

# АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ І ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ УТОЧНЕННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ЧИСТОВИМ І ТОНКИМ ТОЧІННЯМ КРУПНОГАБАРИТНИХ ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

Виконано аналіз точності обробки на прикладі чистового і тонкого точіння заготовки крупногабаритної деталі типу «тіло обертання» на токарному верстаті з ЧПК високої точності. Це дозволило виявити і проаналізувати рівень впливу елементарних похибок на точність розмірів, знайти сумарну похибку обробки і коефіцієнти уточнення.

**Ключові слова:** механічна обробка, чистове точіння, тонке точіння, точність, сумарна похибка обробки, елементарні похибки обробки, коефіцієнт уточнення

## *Abstract*

The analysis of machining accuracy is performed on the example of finishing and fine turning of a large-sized workpiece of a large-sized part of the type "body of rotation" on a lathe with high-precision CNC. This allowed to identify and analyze the level of influence of elementary errors on the accuracy of dimensions, to find the total error of processing and coefficients of refinement.

**Keywords:** machining, finishing, fine turning, accuracy, total machining error, elementary machining errors, refinement factor

## Вступ

На сьогодні одним з найпростіших і найефективніших способів обробки є точіння, яке дозволяє виготовляти деталі типу «тіло обертання» з різноманітних матеріалів і широким діапазоном властивостей з досягненням необхідної форми і точності розмірів з високою якістю оброблених поверхонь.

Наразі є очевидною тенденція застосування чистової і фінішної лезової обробки циліндричних поверхонь і площин (точіння, розточування, фрезерування) замість малопродуктивних круглого і плоского шліфування. Пояснюється це наявністю на ринку металообробного обладнання великої кількості типорозмірів і моделей високоточних і високопродуктивних багатоінструментальних і багатоцільових верстатів з ЧПК, а також різальних інструментів, оснащених пластинами чи різцевими вставками з надтвердих матеріалів і мінералокераміки [1].

Важливою перевагою лезової обробки на верстатах з ЧПК є можливість здійснювати як чистову, так і викінчувальну обробку декількох як циліндричних поверхонь, так і площин на одній операції з одного установа. Це суттєво підвищує якість деталей завдяки усуненню впливу похибки установа на точність відносного розташування цих поверхонь. Тому певний практичний інтерес складає встановлення показників точності, що забезпечуються фінішною лезовою обробкою на сучасних верстатах з ЧПК високої точності.

Мета роботи — виявлення впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки чистовим і тонким точінням поверхонь крупногабаритних заготовок на токарних верстатах з ЧПК, а також визначення коефіцієнтів уточнення, які досягаються такою обробкою.

## Результати дослідження

Дослідження виконувалось на прикладі технологічного процесу виготовлення деталі типу «Цапфа» в умовах серійного виробництва. Ескіз обробки показано на рис. 1.

Матеріал деталі – Сталь 45 з твердістю після нормалізації 240...260 НВ.

Прийнято, що обробка здійснюється за таких технологічних умов: операція виконується на токарному верстаті з ЧПК моделі МК6801Ф3 (клас точності – В); чистове точіння здійснюється після напівчистового точіння; напівчистове точіння забезпечує діаметральний розмір поверхні за ІТ10 (для прийнятого но-

мінального розміру величина допуску складає 160 мкм); тонке точіння виконується після чистового точіння з одного установка; тонке точіння має забезпечити розмір обробленої поверхні  $\varnothing 150s7^{(+0,140)}_{(+0,100)}$  мм; партія заготовок обробляється за автоматичного отримання розмірів на настроєному верстаті; матеріали різальної частини різців такі: чистове точіння – твердий сплав Т60К6, тонке точіння – оксидно-карбідна мінералокераміка ВОК-60.

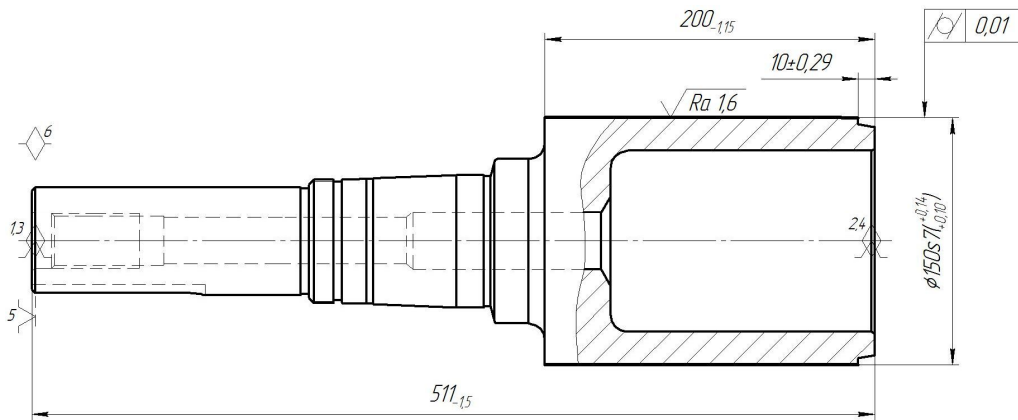


Рис. 1. Ескіз обробки

Поле розсіювання діаметральних розмірів (сумарна похибка обробки), що отримуються в процесах обробки на токарних верстатах з ЧПК, згідно з [2] складатиме

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

де  $\varepsilon_{\text{пд}}$  — похибка через пружні деформації технологічної системи і вплив сили різання;  $\varepsilon_{\text{поз}}$  — похибка позиціонування робочого органу верстата по осі  $X$ ;  $\varepsilon_{\text{н}}$  — похибка настроювання різця на розмір обробки;  $\varepsilon_i$  — похибка, зумовлена розмірним зносом різця;  $\varepsilon_{\text{в}}$  — похибка, що виникає через геометричну неточність верстата;  $\varepsilon_{\text{т}}$  — похибка, зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи;  $\frac{1}{K}$  — коефіцієнт, який залежить від бажаної гарантованої імовірності роботи без браку;  $K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7$  — коефіцієнти, значення яких залежать від характеру законів розподілу відповідних елементарних похибок.

Прийнято, що  $\frac{1}{K} = 1$ . Тоді, згідно з [3], бажана гарантована імовірність роботи без браку тоді складає 0,9973. Відповідно до [3] прийнято, що похибки  $\varepsilon_{\text{пд}}, \varepsilon_{\text{н}}, \varepsilon_{\text{поз}}$  є випадковими похибками, і тому  $K_2 = K_3 = K_4 = 1$ , а похибки  $\varepsilon_i, \varepsilon_{\text{в}}, \varepsilon_{\text{т}}$  — систематичні і тому  $K_5 = K_6 = K_7 = 1,73$ .

Коефіцієнти уточнення визначено за формулою [2]

$$K_{y_i} = \frac{\varepsilon_{\Sigma_{i-1}}}{\varepsilon_{\Sigma_i}}, \quad (2)$$

де  $\varepsilon_{\Sigma_i}$  — сумарна похибка, яка виникає під час обробки на  $i$ -у переході;  $\varepsilon_{\Sigma_{i-1}}$  — сумарна похибка, яка виникає під час обробки на попередньому переході.

Похибку обробки від пружних деформаціями елементів технологічної системи визначено за формулою [4]

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}), \quad (3)$$

де  $\omega_{\Sigma}$  — сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливості верстата, верстатного пристрою, інструмента і заготовки;  $P_{y_{\max}}$  і  $P_{y_{\min}}$  — відповідно максимальна і мінімальна величини складової  $P_y$  сили різання.

Оскільки на операції що розглядається, оброблювана частина заготовки знаходиться безпосередньо біля задньої бабки, то податливості передньої бабки і заготовки незначні і ними можна знехтувати. Таким чином, величина  $\omega_{\Sigma}$  становитиме

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{3,6} + \omega_{\text{суп}}, \quad (4)$$

де  $\omega_{3,6}$ ,  $\omega_{\text{суп}}$  — відповідно податливості задньої бабки і супорта. Згідно з [4, 5] прийнято, що  $\omega_{3,6} = 0,024 \cdot \text{мкм/Н}$ ,  $\omega_{\text{суп}} = 0,018 \cdot \text{мкм/Н}$ .

На коливання величини  $P_y$  впливатиме змінення глибини різання  $t$  під час обробки заготовок партії. Вважалось, що на переході чистового точіння,  $t_{\min} = 0,50$  мм,  $t_{\max} = 0,625$  мм. Для прийнятих технологічних умов з використанням відомих залежностей [6] отримано:  $P_{y_{\max}} = 175$  Н;  $P_{y_{\min}} = 140$  Н. В результаті визначена за формулою (3) величина  $\varepsilon_{\text{пд}}$  склала 5 мкм.

Прийнято, що похибка позиціонування  $\varepsilon_{\text{поз}}$  поперечного супорта по осі  $X$  згідно з паспортними даними верстата МК6801Ф3 становить 0,005 мм.

Вважалось, що для настроєння верстата застосовується спосіб пробних заготовок. У цьому випадку похибка настроєння згідно з [4] визначатиметься за формулою

$$\varepsilon_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{в}}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{\text{зм}}^2} \quad (5)$$

де  $\varepsilon_{\text{р}}$  — похибка регулювання положення різця;  $\varepsilon_{\text{вм}}$  — похибка вимірювання;  $\varepsilon_{\text{зм}}$  — похибка, яка враховує зміщення центра групування розмірів пробних заготовок відносно середини поля розсіювання. Прийнято, що  $\varepsilon_{\text{р}}$  дорівнює похибці позиціонування, тобто  $\varepsilon_{\text{р}} = \varepsilon_{\text{поз}} = 5$  мкм. Похибка вимірювання  $\varepsilon_{\text{вм}} = 1$  мкм (вимірювання пробних заготовок здійснюється за допомогою пасаметра з ціною поділки 1 мкм). Похибка  $\varepsilon_{\text{зм}} = \frac{\varepsilon_{\text{пд}}}{\sqrt{m}} = \frac{5}{\sqrt{5}} = 2$  мкм. Отже, визначена за формулою (5) похибка настроєння склала 7 мкм.

Похибку, що виникає через розмірний знос різця в процесі обробки без піднастроювання усіх  $N$  заготовок партії згідно з [5] визначено за формулою

$$\varepsilon_{i_N} = \frac{L_N + L_{\text{поч}}}{1000} u_0, \quad (7)$$

де  $L_N$  — довжина шляху, який проходить вершина різця під час обробки заготовок партії;  $L_{\text{поч}} = 1000$  м — умовне збільшення довжини шляху різання для урахування початкового зносу різця;  $u_0 = 2$  мкм/км — відносний знос різця, оснащеного пластиною з твердого сплаву Т60К6 [7]. Визначимо величину  $L_N$  за умови, що  $N = 14$  шт. Для переходу, що досліджується, вона складе 8729 м. Визначена за формулою (7) величина розмірного зносу різці в результаті чистового точіння заготовок партії склала 20 мкм, а розмірний знос різця в процесі обробки однієї заготовки — відповідно 2 мкм.

Похибку, що замовлена геометричною неточністю верстата визначено за формулою [3]

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{CL}{L_6}, \quad (8)$$

де  $C$  — допустиме відхилення від паралельності між напрямом руху різця і віссю обертання заготовки на базовій довжині  $L_6$ ;  $L$  — довжина оброблюваної поверхні.

Відповідно до [3] для токарних верстатів класу точності В на базовій довжині 250 мм величина  $C$  складає 3 мкм. Таким чином, згідно з (8)  $\varepsilon_{\text{в}} = 3$  мкм.

Згідно з [3], похибка, що зумовлена температурними деформаціями технологічної системи  $\varepsilon_T$ , складає близько 15% від суми інших похибок. З урахуванням цього, прийнято, що  $\varepsilon_T = 4$  мкм.

За формулою (1) визначено сумарну похибку обробки, яка впливатиме на точність діаметрального розміру, отриманого чистовим точінням. Ця похибка склала 60 мкм.

Коефіцієнт уточнення, що забезпечується чистовим точінням, становитиме  $K_{y_{ч.т.}} = 160/60 = 2,66$ .

За результатами розрахунків побудована діаграма величин елементарних і сумарної похибки, що виникають в процесі чистового точіння на верстаті з ЧПК класу точності В (рис.2).

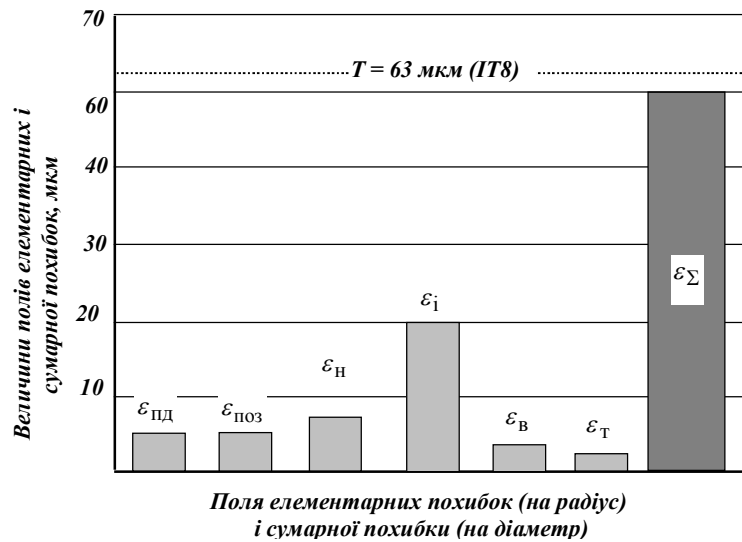


Рис. 2. Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі чистового точіння поверхні Ø150 мм

У такій же послідовності і з використанням аналогічних послідовностей визначено величини елементарних похибок, що впливатимуть на точність обробки в процесі тонкого точіння поверхні Ø150 мм. В результаті отримані такі значення елементарних похибок:  $\varepsilon_{пд} = 2$  мкм;  $\varepsilon_{поз} = 5$  мкм;  $\varepsilon_H = 7$  мкм;  $\varepsilon_i = 7$  мкм;  $\varepsilon_B = 3$  мкм;  $\varepsilon_T = 1$  мкм. Визначена за формулою (1) сумарна похибка склала 36 мкм.

Коефіцієнт уточнення, що забезпечується тонким точінням  $K_{y_{т.т.}} = 60/36 = 1,8$ .

Діаграма величин елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають під час тонкого точіння, показана на рис. 3.

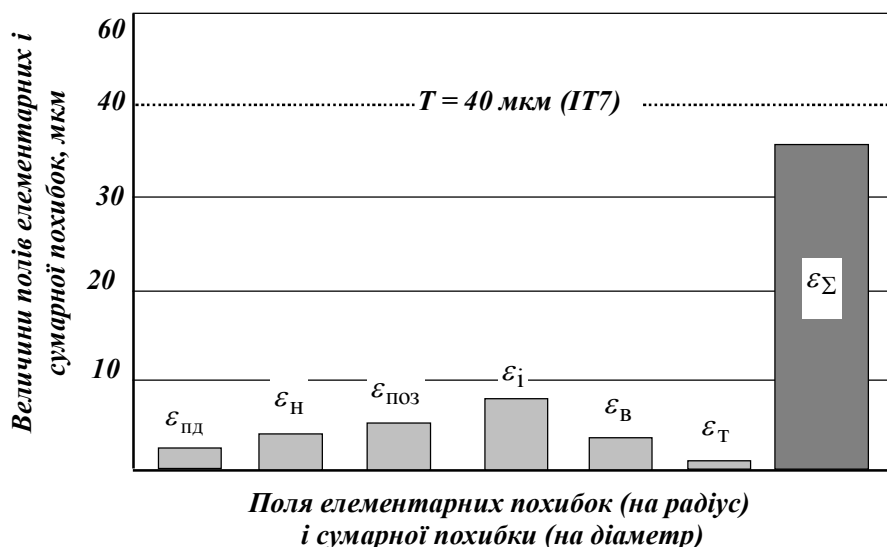


Рис. 3. Поля елементарних похибок і сумарної похибки, що виникають в процесі тонкого точіння поверхні Ø150 мм

## Висновки

1. На прикладі чистового і тонкого точіння точної зовнішньої циліндричної поверхні заготовки крупногабаритної деталі, що має форму тіла обертання, виконано аналіз з виявленням елементарних похибок, сумарних похибок і коефіцієнтів уточнення.

2. Показано, що під час точіння зовнішніх циліндричних поверхонь значної довжини та діаметра, похибка, що зумовлена розмірним зносом різця, в процесі обробки партії заготовок з автоматичним отриманням розмірів на настроєному верстаті може помітно впливати на точність діаметрального розміру, але, за необхідністю, ця похибка може компенсуватися використанням автоматичної корекції положення вершини різця.

3. Отримані величини коефіцієнтів уточнення для чистового точіння ( $K_{у.ч.т.} = 2,66$ ) і тонкого точіння ( $K_{у.т.т.} = 1,80$ ) узгоджуються із загальноприйнятими [2].

4. Аналіз показників точності, що забезпечуються тонким точінням на токарному верстаті з ЧПК високої точності, показує, що за розглянутих технологічних умов на переході остаточної обробки (тонкого точіння) може забезпечуватись 7 квалітет точності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвёрдыми и керамическими материалами, и их применение. Справочник / [Жедь В. П., Боровский Г. В., Музыкант Я. А и др.] — М. : Машиностроение, 1987. — 320 с.
2. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надёжность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. — М. : Машиностроение, 1985. — 224 с.
3. 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.
4. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 с.
5. Маталин А. А. Технология машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов / Маталин А. А. — Л. : Машиностроение, 1985. — 496 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. Ящерицын П. И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении / П. И. Ящерицын — Минск : Высшая школа, 1974. — 607 с.

**Сікач Олександр Миколайович** – студент групи ІПМ-20м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: [sashasik603@gmail.com](mailto:sashasik603@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](mailto:deriboov@ukr.net).

**Sikach Oleksandr M.** – Student of Department of Mechanical Engineering and Transport. Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia, email: [sashasik603@gmail.com](mailto:sashasik603@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](mailto:deriboov@ukr.net);