

**М. Левкович**

Канд. техн. наук

**О. Лясота**

Канд. техн. наук

Тернопільський національний  
університет імені Івана Пулюя,  
м. Тернопіль

УДК 621.87

## ФОРМОУТВОРЕННЯ КОНІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ЖОРСТКО ЗАКРІПЛЕНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

*Досліджено вплив геометричної точності напрямних вузлів та позиційного відхилення інструмента, точність їх взаємного розташування, а також точність розміщення осей напрямних оснащення на якість оброблення отворів жорстко закріпленим інструментом.*

**інструмент, кінчна поверхня, формоутворення, геометрична точність**

Розвинене виробництво автотранспортних засобів є одним з важливих чинників, що забезпечують динаміку соціально-економічного розвитку України. Створення потужної мережі автотранспортобудування, у свою чергу, неможливе без створення нових методів оброблення матеріалів. Неможливо випускати конкурентоздатну продукцію, не маючи в складі виробничих, технологічних систем високоефективних технологічних процесів оброблення різноманітних деталей. Індустріальний підхід до виготовлення деталей і вузлів вимагає створення технологічних процесів у металообробці, що забезпечують високий ступінь уніфікації, високі вимоги за точністю виготовлення, високу надійність і довговічність конструкцій.

Виходячи з потреби вирішення вказаних вище задач в області транспортного машинобудування, були проведені дослідницькі роботи, спрямовані на створення нових технологічних процесів, що забезпечують підвищення якості і зниження трудомісткості оброблення кінчних отворів — поверхонь які є елементами великої кількості деталей машин.

Незважаючи на велику кількість наукових праць, які присвячені різноманітним методам оброблення отворів в деталях машин, мало уваги приділено обробленню кінчних отворів, рівень технологічного забезпечення їх виготовлення залишається недостатньо високим. Тому вирішення наукового завдання, яке полягає в розробленні

й дослідженні нових конструкцій пристроїв для оброблення кінчних отворів і технологій їх виготовлення є актуальним, доцільним, значущим і перспективним для машинобудівної галузі України та інших держав.

Мета статті — досягнення точності оброблення кінчних поверхонь розробленим пристроєм шляхом зменшення позиційного відхилення інструмента.

**Методи й результати.** В обробленні отворів жорстко закріпленим інструментом позиційне відхилення визначається геометричною точністю напрямних вузлів інструмента і точністю їх взаємного розташування, а також точністю розміщення осей напрямних оснащення.

Комплексний вплив зазначених конструктивно-технологічних факторів призводить до геометричного зсуву осі пристрою  $\Delta_{ГЗО}$ , відтискування  $\Delta_{ПВО}$ , а також пружного зсуву  $\Delta_{ПЗВ}$  напрямного вузла, що й визначає значення позиційного відхилення від номінального (теоретичного) положення:

$$\Delta_{ЗМ} = \Delta_{ГЗО} + \Delta_{ПВО} + \Delta_{ПЗВ} \cdot \quad (1)$$

Геометричний зсув осі пристрою  $\Delta_{ГЗО}$  відбувається за наявності зазору між втулкою і віссю, причому, вибір зазору можливий у будь-якому напрямі діаметральної та осьової площин перерізу напрямної втулки.

Значення геометричного зсуву осі в її кінцевому перерізі визначається параметрами інструментального

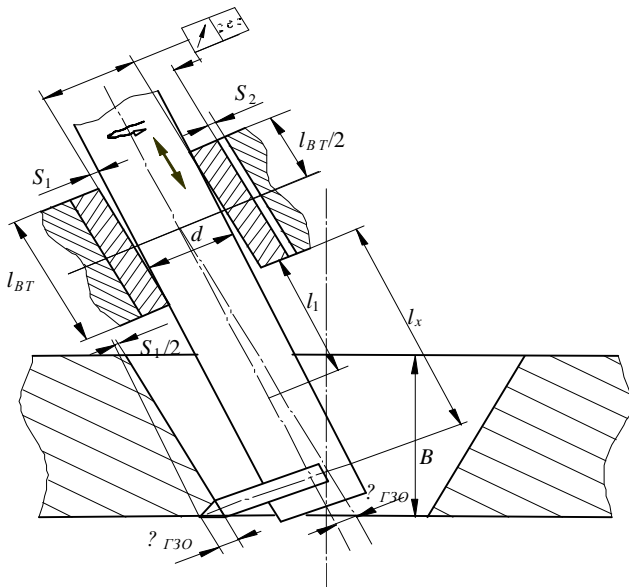


Рис. 1. Схема визначення геометричного зсуву осі пристрою

налагодження й напрямного вузла (рис. 1), розмірами зазору  $S_1$ , у з'єднанні втулка-вісь, зазору  $S_2$ , у з'єднанні втулка-корпус, ексцентриситетом  $e_c$  внутрішньої і зовнішньої поверхонь змінної втулки, а також довжиною втулки  $l_{BT}$  і вильотом осі  $l_X$  за торець втулки до розглянутого перерізу:

$$\Delta_{ГЗО} = \sqrt{\left[ \delta S_1 \left( 0,5 + \frac{l_X}{l_{BT}} \right) \right]^2 + e_c^2 + \left( \frac{\delta S_2}{2} \right)^2} \quad (2)$$

при  $l_X = l_1 + \frac{B}{2}$ , де  $l_1$  – віддаль від торця втулки до торця деталі, мм;  $B$  – глибина оброблюваної поверхні (хід осі), мм.

Аналіз технічних вимог на виготовлення втулки показав, що  $S_2$  і  $e_c$  – ексцентриситет неістотно впливають на  $\Delta_{ГЗО}$ . Це можна врахувати коефіцієнтом  $n_1$ , який у нашому випадку становить 1,15. Тоді

$$\Delta_{ГЗО} = n_1 \delta S_1 \left( 0,5 + \frac{l_X}{l_{BT}} \right), \quad (3)$$

де  $\delta S_1$  – поле розсіювання зазору між втулкою і віссю.

У загальному вигляді визначається полями допусків на діаметр отвору втулки й діаметр осі, а також мінімальним гарантованим зазором, тобто:

$$\delta S_1 = k_1 \sqrt{\delta A_1^2 + \delta B_1^2 + \delta B_{звк}^2} + S_{1ГАР}, \quad (4)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт відносного розсіювання випадкових величин;  $k_1=1,1$ ;  $\delta A_1$  – поле допуску на внутрішній діаметр втулки;  $\delta B_1$  – поле допуску на зовнішній діаметр осі (у розглянутому перетині);  $\delta B_{звк}$  – поле допуску на розмір напрямної частини осі від зворотної конусності;  $S_{1ГАР}$  – мінімальний гарантований зазор у з'єднанні втулка-вісь.

Для тонкого розточування, коли вплив зворотної конусності зведено до мінімуму (рис. 2), поле розсіювання зазору між втулкою і віссю визначається з виразу

$$\delta S_1 = k_1 \sqrt{\delta A_1^2 + \delta B_1^2} + S_{1ГАР}. \quad (5)$$

Поле розсіювання зазору  $\delta B_{звк}$  від зворотної конусності за час служби осі

$$\delta B_{звк} = \frac{\delta_K (l_X + l_{П})}{100}, \quad (6)$$

де  $\delta_K$  – поле допуску на величину зворотної конусності;  $\delta_K = k_{max} - k_{min}$  – значення величини зворотної конусності  $k_1$ , визначено на довжині 100 мм за проведенням розрахунком;  $l_{П}$  – запас ходу осі,  $l_{П} = l_0 - (B + l_1 + l_{BT} + l_n)$ .

Початкові розміри зазору  $S_1$  залежать від посадки у з'єднанні втулка-вісь.

Геометричний зсув  $\Delta_{ГЗО}$  зростає зі збільшенням довжини виходу осі за торець втулки  $l_X$ .

Теоретичні й експериментальні дослідження дали змогу визначити ступінь впливу довжини змінної напрямної втулки  $l_{зм}$  і  $\Delta_{ГЗО}$ . Зі збільшенням  $l_{зм}$  значення  $\Delta_{ГЗО}$  зменшуються відповідно до залежності, близької до лінійної. Зі збільшенням діаметра отвору (осі) вплив довжини втулки на  $\Delta_{ГЗО}$  посилюється.

Пружне зміщення вузла  $\Delta_{ПЗВ}$  осі відбувається під впливом незрівноважених сил, що діють у діаметральному й осьовому його перерізах (рис. 3). Незрівноважені сили з'являються у результаті зняття інструментом нерівномірного припуску  $\Delta_Z$ .

Нерівномірність припуску перед обробленням

$$\Delta_Z = (t_1 - t_2) = 2\sqrt{\Delta_{ПП}^2 + \Delta\rho^2 + \epsilon^2}, \quad (7)$$

де  $t_1, t_2$  – відповідно максимальне та мінімальне зняття припуску;  $\Delta_{ПП}$  – позиційне відхилення оброблюваної

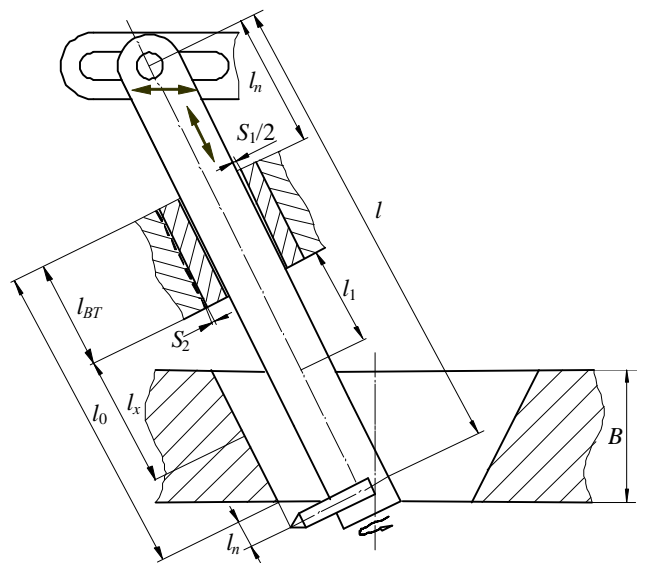


Рис. 2. Схема визначення впливу зворотної конусності інструмента на зазор у з'єднанні втулка-інструмент

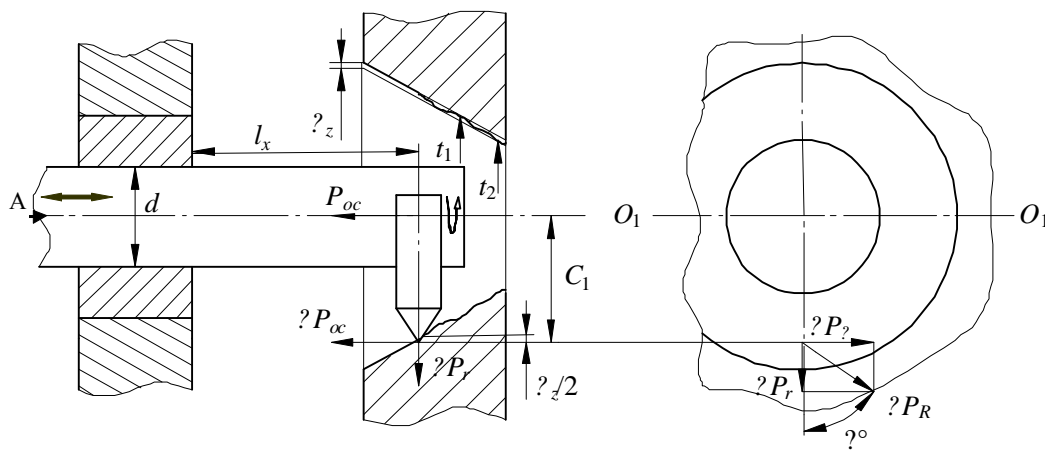


Рис. 3. Схема пружного зміщення осі пристрою

поверхні на попередній позиції;  $\Delta\rho$  – похибка параметра спадковості (спареності) двох технологічно зв’язаних позицій  $\rho_1$  і  $\rho_2$ ;  $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$ ;  $\varepsilon$  — похибка встановлення заготовки.

Причини появи й умови дії параметрів  $\varepsilon$ ,  $\Delta_{ПР}$ ,  $\Delta\rho$  — різні, але дія їх на будь-якій позиції для багатопередічного оброблення взаємозалежних систем поверхонь завжди спільна. Нерівномірне навантаження різця призводить до появи різних значень сил, що діють в осьовому  $\Delta P_{OC}$  і діаметральному  $\Delta P_r$  перетинах осі, і, отже, до пружного зміщення  $\Delta_{ПЗВ}$  його осі від номінального положення.

Пружне зміщення осі в кінцевому положенні визначено за схемою, що відповідає дії поздовжньо-поперечного згину неврівноважених сил  $\Delta P_{OC}$ ,  $\Delta P_r$ ,  $\Delta P_t$  на вершині консольно закріпленого різця. Зміщення осі зумовлюється силами згинання, твердістю інструмента  $E_i$  і вильотом  $l_x$  за торець втулки. Оскільки дія сил у діаметральному перетині  $\Delta P_r$ ,  $\Delta P_t$  є домінуючою, то для спрощення розрахункової залежності дію поздовжнього згину від сил  $P_{oc}$  і  $\Delta P_{OC}$  враховано поправочним коефіцієнтом  $n_2$ ,  $n_2 = 1,26 - 1,3$ . Тоді пружне відтиснення осі

$$\Delta_{ПВО} = n_2 \frac{\Delta P_r l_x^3}{3EJ}, \quad (8)$$

де  $E$  – модуль пружності першого роду;  $J$  – осьовий момент інерції поперечного перерізу осі,  $J = Cd^4$ ;  $d$  – діаметр осі.

За даними для осі зі сталі Ст45  $C=0,026$ ;  $\Delta P_r$  – рівнодійна незрівноважених радіальної  $\Delta P_r$  і тангенційної  $\Delta P_t$  складових сил різання:

$$\Delta P_r = \sqrt{\Delta P_t^2 + \Delta P_r^2}, \quad (9)$$

Експериментальні дослідження показали, що вектор пружного зміщення осі  $\Delta_{yi}$  відхиляється від вектора нерівномірного припуску  $\Delta_z$  на деякий кут  $\alpha$  й практично збігається з напрямком вектора рівнодійної незрівноваженої сили  $\Delta P_r$ . Кут  $\alpha = 37 - 42^\circ$ .

Якщо розглядати розточувальний різець, то

$$\Delta P_r = \frac{\Delta z}{4} \sqrt{(C_1 S_k^{y_1} HB^{n_1})^2 + (C_2 S_k^{y_2} HB^{n_2})^2}, \quad (10)$$

де  $S_k$  — подача інструмента;  $HB$  — твердість оброблюваного матеріалу;  $y_1, y_2, h_1, h_2$  — відповідно показники степеня, що залежать від умов оброблення;  $C_1, C_2$  — коефіцієнти, що залежать від умов різання й геометричних параметрів інструмента.

Величину, зумовлену параметрами процесу різання, позначено  $U$ :

$$U = \sqrt{(C_1 S_k^{y_1} HB^{n_1})^2 + (C_2 S_k^{y_2} HB^{n_2})^2}. \quad (11)$$

Замінивши  $\Delta_z$  його значенням (див. (7)), отримаємо

$$\Delta P_r = \frac{1}{2} \sqrt{(\Delta_{ПР}^2 + \Delta_p^2 + \varepsilon^2)} U. \quad (12)$$

Зі зменшенням радіуса при вершині різального інструмента зменшується  $\Delta P_r$ , а, отже, і пружне зміщення  $\Delta_{ПВО}$ . Тому за умовами точності розташування поверхні доцільно застосувати інструмент з мінімальним радіусом при вершині, за якого забезпечується точність і шорсткість поверхні й потрібна продуктивність.

Пружне відтискування  $\Delta_{ПЗВ}$  вузла напрямлення інструмента залежить від жорсткості розробленого спорядження. Похибку  $\Delta_{ПЗВ}$  важко визначити розрахунковим шляхом, тому для спрощення розрахунків її вплив враховують за допомогою коефіцієнта  $n_3$  залежно від пружного зміщення осі  $\Delta_{ПВО}$ . Тоді повне пружне відтискування осі

$$\Delta_y = \Delta_{ПВО} + \Delta_{ПЗВ} = n_3 \Delta_{ПВО} = n_2 n_3 \frac{\Delta P_r l_x^3}{3EJ}. \quad (13)$$

На підставі експериментальних даних з оброблення конічних поверхонь пристроєм з віссю діаметром 20 – 25 мм для твердості втулки  $J_{кн} = (6-8) \cdot 10^4$  Н/мм коефіцієнт  $n_3 = 1,2 - 1,4$ . За твердості втулки понад  $J_{кн} = 8 \cdot 10^4$  Н/мм значенням  $\Delta_{yк}$  можна знехтувати, тобто  $n_3 = 1$ .

Позиційне відхилення оброблюваної поверхні, зумовлене комплексним впливом  $\Delta_{ГЗО} > \Delta_{ПВО}, \Delta_{ПЗВ}$

$$\Delta_{ЗМ} = \Delta_{ГЗО} + n_3 \Delta_{ПВО} \cdot \quad (14)$$

Після підстановки в (14) формули (3) для розрахунку  $\Delta_{ГЗО}$  (8), (12) і (13) для визначення  $\Delta_{ПВО}$  і  $\Delta_{ПЗВ}$  запишемо

$$\Delta_{ЗМ} = n_4 \delta S \left( 0,5 + \frac{l_X}{l_{BT}} \right) + n_3 n_2 \frac{k_X^3 \sqrt{\Delta_{ПР}^2 + \Delta_P^2 + \epsilon^2}}{6EJ} U. \quad (15)$$

Вираз (15) показує основний характер взаємозв'язків між конструктивно-технологічними й силовими факторами для оброблення конічних поверхонь жорстко закріпленим інструментом і дає можливість визначити позиційне відхилення.

### Література

1. Деклараційний патент України №66165, МПК В23В5/14. Пристрій для розточування конусних отворів / Левкович М.Г. — №2003087463; Заявл. 07.08.2003; Опубл. 15.04.2004; Бюл. №4. — 2 с.
2. Джугурян Т.Г., Пупин А.П., Собакин А.В. Прецизионное растачивание ступенчатых отверстий // СТИН. — М., 1994. — №3. — С. 26–27.
3. Джугурян Т.Г., Орگیян О.А., Чаругін М.В., Єгоров О.В. Розточувальний інструмент одностороннього різання для обробки глибоких отворів // Наукові нотатки.

Міжвуз. зб. за напрямком «Інженерна механіка». — Луцьк: Ред.-вид. від. ЛДТУ, 2002. — Вип. 11. — С. 138–143.

4. Еремеева Н. М. Обработка отверстий в деталях из серого чугуна. — М.: Машгиз, 1961. — 178 с.

5. Лакирев С.Г. Обработка отверстий: Справочник. — М.: Машиностроение, 1984. — 208 с.

6. Линчевский П.А. Управление точностью формы продольного сечения отверстий при обработке на отделочно-расточных станках. Металлорежущие станки // Респ. межвед. науч.-техн. сб. — К.: Техника, 1987. — Вып. 15. — С. 44–45.

7. Линчевский П.А., Ильяшенко А.А. Расширение технологических возможностей отделочно-расточных станков совмещением операций. Металлорежущие станки // Респ. межвед. науч.-техн. сб. — К.: Техника, 1992. — Вып.20. — С. 62–65.

8. Остафьев В.А., Пономаренко А.И. Обработка точных отверстий в приборостроении. — К.: Техніка, 1972. — 137 с.

9. Оптимизация процессов обработки отверстий — М.: Машиностроение, 1984. — 184 с.

Отримана 20.06.09

*M. Levkovich, O. Lyasota*

**Conic surface shaping by means of the rigid tool**

*Ternopil National Technical University, Lviv*

*The influence of the geometric relationship of the direction unit and positional deviation of the tool, their positioning accuracy as well as axes positioning accuracy of the equipment on the quality of hole-making operations by means of the rigid tool is analyzed in the paper.*

21 01 01 à 03 03

## MULTISCALE EFFECTS IN FATIGUE METALS

5 July 2010 - 9 July 2010

Ecole Polytechnique, Palaiseau, France

The topics discussed during the colloquim are:

- *experimental complementarities* between TEM, SEM with EBSD, AFM and new opportunities offered by kinematic and/or thermal full-field measurements and acoustic emission at micrometric scales which enable the study of the forerunner signs of fatigue damage.
- *numerical tools* including Polycrystalline grain modelling and Discrete Dislocation Dynamic which are of great interests in crystalline plasticity for the definition of multiscale fatigue criteria.
- *multiscale fatigue criteria and structural computations*

The application of these models and techniques will be illustrated on different fatigue contexts: isothermal or non-isothermal, uniaxial or multiaxial loadings, contact and/or fretting fatigue, constant or variable amplitude loadings. Within the topics, a special attention will be accorded to complex cyclic loadings as well as to new metallic materials and/or structures.

### Contact:

**Dr. Andrei Constantinescu**

CNRS Ecole Polytechnique

Laboratoire de Mécanique des Solides

91128 Palaiseau cedex, France

phone: +33 1 69 33 57 56

fax: +33 1 69 33 57 06

email: [andrei.constantinescu@lms.polytechnique.fr](mailto:andrei.constantinescu@lms.polytechnique.fr)