

УДК 621.941.01

В.І. Радчишин, Л.М. Данилова

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Розрахунок похибки оброблення точінням

Сила різання при токарному обробленні спричиняє зміщення у системі верстат-деталь-інструмент, що спричиняє різницю між фактичним і теоретичним діаметрами деталі. Для компенсації цієї різниці реалізують функції зміни глибини різання в програмі управління верстата, розраховують величину прогину деталі на основі методу кінцевих елементів, враховують вплив жорсткості елементів верстата, але при цьому не враховують точність виготовлення заготовки і точність форми і розташування поверхонь заготовки.

Кількісні зв'язки між лінійними похибками оброблення, похибками форми і розташування поверхонь та різними типами допусків можуть бути визначені і враховані при настроюванні оптимальних умов різання, також повинні розглядатись способи затиску заготовки при точінні.

Причиною виникнення похибок форми при точінні є пружне відновлення, що змушує вісь заготовки повертатися у вихідне положення і таким чином спричиняє дефект форми на поверхні деталі, еквівалентний прогину, що зазнала вісь. Під дією сили різання циліндричні чи конічні поверхні перетворюються у поліноміальні поверхні третього порядку (Рис.1). Підрізання торцевих поверхонь призводить до їх неперпендикулярності відносно осі симетрії. Викривлення профілю деталі пов'язана з кутовою деформацією $\theta(z)$ і лінійною $\delta_T(z)$ пружною деформацією. Для ділянки різання ($z = a$), це співвідношення буде:

$$\tan \theta(\alpha) = \left(\frac{d \delta_T(z)}{dz} \right)_{z=a} \quad (1)$$

Загальне відхилення в радіальному напрямку $\delta_T(z)$ на відстані z від патрона (при закріпленні заготовки у патроні) це сума відхилень, спричинених факторами, що діють одночасно і пов'язані з деформаціями від сил різання. Це відхилення шпиндельно-патронної системи $\delta_{sc}(z)$, інструмента

$\delta_{tp}(z)$, відхилення заготовки $\delta_p(z)$ та відхилення, спричинені тепловими ефектами $\delta_{th}(z)$ [1]. Це можна записати так:

$$\delta_T(z) = \delta_{sc}(z) \delta_{tp}(z) \delta_p(z) \delta_{th}(z) \quad (2)$$

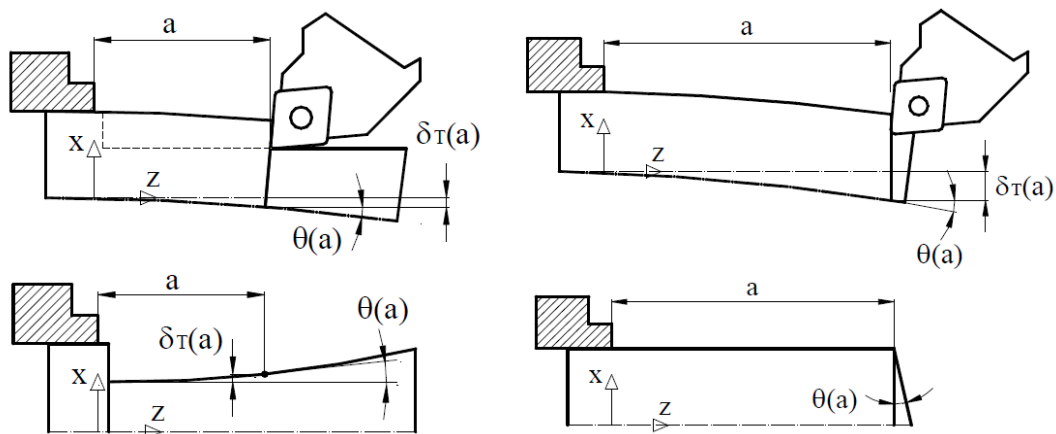


Рис. 1. Похибки форми, що виникають при точінні

Відхилення можна отримати як для радіального (X) так і для тангенціального (Z) та напрямків (рис. 2).

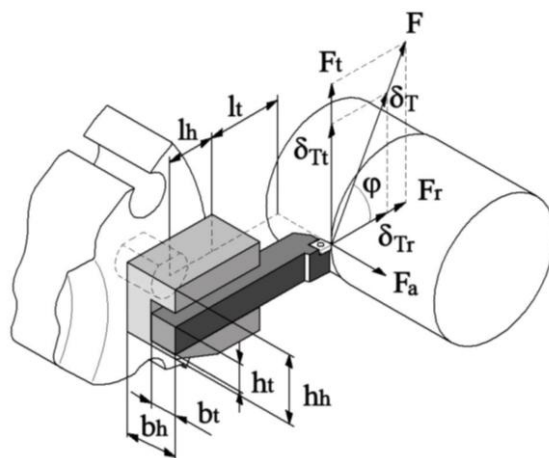


Рис. 2. Складові сили різання та спричинені відхилення

Відхилення шпиндельно-патронної системи може бути виражений для цих двох напрямків так:

$$\delta_{scr}(z) = \left(\frac{F_r}{k_{2r}} + \frac{F_r}{k_{2r}} \right) z^2 + \frac{F_a}{2} \left(\frac{D}{k_{3r}} - \frac{D-2F_r}{k_{2r}} \right) z + \left(\frac{F_r}{k_{1r}} - \frac{F_a D L_c}{2 \cdot k_{2r}} + \frac{F_r L_c^2}{k_{2r}} \right) \quad (3)$$

$$\delta_{sct}(z) = \left(\frac{F_t}{k_{2t}} + \frac{F_t}{k_{2t}} \right) z^2 + \frac{F_a}{2} \left(\frac{D}{k_{3t}} - \frac{D-2F_t}{k_{2t}} \right) z + \left(\frac{F_t}{k_{1t}} - \frac{F_a D L_c}{2 \cdot k_{2t}} + \frac{F_t L_c^2}{k_{2t}} \right) \quad (4)$$

В цих виразах індекси r і t позначають відповідно радіальні та тангенціальні напрямки; F_r , F_t і F_a – складові сили різання в радіальному, тангенціальному та осьовому напрямках (рис. 2); D – діаметр оброблюваної деталі; k_1 , k_2 і k_3 – коефіцієнти жорсткості системи.

Відхилення системи різцетримача полягає в укороченні інструменту в радіальному напрямку. Його можна виразити так:

$$\delta_{tp}(z) = -F_r \left(\frac{l_t}{A_t \cdot E_t} + \frac{l_h}{A_h \cdot E_{hj}} \right) \quad (5)$$

де F_r – радіальна складова сили різання, l_t , A_t і E_t – довжина консолі, площа перерізу і модуль пружності інструменту відповідно, l_h , A_h і E_h – довжина, площа перерізу і модуль пружності державки інструменту (Рис. 2).

Відхилення заготовки при затисканні в патроні, при $z = a$ (відстань між силою та патроном) становитиме:

$$\delta_p(a) = \sum_i \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{F}{E} \cdot \int_{z_i}^{z_i+1} \frac{(a-z)^2}{r_{i\text{ext}}^4 - r_{i\text{int}}^4} dz \right) + \frac{\chi}{\pi} \cdot \frac{F}{G} \cdot \int_{z_i}^{z_i+1} \frac{1}{r_{i\text{ext}}^2 - r_{i\text{int}}^2} dz, \quad (6)$$

де індекс i позначає кожну зону з постійним перерізом, E – модуль пружності, G – модуль зсуву, I момент інерції, χ – коефіцієнт зсуву.

Точність розмірів і форми деталі на кресленнях обмежені допусками. Важливо знати зв'язки між відхиленнями форми та допусками, що встановлені для відповідних умов оброблення.

Похибка форми (не перпендикулярність поверхонь) призводить до коливань фактичної вимірюваної довжини. Фактичний розмір знаходиться між значеннями L_{min} і L_{max} (рис. 3а), і це справедливо при умові:

$$L_{max} \leq L_n + dL_u \text{ і } L_{min} \geq L_n + dL_l \quad (7)$$

де L_n – номінальна довжина, dL_u і dL_l – верхня і нижня межі допуску довжини відповідно [2], [3]. Враховуючи відстані e_i та e_j на рис. 4а, можна встановити таке співвідношення:

$$L_{max} - L_{min} \leq e_i + e_j \quad (8)$$

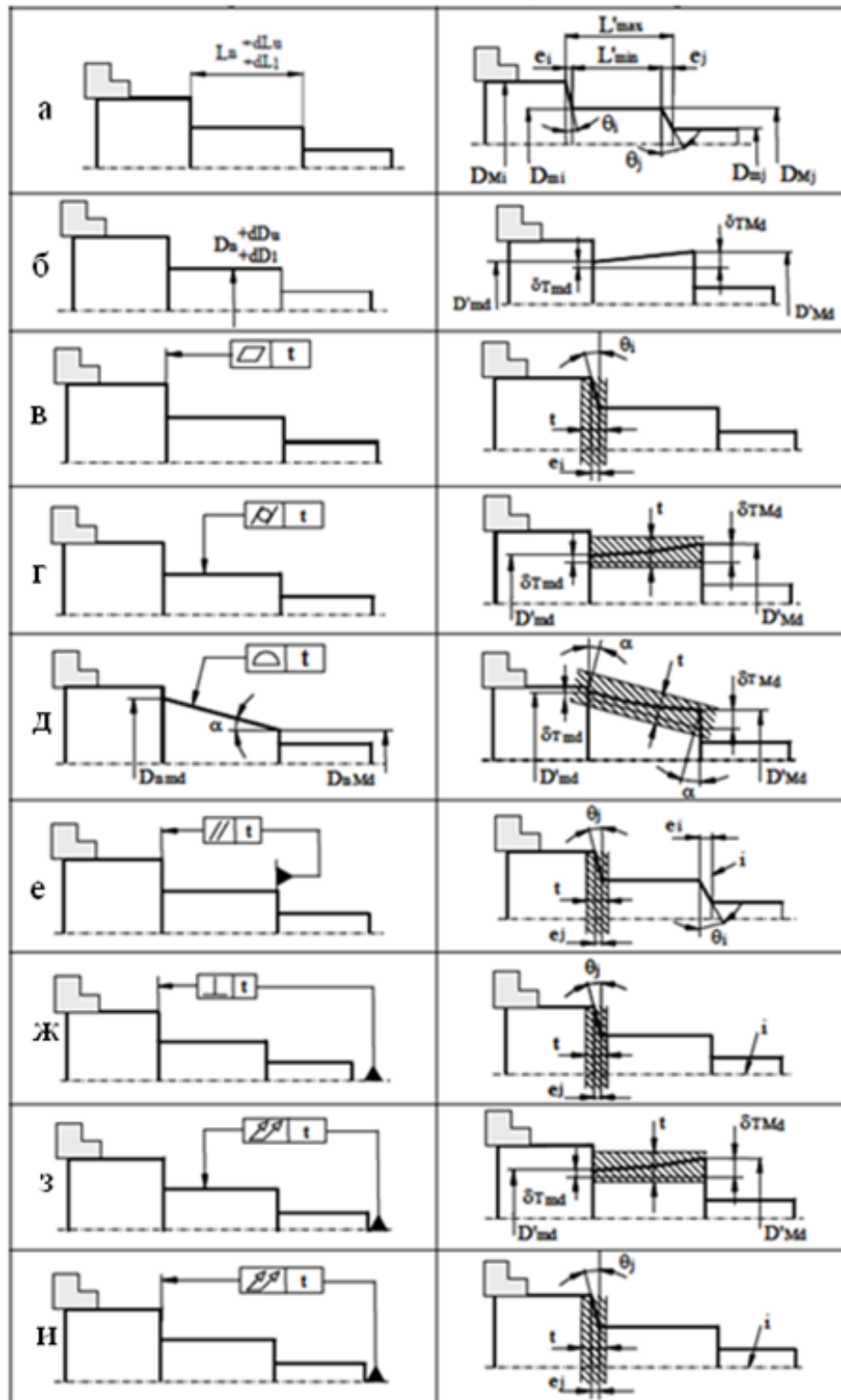


Рис. 3. Похибки форми відповідні до значень допуску.

Враховуючи це і що допуск t – це різниця між верхньою межею та нижньою, допустима похибка відповідає допуску:

$$e_i + e_j \leq dL_u - dL_l = t \quad (9)$$

де відстані e_i та e_j розраховуються через кути θ_i та θ_j , що визначають відхиленнями від правильного взаємного положення поверхонь:

$$e_i = \frac{D_{Mi} - D_{mi}}{2} \cdot \tan\theta_i \quad \text{та} \quad e_j = \frac{D_{Mj} - D_{mj}}{2} \cdot \tan\theta_j \quad (10)$$

Висновки:

1. Обмеження сили різання необхідне для обмеження зміщення заготовки чи різального інструменту з урахуванням точності виготовлення заготовки і точності форми і розташування поверхонь заготовки.

2. Зв'язки між відхиленнями форми заготовки та допусками розмірів також можна розглядати як співвідношення між силами різання та максимально допустимими відхиленнями, і все це разом необхідно застосовувати для обмеження і оптимізації при настроюванні технологічної системи.

Список використаних джерел

1. G. Valiño, D. Blanco, B. J. Álvarez and S. Mateos «Machining Error Predictive Model in a CAPP system for turning: Formulation and Initial Tests» *Proceedings of the World Congress on Engineering WCE 2008*, July 2 - 4, 2008, Vol II London, U.K.
2. V.A. Ostafiev and A. Djordjevich, "Machining precision augmented by sensors," *Int. J. of Prod. Res.*, vol. 37(1), 1999, pp. 91-98.
3. X. Li, P.K.Venuvinod, A.Djorjevich and Z. Liu, "Predicting machining errors in turning using hybrid learning," *Int. J. of Adv. Manuf. Tech.*, vol. 18, 2001, pp. 863-872.