

Н.С. Равська, д.т.н., проф.
О.А. Охріменко, к.т.н., асист.
Я.Р. Дубик, студ.

Національний технічний університет України «КПІ»

ЗАТОЧУВАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ЗУБОРІЗНИХ ФРЕЗ

В роботі розглядаються способи підвищення точності черв'ячних зуборізних фрез за рахунок вибору параметрів заточування такого інструменту.

Вступ. У зв'язку з підвищенням вимог до точності зубчастих коліс у передачах підвищуються вимоги до точності інструменту, що їх обробляє. А саме до черв'ячних фрез, як до чистових, так і до інструменту, призначеного для зубофрезерування під фінішну обробку зубчастих коліс. Похибки, що вносяться таким інструментом, викликані неточністю профілювання та технологічними особливостями виготовлення такого інструменту, а саме неможливістю точно обробити при заданій схемі обробки формоутворюючі елементи черв'ячної фрези.

Постановка задачі. Черв'ячні фрези можуть виготовлятися як з прямими, так і з гвинтовими стружечними канавками. Кінцевою обробкою передньої поверхні фрези є заточування передньої поверхні зуба фрези конічною поверхнею шліфувального круга. Якщо стружкороздільна канавка є прямою, то можна точно обробити передню поверхню зуба конічною поверхнею заточного круга, однак такі фрези мають нераціональну геометрію передньої поверхні зуба фрези. Фрези з гвинтовою стружкороздільною канавкою мають більш раціональну геометрію передньої поверхні зуба фрези і, порівняно із фрезами з прямолінійними стружкороздільними канавками, теоретично точна передня поверхня такої фрези має вигляд архімедової гвинтової поверхні. Таку поверхню неможливо точно обробити конічною поверхнею круга, оскільки лінія контакту конічної поверхні круга з передньою гвинтовою поверхнею зуба фрези є просторова лінія [1], яка не співпадає з прямолінійною твірною конічної поверхні заточного круга, що вносить похибки в розташування передньої поверхні зуба фрези і тим самим призводить до відхилення положення різальної кромки фрези від розрахункового. Для того, щоб точно обробити таку поверхню, необхідно застосовувати спеціальну криволінійну правку поверхні заточного круга [1, 4, 5], що ускладнює процес виготовлення таких фрез і

збільшує вартість виготовлення такого інструменту.

Існують конструкції фрез [3], де вже при виготовленні враховуються особливості технології виготовлення інструменту, однак там враховуються технологічні особливості як заточування, так і затилування таких фрез. І зважаючи на це, на підприємствах, де використовуються черв'ячні фрези, не завжди для виготовлення зубчастого колеса виготовляють нові фрези або замовляють придбання нових фрез, а намагаються за необхідності використовувати черв'ячні фрези, які вже наявні, оскільки цей інструмент дорогий у своєму виготовленні.

Тому виникає запитання, чи можна за рахунок зміни технологічних параметрів формоутворення передньої гвинтової поверхні зменшити відхилення від прямолінійності передньої поверхні фрези, підвищити точність і знизити витрати на виготовлення та експлуатацію такого інструменту.

Для зв'язання цієї задачі необхідно вирішити питання формоутворення передньої гвинтової поверхні зуба фрези шліфувальним кругом, в роботах [1, 4, 5, 6] було розглянуто дане питання, однак просторова задача розв'язувалась спрощено, що не повною мірою відповідає сучасним вимогам до вирішення цих питань.

Передня поверхня фрези запишеться як огинаюча послідовних положень конічної сторони заточного круга при його гвинтовому русі відносно осі фрези. Для визначення передньої поверхні розглянемо наступні системи координат на рис. 1, які зображені в початковому стані, де $S(X, Y, Z)$ – система, зв'язана з фрезою; $S_1(X_1, Y_1, Z_1)$ – допоміжна система координат; $S_2(X_2, Y_2, Z_2)$ – система, зв'язана із заточним кругом.

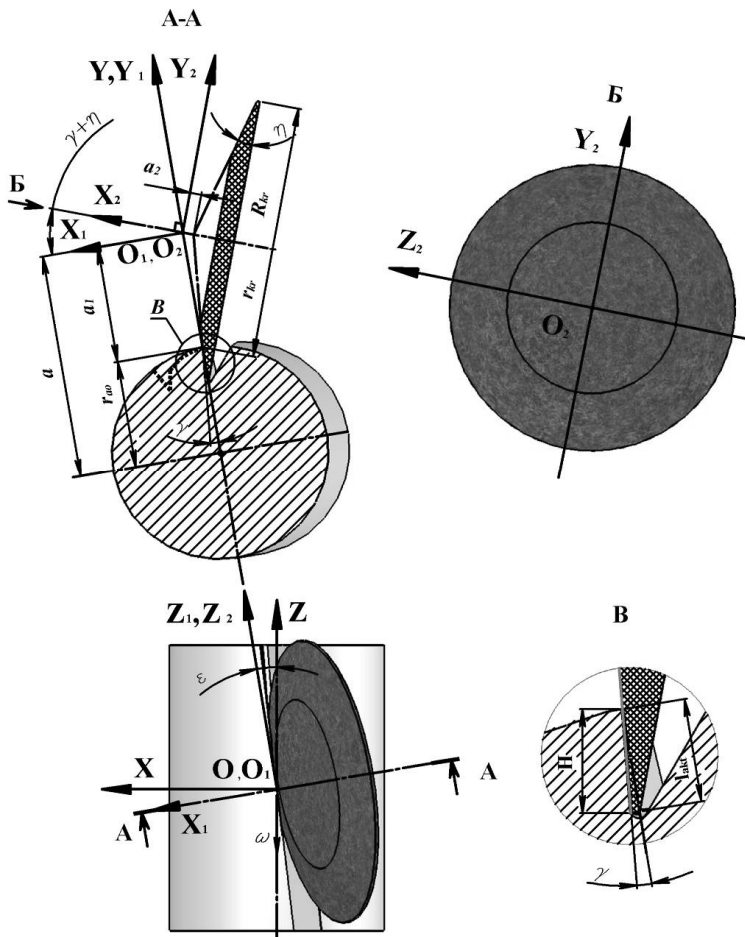


Рис. 1. Установка заточного круга при утворенні передньої поверхні зуба фрези

При вибраних системах координат установочними технологічними параметрами будуть:

- l_{akt} – висота по передній поверхні заточуваної частини зуба;
- r_{ao} – радіус вершин зубів фрези;
- H – проекція l_{akt} на вісь Y, Y_1 , висота зуба;
- η – кут профілю шліфувального круга;
- ϵ – кут розвороту шліфувального круга;

- a – міжцентрова відстань між системами $S(X, Y, Z)$ та $S_1(X_1, Y_1, Z_1)$;
- a_2 – зміщення початку конічної поверхні круга відносно центра координат у системі $S_2(X_2, Y_2, Z_2)$;
- γ – передній інструментальний кут фрези;
- R_{kr} – радіус заточного круга в проекції його контакту з найнижчою точкою заточуваного зуба фрези по висоті;
- r_{kr} – радіус заточного круга в проекції його контакту з найвищою точкою заточуваного зуба фрези по висоті.

Зв'язок між системами координат визначається залежностями $S(X, Y, Z)$ та $S_2(X_2, Y_2, Z_2)$:

$$\begin{cases} X_1 = X_2 \cos(\eta + \gamma) - Y_2 \sin(\eta + \gamma) \\ Y_1 = X_2 \sin(\eta + \gamma) + Y_2 \cos(\eta + \gamma) \\ Z_1 = Z_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X = (Z_1 \sin \varepsilon + X_1 \cos \varepsilon) \cos \Theta + (Y_1 + a) \sin \Theta \\ Y = -(Z_1 \sin \varepsilon + X_1 \cos \varepsilon) \sin \Theta + (Y_1 + a) \cos \Theta, \\ Z = Z_1 \cos \varepsilon - X_1 \sin \varepsilon + p_1 \Theta \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} X = (Z_2 \sin \varepsilon + (X_2 \cos(\eta + \gamma) - Y_2 \sin(\eta + \gamma)) \cos \varepsilon) \cos \Theta + \\ + (X_2 \sin(\eta + \gamma) + Y_2 \cos(\eta + \gamma) + a) \sin \Theta \\ Y = -(Z_2 \sin \varepsilon + (X_2 \cos(\eta + \gamma) - Y_2 \sin(\eta + \gamma)) \cos \varepsilon) \sin \Theta + \\ + (X_2 \sin(\eta + \gamma) + Y_2 \cos(\eta + \gamma) + a) \cos \Theta \\ Z = Z_2 \cos \varepsilon - (X_2 \cos(\eta + \gamma) - Y_2 \sin(\eta + \gamma)) \sin \varepsilon + p_1 \Theta \end{cases}$$

де Θ – параметр, що відповідає за гвинтовий рух системи $S_2(X_2, Y_2, Z_2)$ відносно системи $S(X, Y, Z)$.

Установочні параметри з побудови визначаються такими рівняннями:

$$l_{akt} = \frac{H}{\cos \gamma}, \quad a_1 = \frac{R_{kr} - H \sin \eta / \cos \gamma}{\cos(\eta + \gamma)},$$

$$r_{kr} = R_{kr} - H \frac{\sin \eta}{\cos \gamma}, \quad a = r_a + a_1, \quad (2)$$

$$a_2 = \frac{(R_{kr} \cos \gamma - H \cos \eta)(\operatorname{tg}(\eta + \gamma) - \operatorname{tg} \eta)}{\cos \gamma}.$$

Огинаючи до послідовних положень круга при заточуванні будемо знаходити кінематичним методом. Рівняння конічної поверхні круга в системі $S_2(X_2, Y_2, Z_2)$ запишеться:

$$\rho_{2kr} = \begin{pmatrix} -l \operatorname{tg} \eta - a_2 \\ l \sin t \\ l \cos t \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де l, t – незалежні змінні параметри конічної поверхні;

l – радіус, на якій лежить вибрана точка конуса;

t – параметр, що відповідає за обертання вибраної точки конуса навколо його осі.

Рівняння контакту будемо вирішувати в системі $S_1(X_1, Y_1, Z_1)$. Запишемо рівняння поверхні конуса в системі $S_1(X_1, Y_1, Z_1)$:

$$\rho_{1kr} = \begin{pmatrix} (-l \operatorname{tg} \eta - a_2) \cos(\eta + \gamma) - l \sin t \sin(\eta + \gamma) \\ (-l \operatorname{tg} \eta - a_2) \sin(\eta + \gamma) + l \sin t \cos(\eta + \gamma) \\ l \cos t \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Нормаль до конічної поверхні запишеться як векторний добуток двох дотичних за незалежними параметрами l, t :

$$N_{\rho_{kr}} = \frac{\partial \rho_{1kr}}{\partial l} \times \frac{\partial \rho_{1kr}}{\partial t}, \quad N_{\rho_{kr}} = \begin{pmatrix} -\sin t \sin \eta \sin(\eta + \gamma) + \\ + \cos \eta \cos(\eta + \gamma) \\ \sin t \sin \eta \cos(\eta + \gamma) + \\ + \cos \eta \sin(\eta + \gamma) \\ \sin \eta \cos t \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Відносно швидкістю буде відносна швидкість конічної поверхні круга при гвинтовому русі. Вона складається з двох складових обертального та поступального руху:

$$V_1 = V_{1\omega} + V_{1p}, \quad (6)$$

де $V_{1\omega}$ – швидкість при обертальному русі конічної поверхні круга;

V_{1p} – швидкість при поступальному русі конічної поверхні круга.

Швидкість поступального руху запишеться:

$$V_{1p} = \begin{pmatrix} -p_1 \omega \sin \varepsilon \\ 0 \\ p_1 \omega \cos \varepsilon \end{pmatrix}, \quad (7)$$

де p_1 – гвинтовий параметр стружкороздільної канавки фрези. Якщо

прийняти $|\omega| = 1$, то рівняння (7) запишеться:

$$V_{1p} = \begin{pmatrix} -p_1 \sin \varepsilon \\ 0 \\ p_1 \cos \varepsilon \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Для знаходження $V_{1\omega}$ обертальної складової необхідно знати кутову швидкість обертання. У системі $S(X, Y, Z)$, з урахуванням $|\omega| = 1$, воно запишеться:

$$\omega = \begin{pmatrix} \sin \varepsilon \\ 0 \\ -\cos \varepsilon \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Лінійна швидкість знайдеться як векторний добуток $V_{1\omega} = \omega_1 \times \rho_{1kr}$. Щоб знайти вектор ω_1 , необхідно привести його в систему $S_1(X_1, Y_1, Z_1)$, лінійна швидкість визначиться залежністю:

$$V_{1\omega} = \omega \times \rho_{1kr} + A_1 \times \omega, \quad (10)$$

де A_1 – радіус вектор проведений з початку системи координат $S_1(X_1, Y_1, Z_1)$ до лінії дії вектора ω :

$$\omega \times \rho_{1kr} = \begin{pmatrix} -\cos \varepsilon((-l t g \eta - a_2) \sin(\eta + \gamma) + \\ + l \sin t \cos(\eta + \gamma)) \\ \cos \varepsilon((-l t g \eta - a_2) \cos(\eta + \gamma) - \\ - l \sin t \sin(\eta + \gamma)) + \\ + l \cos t \sin \varepsilon \\ - \sin \varepsilon((-l t g \eta - a_2) \sin(\eta + \gamma) + \\ + l \sin t \cos(\eta + \gamma)) \end{pmatrix}. \quad (11)$$

$$A_1 \times \omega = \begin{pmatrix} a \cos \varepsilon \\ 0 \\ a \sin \varepsilon \end{pmatrix}$$

Тоді рівняння відносної швидкості запишеться:

$$V_1 = \begin{pmatrix} \cos \varepsilon[a + l \sin t \cos(\eta + \gamma) - \\ - (a_2 + l t g \eta) \sin(\eta + \gamma)] - p_1 \sin \varepsilon \\ \cos \varepsilon[l \sin t \sin(\eta + \gamma) + \\ + (a_2 + l t g \eta) \cos(\eta + \gamma)] - l \cos t \sin \varepsilon \\ \sin \varepsilon[a + l \sin t \cos(\eta + \gamma) - \\ - (a_2 + l t g \eta) \sin(\eta + \gamma)] + p_1 \cos \varepsilon \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Запишемо рівняння контакту шліфувального круга з гвинтовою стружкороздільною поверхнею зубців фрези:

$$N_{\rho_1} V_1 = 0. \quad (13)$$

Після підстановки в рівняння (13) значень з (11) та (12), розкривши та зробивши спрощення отримаємо рівняння контакту кінчної частини заточного круга при формоутворенні передньої гвинтової поверхні зубів черв'ячної фрези:

$$\begin{aligned} & \operatorname{tg} \varepsilon [p_1 \cos(\eta + \gamma) + l \cos t \cdot \sec^2 \eta \cdot \sin(\eta + \gamma) - \\ & - (a \cos t + (-a_2 \cos t + p_1 \sin t \sin(\eta + \gamma)) \operatorname{tg} \eta) - \\ & [a \cos(\eta + \gamma) + l \sec^2 \eta \cdot \sin t + \\ & + (p_1 \cos t + \sin t (a_2 - a \sin(\eta + \gamma))) \operatorname{tg} \eta] = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Рівняння (14) розв'язувати будемо чисельним методом, змінюючи параметр l в межах, що відповідають радіусам робочої зони заточного круга $r_{kr} \leq l \leq R_{kr}$, підставляючи знайдені l , t значення в рівняння (3) кінчної поверхні заточного круга. знаходимо характеристику контакту круга з гвинтовою поверхнею, що обробляється. Підставивши знайдені значення характеристики контакту в рівняння переходу системи координат (1) отримаємо передню гвинтову поверхню зубів черв'ячної фрези при утворенні її кінчною стороною круга.

На рис. 2 показаний приклад розрахунку лінії контакту для наступних параметрів фрези та круга ($m = 10$, $d_{a0} = 150$ мм – діаметр вершин зубів фрези, $D_{kr} = 200$ мм – діаметр заточного круга, $\gamma = 0^\circ$, $\varepsilon = 4.58^\circ$ – відповідає куту підйому гвинтової лінії на ділильному циліндрі, $\eta = 20^\circ$, $H = h + 0,5$ т, де h – висота зуба фрези), як видно, вона є просторова лінія, розташована на кінчній поверхні круга.

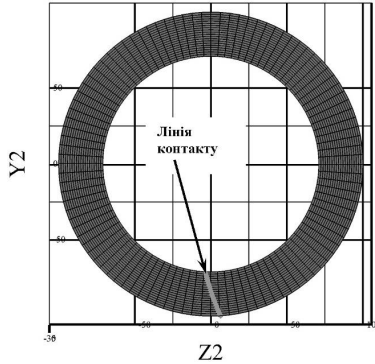


Рис. 2. Лінія контакту заточного круга з гвинтовою поверхнею фрези

Отримавши координати точок гвинтової поверхні фрези, що описуються рівнянням контакту (14), необхідно знайти параметри отриманої гвинтової поверхні, а саме координати точок торцевого перерізу такої гвинтової поверхні, найбільше відхилення цих точок від прямої лінії, що проходить через центр осі фрези, буде характеризувати відхилення профілю від прямолінійності f_γ [6]. Координати точок торцевого перерізу гвинтової поверхні стружкової канавки знайдуться за такими залежностями:

$$\theta_{хар} = \frac{z_{хар} \cos \varepsilon - (x_{хар} \cos(\eta + \gamma) - y_{хар} \cos(\eta + \gamma)) \sin \varepsilon}{p_1}$$

$$x_{ос} = (z_{хар} \sin \varepsilon + (x_{хар} \cos(\eta + \gamma) - y_{хар} \sin(\eta + \gamma)) \cos \varepsilon) \cos \theta_{хар} + (x_{хар} \sin(\eta + \gamma) + y_{хар} \cos(\eta + \gamma) + a) \sin \theta_{хар} \quad , (15)$$

$$y_{ос} = -(z_{хар} \sin \varepsilon + (x_{хар} \cos(\eta + \gamma) - y_{хар} \sin(\eta + \gamma)) \cos \varepsilon) \sin \theta_{хар} + (x_{хар} \sin(\eta + \gamma) + y_{хар} \cos(\eta + \gamma) + a) \cos \theta_{хар}$$

де $x_{хар}$, $y_{хар}$, $z_{хар}$ – координати точок лінії контакту шліфувального круга з передньою гвинтовою поверхнею зуба фрези.

За наведеними залежностями були проведені розрахунки відхилення профілю передньої поверхні для фрез різних модулів, різних діаметрів, заточених кругами з різними діаметрами та кутами

профілю, круг при заточуванні встановлювався для переднього кута $\gamma = 0^\circ$, кут розвороту заточного круга відповідав куту нахилу гвинтової лінії фрези на дільному циліндрі, $H = h + 0,5 t$, відхилення вказувалось на довжині робочої ділянки зуба фрези.

За результатами розрахунків фрези, які заточені кругами, формоутворююча поверхня яких є конічною, мають відхилення, направлене в тіло зуба фрези (рис. 3), причому, чим більше діаметр заточного круга, тим більше відхилення профілю передньої поверхні, і всі фрези, заточені кругами без криволінійної правки при $\gamma = 0^\circ$ в 2,5–3 рази перевищують допуск пряmolінійності згідно з ГОСТ 9324-80 (рис. 4–6), тому необхідні додаткові методи зі зменшення цього відхилення.

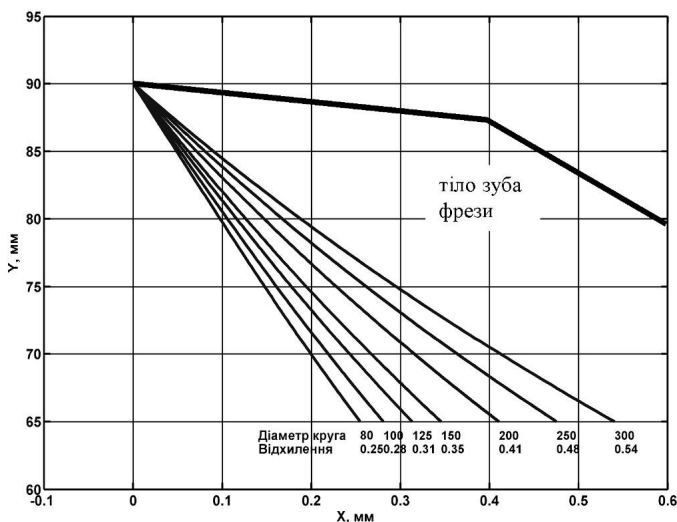


Рис. 3. Профіль передньої поверхні фрези
 $t = 10$ мм, $d_{a0} = 180$ мм, $\eta = 15^\circ$

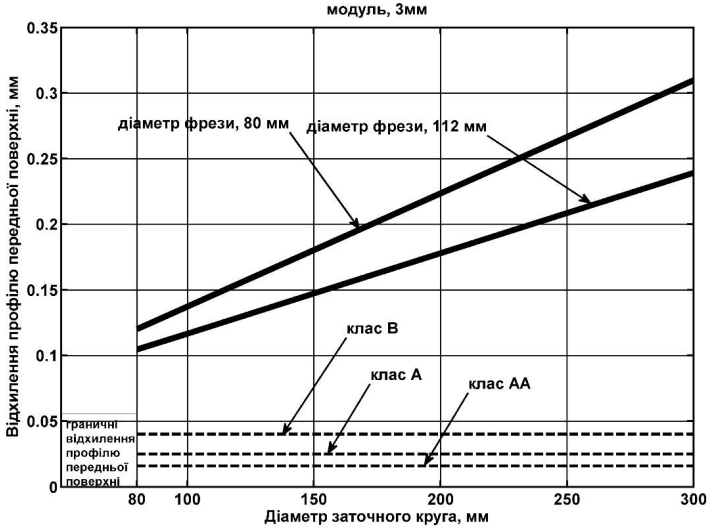


Рис. 4. Максимальні відхилення профілю передньої поверхні для фрез модулем 3 мм при заточуванні кругом з кутом профілю $\eta = 15^\circ$

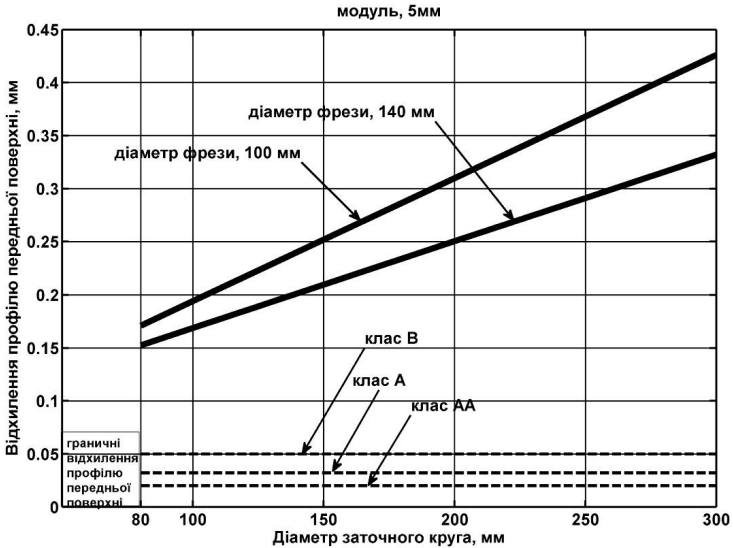


Рис. 5. Максимальні відхилення профілю передньої поверхні для фрез модулем 5 мм при заточуванні кругом з кутом профілю $\eta = 15^\circ$

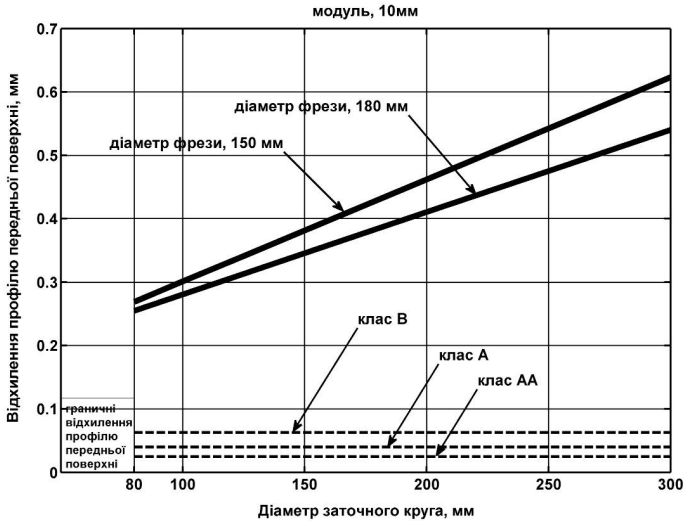


Рис. 6. Максимальні відхилення профілю передньої поверхні для фрез модулем 10 мм при заточуванні кругом з кутом профілю $\eta = 15^\circ$

Вплив зміни кута розвороту ε на профіль передньої поверхні зуба фрези показаний на рис. 7, кут ε змінювався в межах, що відповідають куту нахилу гвинтової лінії стружкової канавки на діаметрі вершин зубів до кута нахилу гвинтової лінії на діаметрі западини.

В результаті зміни кута розвороту при його зменшенні зменшується відхилення профілю передньої поверхні, але при цьому буде рости глибина канавки, яка не буде формоутворюватись [4] рис. 8, однак, як показують розрахунки, ця величина не перевищує того запасу, на який заглиблюється круг при заточуванні передньої поверхні, як мінімум він складає 0,5 *m*, що додається при заглибленні заточного круга до робочої висоти зуба фрези.

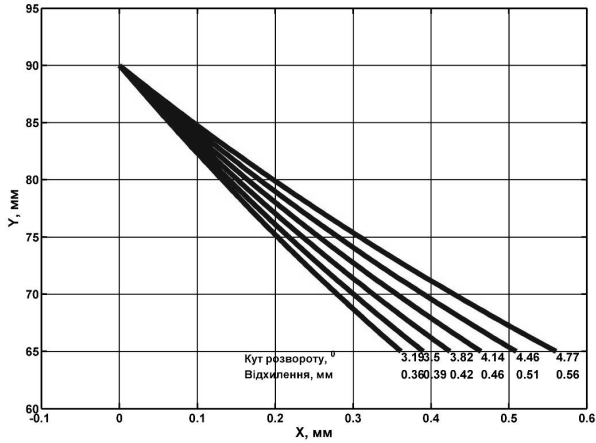


Рис. 7. Профіль передньої поверхні фрези: $t = 10$ мм, $d_{a0} = 180$ мм, $D_{kr} = 200$ мм, $\eta = 15^\circ$, $\gamma = 0^\circ$. Залежно від кута розвороту ϵ заточного круга, кут нахилу гвинтової лінії на ділільному циліндрі складає $\beta = 3,703^\circ$

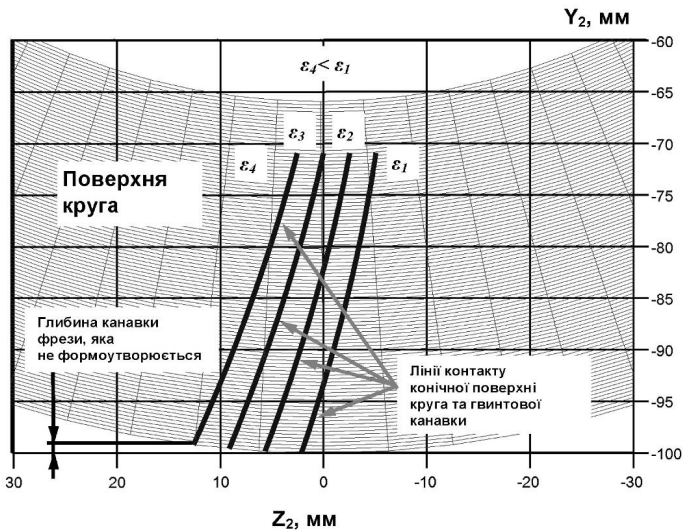


Рис. 8. Зміна форми та розташування контактних ліній заточного круга та гвинтової канавки залежно від кута розвороту ϵ : $t = 10$ мм, $d_{a0} = 180$ мм, $D_{kr} = 200$ мм, $\eta = 15^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, кут нахилу гвинтової лінії на ділільному циліндрі складає $\beta = 3,703^\circ$

Також відхилення профілю передньої поверхні залежить від кута профілю η заточного круга, цей кут є стандартним для заточних тарілчастих кругів і приймає певні значення: 15° , 20° , 30° , з якими згідно зі стандартами вони виготовляються як для ельборових, так і для електорокорундових кругів. Круги з більшим значенням η від 30° не використовуються, оскільки кут розгорнутості стружкової канавки черв'ячних фрез не перевищує 35° . Нарис. 9 показано зміну профілю передньої поверхні від кута профілю заточного круга.

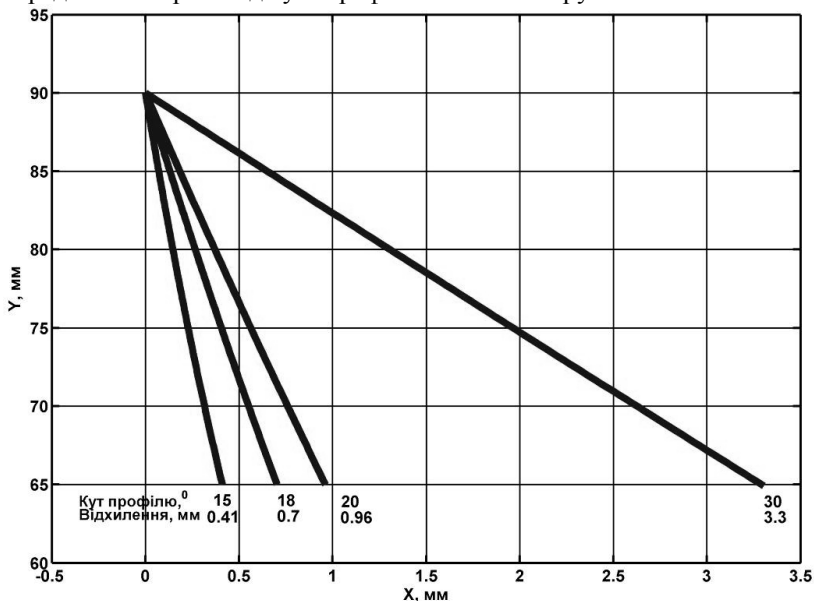


Рис. 9. Профіль передньої поверхні фрези: $t = 10$ мм, $d_{a0} = 180$ мм, $D_{kr} = 200$ мм, $\gamma = 0$ залежно від кута профілю заточного круга η , кут ϵ розвороту заточного круга відповідає куту нахилу гвинтової лінії фрези на ділільному циліндрі

За результатами розрахунків з при зміні кута профілю в сторону збільшення значень відхилення профілю передньої поверхні збільшується, і воно направлено в тіло зуба фрези (рис. 9), передня поверхня зуба фрези є випуклою.

Для зменшення відхилення пропонується змінювати кут установки заточного круга γ . Для прикладу показано зміну профілю передньої поверхні та відхилення передньої поверхні для фрези $t = 10$ мм, діаметра заточного круга $D_{kr} = 200$ мм (рис. 10).

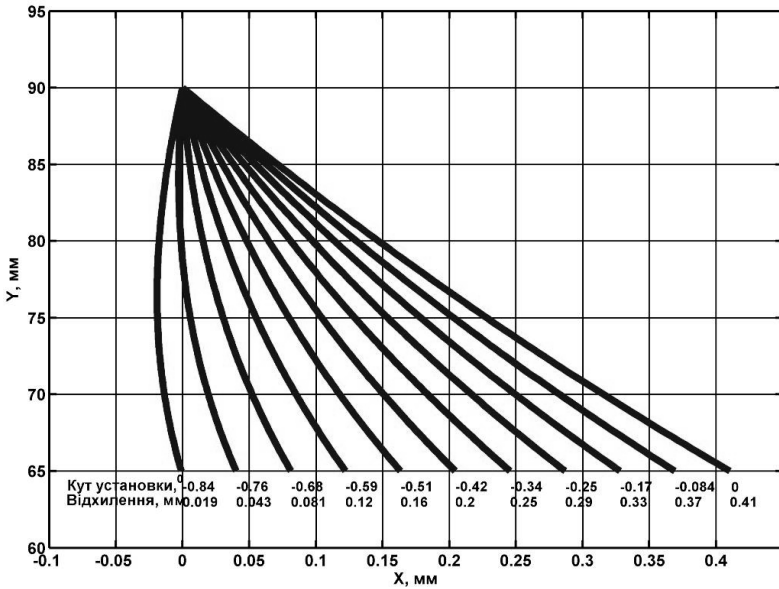


Рис. 10. Профіль передньої поверхні фрези: $t = 10$ мм, $d_{a0} = 180$ мм, $D_{kr} = 200$ мм, $\eta = 15^\circ$ залежно від кута установки круга γ

В результаті зміни установочного кута γ (рис. 10) показано, що для фрези: $t = 10$ мм, $d_{a0} = 180$ мм, діаметр круга $D_{kr} = 200$ мм, $\eta = 15^\circ$ можна зменшити відхилення профілю передньої поверхні від 0,41 мм до 0,019 мм, що менше від відхилення згідно з ГОСТ 9324-80, яке становить для класу АА 0,025 мм. Практично це реалізується поворотом фрези на оправці при заточуванні на величину, при якій вершина зуба фрези буде відрізняться від нульового положення на величину

$$= r_{a0} / \sin \gamma \text{ (рис. 11).} \quad h_{зміщ} =$$

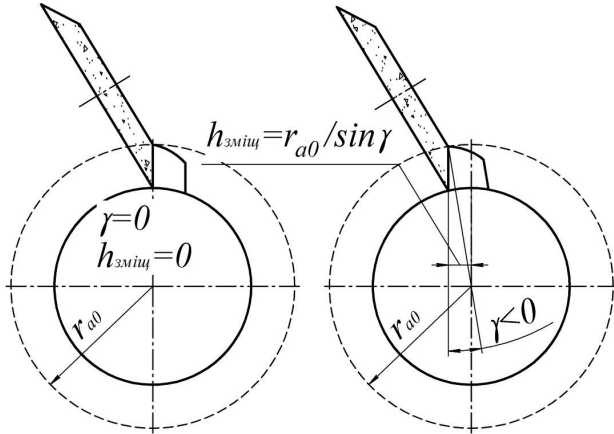


Рис. 11. Установка фрези при заточуванні

При цьому профіль передньої поверхні буде випуклий і виходити із тіла зуба. Тому допуск на установку круга повинен бути направлений в тіло деталі за результатами розрахунків, кут установки круга повинен мати значення в межах $\gamma[-0,82^\circ; -0,86^\circ]$ (рис. 12), щоб відхилення профілю зуба не перевищувало допуск, як в тіло зуба, так і в зворотній бік, тоді величина зміщення буде лежати в межах $h[1,28 \text{ мм}; 1,35 \text{ мм}]$, допуск становить $0,07 \text{ мм}$, технологічний допуск зміщення, враховуючи, що операція заточування є відповідальною при виготовленні інструменту, то можна назначити як половину допуску від розрахункового значення виконавчий розмір $h_{\text{технолог.}} = 1,28^{+0,035} \text{ мм}$, дані значення технологічно можуть бути реалізовані при заточуванні таких фрез.

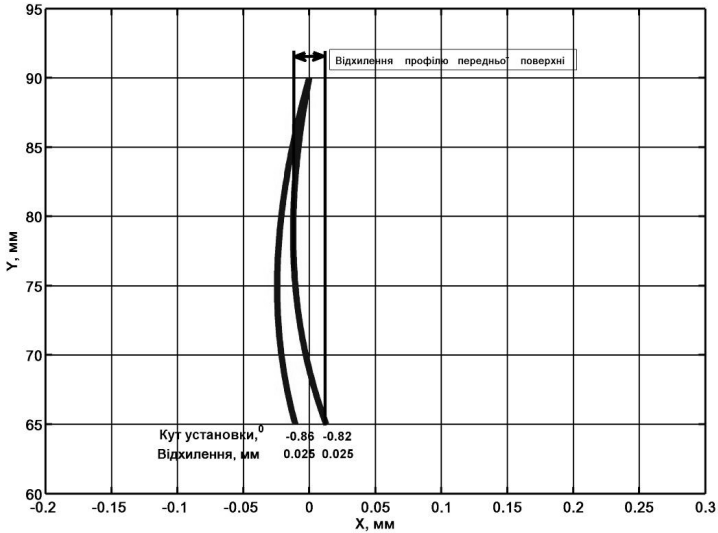


Рис. 12. Профіль передньої поверхні фрези в межах розрахованого допуску: $t = 10$ мм, $d_{a0} = 180$ мм, $D_{kr} = 200$ мм, $\eta = 15^\circ$ залежно від кута установки круга γ

При переході на менш точні фрези класу А, В, С розрахунковий допуск кута установки може бути збільшений, оскільки точність профілю передньої поверхні для них знижена.

Одним із варіантів заточки фрез може бути розглянутий випадок, коли кут розвороту заточного круга $\varepsilon = 0$, круг розташовується як при заточуванні фрез з прямими канавками. За результатами розрахунків отримали, що, змінюючи кут установки круга γ можна досягти результату, при якому відхилення профілю передньої поверхні (рис. 13) буде за своїм значенням меншим, ніж для випадку (рис. 10), коли кут розвороту круга відповідав куту підйому гвинтової лінії на діляльному циліндрі.

Мінімально досягнуте відхилення профілю передньої поверхні від прямолінійності для випадку, що розглядається, складо $f_\gamma = 0,014$ мм (рис. 13), що менше, ніж для установочних параметрів, отриманих коли $\varepsilon \neq 0$ $f_\gamma = 0,019$ мм (рис. 10), причому, коли $\varepsilon = 0$, профіль передньої поверхні зуба ввігнутий, а не випуклий, як для $\varepsilon \neq 0$. Однак для такого випадку необхідно перевірити можливість повністю обробити передню поверхню зуба на всій активній її довжині при наявному діаметрі заточного круга та глибині його заглиблення в

гвинтову канавку при заточуванні.

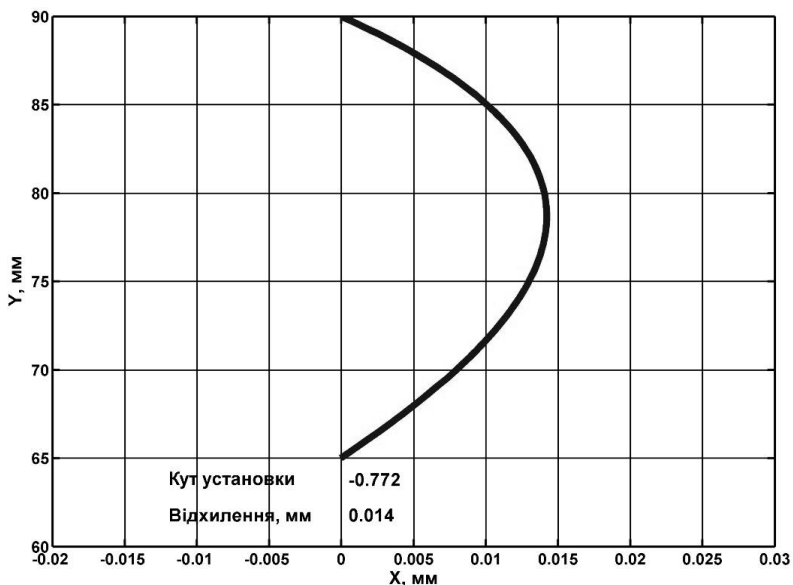


Рис. 13. Профіль передньої поверхні фрези: $t = 10$ мм, $d_{a0} = 180$ мм, $D_{kr} = 200$ мм, $\eta = 15^\circ$, $\varepsilon = 0^\circ$, $\gamma = -0,772$

За результатами розрахунків при величині заглиблення круга $H = h + 0,5 t$, випадку на рис. 14 при радіусі круга $R_{kr} = 100$ мм, радіус круга, який формоутворює найнижчу точку передньої поверхні зуба, що знаходиться на відстані $h = 2,5 t$ від вершини зуба становить $R_{акт,мах} = 97,1$ мм. Це менше, ніж радіус круга, а отже повністю можна обробити канавку на всю величину робочої висоти зуба.

Допуск на установку круга для фрез класу АА при $\varepsilon = 0$ за результатами розрахунків для ($t = 10$ мм, $d_{a0} = 180$ мм, $D_{kr} = 200$ мм, $\eta = 15^\circ$) кут установки круга повинен мати значення в межах $\gamma[-0,73^\circ; -0,81^\circ]$ (рис. 15), це в два рази більше, ніж для випадку, вказаного на рис. 12, тоді величина зміщення буде лежати в межах $h[1,15$ мм; 1,27 мм], допуск становить 0,12 мм, виконавчий розмір $h_{техно.лог.} = 1,15^{+0,06}$.

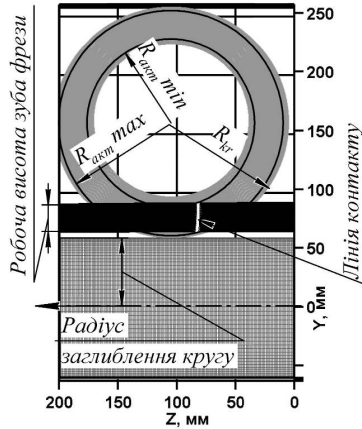


Рис. 14. Розташування контактної лінії заточного круга та гвинтової канавки при $\varepsilon = 0$, для $t = 10$ мм, $d_{a0} = 180$ мм,
 $D_{кр} = 20$ мм, $\eta = 15^\circ$, $\gamma = -0,772^\circ$

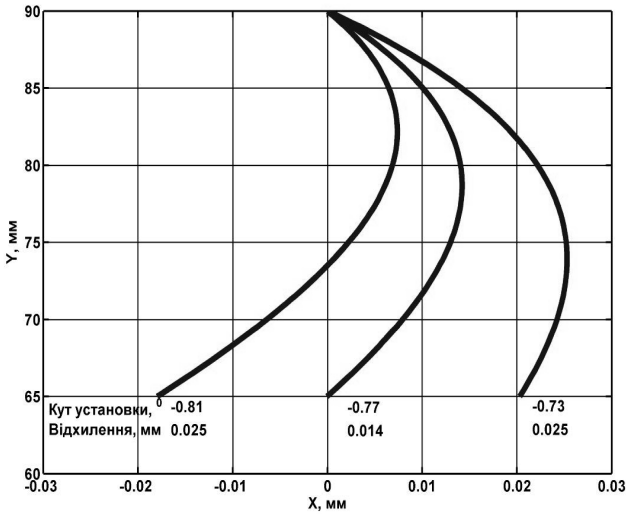


Рис. 15. Профіль передньої поверхні фрези в межах розрахованого допуску $t = 10$ мм, $d_{a0} = 180$ мм, $D_{кр} = 200$ мм, $\eta = 15^\circ$, $\varepsilon = 0$ залежно від кута установки круга γ

Для схем заточування, при яких $\varepsilon = 0$ бажано використовувати круги з меншими значеннями кута профілю η і перевіряти, чи не має підрізання затилка зуба фрези при заточуванні неробочою частиною

круга фрези, а також враховувати при виборі конструктивних параметрів фрез – кут розгорнутості стружкової канавки фрези та її форму.

Висновок. За наведеними математичними моделями можна дослідити і визначити відхилення профілю передньої поверхні фрези із гвинтовими канавками залежно від установочних параметрів при заточуванні таких фрез, а також зменшити відхилення профілю передньої поверхні фрези за рахунок більш раціональних значень установочних параметрів і не використовують спеціальну криволінійну правку заточного круга, що значно спрощує виготовлення, знижує затрати на виробництво та експлуатацію такого інструмента.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Альшименкэ Н.И., Чичерин В.И.* Выбор максимального диаметра шлифовального круга при заточке червячных фрез // Станки и инструмент. – 1980. – № 3. – С. 16–18.
2. *Антонюк В.Е., Кане М.М., Старжинский В.Е.* Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач. – Минск: УТ Технопринт, 2003. – 766 с.
3. *Богуслаев В.О., Равська Н.С., Качан О.Я., Балушок К.Б., Мозговий В.Ф., Охріменко О.А.* Формоутворення черв'ячних зуборізних фрез. – Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2007. – 179 с.
4. *Лагутин С.А., Сандлер А.И.* Шлифование винтовых и затылованных поверхностей. – М.: Машиностроение, 1991. – 112 с.
5. *Лагутин С.А., Сандлер А.И.* Производство червячных передач. – М.: Машиностроение, 2008. – 324 с.
6. *Полохин О.В., Тарапанов А.С., Харламов Г.А.* Нарезание зубчатых профилей инструментами червячного типа: Справочник / Под. ред. Г.А. Харламова. – М.: Машиностроение, 2007. – 240 с.

РАВСЬКА Наталія Сергіївна – доктор технічних наук, професор, завідувача кафедрою інструментального виробництва Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

– теорія проектування інструменту.

ОХРИМЕНКО Олександр Анатолійович – кандидат технічних наук, асистент Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

– теорія проектування інструменту.

ДУБИК Ярослав Романович – студент 5-го курсу Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

– теорія проектування інструменту.

Подано 18.12.2008