

# АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ ТОНКИМ ТОЧІННЯМ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Виконано аналіз точності обробки на прикладі тонкого точіння площини торця заготовки корпусної деталі на токарному верстаті з числовим програмним керуванням. Це дозволило виявити рівень впливу елементарних похибок на точність розмірів, знайти сумарну похибку обробки і визначити коефіцієнт уточнення.

**Ключові слова:** механічна обробка, тонке точіння площин, точність, сумарна похибка обробки, елементарні похибки обробки, токарний верстат, коефіцієнт уточнення.

## Abstract

The analysis of machining accuracy on the example of thin turning the end face of the workpiece workpiece blade on a lathe with numerical control is performed. This allowed us to detect the level of influence of elementary errors on the accuracy of dimensions, to find the total error of processing and to determine the coefficient of refinement.

**Keywords:** machining, fine planing, precision, total machining error, elementary machining errors, lathe, refinement coefficient.

## Вступ

В сучасному машинобудуванні попередня й остаточна механічна обробка заготовок деталей з кольорових, у т. ч. алюмінієвих, сплавів виконується переважно лезовим інструментом. Лезова обробка на багатоінструментальних і багатоцільових верстатах з ЧПК дає можливість обробки багатьох поверхонь з одного установа. Це запобігає впливу похибки установа на точність відносного розташування цих поверхонь. Тому певний практичний інтерес складає встановлення показників точності, що забезпечуються як попередньою (чорною), так і фінішною лезовою обробкою на сучасних токарних верстатах з ЧПК.

Метою роботи є виявлення впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки тонким точінням плоских поверхонь на токарному верстаті з ЧПК і визначення коефіцієнта уточнення, який досягається такою обробкою.

## Результати дослідження

Дослідження виконувалось на прикладі технологічного процесу виготовлення деталі типу «Кришка передня Д06.037» в умовах серійного виробництва. В основу дослідження покладена методика, описана в [1] з урахуванням особливостей токарної обробки. Розглядалась технологічна операція, на якій, зокрема, виконується попереднє й остаточне точіння площини торця (рис. 1).

Прийнято, що обробка здійснюється за таких технологічних умов: операція виконується на токарно-револьверному верстаті з ЧПК 1П420ПФ30; остаточна обробка (чистове точіння) виконується після попереднього точіння, яке забезпечує розмір між площиною (вимірювальною базою) і оброблюваною поверхнею за  $IT12$ ; партія заготовок ( $n = 838$  шт.) обробляється на настроєному на розмір верстаті; матеріал різальної частини різця для виконання завершального переходу – твердий сплав ВК3; матеріал деталі – сплав АК7; заготовку встановлюється на чисто оброблену на попередній операції поверхню на плоску поверхню планшайби із закріпленням за допомогою двох затискачів. На операції, що розглядається, з одного установа виконуються обидва переходи обробки торця: попереднє й остаточне (тонке) точіння.

Згідно з [2], для лінійних розмірів, що координують розташування оброблюваної площини відносно іншої площини (вимірювальної бази), сумарна похибка, що виникає під час обробки на верстаті з ЧПК, визначається за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_y)^2 + (K_2 \varepsilon_{\text{пд}})^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{н}})^2 + (K_4 \varepsilon_{\text{п.і}})^2 + (K_5 \varepsilon_i)^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{в}})^2 + (K_7 \varepsilon_{\text{т}})^2}, \quad (3.1)$$

де  $1/K$  – коефіцієнт, що залежить від бажаної імовірності роботи без браку;  $K_1 \dots K_6$  – коефіцієнти, значення яких залежить від виду закону розподілу відповідних елементарних похибок:  $\varepsilon_y$  – похибка установавання заготовки у верстатний пристрій;  $\varepsilon_{\text{пд}}$  – похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання;  $\varepsilon_{\text{н}}$  – похибка настроєння верстата;  $\varepsilon_{\text{п.і.}}$  – похибка позиціонування поздовжнього супорта;  $\varepsilon_i$  – 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.

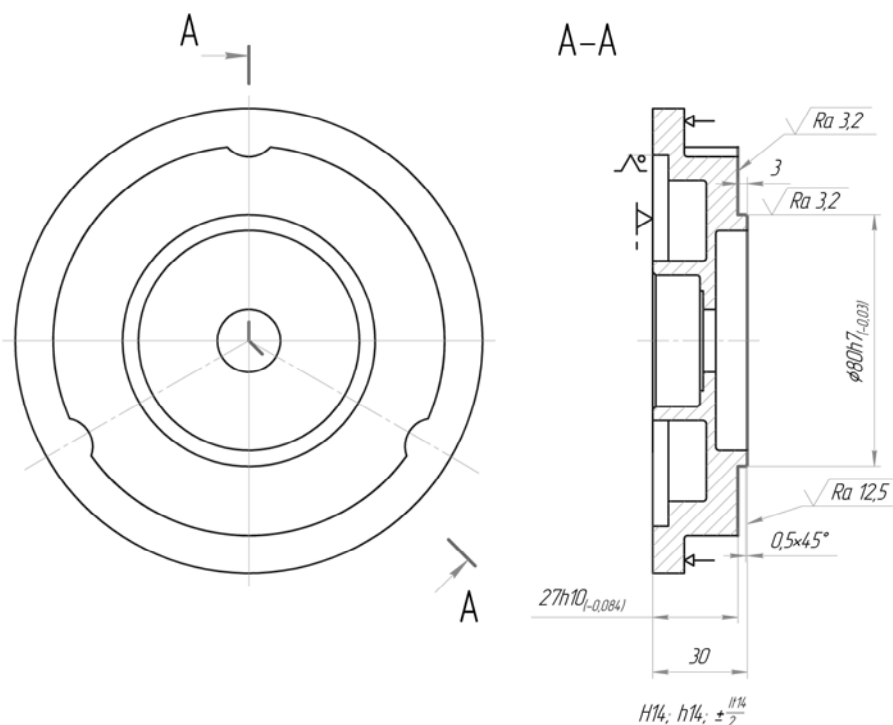


Рис 1. Операційний ескіз

Під час дослідження спочатку визначено всі елементарні похибки, а потім і сумарну похибку, які виникають під час тонкого точіння торця в розмір  $27h10_{(-0,084)}$  мм.

Відомо [3], що величина похибки установавання  $\varepsilon_y$  залежить від кількісних значень похибки базування, похибки закріплення і похибки положення заготовки у пристрої. У випадку, що розглядається, похибка базування відсутня, оскільки виконується принцип суміщення баз. Тому усереднене значення похибки установавання можна знайти з [4]. Для заданих технологічних умов  $\varepsilon_y = 25$  мкм.

Похибка, що зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання визначалась за формулою [5]

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}), \quad (3.2)$$

де  $\omega_{\Sigma}$  – сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливості верстата, верстатного пристрою, різця і заготовки;  $P_{y_{\text{max}}}$  і  $P_{y_{\text{min}}}$  – відповідно найбільша і найменша величина складової сили різання, яка діє у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні. Під час визначення величини  $\omega_{\Sigma}$  вважалось, що податливості верстатного пристрою, різця і заготовки суттєво менші за податливість револьверної головки верстата  $\omega_{\text{в}}$ , тобто приймалося, що  $\omega_{\Sigma} = \omega_{\text{в}} = 0,026$  мкм/Н [4].

Величини  $P_{y_{\text{max}}}$  і  $P_{y_{\text{min}}}$  знайдено за відомою формулою [6], за умови, що  $t_{\text{max}} = 0,62$  мм  $t_{\text{min}} = 0,2$  мм. Таким чином, визначено, що  $P_{y_{\text{max}}} = 13$  Н;  $P_{y_{\text{min}}} = 5$  Н;

За формулою (3.2) визначено величину похибки  $\varepsilon_{\text{пд}}$

$$\varepsilon_{\text{пд}} = 0,026(13 - 5) = 0,2 \text{ (мкм)}.$$

Похибка  $\varepsilon_H$  визначалася з урахуванням того, що для точної обробки верстата з ЧПК настраюються з використанням методу спробних заготовок. Згідно з [7],  $\varepsilon_H$  визначено за формулою

$$\varepsilon_H = 1,2\sqrt{(\varepsilon_p)^2 + (\varepsilon_{BM})^2 + (\varepsilon_{3M})^2} \quad (3.3)$$

де  $\varepsilon_p$  – похибка регулювання положення інструмента;  $\varepsilon_{BM}$  – похибка вимірювання розміру деталі;  $\varepsilon_{3M} = \varepsilon_{п.д}/\sqrt{m}$  – похибка, замовлена зміщенням центра групування розмірів спробних заготовок відносно середини поля розсіювання в момент настраювання;  $m$  – кількість пробних заготовок.

Похибку  $\varepsilon_p$  прийнято рівною точності позиціонування  $\Delta_{п.}$ . Для верстата 1П420ПФ30  $\Delta_{п.}$  дорівнює двом дискетам. Таким чином, прийнято, що  $\varepsilon_p = 20$  мкм. Похибку  $\varepsilon_{BM}$  прийнято рівною 10 мкм. Величина похибки  $\varepsilon_{3M}$  за  $m = 5$  склала 4 мкм. Таким чином, визначена за формулою (3.4) величина похибки  $\varepsilon_H$  склала 23 мкм.

Згідно з [2], для верстата 1П420ПФ30 похибка позиціонування поздовжнього супорта  $\varepsilon_{п.і.}$  дорівнює двом дискетам і складає 20 мкм.

Похибка, що спричиняється розмірним зносом різця  $\varepsilon_i$ , в процесі обробки заготовок партії на настроєному верстаті з ЧПК може компенсуватися введенням корекції на розмірний знос інструмента, тобто регламентованим програмованим зміщенням вершини різця через певну кількість оброблених заготовок. Згідно з [2], вважалось, що похибка корекції  $\varepsilon_k$  дорівнює похибка позиціонування поздовжнього супорта, тобто 20 мкм.

Визначимо, яка кількість заготовок може бути оброблена між введеннями корекції різця для компенсації розмірного зносу. Вважалось, що допустимий розмірний знос різця між піднастроюваннями різця  $[\varepsilon_i]$  дорівнює двом дискретам, тобто приймемо, що  $[\varepsilon_i] = 20$  мкм.

Допустимий шлях, який проходить вершина різця між піднастроюваннями по поверхні оброблюваних заготовках

$$L_N = \frac{1000[\varepsilon_i]}{u_0} \text{ [м]} \quad (3.4)$$

де  $u_0$  – відносний знос різця, який згідно з [8] для різця з твердого сплаву ВК3 для випадку точіння заготовок з алюмінієвого сплаву складає 1 мкм/км.

Визначена за формулою (3.4) величина  $L_N$  склала  $2 \cdot 10^4$  (м). Шлях, який проходить вершина різця під час обробки однієї заготовки для випадку, що розглядається складе

$$L_1 = \frac{\pi D(D-d)}{2000s} \text{ [м]}, \quad (3.5)$$

де  $D = 124$  мм і  $d = 80$  мм – відповідно найбільший і найменший діаметри оброблюваного торця.

Підставивши величину подачі ( $s = 0,1$  мм/об) і розміри оброблюваної поверхні у формулу (3.5), отримаємо  $L_1 = 85$  м. Кількість заготовок, яка може бути оброблена без корекції різця складе  $N = L_N/L_1 = 225$  шт. Кількість корекційних піднастроювань різця, необхідних для обробки партії заготовок, складе  $n/L_N = 3$ .

Похибка  $\varepsilon_B$  в даному випадку спричиняється відхиленням від перпендикулярності напрямку руху поперечного супорта до осі обертання шпинделя. Згідно з [2], ця похибка визначена за формулою

$$\varepsilon_B = \frac{Cl}{L_6} \text{ [мкм]}, \quad (3.6)$$

де  $C$  – допустиме відхилення від перпендикулярності осі напрямку його руху супорта до осі обертання шпинделя в межах базової довжини  $L_6$ .

Прийнявши, згідно з [2], що  $C = 20$  мкм,  $L_6 = 400$  мкм, за формулою (3.6) знайдемо  $\varepsilon_B = 1$  мкм.

Похибка, що зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи, згідно з [4] для даних технологічних умов складає близько 10% від суми інших похибок, тобто

$$\varepsilon_T = 0,1(\varepsilon_y + \varepsilon_{п.д} + \varepsilon_H + \varepsilon_{п.і.} + \varepsilon_i + \varepsilon_B). \quad (3.8)$$

З формули (3.8) отримаємо  $\varepsilon_T = 6$  мкм.

Таким чином, підставивши у формулу (3.1) кількісні значення отриманих вище елементарних похибок, і прийнявши, що  $\frac{1}{K} = 1$  (очікуваний брак складе 0,03%);  $K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 1$  (розподіл похибок  $\varepsilon_Y, \varepsilon_H, \varepsilon_{П.д}, \varepsilon_{П.і}$  відповідає нормальному закону);  $K_5 = K_6 = K_7 = 1,73$  (розподіл похибок  $\varepsilon_1, \varepsilon_B, \varepsilon_T$  відповідає закону рівної імовірності), отримаємо  $\varepsilon_\Sigma = 54$  мкм.

Оскільки  $\varepsilon_\Sigma < T = 84$  мкм, то необхідна точність обробки забезпечуватиметься.

Вважаючи, що допуск на попередньому переході забезпечувався в межах 12 квалітету точності ( $T_{i-1} = 210$  мкм), визначимо коефіцієнт уточнення  $\varepsilon$ , який досягається на переході, що розглядається. Таким чином,  $\varepsilon = T_{i-1}/T = 210/54 = 3,8$ .

### Висновки

1. На прикладі обробки заготовки деталі типу «Кришка передня Д06.037» на токарно-револьверному верстаті з ЧПК моделі 1П420ПФ40 (клас точності «П») виконаний аналіз точності обробки з виявлення елементарних похибок, які мають домінуючий вплив на точність, що забезпечується під час тонкого точіння торців на настроєному верстаті.

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

3. Похибка, що спричиняється розмірним зносом різця зубів, зменшується до рівня похибки позиціонування супорта верстата завдяки використанню програмованої корекції інструмента.

4. Обробка на токарно-револьверному верстаті з ЧПК моделі 1П420ПФ40 гарантовано забезпечує задану точність розміру  $27h10_{(-0,084)}$  мм, оскільки сумарна похибка обробки склала 54 мкм.

5. Для переходу, що розглядається, визначено кількісне значення коефіцієнта уточнення, яка узгоджується з рекомендаціями [2].

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., Черноволік Г. О. // Промислова гідраліка 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. 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.
5. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 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.
7. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения / Солонин И. С. — М. : Машиностроение, 1972. — 216 с.
8. Ящерицын П. И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении / Ящерицын П. И. — Минск : Вышэйшая школа, 1974. — 607 с.

**Амагуанья Ортіс Клебер Рафаель** – студент групи 2ПМ-18м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: [kleberortiz35@hotmail.com](mailto:kleberortiz35@hotmail.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](mailto:deriboov@ukr.net).

**Amahuana Ortis Kleber Rafael** – Student of the 2PM-17M group. Department of Mechanical Engineering and Transport. Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia, email: [kleberortiz35@hotmail.com](mailto:kleberortiz35@hotmail.com).

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