

УДК 621.922.04

Н.С. Равська, д-р техн. наук,
О.А. Охріменко, канд. техн. наук, Київ, Україна

АНАЛІЗ ГЕОМЕТРІЇ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ НА ПРИКЛАДІ ВИЗНАЧЕННІ КУТА В ПЛАНІ ПРИ НАРІЗАННІ ПРЯМОЗУБИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

В роботі описано методику визначення геометрії різальної частини черв'ячних фрез, як конволютних так і аріхмедових на прикладі нарізання зубчастих прямозубих коліс. Дослідженнями встановлено, що швидкість головного руху при зубофрезеруванні є швидкість відносного руху при взаємному обертанні фрези та колеса, а швидкість подачі є рух фрези в вздовж осі колеса. На базі розробленої методики проаналізовано зміну статичного кута в плані вздовж лінії зачеплення, проведено аналіз в залежності від кута повороту фрези навколо своєї осі, а також проведено дослідження впливу числа кількості зубів, що нарізаються на зміни кута в плані вздовж всієї різальної кромки.

В работе описана методика определения геометрии режущей части червячных фрез, как конволютных, так и арихмедовых на примере нарезания зубчатых прямозубых колес. Исследованиями установлено, что скорость главного движения резания при зубофрезеровании есть скорость относительного движения при взаимном вращении фрезы и колеса, а скорость подачи является движение фрезы в вдоль оси колеса. На базе разработанной методики проанализированы изменение статического угла в плане вдоль линии зацепления, проведен анализ в зависимости от угла поворота фрезы вокруг своей оси, а также проведено исследование влияния числа, количества зубов нарезаются на изменения угла в плане вдоль всей режущей кромки.

The article describes a technique for determining the geometry of the cutting part of hobs, as well as convoluting arihmedovich the example of gear cutting spur gears. Research has established that the speed of the main motion for gear milling is the relative velocity of the mutual rotation of the cutter and the wheels, and the feed rate to the mill is the movement along the axis of the wheel. On the basis of the developed technique to analyze changes in the static tool cutting edge angle the line in terms of engagement, the analysis depending on the angle of rotation around its axis milling, and studied the effect of the number of teeth cut into the changes in terms of the angle along the cutting edge.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Геометричні параметри різальної частини інструмента мають велике значення для підвищення продуктивності обробки, збільшення стійкості інструмента, поліпшення якості обробленої поверхні та підвищення вібростійкості технологічної системи. Точність обробки заданої поверхні деталі також залежить від геометричних параметрів різальної

частини інструмента. Визначення геометричних параметрів різальної частини інструмента дано в ДСТУ 22498-93.

Вплив на працездатність інструменту залежить від значень кута в плані φ . Від кута в плані φ залежить активна довжина різальної кромки, товщина зрізу, величина і напрям рівнодіючої зусилля різання, із зменшенням кута в плані стійкість інструменту і продуктивність обробки підвищується головним чином із-за зменшення товщини зрізу [1]. Проте зменшення кутів в плані φ приводить до збільшення радіальної складової зусилля різання, внаслідок чого зростає небезпека виникнення вібрацій при обробці різцями і фрезами. Тому при конструюванні різальних інструментів потрібно вибирати доцільні значення величини кутів в плані φ , що забезпечують обробку без низькочастотних вібрацій. Слід також враховувати, що через зростання радіальної сили різання при зменшенні кутів, що становить, в плані відповідно знижується точність обробки.

Зубчасті колеса широко використовуються у всіх галузях машинобудування. Найбільше застосування серед існуючих методів нарізання зубчастих коліс знайшов метод зубофрезерування черв'ячними фрезами. Аналіз вітчизняних та зарубіжних досліджень показує, що підвищення точності коліс та ефективності їх виготовлення на даному етапі розвитку вирішення цих питань здійснюється на основі інформаційних технологій, здатних забезпечити високий рівень як автоматизованого проектування, так і виробництва. Проте на даному етапі розвитку теорії проектування черв'ячних фрез через непроробленість деяких питань з аналізу працездатності фрез не можна повністю забезпечити на стадії проектування впливу конструктивних параметрів інструменту і параметрів процесу зубофрезерування на точність і працездатність черв'ячних фрез. Однією з таких характеристик є значення кута в плані в для будь-якої точки різальної кромки довільного зуба черв'ячної фрези, що приймає участь в роботі, що потребує досліджень у цьому напрямку.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

З аналізу існуючих публікацій [1,2,3] дослідження геометрії різальної частини черв'ячних фрез велись тільки для визначення та аналізу переднього та заднього кута точки різальної кромки зуба фрези, що розглядається, роботи по визначенню кута в плані відсутні. Зазвичай при визначенні кута в плані для черв'ячних фрез робилось припущення, що він відповідає куту в плані для звичайної циліндричної фрези при периферійному фрезеруванні, що не зовсім вірно.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

В роботі пропонується методика визначення кута в плані довільного зуба черв'ячної фрези на прикладі зубофрезерування прямозубих зубчастих коліс.

ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОГО КУТА В ПЛАНІ

Згідно ДСТУ 22498-93 статичний кут в плані φ_c це кут в основній площині P_{Vc} між площиною різання P_{nc} та робочою площиною P_s .

Відповідно статичний кут в плані буде визначається:

$$\cos \varphi_c = \frac{\vec{N}_{P_s} \cdot \vec{N}_{P_{nc}}}{\left| \vec{N}_{P_s} \right| \cdot \left| \vec{N}_{P_{nc}} \right|}, \quad (1)$$

де: N_{P_s} – вектор нормалі до робочої площини, $N_{P_{nc}}$ – вектор нормалі до статичної площини різання.

Згідно визначення робочої площини P_s відповідно до стандарту робоча площина задається положення вектора подачі S і вектора головного руху різання V_c , тоді вектор нормалі до робочої площини запишеться наступним чином:

$$\vec{N}_{P_s} = \vec{S} \times \vec{V}_c, \quad (2)$$

Положення статичної площини різання P_{nc} в точці різальної кромки, що розглядається згідно стандарту визначається вектором головного руху різання V_c і дотичною до різальної кромки в цій точці T , звідки нормаль до площини різання визначається:

$$\vec{N}_{P_{nc}} = \vec{T} \times \vec{V}_c, \quad (3)$$

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕКТОРА ШВИДКОСТІ ГОЛОВНОГО РУХУ РІЗАННЯ І ВЕКТОРА ПОДАЧІ

Основною проблемою при визначенні статичного кута в плані є визначення вектора швидкості головного руху різання. Для цього необхідно проаналізувати кінематичні рухи інструменту та заготовки використовуємо схему наведену [2] (рис.1). При зубофрезеруванні фреза та колесо здійснюють наступні рухи: обертання навколо своїх осей; рух обкату тобто зміна параметрів φ_{01} , φ_{03} , де кути повороту φ_{01} , φ_{03} , зв'язані між собою наступною залежністю $i_{12} = \varphi_{01} / \varphi_{03} = 1/Zk$, (i_{12} -передаточне відношення пари фреза-колесо ланцюга обкату на верстаті); рух фрези вздовж осі колеса – рух подачі, тобто зміна параметра ψ_0 .

Відповідно до схеми на рис.1 маємо наступні системи координат і установочні параметри: $S(X,Y,Z)$ – система зв’язана з верстатом; $S_1(X_1,Y_1,Z_1)$ – система зв’язана з фрезою; $S_2(X_2,Y_2,Z_2)$ – допоміжна система координат; $S_3(X_3,Y_3,Z_3)$ – система зв’язана з колесом, що нарізається; A – міжосьова відстань; γ_{01} – кут розвороту фрези.

Згідно ДСТУ 22498-93 головний рух різання це прямолінійний або обертовий рух заготовки або різального інструменту, що відбувається з найбільшою швидкістю. Згідно цього визначення головним рухом різання є рух обертання фрези, а рухи обертання заготовки-колеса та рух фрези вздовж осі колеса повинні бути віднесені до руху подачі. Однак це не зовсім вірно, так як рух обертання колеса жорстко пов’язаний з рухом обертання фрези то при визначенні головного руху різання їх необхідно враховувати аналогічно прикладу шевінгування дисковими шеверами де головний рух різання є результат двох обертів шевера і деталі.

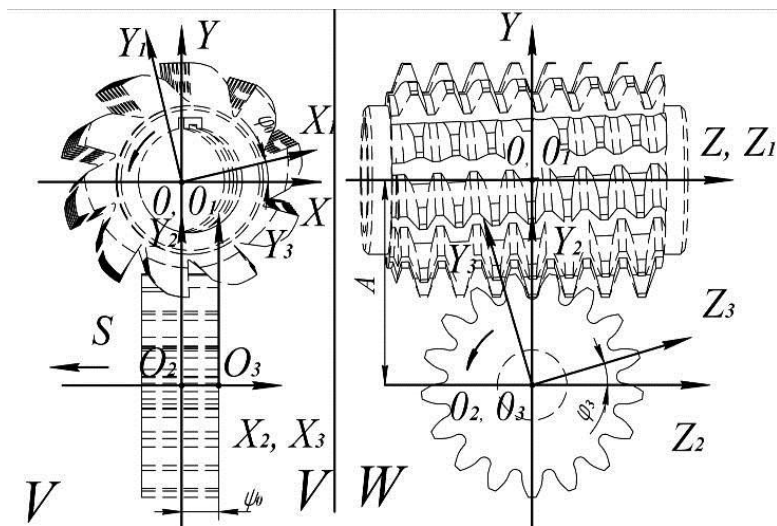


Рисунок 1 – Схема зубофрезерування черв’ячною фрезою

Головний рух різання при зубофрезеруванні є відносна швидкість руху точки на зубі фрези по відношенню до точки на зубчастому колесі, що значить від вектора лінійного руху точки при її обертанні навколо осі фрези необхідно відняти вектор лінійного руху точки при обертанні навколо осі колеса. А отже швидкість головного руху при зубофрезеруванні є швидкість відносного руху при взаємному обертанні

фрези та колеса. Рівняння вектора швидкості для черв'ячних фрез з лівим напрямком витків зубів запишеться наступним чином [2]:

$$V_c = \begin{pmatrix} -R_y(1 + i_{12} \sin \gamma_{01}) - A i_{12} \sin \gamma_{01} \\ R_x(1 + i_{12} \sin \gamma_{01}) - R_z i_{12} \cos \gamma_{01} \\ (R_y + A) i_{12} \cos \gamma_{01} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де: R_x, R_y, R_z – координати точки на різальній кромці зуба фрези в системі $S(X,Y,Z)$.

Вектор подачі в системі координат $S(X,Y,Z)$ запишеться наступним чином:

$$S = \begin{pmatrix} \mp S_p \frac{i_{12} \cos \gamma_{01}}{2\pi} \\ 0 \\ \mp S_p \frac{i_{12} \sin \gamma_{01}}{2\pi} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де: S_p – значення осьової подачі фрези, мм/об.

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯННЯ РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ ФРЕЗИ І ДОТИЧНОЇ ДО НЕЇ

Різальна кромка фрези складається з 5-ділянок (рис.2.) тому необхідно отримати рівняння, що описує кожну ділянку зуба фрези.

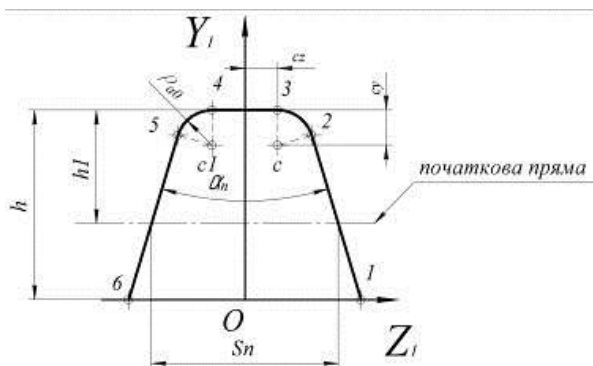


Рисунок 2 – Профіль зуба черв'ячної фрези

Рівняння, що описує дискретну поверхню фрези, візьмемо з роботи [5] запишемо його в розгорнутому вигляді з в системі $S(X,Y,Z)$ враховуючи кут повороту фрези навколо своєї осі φ_{01} :

$$\begin{aligned}
 R_{1_{12}} &= \begin{pmatrix} u \cos \alpha_n \cos(t + \varphi_{01}) - (A_1 - u \sin \alpha_n) \sin \beta_1 \sin(t + \varphi_{01}) \\ u \cos \alpha_n \sin(t + \varphi_{01}) + (A_1 - u \sin \alpha_n) \sin \beta_1 \cos(t + \varphi_{01}) \\ pt + (A_1 - u \sin \alpha_n) \cos \beta_1 \end{pmatrix}; \\
 R_{1_{23}} &= \begin{pmatrix} (c_y + \rho_{a0} \sin \mu) \cos(t + \varphi_{01}) - (c_z + \rho_{a0} \cos \mu) \sin \beta_1 \sin(t + \varphi_{01}) \\ (c_y + \rho_{a0} \sin \mu) \sin(t + \varphi_{01}) + (c_z + \rho_{a0} \cos \mu) \sin \beta_1 \cos(t + \varphi_{01}) \\ pt + (c_z + \rho_{a0} \cos \mu) \cos \beta_1 \end{pmatrix}; \\
 R_{1_{34}} &= \begin{pmatrix} r_{a0} \cos(t + \varphi_{01}) - u_1 \sin \beta_1 \sin(t + \varphi_{01}) \\ r_{a0} \sin(t + \varphi_{01}) + u_1 \sin \beta_1 \cos(t + \varphi_{01}) \\ pt + u_1 \cos \beta_1 \end{pmatrix}; \\
 R_{1_{45}} &= \begin{pmatrix} (c_y + \rho_{a0} \sin \mu) \cos(t + \varphi_{01}) - (-c_z + \rho_{a0} \cos \mu) \sin \beta_1 \sin(t + \varphi_{01}) \\ (c_y + \rho_{a0} \sin \mu) \sin(t + \varphi_{01}) + (-c_z + \rho_{a0} \cos \mu) \sin \beta_1 \cos(t + \varphi_{01}) \\ pt + (-c_z + \rho_{a0} \cos \mu) \cos \beta_1 \end{pmatrix}; \\
 R_{1_{56}} &= \begin{pmatrix} u \cos \alpha_n \cos(t + \varphi_{01}) - (-A_1 + u \sin \alpha_n) \sin \beta_1 \sin(t + \varphi_{01}) \\ u \cos \alpha_n \sin(t + \varphi_{01}) + (-A_1 + u \sin \alpha_n) \sin \beta_1 \cos(t + \varphi_{01}) \\ pt + (-A_1 + u \sin \alpha_n) \cos \beta_1 \end{pmatrix}; \quad (6)
 \end{aligned}$$

де, r_{a0} – радіус вершин зубів фрези;

ρ_{a0} – радіус заокруглень при вершині фрези;

α_n – кут профілю твірної зуба фрези;

β_1 – кут розташування твірного перерізу в якому знаходиться різальна кромка фрези, для архімедових фрез $\beta_1=0$ для конволютих фрез β_1 дорівнює куту підйому гвинтової лінії на ділильному циліндрі;

u, μ, u_1 – параметри, що відповідають за положення точки на різальній кромці відповідної ділянки межі їх зміни беремо[5];

p – гвинтовий параметр поверхні фрези;

t – параметр, що відповідає за положення зуба на гвинтовій лінії витків фрези і змінюється дискретно пропорційно до кількості зубів фрези на колі, кожному зубу фрези відповідає своє фіксоване значення цього параметру;

c_y, c_z – параметри розташування центрів округлення вершини зуба, розраховуються за [5];

A_1, B_1 – параметри розташування профілю зуба фрези симетрично відносно осі координат, розраховуються за [5].

Дотична до різальної кромки T у вибраній точці знайдеться, як частинна похідна по незалежних змінних параметрах u, u_1, μ :

$$\begin{aligned} T &= \frac{\partial R_1}{\partial u} - \text{для прямолінійних ділянок;} \\ T &= \frac{\partial R_1}{\partial \mu} - \text{для округлених ділянок} \end{aligned} \quad (7)$$

ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОГО КУТА В ПЛАНІ АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Знайдені рівняння швидкості головного руху різання, подачі, дотичної до різальної кромки (4, 5, 6, 7) підставляємо в рівняння (1, 2, 3) і розраховуємо значення статичного кута в плані.

В загальному визначення статичного кута в плані будемо вести за наступним алгоритмом: 1. Вхідні параметри: фрези, колеса; 2. Визначення кількості працюючих зубів n та їх параметру $t_j, j=1 \dots n$ [5]; 3. Вибір зуба який буде розглядатись – фіксоване значення параметру t_j . 4. Вибір точки на різальній кромці на зуба з відповідним параметром u_j , або μ_j ; 5. Розрахунок для цієї точки положення вектора нормалі до робочої площини N_{ps} . 6. Розрахунок для цієї точки положення вектора нормалі d до площини різання N_{pnc} . 7. За знайденими значеннями вектора нормалі до робочої площини N_{ps} і вектора нормалі d до площини різання N_{pnc} і розраховуємо (1) статичний кут в плані φ_c .

На рис. 3 показано зачеплення зубчастого колеса з ВІП (вихідною інструментальною поверхнею) конволютної черв'ячної фрези в момент формування точки зуба фрези, яка знаходиться по середині вершинної кромки зуба розрахунки проводились за [2].

Для положення зуба на рис.3 було розраховано статичний кут в плані по всій довжині зуба рис.4.

З отриманих результатів статичний кут в плані завжди дорівнює нулю (рис.4) в точці в якій відбувається формотворення профілю зубчастого колеса, це пояснюється тим, що в цій точці виконується система рівнянь контакту [3], а значить вектор відносної швидкості, який є головним рухом різання і вектор подачі, що за напрямком співпадає з вектором відносної швидкості руху другого рівняння контакту, а дотична до різальної кромки задає положення нормалі до ВІП фрези і тому в точках в яких відбувається формотворення кут в плані завжди буде дорівнювати нулю. Кут в плані для цього положення зуба приймає нульові значення не тільки в положенні

профілюючої точки для зуба, але існують на профілі зуба і інші точки де значення статичного кута в плані приймає нульові значення (рис.4).

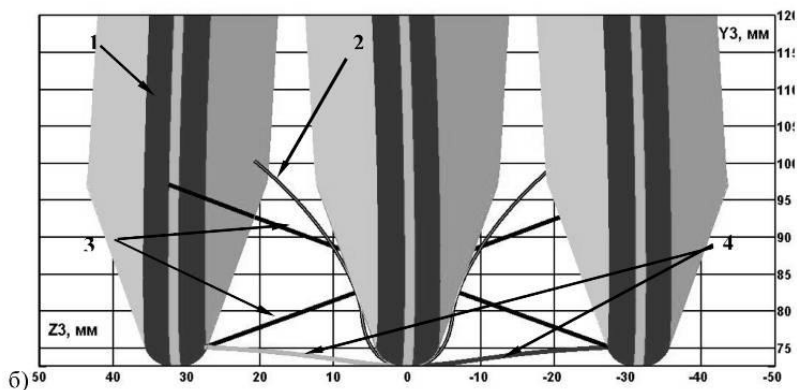
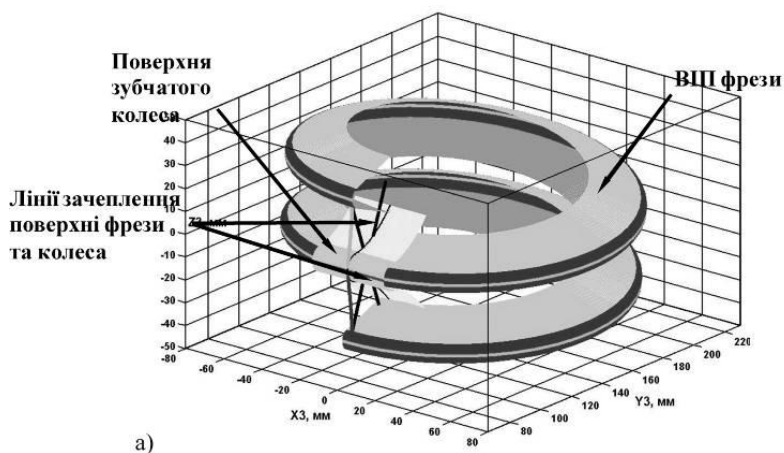


Рисунок 3 – Формоутворення поверхні прямозубого не коригованого зубчатого колеса: $m=10$, $Z_k=17$, $d_a=150$, $\gamma_{01}=4.589^0$, фреза конволютна,

а) зачеплення фреза – колесо у просторі,

б) проекція картини зачеплення на торцеву площину колеса.

1 – профіль зубчатого колеса, 2 – ВПП фрези, 3 – лінії зачеплення бічних сторін, 4 – лінії зачеплення заокруглень при вершині.

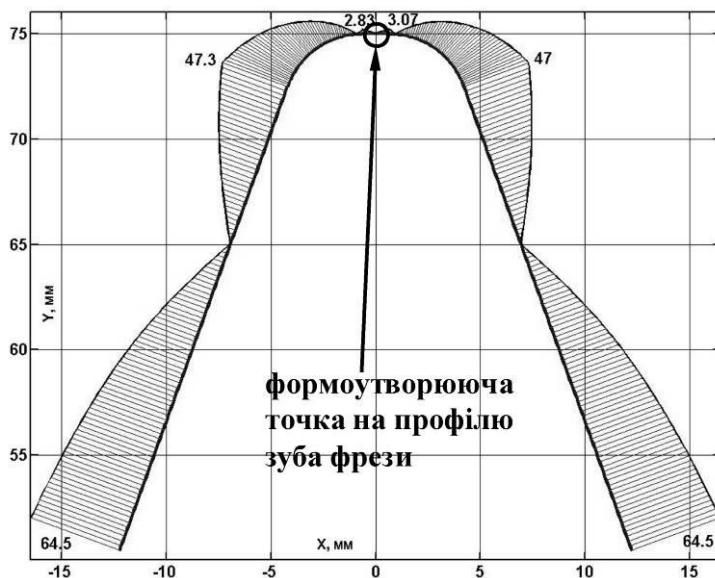


Рисунок 4 – Епюра розподілення статичного кута в плані для положення зуба фрези коли показаного на рис.3. $m=10$, $Z_k=17$, $d_a=150$, $\gamma_{o1}=4.589^0$, фреза конвольютна

Розглянемо зміну статичного кута в плані при формоутворенні бічної сторони зуба колеса бічною стороною зуба фрези (рис.5), для прикладу наведено нарізання колеса $m=10$, $Z_k=17$, $d_a=150$, $\gamma_{o1}=4.589^0$, фреза конвольютна.

За результатами розрахунків поки зуб фрези знаходиться в просторі де відбувається формоутворення профілю зуба колеса то статичний кут в плані суттєво змінюється вздовж різальної кромки при чому обов'язково на різальній кромці будуть присутні точки в яких значення кута в плані дорівнює нулю.

Розглянемо зміну значень статичного кута в плані в залежності від кута повороту зуба фрези в момент часу різання (рис.6,7). На рис.6 показано напрям векторів подачі при попутному і зустрічному зубофрезеруванні і підрахунок кута повороту фрези, кути що відповідають врізанню фрези при попутній подачі кут повороту φ_{o1} – зі знаком мінус, при зустрічній зі знаком плюс.

З аналізу результатів розрахунку (рис.7) кута в плані від кута повороту найбільші зміни значень кута відбуваються в межах значень кута $\varphi_{o1}[-10^0, 0^0]$, це має важливе значення для фрези, яка працює методом попутної подачі так як в цей час зуби знімають основний припуск матеріалу і формують профіль

колеса, а для фрез, що працюють методом зустрічної подачі це не так важливо тому що в такому кутовому положенні зубів вони вже не приймають участь у процесі різання.

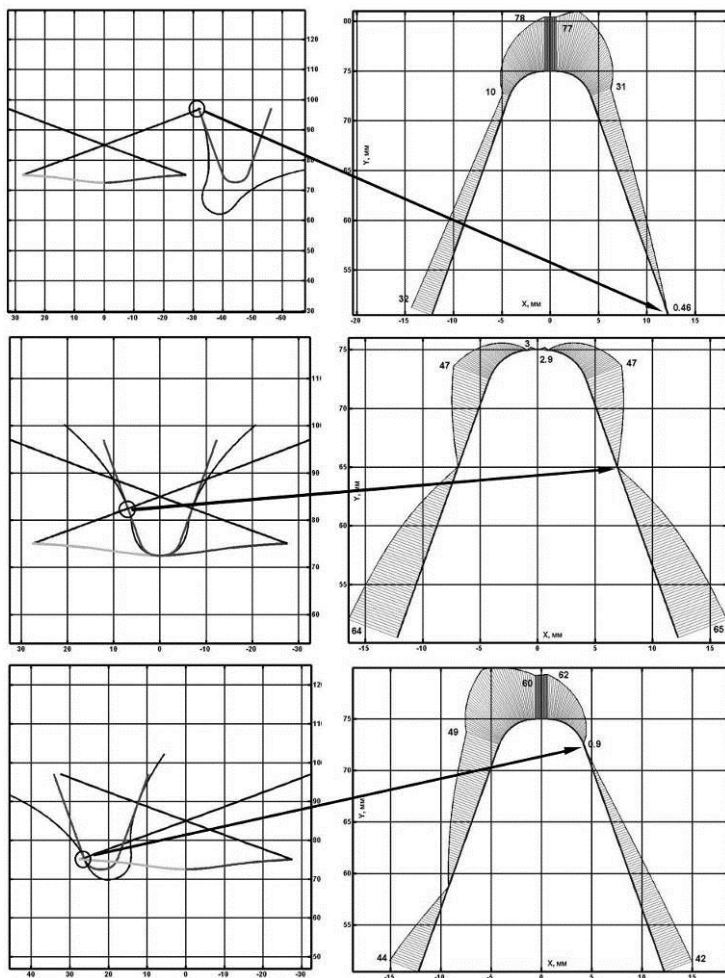


Рисунок 5 – Епюра розподілення статичного кута в плані для зубів фрези при формуванні бічного профілю зуба колеса $m=10$, $Z_k=17$, $d_a=150$, $\gamma_{01}=4.589^\circ$, фреза конволіутна в залежності від розташування зуба фрези на лінії зачеплення

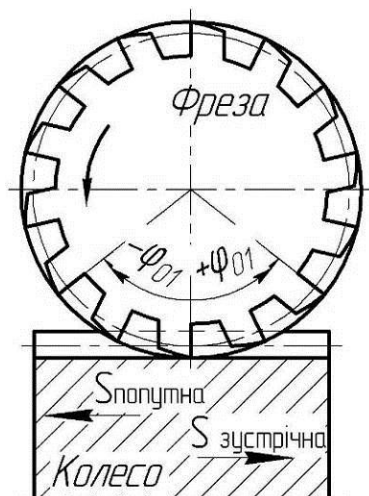


Рисунок 6 – Підрахунок кута повороту фрези при зубофрезеруванні

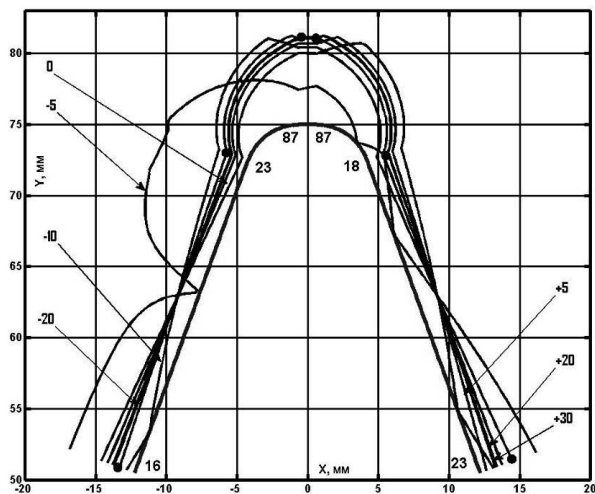


Рисунок 7 – Епюра розподілення статичного кута в плані для зубів фрези в залежності від кута повороту зуба фрези, зуб знаходиться зі сторони входу в зачеплення і його параметр відповідає 11 зуба фрези від центрального:

$m=10$, $Z_k=17$, $Z_f=10$, $d_a=150$, $\gamma_{01}=4.589^\circ$, фреза конволіутна

З аналізу результатів розрахунку (рис.7) кута в плані в залежності від кута повороту зуба фрези найбільші зміни значень кута відбуваються в межах значень кута $\varphi_{01}[-10^0, 0^0]$, це має важливе значення для фрези, яка працює методом попутної подачі так як в цей час зуби знімають основний припуск матеріалу і формують профіль колеса, а для фрез, що працюють методом зустрічної подачі це не так важливо тому що в такому кутовому положенні зубів вони вже не приймають участь у процесі різання.

На рис.8 показано зміну статичних кутів в плані в залежності від числа зубів, що нарізуються некоригованого колеса на прикладі фрези $m=10$, $Z_f=10$, $d_a=150$, $\gamma_{01}=4.589^0$, фреза конволютна, розглядається 11-й вхідний зуб в положенні $\varphi_{01}=0^0$, коли він максимально заглиблений в заготовку.

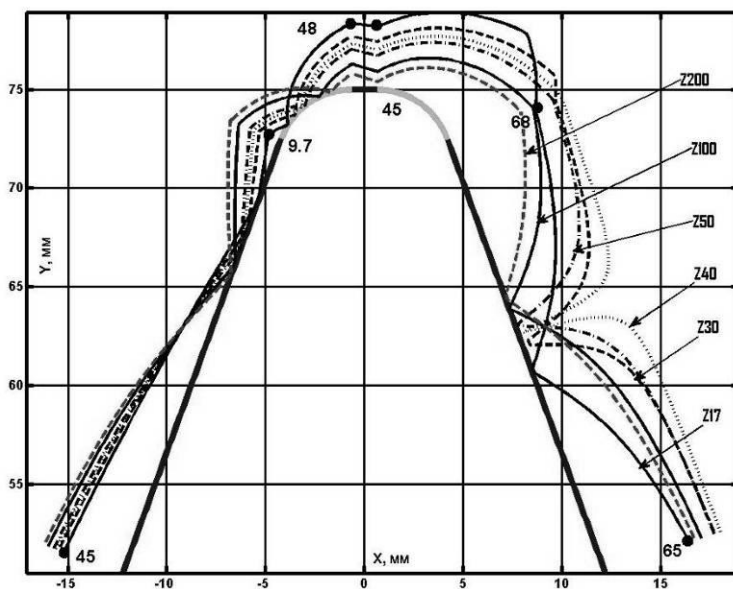


Рисунок 8 – Епюра зміни статичних кутів в плані в залежності від числа зубів, що нарізуються некоригованого колеса на прикладі фрези $m=10$, $Z_f=10$, $d_a=150$, $\gamma_{01}=4.589^0$, фреза конволютна, розглядається 11-й вхідний зуб в положенні $\varphi_{01}=0^0$

Значення статичні кутів в плані на вхідному зубі вхідної бічної кромки зуба фрези збільшуються за своїми в діапазоні від 17 до 50 зубів, а далі починають зменшуватись, на вихідній бічній кромці вони в порівнянні з вхідною не так значно зменшуються, аналогічно це відноситься і до кромки

заокруглень зуба при вершині. При чому на вхідній кромці заокруглення зуба при вершині для малих чисел зубів кут в плані в деяких точках може досягати за своїм значенням 90^0 , що дає змогу казати про в цій точці зуба фрези відбувається процес класичного периферійного фрезерування згідно ДСТУ 22498-93.

ВИСНОВОК І ПЕРСПЕКТИВИ

В дані роботі запропонована методика визначення статичного кута в плані довільного зуба у довільній точці різальної кромки черв'ячної фрези на прикладі зубофрезерування прямозубих зубчастих коліс. Дослідженнями встановлено, що швидкість головного руху при зубофрезеруванні є швидкість відносного руху при взаємному обертанні фрези та колеса, а швидкість подачі є рух фрези в вздовж осі колеса.

Проаналізовано зміни кута в плані по довжині лінії зачеплення фрези з колесом. Встановлено, що при розташуванні зуба фрези так, що кромка зуба перетинає лінію зачеплення статичний кут в плані завжди за своїм значенням буде рівним нулю. За результатами розрахунків отримано, що суттєвих змін за своїм значенням цей кут зазнає при куту повороту на врізання для випадку попутної подачі. І в залежності від числа зубів нарізає мого колеса найбільші зміни цього кута відбуваються на вхідному зубі вхідної бічної кромки зуба фрези збільшуються за своїми в діапазоні від 17 до 50 зубів, а далі починають зменшуватись, на вихідній бічній кромці вони в порівнянні з вхідною не так значно зменшуються.

Дана методика і результати необхідні для оцінки можливої працездатності черв'ячних фрез так, як за допомогою значень кута в плані можна розрахувати параметри завантаження різальної кромки інструменту, однак це потребує подальших досліджень в цьому напрямку.

Список використаних джерел: 1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник /Мазур М.П., Внуков Ю.М., Доброскок В.Л., Залога В.О., Новосьолов Ю.Л., Якубов Ф.Я./ – Львів: Новий Світ, 2010 – 422 с. 2. Богуслаєв В.О. Формоутворення черв'ячних зуборізних фрез/Богуслаєв В.О., Равська Н.С., Качан О.Я., Балушок К.Б., Мозговий В.Ф., Охріменко О.А. //, - Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2007 р. – 179 с. 3. Грицай І.Є. Теоретико – прикладні основи комплексних наукових досліджень процесу нарізання зубчастих коліс./ Грицай І.Є. // – Львів: СПОЛОМ 2009 р. – 254 с. 4. Крайтман П.И. Исследование процесса резания червячными фрезами./ Крайтман П.И., Юликов М.И., Введенская Н.П // – М.: ВНИИ, 1949. – 56 с. 5. Равська Н.С., Охріменко О.А. Визначення товщини зрізу при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами зубчастих коліс. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №28, 2011. – С.3-12.

Надійшла до редколегії 02.07.2013