

О. В. Дерібо<sup>1</sup>, к. т. н., доц.  
 Ж. П. Дусанюк<sup>1</sup>, к. т. н., доц.  
 С. В. Репінський<sup>1</sup> к. т. н., доц.  
 В. А. Підлубний<sup>1</sup>, студ.

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬСЯ ТОНКИМ РОЗТОЧУВАННЯМ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК

Технологічні особливості виконання окремих операцій не дозволяють за аналогією з іншими операціями однозначно спрогнозувати забезпечувані показники точності, так як між ними не може бути повної подібності. Разом з тим, в машинобудівній практиці і в навчальному процесі для проектування технологічних процесів широко використовуються таблиці точності обробки, які є в довідниковій літературі, наприклад, в [1]. Такі таблиці містять орієнтовні дані стосовно показників точності для поширених способів обробки. Ці дані отримані за допомогою систематизації безпосередніх спостережень у виробничих умовах. Складає певний практичний інтерес порівняння показників точності механічної обробки, визначених за нормативними таблицями, і визначені з урахуванням конкретних технологічних умов за формулами, які наведені у тому ж довіднику [1] та в інших роботах.

*Об'єктом дослідження* є технологічний процес механічної обробки заготовки корпусної деталі. *Предметом дослідження* є процес тонкого розточування на токарному верстаті з ЧПК головного отвору в заготовці корпусної деталі.

*Мета роботи* — виявлення ступенів впливу елементарних похибок на сумарну похибку обробки і порівняння величини цієї похибки з табличними (нормативними) значеннями показників точності.

Дослідження виконувалось на прикладі обробки заготовки деталі типу «Корпус свердлильної головки» в умовах серійного виробництва. Операційний ескіз показаний на рис. 1. Вважалось, що токарно-револьверному верстаті з одного установа буде виконуватись як попереднє (чорнове), так і остаточне (чистове) розточування головного отвору для отримання розміру  $\varnothing 190H8^{+0,072}$  мм.

Згідно з [1], для діаметральних розмірів сумарну похибку можна визначити за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_n)^2 + (K_3 \varepsilon_{пд})^2 + (K_4 \varepsilon_i)^2 + (K_5 \varepsilon_b)^2 + (K_6 \varepsilon_t)^2}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon_n; \varepsilon_{пд}; \varepsilon_i; \varepsilon_b; \varepsilon_t$  — похибки, що зумовлені відповідно: неточністю налагодження верстата; пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання; розмірним зносом різального інструмента; геометричною неточністю верстата; тепловими деформаціями технологічної системи;  $\frac{1}{K}$  — коефіцієнт, який залежить від бажаної імовірності роботи без браку;  $K_2 \dots K_6$  — коефіцієнти, значення яких залежить від виду закону розподілу відповідних елементарних похибок.

З урахуванням того, що на кожну з елементарних похибок впливають декілька факторів, виконано аналіз впливу цих факторів і визначені їх кількісні значення.

Визначено елементарні похибки і сумарну похибку обробки отвору  $\varnothing 190H8^{+0,072}$  мм що виникають в результаті фінішної обробки (тонкого розточування) на токарно-револьверному верстаті з ЧПК моделі 1П420ПФ0. Клас точності верстата – П.

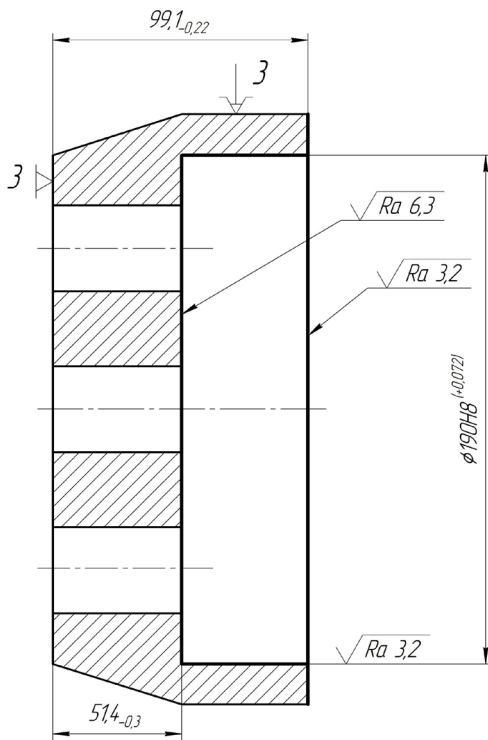


Рисунок 1 – Ескіз обробки

Прийнято, що обробка здійснюється за таких технологічних умов: тонке розточування виконується після чистового розточування, яке забезпечує розмір поверхні за IT10 (для прийнятого номінального розміру величина допуску складе 185 мкм); партія заготовок обробляється на настроєному на розмір верстаті; настроювання розточувального різця на розмір обробки відбувається з використанням способу пробних заготовок; матеріал різальної частини різця – надтвердий матеріал на основі кубічного нітриду бора «Композит 10»; матеріал деталі – сірий чавун СЧ18.

Послідовно визначено усі похибки обробки, що входять у формулу (1). Усі елементарні похибки визначались на радіус (на сторону), а сумарна похибка, згідно з формулою (1) – на діаметр.

Похибку, що зумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання визначено за формулою

$$\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{y_{\text{max}}} - P_{y_{\text{min}}}), \quad (2)$$

де  $\omega_{\Sigma}$  — сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливості верстата, верстатного пристрою, інструмента 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.

З урахуванням того, що заготовка встановлюється в трикулачковий самоцентрувальний патрон, визначено величину  $\omega_{\Sigma}$  для цього способу установа. Податливість технологічної системи складе

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{\text{п.б.}} + \omega_{\text{с}} + \omega_{\text{р}} + \omega_{\text{з}}, \quad (3)$$

де  $\omega_{\text{п.б.}}$ ;  $\omega_{\text{с}}$ ;  $\omega_{\text{р}}$ ;  $\omega_{\text{з}}$  – податливості, відповідно, передньої бабки, супорта, державки різця та заготовки.

Оскільки на операції, що розглядається, використовується верстат з ЧПК підвищеної точності, то згідно з [2] приймемо  $\omega_{\text{п.б.}} = \omega_{\text{с}} = 0,018 \cdot \text{мкм/Н}$ .

Податливість державки розточувального різця визначалась як податливість консольно закріпленої балки за формулою

$$\omega_{\text{р}} = \frac{L_{\text{р}}^3}{3E_{\text{р}}I_{\text{р}}}, \quad (4)$$

де  $E_{\text{р}}$  – модуль пружності матеріалу державки різця;  $I_{\text{р}} = \pi D_{\text{р}}^4 / 64$  – момент інерції поперечного перетину державки різця;  $D_{\text{р}}$  – діаметр державки різця;  $L_{\text{р}}$  – відстань від торця револьверної головки до вершини різця.

Визначена за формулою (4) величина  $\omega_{\text{р}}$  склала 0,005 мкм/Н. Оскільки заготовка має досить жорстку конструкцію, то вважалось, що  $\omega_{\text{з}} \approx 0$ .

Податливість технологічної системи  $\omega_{\Sigma}$ , визначена за формулою (3), склала 0,041 мкм/Н.

На зміну величини  $P_y$  впливатиме зміна припуску на тонке розточування. Вважалося, що на переході, який розглядається,  $t_{\min} = 0,1$  мм,  $t_{\max} = 0,29$  мм. Силу  $P_y$  можна знайти за формулою

$$P_y = 10C_{P_y} t^{x_{P_y}} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} k_{P_y} \text{ [Н]}. \quad (5)$$

де  $C_{P_y}$ ,  $k_{P_y}$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $n$  – коефіцієнти і показники степеня;  $v$  – швидкість різання, м/хв;  $s$  – подача, мм/об;  $t$  – глибина різання, мм.

Для прийнятих технологічних умов отримано:  $P_{y_{\max}} = 65$  Н;  $P_{y_{\min}} = 23$  Н. Визначена за формулою (2) величина  $\varepsilon_{\text{пд}}$  склала 2 мкм.

Похибку настроєння  $\varepsilon_{\text{н}}$  визначалась за формулою [3]

$$\varepsilon_{\text{н}} = K_1 \sqrt{\varepsilon_{\text{р}}^2 + \left(\frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{\text{зм}}^2}, \quad (6)$$

де  $\varepsilon_{\text{р}}$  – похибка регулювання положення різця;  $\varepsilon_{\text{вм}}$  – похибка вимірювання розміру деталі;  $\varepsilon_{\text{зм}}$  – похибка від зміщення центра групування розмірів пробних заготовок відносно середини поля розсіювання;  $K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує відхилення законів розподілу похибок  $\varepsilon_{\text{р}}$ ,  $\varepsilon_{\text{вм}}$  і  $\varepsilon_{\text{зм}}$  від нормального закону розподілу.

Згідно з [4], прийемо, що для верстата з ЧПК  $\varepsilon_{\text{р}}$  дорівнює двом дискретам. У верстата 1П420ПФ30 дискрета (найменше можливе переміщення) в радіальному напрямі складає 5 мкм і, відповідно,  $\varepsilon_{\text{р}} = 10$  мкм. Похибка вимірювання  $\varepsilon_{\text{вм}} = 1$  мкм (вимірювання пробних заготовок здійснюється за допомогою нутроміра з індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм). Згідно з [4],  $\varepsilon_{\text{зм}} = \frac{\varepsilon_{\text{пд}}}{\sqrt{m}} = \frac{2}{\sqrt{5}} = 1$  (мкм). Визначена за формулою (6)  $\varepsilon_{\text{н}}$  склала 12 мкм.

Під час обробки на токарних верстатах з ЧПК після завершення повороту револьверної головки і позиціонування її по осі  $X$  для встановлення різця в початкову точку виникає похибка позиціонування  $\varepsilon_{\text{п.р.г.}}$ . Згідно з [4] для верстатів класу точності II ця похибка складає 6...8 мкм. Прийемо, що  $\varepsilon_{\text{п.р.г.}} = 7$  мкм.

Похибка, що спричиняється розмірним зносом різця  $\varepsilon_{\text{з}}$ , в процесі обробки заготовок партії на настроєному верстаті з ЧПК може майже повністю компенсуватися введенням корекції на розмірний знос інструмента, тобто регламентованим програмованим зміщенням вершини різця. Згідно з [4], вважалося, що похибка корекції  $\varepsilon_{\text{к}}$  дорівнює двом дискретам, тобто 10 мкм. Відповідно, прийемо, що  $\varepsilon_{\text{і}} = \varepsilon_{\text{к}} = 10$  мкм.

Визначимо похибку, що спричиняється геометричною неточністю верстата ( $\varepsilon_{\text{в}}$ ). Згідно з [2],

$$\varepsilon_{\text{в}} = L_{\text{б}} C / l, \quad (7)$$

де  $C$  – допустиме відхилення від паралельності між напрямом руху супорта і віссю обертання заготовки на базовій довжині  $L_{\text{б}}$ ;  $l$  – довжина оброблюваної поверхні. Відповідно до [1] для токарних верстатів класу точності II на базовій довжині 250 мм величина  $C$  складає 4 мкм. З урахуванням того, що  $l = 48$  мм, визначена за формулою (7) величина  $\varepsilon_{\text{в}}$  склала 1 мкм.

Згідно з [1] похибка  $\varepsilon_T$  для лезової обробки складає близько 15% від суми інших похибок, тобто  $\varepsilon_T = 0,15(2 + 12 + 7 + 10 + 1) = 5$  мкм.

За умови, що  $\frac{1}{K} = 1$  (очікуваний брак складе 0,03%), за формулою (1) визначено  $\varepsilon_\Sigma$ , величина якої склала 40 мкм. Отримане значення  $\varepsilon_\Sigma$  (поле розсіювання розміру 190 мм) свідчить, що заданий допуск (72 мкм) на переході тонкого розточування надійно забезпечуватиметься.

Співвідношення полів елементарних похибок і сумарної похибки показані на діаграмі (рис. 2).

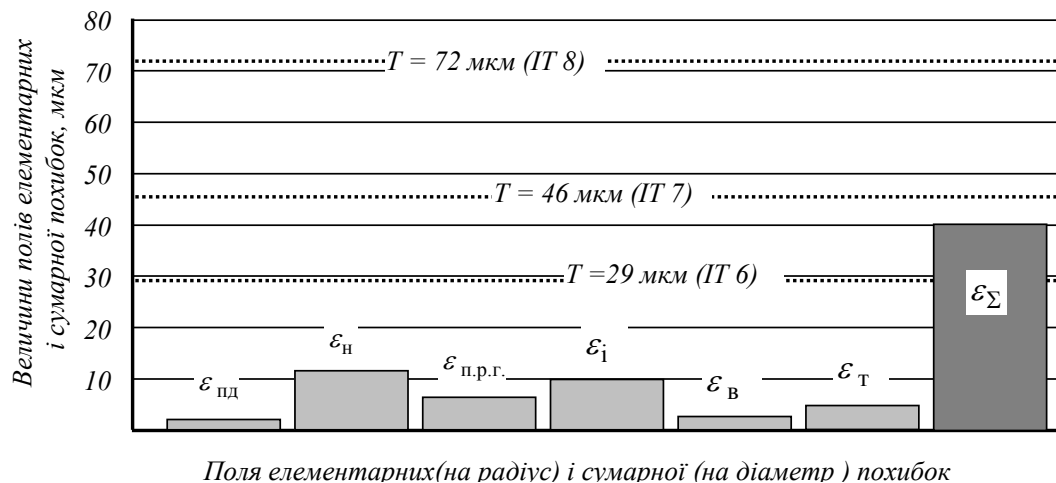


Рисунок 2 – Поля елементарних похибок і сумарної похибки

### Висновки

1. З отриманих результатів випливає, що за розглянутих технологічних умов можуть забезпечуватись як 8, так і 7 квалітети точності. Це цілком узгоджується з даними таблиць точності обробки [1, 2], за умови, що номінальний діаметр оброблюваної поверхні перевищує 50 мм (8 квалітет точності) і 120 мм (7 квалітет точності). Для забезпечення точності за 6 квалітетом з допуском  $T = 29$  мкм потрібно зменшувати похибки  $\varepsilon_n$ ,  $\varepsilon_{п.р.г.}$  і  $\varepsilon_k$ . Це можливо за умови обробки на верстаті класу точності В, наприклад, на токарно-револьверному верстаті з ЧПК 160НТ, у якого величина дискрети складає 0,001 мм, а точність позиціонування 0,002 мм по осям X і Z.

2. Результати роботи можуть бути використані для аналізу наявних та під час проектування нових технологічних процесів механічної обробки у машинобудівному виробництві, а також і у навчальному процесі.

### Список літератури

1. 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.
2. Маталин А. А. Технология машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов / Маталин А. А. — Л. : Машиностроение, 1985. — 496 с.
3. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения / Солонин И. С. — М. : Машиностроение, 1972. — 216 с.
4. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. — М. : Машиностроение, 1985. — 224 с.