

ДЕРІБО О. В., ДУСАНЮК. Ж. П., ЧЕРНОВОЛИК Г. О.

Вінницький національний технічний університет

**АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ФРЕЗЕРНОЇ ОБРОБКИ НА БАГАТОЦІЛЬОВИХ
ВЕРСТАТАХ З ЧПК**

© Дерібо О. В., Дусанюк. Ж. П., Черноволик Г. О.

На прикладі багатоцільового верстата моделі ЛТ260МФ3 проведений аналіз з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на сумарну похибку остаточної фрезерної обробки партії заготовок. Експериментально визначені поля розсіювання та закони розподілу похибки, що зумовлена неточністю установаження інструментального блока в шпиндель верстата і похибки позиціювання. Результати роботи можуть бути використані на машинобудівних підприємствах і у навчальному процесі.

On the example of multifunction machine of model ЛТ260МФ3 the analysis on the exposure of elementary errors that have dominant influence on the total error of final milling manufacturing of the set of workpieces is conducted in the paper. The fields of dispersion and laws of distribution of error that is predefined by inaccuracy of setting of instrumental block in the work spindle and error of positioning are experimentally defined. Working results can be used on machine-building enterprises and in the educational process.

Вступ

Основним завданням аналізу точності механічної обробки, у т. ч. на верстатах з ЧПК, є визначення сумарної похибки обробки ε_{Σ} (поля розсіювання певного розміру).

Мета визначення сумарної похибки обробки залежить від призначення технологічного переходу.

Якщо здійснюється остаточно обробка, то визначивши ε_{Σ} , перевіряють виконання умови

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

де T — допуск отриманого на переході розміру.

Якщо умова (1) не виконується, то мають бути вжиті заходи щодо зменшення ε_{Σ} . Визначивши рівень впливу кожної з елементарних похибок на величину ε_{Σ} , можна встановити, які саме заходи потрібно реалізувати для зменшення сумарної похибки. Для переходів проміжної обробки сумарна похибку найчастіше визначають для встановлення допусків проміжних технологічних розмірів, тобто визначивши ε_{Σ} , приймають $\varepsilon_{\Sigma} = T$.

Відомо [1, 2 та ін.], що конкретні умови технологічної операції суттєво впливають на показники точності обробки. До таких умов відносять розміри, форму і матеріал оброблюваної заготовки, спосіб її установа в верстатно-му пристрої, геометрію і матеріал різального інструмента, режими різання та інші чинники. У зв'язку з цим, дослідження впливу технологічних факторів на точність обробки на верстатах з ЧПК є *актуальною* науково-технічною задачею оскільки дані, приведені в довідниках і паспортах верстатів з ЧПК не дають відповіді на питання про те, у яких умовах розроблюваної операції вона може бути забезпечена.

Метою даної статті є виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на сумарну похибку остаточної фрезерної обробки партії заготовок на багатоцільових (свердлильно-фрезерно-розточувальних) верстатах з ЧПК.

Викладення основного матеріалу

Одним із найсуттєвіших показників точності верстатів з ЧПК є дискретність переміщень по кожній із осей координат. Саме величина дискрети теоретично визначає мінімально можливі переміщення робочих органів верстата під час руху їх у бажане положення. Але величина дискрети є тільки одним із факторів, який впливає на величину поля розсіювання розмірів між поверхнями. На це поле розсіювання впливає ще низка похибок, які виникають під час обробки партії заготовок на настроєному верстаті з ЧПК. Тому, зазвичай, отримане поле розсіювання розмірів (сумарна похибка обробки) є помітно ширшим за величину дискрети.

Розглянемо операцію механічної обробки заготовки корпусу запірного клапана. Операція виконується на свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті з ЧПК ЛТ260МФ3 з поворотним столом, що керується від системи ЧПК. Виробник — Львівський завод фрезерних верстатів.

Операційний ескіз показаний на рисунку.

Визначимо поле розсіювання розміру $120h10_{(-0,14)}$ мм, який з'єднує площини 1 і 3, і проаналізуємо рівень впливу елементарних похибок на величину цього поля розсіювання.

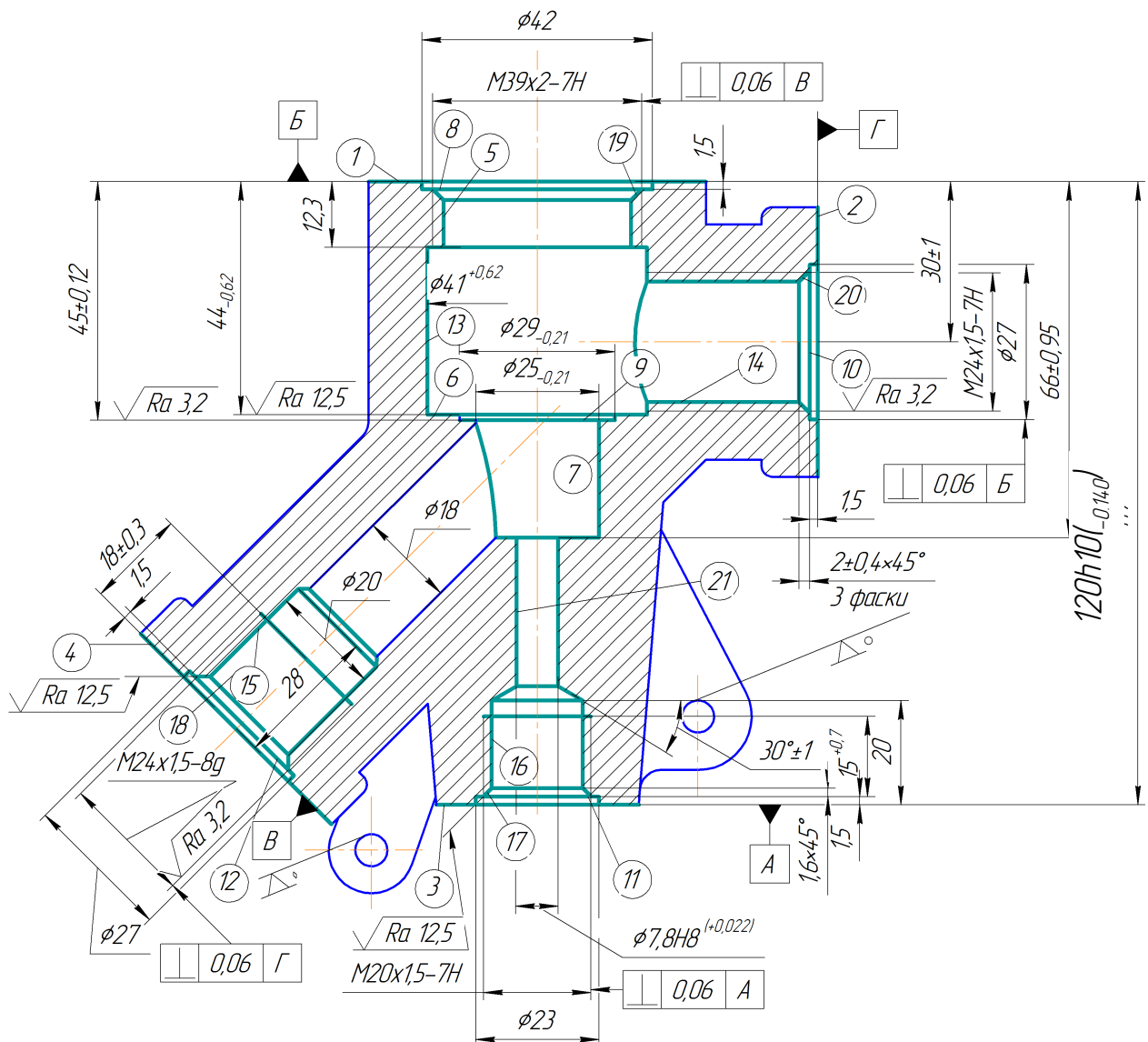
Прийmemo такі початкові умови: виробництво — середньосерійне; розмір партії заготовок — 150 шт.; матеріал заготовки — чавун СЧ 21; різальний інструмент торцева фреза (ГОСТ 24359—80) з пластинами твердого сплаву ВК4; вид обробки — чистове (остаточне) фрезерування зі швидкістю різання $v = 140$ м/хв, подачею $s_z = 0,02$ мм/зуб і глибиною різання $t = 0,5$ мм. Кількість зубців фрези $z = 8$.

У відповідності з [1 та 2], для лінійних розмірів, що координують розташування оброблюваної поверхні відносно іншої поверхні, формулу для визначення сумарної похибки обробки на верстаті з ЧПК можна записати у такому вигляді

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

де ε_y — похибка установлення заготовки у верстатний пристрій; $\varepsilon_{пд}$ — похибка, що зумовлена пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання; ε_H — похибка настроєння верстата; $\varepsilon_{п}$ — похибка позиціювання; ε_i — похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента; ε_B — похибка, що зумовлена геометричною неточністю верстата; ε_T — похибка, що зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи; $\frac{1}{K}$ — коефіцієнт, який залежить від бажаної гарантованої імовірності P_r роботи без браку; $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7$ — коефіцієнти, значення яких залежать від характеру законів розподілу відповідних елементарних похибок.

Згідно з [2], $K_1=K_2=K_3=1$; $K_5=K_6=K_7=1,73$. Вважаючи, що розподіл значень похибки $\varepsilon_{п}$ підпорядкований нормальному закону, прийmemo $K_4 = 1$.



Операційний ескіз обробки корпусу запірнього клапана на свердильно-фрезерно-розточувальному верстаті ЛТ260МФ3

Похибка ε_y в даному випадку відсутня, оскільки розмір $120_{-0,14}$ мм отримується обробкою площин за один установ. Порядок визначення величини ε_y в інших випадках розташування розмірів не відрізняється від порядку визначення цієї похибки для верстатів з ручним керуванням.

Оскільки у випадку, що розглядається, під час чистового фрезерування площин знімається дуже малий припуск, то складова P_y сили різання і, відповідно, її коливання незначні. Тому похибкою обробки, що зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання ($\varepsilon_{пд}$), можна за даних технологічних умов знехтувати.

Похибка ε_H стосовно обробки на верстатах з ЧПК відносять до домінуючих [1, 2]. Під час налагодження свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів різальні інструменти заздалегідь встановлюють поза верстатом в інструментальні блоки, а потім в систему ЧПК вводять інформацію про розміри вильотів інструментів. У цьому випадку ε_H можна визначити за формулою [1]

$$\varepsilon_H = 1,2\sqrt{\varepsilon_{H.i}^2 + \varepsilon_{y.б}^2 + \varepsilon_{H.B}^2} \quad (3)$$

де $\varepsilon_{H.i}$ — похибка попереднього настроєння інструмента в блоці; $\varepsilon_{y.б}$ — похибка установлення блока у шпиндель верстата; $\varepsilon_{H.B}$ — похибка вимірювання під час виконання спробного робочого ходу.

За даними [1] величина $\varepsilon_{H.i}$ для блоків осьового інструменту складає 15 мкм.

Для визначення похибки $\varepsilon_{y.б}$ в лабораторії кафедри технології та автоматизації машинобудування (ТАМ) ВНТУ проведений експеримент, в результаті якого встановлено, що розподіл похибки $\varepsilon_{y.б}$ близький до нормального, а поле розсіювання цієї похибки складає 10 мкм. Експеримент проводився на наявному в лабораторії кафедри ТАМ верстаті 6520Ф3 з урахуванням того, що пристрої фіксації інструментального блока в шпинделі цього верстата і верстата ЛТ260МФ3 є ідентичними.

Похибка вимірювання $\varepsilon_{H.B}$ залежить від точності (ціни поділки) універсального вимірювального інструмента, який використовується під час перевірки розмірів спробної заготовки перед обробкою на настроєному верстаті партії заготовок. Вважаючи, що вимірювання розміру $120_{-0,14}$ мм здійснюватиметься мікрометром з ціною поділки 0,01 мм, прийемо $\varepsilon_{H.B} = 10$ мкм. Вважатимемо, що розподіл цієї похибки підпорядкований нормальному закону.

Підставивши отримані значення похибок в (3), отримаємо $\varepsilon_H = 25$ мкм.

Похибка позиціонування $\varepsilon_{п}$ — це похибка положення робочого органу верстата, що виникає під впливом нестабільності сил і моментів тертя в напрямних під час пуску, руху і зупинки робочого органу [1]. Приводи подач верстатів 6520Ф3 і ЛТ260МФ по кожній із трьох координат ідентичні і є гідравлічними слідкувальними системами із силовими гідроциліндрами і чотирьохщі-

линними розподільними золотниками. Вхідний сигнал на приводи подається за допомогою крокових двигунів ШД5-Д1. Дискретність переміщень по всіх трьох координатах складає 0,01 мм.

Для визначення похибки позиціювання в лабораторії кафедри ТАМ проведено експеримент. Обробкою результатів вимірювань виявлено, що розподіл похибки ε_{Π} є близьким до нормального. Отримані значення поля розсіювання ε_{Π} показані в таблиці.

Поле розсіювання похибки позиціювання верстата 6520Ф3

Координата	Поле розсіювання похибки позиціювання, мкм
X	28
Y	30
Z	29

Таким чином, можна зробити висновок, що ε_{Π} для досліджуваного верстата складає близько 0,03 мм, тобто приблизно дорівнює трьом дискретам.

Оскільки підвід інструмента у початкові точки здійснюється як перед фрезеруванням площини 1, так і перед фрезеруванням площини 2, то сумарну похибку позиціювання визначимо як середньоквадратичне відхилення цих похибок, тобто $\varepsilon_{\Pi} = \sqrt{\varepsilon_{\Pi 1}^2 + \varepsilon_{\Pi 2}^2} = \sqrt{30^2 + 30^2} = 42$ мкм.

Визначимо похибку, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента (фрези).

Згідно із [2 та ін.] нормальний експлуатаційний знос складає

$$u = \frac{u_0 L}{1000},$$

де L — довжина шляху різання, м.

Для торцевого фрезерування довжину шляху різання, який проходить один зуб в процесі обробки певної поверхні однієї заготовки можна знайти за наближеною формулою [2]

$$L_1 = \frac{lB}{1000zs_z},$$

де l, B — відповідно довжина і ширина оброблюваної поверхні, мм; z — кількість зубців фрези; s — подача фрези, мм/зуб.

Якщо однією і тією ж фрезою обробляється декілька поверхонь заготовки, то сумарна довжина шляху різання, який проходить один зуб, складе

$$L_{1\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i B_i}{1000zs_z}$$

Вважаючи, що на операції, яка розглядається, в одному переході виконується чистове фрезерування поверхонь 1, 2, 3 і 4 з параметрами $l_1 = B_1 = 65$ мм, $l_2 = B_2 = 50$ мм, $l_3 = B_3 = 40$ мм, $l_4 = B_4 = 50$ мм відповідно отримаємо

$$L_{1\Sigma} = \frac{65 \cdot 65 + 50 \cdot 50 + 40 \cdot 40 + 50 \cdot 50}{1000 \cdot 10 \cdot 0,02} = 68 \text{ м.}$$

Зношування різального інструмента під час торцевого фрезерування відбувається інтенсивніше, ніж під час точіння, оскільки зубці фрези багатократно врізаються в оброблювану заготовку. Тому відносний знос у цьому випадку можна знайти у відповідності із [2] за емпіричною формулою

$$u_{0\text{фр}} = \left(1 + \frac{100}{B_c}\right) u_{0\text{т}},$$

де $u_{0\text{т}}$ — відносний знос під час точіння, B_c — середнє значення ширини оброблюваних на переході поверхонь. Для переходу, що розглядається

$$B_c = \frac{B_1 + B_2 + B_3 + B_4}{4} = \frac{65 + 50 + 40 + 50}{4} = 51 \text{ мм.}$$

У відповідності з [2] прийmemo $u_{0\text{т}} = 6,5$ мкм/км. Таким чином

$$u_{0\text{фр}} = \left(1 + \frac{100}{51}\right) 6,5 = 19,5 \text{ мкм/км.}$$

Похибка, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента

$$\varepsilon_i = \frac{L}{1000} u_{0\text{фр}}, \quad (4)$$

де L — довжина шляху різання, який відповідає обробці всіх заготовок партії.

Визначимо величину L . Для випадку, що розглядається, вона складе

$$L = L_1 n, \quad (5)$$

де $n = 150$ шт. кількість заготовок в партії.

Таким чином, $L = 68 \cdot 150 = 10200$ м.

Похибка ε_i складе

$$\varepsilon_i = \frac{10200}{1000} \cdot 19,5 = 200 \text{ мкм.}$$

Оскільки довжина оброблюваних поверхонь незначна, а верстати з ЧПК мають високу геометричну точність, то похибкою, що спричиняється геометричною неточністю верстата (ε_B) за даних технологічних умов можна знехтувати.

Розглянемо вплив на точність обробки температурних деформацій технологічної системи. На свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК обробка зазвичай здійснюється за температурно усталених режимів роботи обладнання і технологічного оснащення із рясною подачею ЗОР в зону різання. За таких умов температурне видовження інструмента є сталим і може бути зкомпенсоване під час настроювання верстата, а температурні деформації заготовки є незначними. Таким чином, вважатимемо, що в даному випадку $\varepsilon_T \approx 0$.

Знайдемо сумарну похибку обробки за рівнянням (2). Вважатимемо, що бажана імовірність роботи без браку складає 0,9973. Згідно з [2, с. 24], величина $\frac{1}{K}$ при цьому дорівнюватиме 1. Таким чином,

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{25^2 + 42^2 + (1,73 \cdot 200)^2} = 350 \text{ мкм}.$$

Умова (1) не виконується. Аналіз елементарних похибок показує, що домінуючою за даних технологічних умов є похибка ε_i .

Відомо, що у більшості систем ЧПК можна здійснювати корекцію розташування вершини інструмента відносно початку системи координат заготовки і завдяки цьому зкомпенсувати розмірний знос інструмента.

Виконавши елементарні розрахунки, можна встановити, що умова (1) виконуватиметься, якщо $\varepsilon_i = 76$ мкм. З рівнянь (4) і (5) знайдемо кількість заготовок ($n = 57$), після обробки яких повинна здійснюватись корекція фрези.

Висновки

1. На прикладі операції обробки корпусної деталі на свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті моделі ЛТ260МФ3 проведений аналіз з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на сумарну похибку остаточної фрезерної обробки партії заготовок.

2. Для верстата ЛТ260МФ3 експериментально визначені поля розсіювання і закони розподілу похибки, що зумовлена неточністю установлення інструментального блока в шпindelь верстата і похибки позиціонування.

3. Показано, що суттєвий вплив на точність обробки може мати похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента (торцевої фрези).

4. Результати роботи можуть бути використані для аналізу наявних та проектування нових технологічних процесів механічної обробки на машинобудівних підприємствах, а також у навчальному процесі.

Список літератури

1. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. М. : Машиностроение, 1985. — 224 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / [Антипов К. Ф., Горбунов Б. И., Калашников С. Н. и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1972. — 694 с.
3. Маталин А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. — Л. : Машиностроение, 1985. — 496 с.