

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАДНЬОЇ ЗАТИЛОВАНОЇ БІЧНОЇ ПОВЕРХНІ ЗУБА ЧЕРВ'ЯЧНИХ ЗУБОРІЗНИХ ФРЕЗ З ПРЯМИМИ СТРУЖКОРОЗДІЛЬНИМИ КАНАВКАМИ

Охріменко О. А.

Проведен анализ формообразования боковой стороны зуба червячной фрезы шлифовальными кругами с конической поверхностью. Получены уравнения контакта задней затылованной боковой поверхности зуба фрезы с конической поверхностью затыловочного круга. Показано изменение погрешности зуба фрезы в зависимости от радиуса, на котором она лежит, и от модуля фрезы. Анализ проведен для правой и левой боковой стороны зуба. Исследованиями показано, что профиль режущей кромки на левой стороне имеет вогнутую форму, а на правой стороне выпуклую. По абсолютным значениям погрешность на правой стороне преобладает погрешность на левой стороне. Проведен анализ погрешности профиля в зависимости от степени переточки фрезы. Предложены способы уменьшения погрешности профиля за счет изменения угла профиля конической поверхности круга.

Проведено аналіз формоутворення бічної сторони зуба черв'ячної фрези шліфувальними кругами з конічною поверхнею. Отримані рівняння контакту задньої затилюваної бічної поверхні зуба фрези з конічною поверхнею затилювального круга. Показано зміну похибки зуба фрези в залежності від радіуса, на якому вона лежить, та від модуля фрези. Аналіз проведено для правої та лівої бічної сторони зуба. Дослідженнями показано, що профіль різальної кромки на лівій стороні має увігнуту форму, а на правій стороні випуклу. За абсолютними значеннями похибка на правій стороні переважає похибку на лівій стороні. Проведено аналіз похибки профілю в залежності від ступеня переточки фрези. Запропоновані способи зменшення похибки профілю за рахунок зміни кута профілю конічної поверхні круга.

The analysis of forming the side of the hob tooth grinding wheels with a conical surface. Equations are obtained contact relieved back side surface of the tooth cutters with conical surface relieving circle. The change of error of tooth cutters, depending on the radius, at which it lies, and from the module cutter. The analysis is performed for the left and right side of the tooth. Studies have shown that the profile of the cutting edge on the left side has a convex shape, and on the right side convex. The absolute values of the error on the right side of the dominant error on the left side. The analysis of the error profile depending on the degree of regrinding mills. Ways of reducing the error profile by changing the angle of the profile of the conical surface of the circle.

Охріменко А. А.

канд. техн. наук, докторант НТУУ «КПИ»

alexhobs77@online.ua

УДК 621.9

Охріменко О. А.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАДНЬОЇ ЗАТИЛОВАНОЇ БІЧНОЇ ПОВЕРХНІ ЗУБА ЧЕРВ'ЯЧНИХ ЗУБОРІЗНИХ ФРЕЗ З ПРЯМИМИ СТРУЖКОРОЗДІЛЬНИМИ КАНАВКАМИ

В сучасному машинобудуванні при обробці зубчастих коліс найбільш поширеним інструментом залишається черв'ячні фрези. Не зважаючи на широку про робленість питань формоутворення такими фрезами зубчастих коліс. На даний час не в повній мірі вирішені питання формоутворення при затилуванні шліфувальним кругом бічних поверхонь зубів фрези. А саме, які похибки профілю зуба фрези виникають при затилуванні конічною поверхнею шліфувального круга і як це впливає на точність самої фрези.

В роботах багатьох дослідників [1–3], це питання вирішується спрощено, без розгляду просторової задачі формоутворення кругом бічної сторони профілю. Також не завжди враховується, що відхилення лівої та правої сторони профілю будуть різні. Не приводиться розподілення похибки затилування по довжині профілю зуба фрези, а тільки максимальне його значення, не вказані зміни профілю зуба фрези при його переточках.

Сучасні вимоги до якості і точності машин складовими яких є зубчасті колеса вимагають підвищені вимоги до інструменту, за допомогою якого їх виготовляють. Тому для забезпечення необхідної точності черв'ячних фрез при їх виготовленні необхідно розглянути просторову задачу формоутворення шліфувальними кругами бічної поверхні черв'ячних зуборізних фрез. Одними із найбільш поширених конструкцій суцільних черв'ячних зуборізних фрез є черв'ячні фрези з прямими стружкороздільними канавками.

Такі фрези більш простіші у своєму виготовленні на відміну від фрез з гвинтовою стружкороздільною канавкою і широко застосовуються при зубофрезеруванні.

Метою роботи є розгляд особливості формоутворення задньої затилованої бічної поверхні зуба конічною стороною шліфувального круга.

Для цього питання розглянемо загальну просторову схему формоутворення бічної сторони зуба фрези.

Задачу точного формоутворення задньої затилованої бічної поверхні вирішувати будемо з врахуванням установочних параметрів конічного інструменту та просторового характеру формоутворення. Для визначення поверхні бічної сторони затилованого зуба розглянемо наступні системи координат (рис. 1), які зображені в початковому стані для черв'ячних фрез з правостороннім напрямком гвинтової лінії витків зубів.

Де $S(X, Y, Z)$ – система зв'язана з фрезою;

$S_3(X_3, Y_3, Z_3)$ – допоміжна система координат, що пов'язана з нормальним перерізом зуба черв'ячної фрези, або западини, відносно, якого орієнтується шліфувальний круг;

$S_4(X_4, Y_4, Z_4)$ – система зв'язана із шліфувальним інструментом, який обробляє ліву половину профілю.

$S_4'(X_4', Y_4', Z_4')$ – система зв'язана із шліфувальним інструментом, який обробляє праву половину профілю.

При вибраних системах координат установочними технологічними параметрами шліфувального круга будуть:

r_{a0} – радіус вершин зубів фрези не переточеної фрези;

r_{m0} – радіус точки, на якій задається товщина зуба або западини фрези;

S_{n0} – товщина зуба або западини фрези на радіусі r_{m0} ;

H – висота ділянки зуба затилованої фрези;

η – кут профілю конічного шліфувального круга;

ε – кут розвороту шліфувального круга;

δ – кут нахилу шліфувального круга;
 a_3 – міжосьова відстань при початковому положенні шліфувального круга;
 a_4 – допоміжний параметр, що визначає положення вершини конічної поверхні шліфувального круга на осі Z_3 .

R_{kr} – найбільший радіус заточного круга в проекції його контакту з найнижчою точкою затилюемого зуба фрези по висоті H .

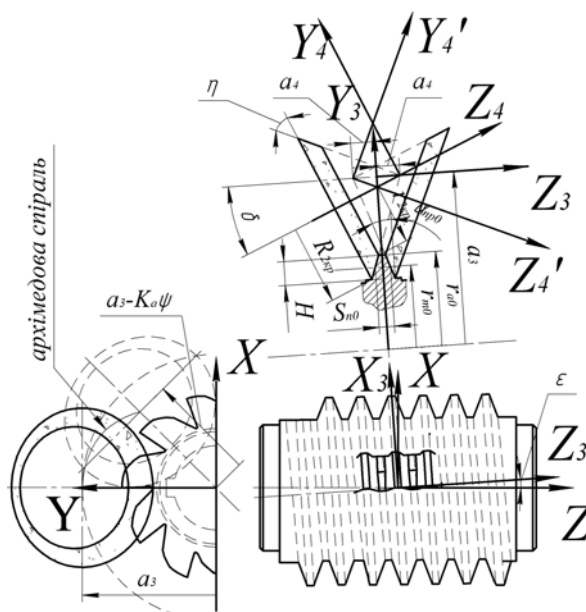


Рис. 1. Схема формоутворення бічної сторони зуба фрези при її затилюванні шліфувальним дисковим інструментом

Зв'язок між системами координат в структурно матричному вигляді запишеться:

$$R = m_{10}m_{03}m_{34}R_4; \quad R' = m_{10}m_{03}m_{34}R_4';$$

$$m_{10} = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -p_0\psi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad m_{03} = \begin{pmatrix} \cos \varepsilon & 0 & \sin \varepsilon & 0 \\ 0 & 1 & 0 & a_3 - K_a\psi \\ -\sin \varepsilon & 0 & \cos \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (1)$$

$$m_{34} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\pm\delta) & \sin(\pm\delta) & 0 \\ 0 & -\sin(\pm\delta) & \cos(\pm\delta) & \pm a_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

де m_{10}, m_{03}, m_{34} – матриці координатних перетворень;

R, R', R_4, R_4' – координати точок затилювального круга в системі координат, пов'язаних з S та $S4$ відповідно для кругів, що обробляють ліву половину профілю та праву половину профілю з індексом «'»;

p_0 – гвинтовий параметр витків черв'ячної фрези;

ψ – параметр, що відповідає за затилювальний рух шліфувального круга;

K_a – величина пропорційна значенню затилювання K ;

знаки \pm в матриці перетворення m_{34} відносяться до кругів, що обробляють ліву та праву сторону профілю зуба фрези.

Рівняння конічної поверхні затилувальних кругів, що обробляють ліву та праву сторону зубів фрези:

$$R_4 = \begin{pmatrix} l \cos t \\ l \sin t \\ -l \tan \eta \\ 1 \end{pmatrix}; R_4' = \begin{pmatrix} l \cos t \\ l \sin t \\ l \tan \eta \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де l – радіус точки затилувального круга, що розглядається;
 t – кутове положення точки на крузі радіуса l , що розглядається.

Установочні параметри a_3 та a_4 розраховуються за наступними залежностями:

$$\begin{aligned} a_3 &= r_{a0} - h_{a0} + (R_{kr} \cos \alpha_{np0} - h_{f0} \cos \eta) / \cos \eta \\ a_4 &= \frac{(R_{kr} \cos \alpha_{np0} - h_{f0} \cos \eta) \operatorname{tg} \alpha_{np0}}{\cos \eta} - \frac{S_{n0}}{2} \\ h_{a0} &= r_{a0} - r_{m0}; h_{a0} = H - (r_{a0} - r_{m0}) \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння контакту при вирішенні задачі знаходження огинаючої запишеться:

$$NV(l, t, \psi) = \begin{vmatrix} \frac{\partial R}{\partial \psi} & \frac{\partial R}{\partial \psi} & \frac{\partial R}{\partial \psi} \\ \frac{\partial R}{\partial l} & \frac{\partial R}{\partial l} & \frac{\partial R}{\partial l} \\ \frac{\partial R}{\partial t} & \frac{\partial R}{\partial t} & \frac{\partial R}{\partial t} \end{vmatrix} = 0; \quad NV'(l, t, \psi) = \begin{vmatrix} \frac{\partial R'}{\partial \psi} & \frac{\partial R'}{\partial \psi} & \frac{\partial R'}{\partial \psi} \\ \frac{\partial R'}{\partial l} & \frac{\partial R'}{\partial l} & \frac{\partial R'}{\partial l} \\ \frac{\partial R'}{\partial t} & \frac{\partial R'}{\partial t} & \frac{\partial R'}{\partial t} \end{vmatrix} = 0. \quad (4)$$

Після підстановки в рівняння (4) залежностей (1), (2) спрощення та перетворень рівняння контакту в розгорнутому вигляді будуть:

– для лівої частини профілю зуба:

$$\begin{aligned} & - \sin \delta (\sin \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \eta \sin t (a_3 - K_a \psi) + a_4) + \cos \varepsilon (l \sec^2 \eta \cos t - p_0 \operatorname{tg} \eta \sin t) + K_a) + \\ & + \cos \delta (\sin \varepsilon (K_a \psi - a_3) + \operatorname{tg} \eta \sin t (a_4 \sin \varepsilon + K_a) + p_0 \cos \varepsilon) + \\ & + \operatorname{tg} \eta \cos t (\cos \varepsilon (a_3 - K_a \psi) + p_0 \sin \varepsilon) + l \sin \varepsilon \sec^2 \eta \sin t = 0; \end{aligned} \quad (5)$$

– для правої частини профілю зуба:

$$\begin{aligned} & \sin \delta (\operatorname{tg} \eta \sin t (-a_3 \sin \varepsilon + K_a \psi \sin \varepsilon + p_0 \cos \varepsilon) - a_4 \sin \varepsilon + l \cos \varepsilon \sec^2 \eta \cos t + K_a) - \\ & - \cos \delta (-a_3 \sin \varepsilon + \operatorname{tg} \eta \sin t (a_4 \sin \varepsilon - K_a) + K_a \psi \sin \varepsilon + p_0 \cos \varepsilon) - \\ & - \operatorname{tg} \eta \cos t (\cos \varepsilon (a_3 - K_a \psi) + p_0 \sin \varepsilon) + l \sin \varepsilon \sec^2 \eta \sin t = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Отримані залежності рівняння контакту будемо вирішувати чисельно, рівняння (5)–(6) мають 3 незалежні змінні l, t, ψ тому для вирішення рівняння контакту необхідно задавати значення 2-х із трьох незалежних змінних і вирішувати його відносно третьої незалежної змінної. Для цього при вирішенні рівняння контакту будемо фіксувати значення змінних l та ψ .

Значення l – відповідає за радіус точки на крузі і тому воно буде лежати в межах $[r_{kr}, R_{kr}]$, де r_{kr} – найменший радіус робочої частини шліфувального круга, яка приймає участь у затилуванні зуба фрези. Значення ψ відповідає за затилувальний рух інструменту, для того щоб круг обробив свою сторону зуба фрези він в площині XY (рис. 1) його рух буде виглядати ,

як рух по архімедовій спіралі, кут повороту круга навколо осі O пропорційно коловому кроку зубів плюс величина перебігу круга. Задаючись змінами параметрів l та ψ фіксуючи їх значення вирішуємо рівняння контакту (5), (6) відносно параметру t . Знайдені значення параметрів l , t , ψ підставляємо в рівняння (1), (2) і отримуємо координати точок бічної поверхні зуба черв'ячної фрези, яка утворена при її затилуванні конічною поверхнею шліфувального круга.

При затилуванні зубів черв'ячних фрез використовуються в основному 3 різні схеми, вони наведені на рис. 2.

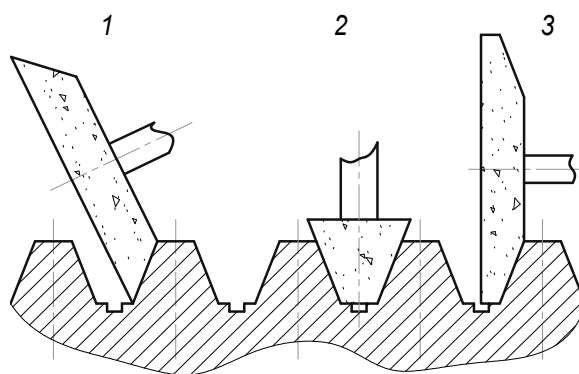


Рис. 2. Схеми установки шліфувальних кругів при затилуванні

Для випадку рис. 2 (1), який є загальною схемою, кут установки круга вибирається за залежністю $\delta = \eta - \alpha_{np0}$; рис. 2 (2) $\delta = -90^\circ$; рис. 2 (3) $\eta = \alpha_{np0}$ $\delta = 0^\circ$.

Рівняння контакту для частинних випадків рис. 2 (2), 2 (3) будуть:

– схема рис. 2 (2) права та ліва сторона профілю:

$$-\cos(\varepsilon + t)(\operatorname{tg} \eta (a_3 - K_a \psi) + l \sec^2 \eta) + a_4 \sin \varepsilon - p_0 \operatorname{tg} \eta \sin(\varepsilon + t) - K_a = 0; \quad (7)$$

– схема рис. 2 (3):

– права сторона профілю зуба:

$$\begin{aligned} & \sin \varepsilon (a_3 - \operatorname{tg} \eta (a_4 \sin t + p_0 \cos t) - K_a \psi + l \sec^2 \eta \sin t) - \\ & - \cos \varepsilon (\operatorname{tg} \eta \cos t (a_3 - K_a \psi) + p_0) + K_a \operatorname{tg} \eta \sin t = 0; \end{aligned} \quad (8)$$

– ліва сторона профілю зуба:

$$\begin{aligned} & \operatorname{tg} \eta (\cos \varepsilon \cos t (a_3 - K_a \psi) - \sin t (a_4 \sin \varepsilon + K_a) + p_0 \sin \varepsilon \cos t) + \\ & + \sin \varepsilon (a_3 - K_a \psi + l \sec^2 \eta \sin t) - p_0 \cos \varepsilon = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

За наведеними моделями для прикладу було проведено аналіз формоутворення конічною стороною круга (рис. 3) з кутом профілю 20° , діаметр круга 125 мм, параметри фрези $m = 10$ мм, зовнішній діаметр фрези 150 мм (кл. А), величина затилування $K = 6$ мм, кут розвороту шліфувального круга відповідає куту підйому гвинтової лінії витків фрези на діляльному циліндрі, $\delta = 0$ (рис. 2 (3)), що відповідає загальноприйнятим параметрам установки при затилуванні таких фрез.

За розрахунками лінія контакту конічної поверхні круга з затилуваною задньою бічною поверхнею зуба фрези є просторовою лінією. Переріз цієї поверхні осьовою площиною дає різальну кромку фрези, розрахунки параметрів цієї кромки наведені та відхилення її профілю згідно f_{f0} ГОСТ 9324-80 (Фрезы червячные чистовые) наведені на рис. 4–7.

В загальному випадку рис. 4 після затилування різальна кромка фрези з лівого боку має увігнутий профіль, а з правого випуклий. За чисельними значеннями (рис. 5–7) відхилення від прямолінійності з правої сторони більше ніж з лівої сторони. При чому, якщо формо утворювати

кругами встановленими в нормальному перерізі з кутом профілю 20° величини відхилення відходять за межі допусків на відхилення профілю фрези від прямолінійності для лівої та правої сторони.

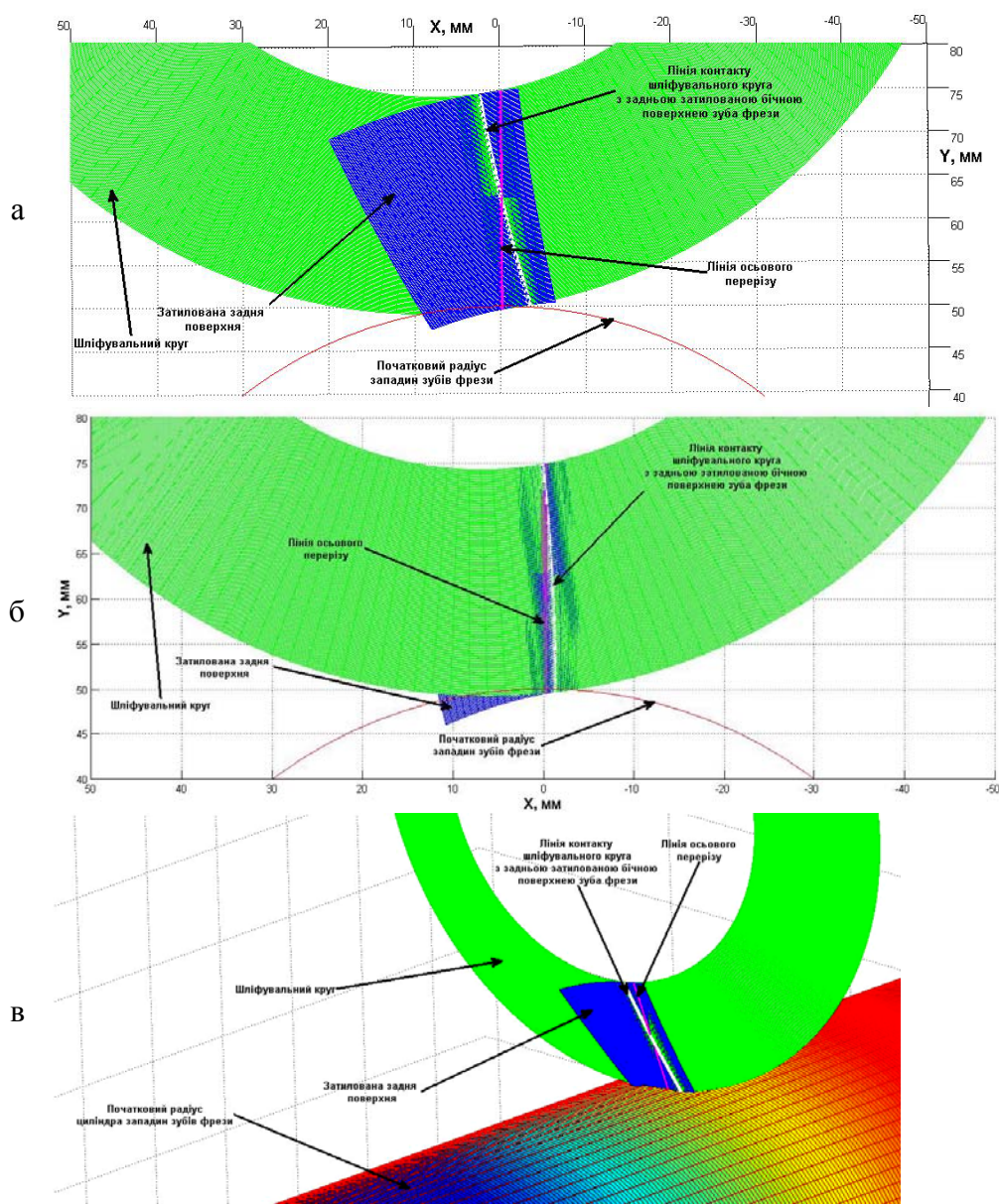


Рис. 3. Формоутворення конічною стороною круга з кутом профілю 20° , діаметр круга 125 мм, параметри фрези $m = 10$ мм, зовнішній діаметр фрези 150 мм (кл. А), величина затилування $K = 6$ мм, кут розвороту шліфувального круга відповідає куту підйому гвинтової лінії витків фрези на ділильному циліндрі, $\delta = 0$:

а – права сторона зуба; б – ліва сторона зуба; в – просторове розташування розрахованих поверхонь

При переточках змінюється діаметр фрези і як наслідок змінюється профіль зуба фрези, ця зміна за максимальною похибкою профілю показана на рис. 8. для фрези $m = 10$, $da = 150$, $K = 8,5$, круг $Dkr = 125$, $\eta = 20^\circ$.

За розрахунками на прикладі фрези з параметрами $m = 10$, $da = 150$, $K = 8,5$, круг $Dkr = 125$, $\eta = 20^\circ$ отримали, що при зменшенні діаметру фрези похибки профілю на правій стороні зуба зростають, а на лівій стороні зменшуються не суттєво. Тому в процесі експлуатації необхідно контролювати профіль фрези після переточок.

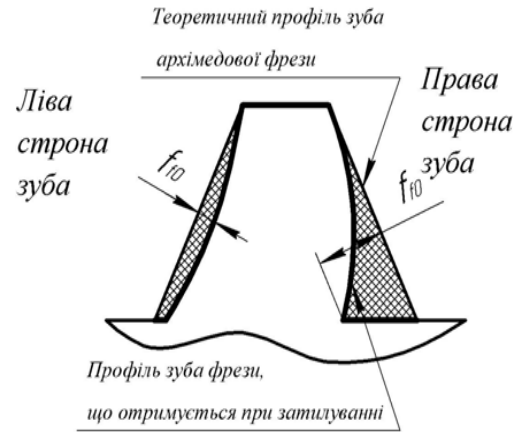


Рис. 4. Похибки профілю зуба фрези при затилуванні конічною поверхнею круга

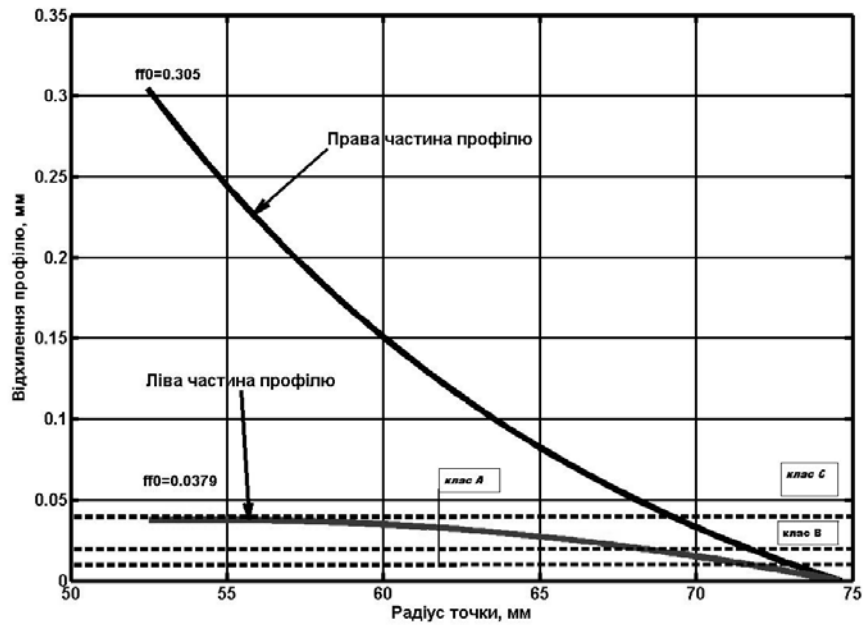


Рис. 5. Похибка профілю для фрези $m = 10$, $da = 150$, $K = 8,5$, круг $Dkr = 125$, $\eta = 20^\circ$

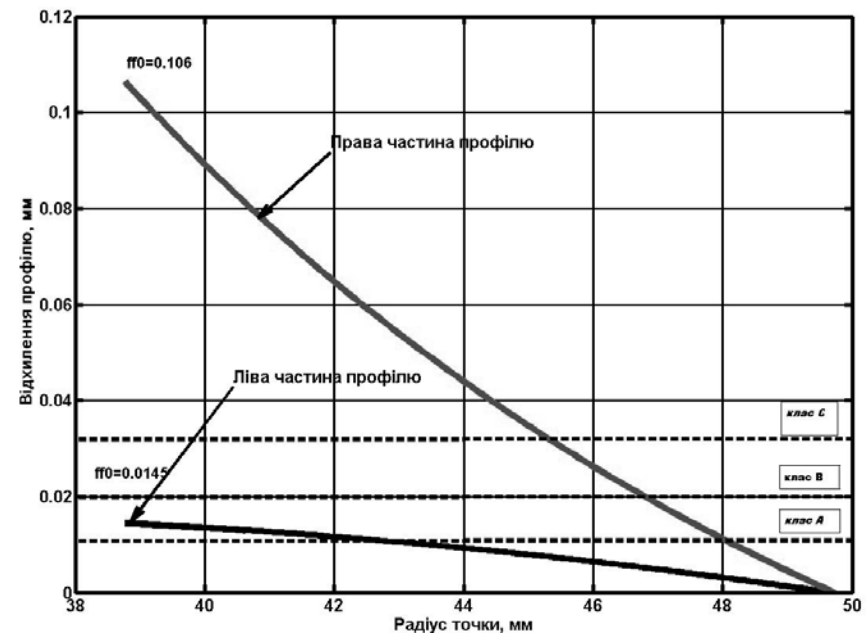


Рис. 6. Похибка профілю для фрези $m = 5$, $da = 100$, $K = 5$, круг $Dkr = 100$, $\eta = 20^\circ$

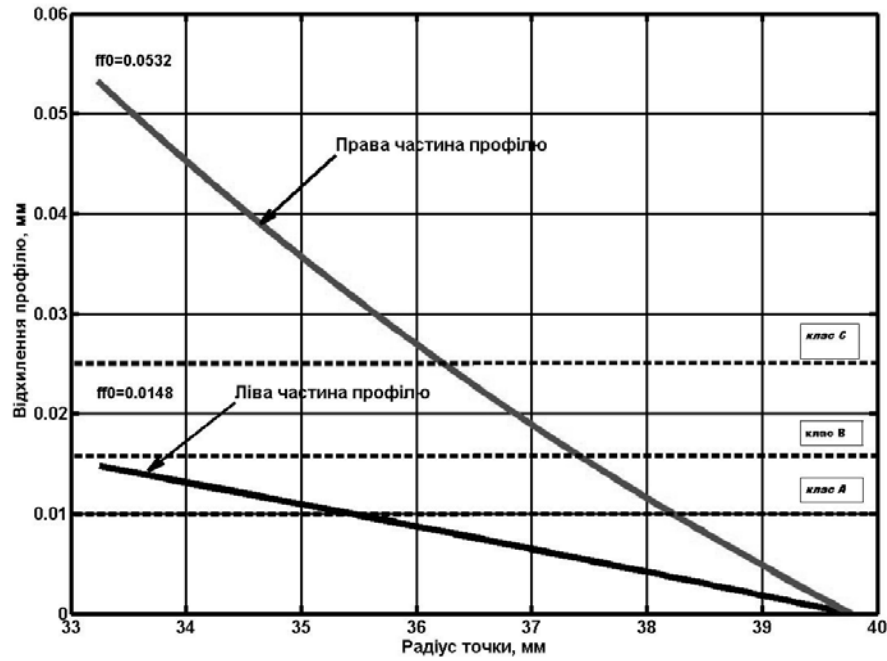


Рис. 7. Похибка профілю для фрези $m = 3$, $da = 80$, $K = 4$, круг $Dkr = 80$, $\eta = 20^\circ$

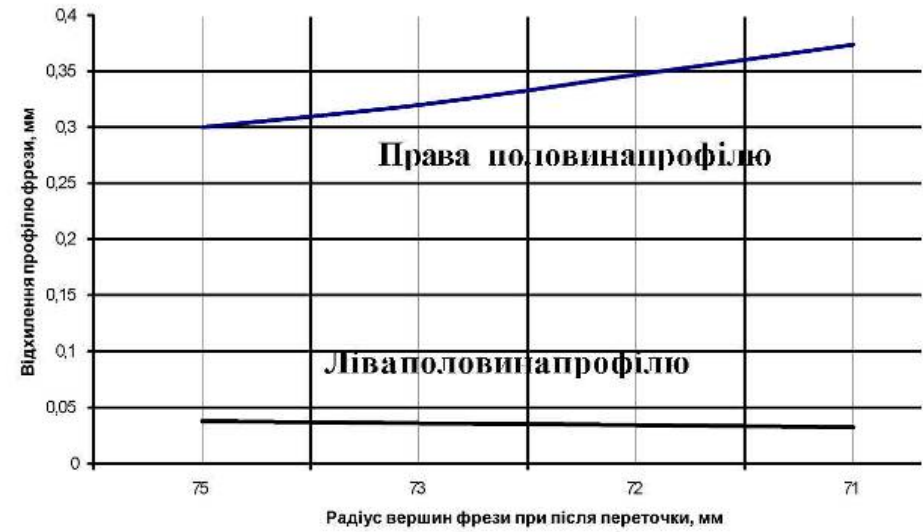


Рис. 8. Похибка профілю при переточках для фрези $m = 10$, $da = 150$, $K = 8,5$, круг $Dkr = 125$, $\eta = 20^\circ$

З аналізу відхилень профілю бічної сторони зубів фрези, відхилення у вершини та ніжки зуба різні за своїми значеннями, тому для зменшення їх абсолютних значень їх можна перерозподілити – вирівняти між собою для цього можна змінювати η – кут профілю конічного шліфувального круга, в заточному верстаті це реалізується механізмом правки. Був проведений аналіз зміни кута профілю конічного шліфувального круга та вплив його похибки профілю зуба фрези (рис. 9) на прикладі фрези з параметрами $m = 10$, $da = 150$, $K = 8,5$, круг $Dkr = 125$.

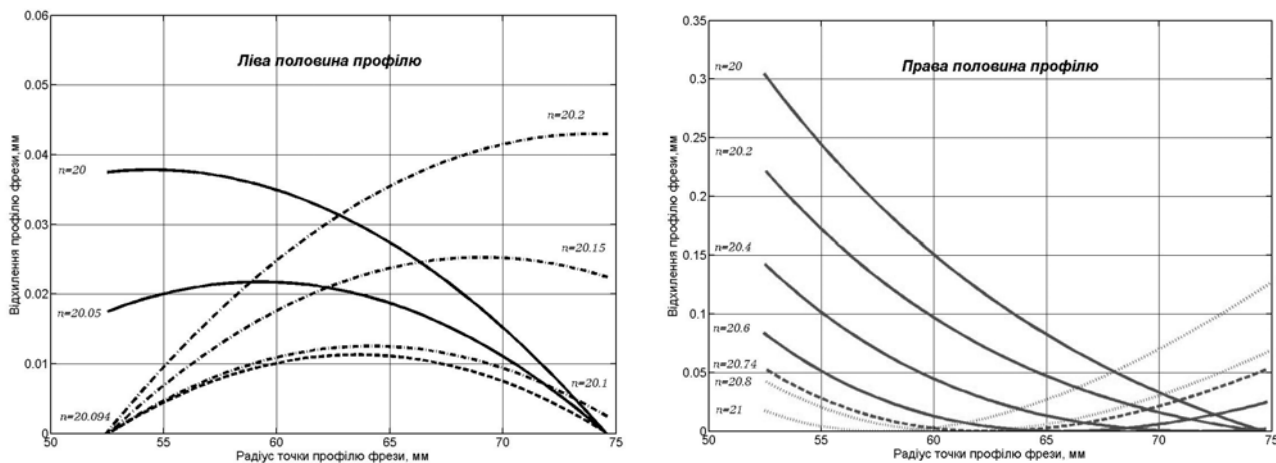


Рис. 9. Похибка профілю для фрези $m = 10$, $da = 150$, $K = 8,5$, круг $Dkr = 125$, в залежності від кута профілю конічного шліфувального круга

За результатами розрахунків показано, що можна зменшити відхилення профілю зуба фрези за рахунок зміни η – кута профілю конічного шліфувального круга, на прикладі фрези $m = 10$, $da = 150$, $K = 8,5$, круг $Dkr = 125$ (рис. 8). Однак, для лівої частини профілю можна зменшити відхилення до величини, що менша за відхилення профілю згідно ГОСТ 9324-80 для фрез класу А, то для правої частини профілю це не можливо, тому необхідно для отримання необхідної точності профілю застосовувати додаткові способи [2].

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз формоутворення бічної сторони зуба черв'ячної фрези шліфувальними кругами з конічною поверхнею. Отримані рівняння контакту задньої затилованої бічної поверхні зуба фрези з конічною поверхнею затилувального круга. Показано зміну похибки зуба фрези в залежності від радіуса, на якому вона лежить, та від модуля фрези. Аналіз проведено для правої та лівої бічної сторони зуба. Дослідженнями показано, що профіль різальної кромки на лівій стороні має увігнуту форму, а на правій стороні випуклу. За абсолютними значеннями похибка на правій стороні переважає похибку на лівій стороні. Проведено аналіз похибки профілю в залежності від ступеня переточки фрези. Пропонується для зменшення похибки профілю перерозподіляти її на вершині та у ніжки зуба фрези – вирівнюючи їх за своїми значеннями за допомогою зміни кута профілю конічного шліфувального круга.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лагутин С. А. Шлифование винтовых и затылочанных поверхностей / С. А. Лагутин, А. И. Сандлер. – М. : Машиностроение, 1991. – 112 с.
2. Лагутин С. А. Производство червячных передач / С. А. Лагутин, А. И. Сандлер. – М. : Машиностроение, 2008. – 324 с.
3. Полохин О. В. Нарезание зубчатых профилей инструментами червячного типа: справочник / О. В. Полохин, А. С. Тарапанов, Г. А. Харламов; под. ред. Г. А. Харламова. – М. : Машиностроение, 2007. – 240 с.

Стаття надійшла до редакції 17.10.2011 р.