результати дослідження

Дослідження виконувалось на прикладі технологічного процесу виготовлення деталі типу «Корпус розточувальної оправки» в умовах серійного виробництва. В основу дослідження покладена методика, описана в [1].

Схема обробки площини в розмір $30h11(-_{0,13})$ мм показана на рис. 1.

Прийнято, що обробка здійснюється за таких початкових умов: операція виконується на багатоцільовому верстаті моделі ЛТ260МФ3, що відповідає класу точності «П»; чистове фрезерування виконується після чорнового фрезерування, яке забезпечує розмір поверхні за ІТ14 (для прийнятого номінального розміру величина допуску складе 520 мкм); партія заготовок обробляється на настроєному на розмір верстаті; настроювання торцевої фрези на розмір обробки здійснюється за пробними заготовками; матеріал різальної частини фрези – твердий сплав ВК8; матеріал деталі – сірий

чавун СЧ18; заготовку встановлюється на чисто оброблену поверхню на чотири опорні пластини із закріпленням за допомогою двох гвинтових затискачів (прихватів).

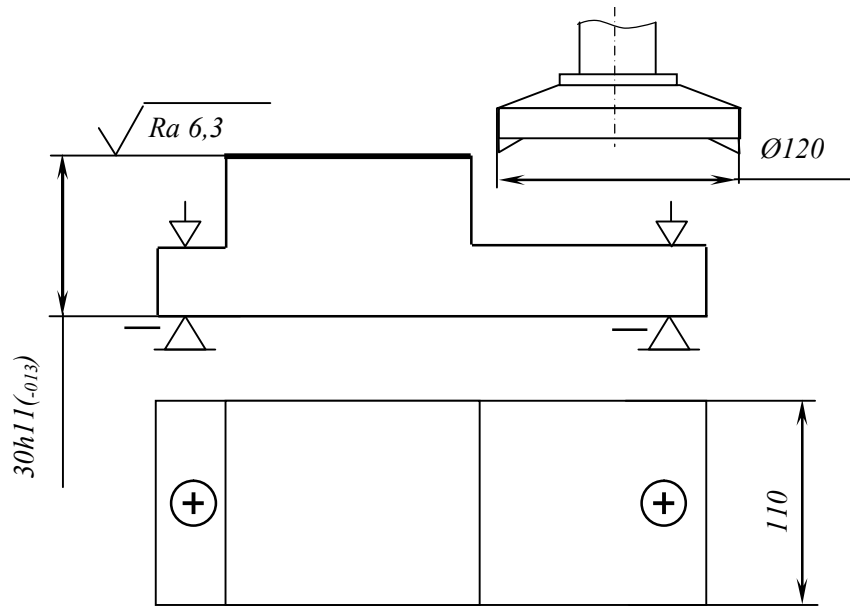


Рисунок 1 – Схема обробки площини в розмір $30h11(-0.13)$ мм

Вважалось, що на операції з одного установка буде виконуватись як попереднє (чорнове), так і остаточне (чистове) фрезерування.

Згідно з [2], для лінійних розмірів, що координують розташування оброблюваної площини відносно іншої площини (вимірювальної бази), сумарна похибка визначається за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_y)^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{пд}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{п.і}})^2 + (K_5 \varepsilon_1)^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2}, \quad (2)$$

де $\frac{1}{K}$ – коефіцієнт, що залежить від бажаної імовірності роботи без браку; $K_1 \dots K_7$ – коефіцієнти, значення яких залежить від виду закону розподілу відповідних елементарних похибок; ε_y – похибка установлення заготовки у верстатний пристрій; $\varepsilon_{\text{пд}}$ – похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання; $\varepsilon_{\text{н}}$ – похибка настроєння; $\varepsilon_{\text{п.і}}$ – похибка позиціонування, яка виникає під час гальмування робочого органу верстата в кінці його швидкого переміщення в початкову точку; ε_1 – похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента; $\varepsilon_{\text{в}}$ – похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата; $\varepsilon_{\text{т}}$ – похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи.

Послідовно визначено всі елементарні похибки, а потім і сумарну похибку розміру що виникають при чистовому фрезеруванні площини.

Похибка установлення визначались за формулою [3]:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}, \quad (3)$$

де ε_6 – похибка базування; ε_3 – похибка закріплення; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – похибка положення заготовки у верстатному пристрої.

Похибка базування за вибраної схеми установлення відсутня, оскільки виконується принцип суміщення баз.

Похибку закріплення ε_3 визначено за формулою [3]

$$\varepsilon_3 = y_{\text{max}} - y_{\text{min}}, \quad (4)$$

де y_{\max} і y_{\min} – відповідно максимальне і мінімальне зміщення вимірювальної бази під дією сили затискання.

Розсіювання положень вимірювальної бази спричиняється коливаннями значень сили затискання, шорсткості і твердості поверхні технологічної бази у різних заготовок партії. Оскільки на операції, що розглядається, виконується як чорнове, так і чистове фрезерування, то необхідне мінімальне значення сили затискання визначалась з урахуванням сили різання, яка виникає під час першого ступеня обробки – чорнового фрезерування за умови зрізання максимального припуску, визначеного за допомогою розмірного аналізу технологічного процесу.

Найбільше і найменше зміщення вимірювальної бази визначені за емпіричними формулами [3]. Для випадку, що розглядається, $y_{\max} = 30$ мкм, $y_{\min} = 18$ мкм. Відповідно, $\varepsilon_3 = 12$ мкм.

Похибка $\varepsilon_{\text{пр}}$ визначалась за формулою [3]

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{yc}}^2 + \varepsilon_{\text{zy}}^2 + \varepsilon_{\text{пв}}^2}, \quad (5)$$

де ε_{yc} , ε_{zy} , $\varepsilon_{\text{пв}}$ — відповідно похибки, спричинені: неточністю виготовлення і складання установочних елементів пристрою; зносом цих елементів; неточністю установлення пристрою на верстат.

Вважалась, що похибка ε_{yc} у випадку, що розглядається, відсутня оскільки вона може бути зкомпенсована під час настроювання фрези на розмір обробки. Похибку ε_{zy} визначено за емпіричною формулою [3]

$$\varepsilon_{\text{zy}} = \beta \sqrt{N} \text{ [мкм]}, \quad (6)$$

де β – коефіцієнт, який залежить від виду опор і умов контакту; N – кількість контактів заготовки з опорами верстатного пристрою.

Згідно з [3] для прийнятих технологічних умов $\beta = 0,2$. Приймемо, що $N = 270$ шт. Тоді ε_{zy} складатиме 3 мкм. Оскільки зазор у напрямку отриманого розміру між основними конструкторськими базами пристрою і допоміжними конструкторськими базами верстата відсутній, то у випадку, що розглядається $\varepsilon_{\text{пв}} = 0$. Таким чином, $\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{zy}} = 3$ мкм. Підставивши визначені значення складових похибки установлення в (5), отримаємо $\varepsilon_{\text{y}} = 13$ мкм.

Похибка, що зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання визначалась за формулою [4]

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{x_{\max}} - P_{x_{\min}}), \quad (7)$$

де ω_{Σ} – сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливості верстата, верстатного пристрою, фрези і заготовки; $P_{x_{\max}}$ і $P_{x_{\min}}$ – відповідно найбільша і найменша величина складової сили різання, що діє у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні.

Під час визначення величини ω_{Σ} вважалось, що податливості верстатного пристрою, фрези і заготовки суттєво менші за податливість верстата $\omega_{\text{в}}$, тобто приймалося, що $\omega_{\Sigma} = \omega_{\text{в}} = 0,026$ мкм/Н [5].

Згідно з [6], вважалось, що $P_x = 0,5 P_z$. Очевидно, що на зміну величини P_x впливатиме зміна припуску на чистове фрезерування і, відповідно, глибина різання t під час обробки заготовок партії. Згідно з результатами розмірного аналізу технологічного процесу $t_{\max} = 1$ мм; $t_{\min} = 0,3$ мм. Визначені згідно з [6] граничні значення складової сили різання P_x склали $P_{x_{\max}} = 598$ Н; $P_{x_{\min}} = 199$ Н. Визначена за формулою (7) величина похибки $\varepsilon_{\text{пд}}$ склала 10 мкм.

Похибка $\varepsilon_{\text{н}}$ визначалась з урахуванням того, що для точної обробки верстата з ЧПК настроюються з використанням методу пробних заготовок. Згідно з [2], $\varepsilon_{\text{н}}$ визначено за формулою

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{(\varepsilon_{\text{р}})^2 + (\varepsilon_{\text{вм}})^2 + (\varepsilon_{\text{зм}})^2} \quad (8)$$

де ε_p – похибка регулювання положення інструмента; $\varepsilon_{вм}$ – похибка вимірювання; $\varepsilon_{зм} = \varepsilon_{п.д} / \sqrt{m}$ – похибка, зумовлена зміщенням центра групування розмірів спробних заготовок відносно середини поля розсіювання в момент настроювання; m – кількість пробних заготовок.

Похибку ε_p прийнято рівною точності позиціонування $\Delta_{п}$. Для верстата ЛТ2060МФ $\Delta_{п}$ дорівнює двом дискетам. Таким чином, прийнято, що $\varepsilon_p = 20$ мкм. Похибку $\varepsilon_{вм}$ прийнято рівною 10 мкм (ціна поділки мікрометра). Величина похибки $\varepsilon_{зм}$ за $m = 5$ складає 4 (мкм). Таким чином, згідно з (8) $\varepsilon_{н} = 23$ мкм.

Під час обробки на багатоцільових верстатах з ЧПК після завершення чергового переходу відбувається заміна інструмента в шпинделі з подальшим його швидким переміщенням у початкову точку (позиціонуванням). Під час гальмування робочого органу верстата в кінці цього переміщення виникає похибка позиціонування $\varepsilon_{п.і}$. Згідно з [1], для верстата ЛТ260МФ3 ця похибка складає 20 мкм.

Розмірний знос різального інструмента i , відповідно похибка ε_i може бути зкомпенсована введенням корекції положення фрези. Тому прийнято, що $\varepsilon_i = \Delta_{п} = 20$ мкм.

Похибку $\varepsilon_{в}$ в даному випадку спричиняє непаралельність площини столу до напрямку його руху. Згідно з [5], ця похибка визначена за формулою

$$\varepsilon_{в} = Cl/L_{\sigma}, \quad (9)$$

де C – допустиме відхилення від паралельності площини столу і напрямку його руху в межах базової довжини L_{σ} . Приймавши згідно з [5], що $C = 20$ мкм, $L_{\sigma} = 400$ мкм, за формулою (9) знайдено $\varepsilon_{в} = 5$ мкм.

Похибка, що зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи згідно з [5] складає близько 15% від суми інших похибок, тобто

$$\varepsilon_{т} = 0,15(\varepsilon_{у} + \varepsilon_{п.д} + \varepsilon_{н} + \varepsilon_{п.і} + \varepsilon_i + \varepsilon_{в}). \quad (10)$$

Разом з тим, ця похибка під час обробки на сучасних багатоцільових верстатах з ЧПК зазвичай дещо менша, ніж на верстатах з ручним керуванням завдяки використанню рясного охолодження оброблюваної заготовки у закритій робочій зоні верстата. З урахуванням цього $\varepsilon_{т}$ визначена за формулою (10), але коефіцієнт перед виразом в дужках зменшений з 0,15 до 0,1. Таким чином, $\varepsilon_{т} = 9$ мкм.

За формулою (2) визначено величину сумарної похибки обробки $\varepsilon_{\Sigma} = 52$ мкм.

За результатами розрахунків побудовані діаграми величин елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають під час чистового фрезерування заготовки на верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3 (рис. 2).

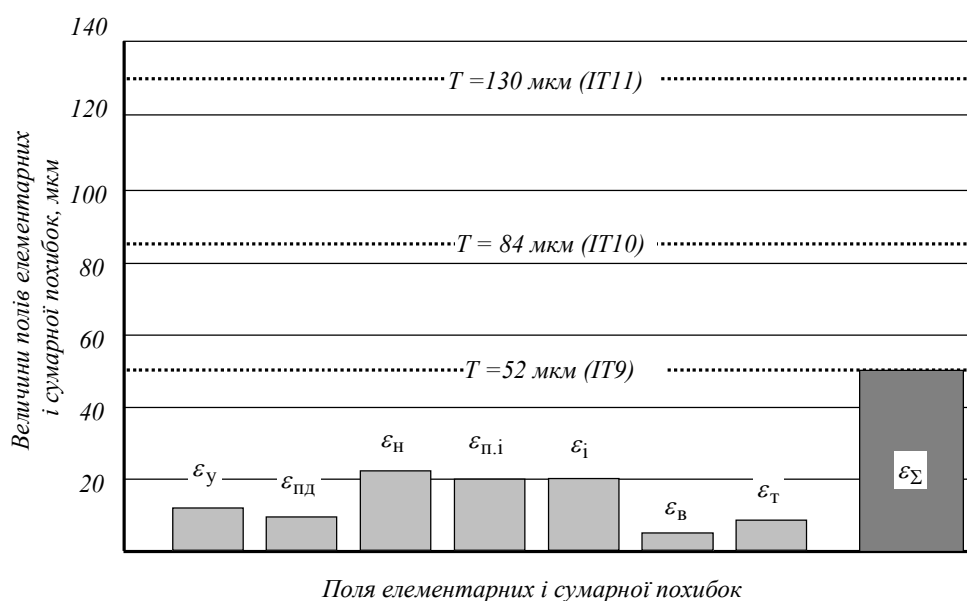


Рисунок 2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, які виникають під час чистового фрезерування заготовки на верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3

Висновки

1. На прикладі обробки заготовки корпусної деталі на багатоцільовому свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФЗ (клас точності «П») проведений аналіз точності обробки з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на сумарну похибку чистової фрезерної обробки партії заготовок на настроєному верстаті.

2. Встановлено, що найсуттєвіший вплив на точність обробки мають похибка настроєння і похибка, що зумовлена неточністю позиціонування при підведенні різального інструмента (торцевої фрези) до початкової точки.

3. Похибка, що спричиняється розмірним зносом різальної кромки зубів фрези, зменшується до рівня похибки позиціонування робочого органу верстата завдяки використанню програмованої корекції інструмента.

4. Обробка на верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФЗ гарантовано забезпечує задану точність розміру $30h11_{(-0,13)}$ мм, оскільки сумарна похибка обробки склала 52 мкм.

5. Для зменшення сумарної похибки обробки потрібно використати верстат класу точності «В» з величиною дискретності 0,001 мм.

6. Результати дослідження можуть бути використані для аналізу наявних та проектування нових технологічних процесів механічної обробки і у навчальному процесі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дерібо О. В. Аналіз точності фрезерної обробки на багатоцільових верстатах з ЧПК / Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Черноволик Г. О. //Промислова гідравліка і пневматика. — № 3(37). — 2012, С. 65—68.
2. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. — М. : Машиностроение, 1985. — 224 с.
3. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении / Корсаков В. С. — М. : Машиностроение, 1974. — 288 с.
4. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 с
5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / [Борисов В. Б., Борисов Е. И., Васильев В. Н. и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 656 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / [Абрамов Ю. А., Андреев В. Н., Горбунов Б. И. и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 496 с.

Кравчук Владислав Сергійович – студент групи ІПМ-17м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: vladislav.kra@gmail.com.

Науковий керівник **Дерібо Олександр Володимирович** – к. т. н., доцент, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: deriboov@ukr.net.

Kravchuk Vladislav S. – Student of the IPM-17m group. Department of Mechanical Engineering and Transport. Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia, email: vladislav.kra@gmail.com.

Supervisor **Deribo Oleksandr V.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Professor of the Chair of Mechanical Engineering Technologies and Automation. Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia, email: deriboov@ukr.net;