

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ РОЗМІРІВ МІЖ ОСЯМИ ГОЛОВНИХ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ І БАЗОВИМИ ПЛОЩИНАМИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ РОЗТОЧУВАННЯМ НА БАГАТОЦІЛЬОВОМУ ВЕРСТАТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконано аналіз точності обробки на прикладі остаточного (тонкого) розточування головного отвору в заготовці корпусної деталі на багатоцільовому свердильно-фрезерно-розточувальному верстаті. Розглянуто розмір, що поєднує вісь отвору з базовою площиною. Це дозволило виявити, проаналізувати і узагальнити рівень впливу технологічних факторів на точність таких розмірів і визначити сумарну похибку обробки.

Ключові слова: механічна обробка, технологічні фактори, головні отвори, тонке розточування, базові площини, розміри, точність, елементарні похибки обробки, сумарна похибка обробки, багатоцільовий верстат.

Abstract

The analysis of machining accuracy on the example of final (thin) boring of the main hole in the workpiece workpiece on a multi-purpose drilling-milling-boring machine. The size connecting the axis of the hole with the base plane is considered. This allowed us to identify, analyze and summarize the level of influence of technological factors on the accuracy of such dimensions and determine the total processing error.

Keywords: machining, technological factors, main holes, fine boring, base planes, dimensions, accuracy, elementary processing errors, total processing error, multi-purpose machine.

Вступ

Одним з важливим показників якості корпусних деталей досить часто є точність розміру між площиною, що є основною конструкторською базою, і одним з головних отворів, який найчастіше є допоміжною конструкторською базою. В залежності від службового призначення деталі допуск на цей розмір зазвичай знаходиться в межах від 0,004 до 0,1 мм. Крім того, розташування головних отворів відносно базової площини регламентується вимогою кутового розташування (паралельності або перпендикулярності) найчастіше в межах 5 або 6 ступеня точності. Складає певний практичний інтерес виявлення тих технологічних факторів, які найсуттєвіше впливають на поле розсіювання цих розмірів і, відповідно, на сумарну похибку механічної обробки.

Метою роботи є виявлення і порівняння рівнів впливу елементарних похибок на сумарну похибку розмірів, що поєднують осі головних отворів з базовими площинами корпусних деталей в процесі виготовлення цих деталей на багатоцільових верстатах з ЧПК.

Результати дослідження

Дослідження виконувалось на прикладі технологічного процесу виготовлення деталі типу «Корпус АЦ.60.01.010» в умовах серійного виробництва. Прийнято, що обробка здійснюється за таких початкових умов: операція виконується на п'ятикоординатному оброблювальному центрі HAAS VF-2TR; матеріал деталі – сірий чавун СЧ20; вихідна заготовка – вилковий литий в піщано-глинисті форми з машинним формуванням суміші (9 клас точності згідно з ГОСТ 26645-85); заготовка встановлюється на чисто оброблену площину лап на дві опорні пластини верстатного пристрою із закріпленням за допомогою двох гвинтових затискачів (прихоплювачів). Ескіз обробки показаний на рис. 1.

Досліджувався вплив на точність розміру 20 мм, що поєднує отвір $\varnothing 20H8$ мм з базовою площиною. Згідно з маршрутом механічної обробки передбачена обробка вказаного отвору на трьох переходах (чорновому, чистовому і тонкому розточуванні) з одного установу. У цій роботі аналізувався вплив технологічних факторів на точність розміру $20 \pm 0,02$ мм, який має забезпечуватись на завершальному переході обробки отвору.

Відомо [1], що 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.

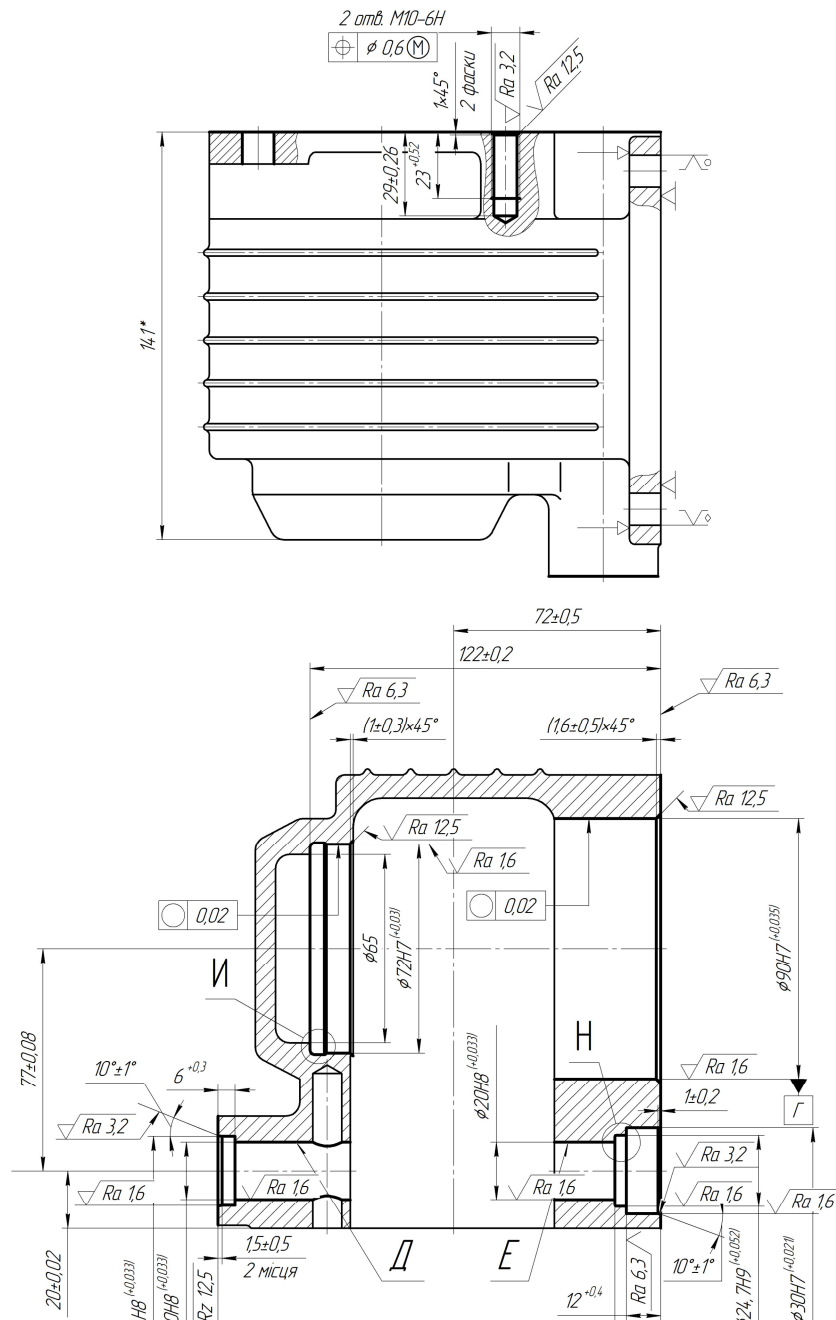


Рисунок 1 – Ескіз обробки

Згідно з [2] для лінійних розмірів, що координують розташування осі обробленого отвору відносно площини (вимірювальної бази) за умови отримання цих розмірів процесах обробки на верстатах з ЧПК, 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 тонкому розточуванні отвору.

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 забезпечується 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 попередня, так і остаточна обробка, то необхідне мінімальне значення сили затискання визначалась з урахуванням сили різання, що виникає під час першого переходу обробки (чорнового розточування) отвору $\varnothing 90$ мм (див. рис. 1).

Найбільше і найменше зміщення вимірювальної бази визначені за емпіричними формулами [3]. Для випадку, що розглядається, ці зміщення склали $y_{\text{max}} = 35$ мкм, $y_{\text{min}} = 22$ мкм. Відповідно, $\varepsilon_3 = 13$ 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 $N = 106$ шт. Тоді ε_{3y} складатиме 2 мкм. Оскільки зазор у напрямку отриманого розміру між основними конструкторськими базами пристрою і допоміжними конструкторськими базами верстата відсутній, то у випадку, що розглядається $\varepsilon_{пв} = 0$. Таким чином, $\varepsilon_{пр} = \varepsilon_{3y} = 2$ мкм. Підставивши визначені значення складових похибки установлення в (5), отримаємо $\varepsilon_y = 14$ мкм.

Похибка, що зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання ($\varepsilon_{пд}$) може впливати на точність розміру $20 \pm 0,02$ мм якщо має місце помітна нерівномірність припуску і, відповідно, глибини різання в радіальному або осьовому напрямках. Але оскільки розглядається останній перехід (тонке розточування) то вважалось, що нерівномірність припуску незначна і нею можна знехтувати. Таким чином, можна прийняти, що $\varepsilon_{пд} \approx 0$.

Похибка ε_H визначалася з урахуванням того, що для точної обробки верстата з ЧПК настроюються з використанням методу пробних заготовок. Згідно з [1], ε_H визначено за формулою

$$\varepsilon_H = 1,2 \sqrt{(\varepsilon_p)^2 + (\varepsilon_{вм})^2 + (\varepsilon_{3м})^2} \quad (7)$$

де ε_p – похибка регулювання положення інструмента; $\varepsilon_{вм}$ – похибка вимірювання; $\varepsilon_{3м} = \varepsilon_{п.д} / \sqrt{m}$ – похибка, зумовлена зміщенням центра групування розмірів пробних заготовок відносно середини поля розсіювання в момент настроювання; m – кількість пробних заготовок.

Похибку ε_p прийнято рівною точності позиціонування $\Delta_{п}$. Для верстата HAAS VF-2TR $\Delta_{п} = 0,005$ мм. Таким чином, прийнято, що $\varepsilon_p = 5$ мкм. Похибку $\varepsilon_{вм}$ прийнято рівною 1 мкм (ціна поділки індикатора годинникового типу). Оскільки $\varepsilon_{пд} \approx 0$, то і $\varepsilon_{3м} \approx 0$. Таким чином, згідно з (7) $\varepsilon_H = 5$ 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 $\varepsilon_{п.і}$. Прийнято, що $\varepsilon_{п.і} = 5$ мкм.

Оскільки розмірний знос різального інструмента (різцевої вставки розточувальної оправки) у випадку, що розглядається, не впливає на розташування осі обробленого отвору, то, відповідно, похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента $\varepsilon_i = 0$.

Похибку ε_B в даному випадку спричиняє непаралельність площини столу до напрямку його руху. Згідно з [4], ця похибка визначена за формулою

$$\varepsilon_B = C/L_{\delta}, \quad (8)$$

де C – допустиме відхилення від паралельності площини столу і напрямку його руху в межах базової довжини L_{δ} . Приймавши згідно з [4], що $C = 3$ мкм, $L_{\delta} = 250$ мм, за формулою (8) з урахуванням знайдено $\varepsilon_B \approx 1$ мкм.

Похибка, що зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи згідно з [4] складає близько 15% від суми інших похибок, тобто

$$\varepsilon_T = 0,15(\varepsilon_y + \varepsilon_{п.д} + \varepsilon_H + \varepsilon_{п.і} + \varepsilon_i + \varepsilon_B). \quad (9)$$

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 ε_T визначена за формулою (9), але коефіцієнт перед виразом в дужках зменшений з 0,15 до 0,1. Таким чином, $\varepsilon_T = 3$ мкм.

За формулою (2) визначено величину сумарної похибки обробки ε_{Σ} , яка склала 17 мкм.

За результатами розрахунків побудована діаграма (рис. 2) розподілу величин елементарних похибок і сумарної похибки, що впливають на точність тонкого розточування отвору $\varnothing 20H8$ мм стосовно розміру між віссю цього отвору і базовою площиною.

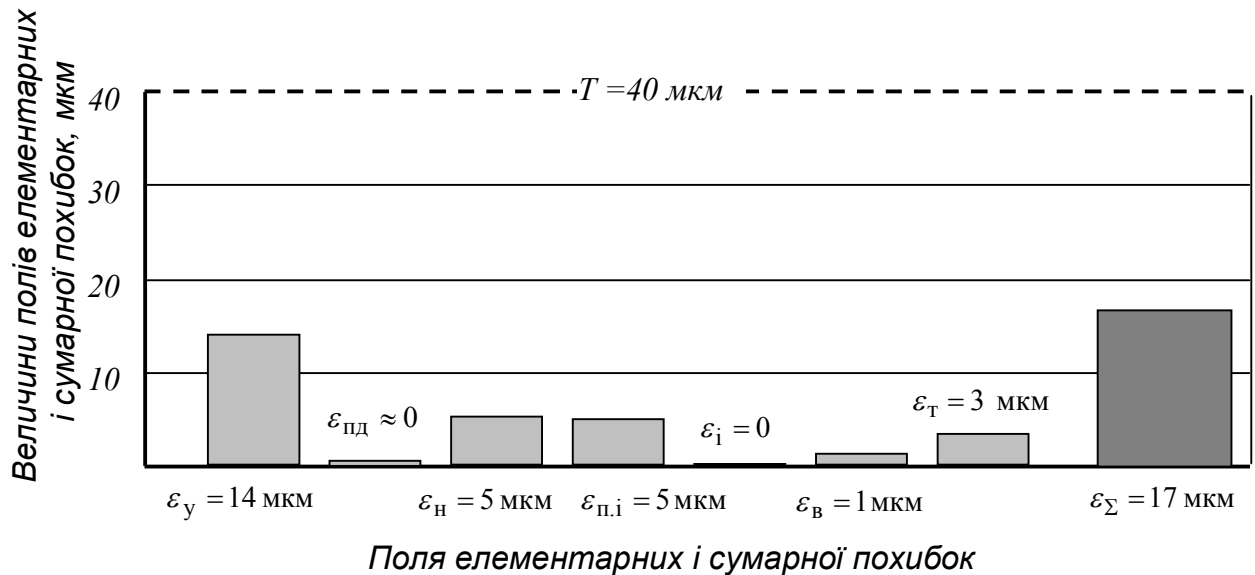


Рисунок 2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають під час тонкого розточування отвору Ø20H8 мм стосовно розміру $20 \pm 0,02$ мм між віссю цього отвору і базовою площиною

Висновки

1. На прикладі обробки заготовки корпусної деталі на багатоцільовому свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті з ЧПК моделі HAAS VF-2TR виконано кількісний аналіз впливу технологічних факторів на сумарну похибку (поле розсіювання) розміру, що поєднує вісь одного з головних отворів з базовою площиною.
2. Встановлено, що найсуттєвіший вплив на точність обробки мають похибка установа, похибка настроєння і похибка, що зумовлена неточністю позиціонування при підведенні різального інструмента (розточувальної оправки) до початкової точки.
3. Обробка на верстаті з ЧПК моделі HAAS VF-2TR гарантовано забезпечує задану точність розміру $20 \pm 0,02$ мм, оскільки сумарна похибка обробки склала 17 мкм.
4. 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. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 с.
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. 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.

Нікітюк Максим Володимирович – студент групи ІПМ-19м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: infinitevevo@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.

Nikitiuk Maksym V. – Student of the 1PM-19m 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;