

Грицай І.Є., Громнюк С.І., Кук А.М.

Національний університет "Львівська політехніка"

ПАРАМЕТРИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ЗРІЗІВ В РАДІАЛЬНО-ОБКочУВАЛЬНОМУ СПОСОБІ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС З ОСЬОВОЮ ПОДАЧЕЮ

© Грицай І.Є., Громнюк С.І., Кук А.М., 2014

Розроблено математичні залежності для дослідження процесу різання і формоутворення в радіально-коловому способі нарізання зубчастих коліс дисковою фрезою. Наведено результати теоретичного аналізу параметрів зрізів – товщини і площі поперечного перерізу та експериментального дослідження зношування дискової фрези в процесі нарізання зубчастих коліс

Mathematical dependences are worked out for research of cutting process and formation in the radial-circle method of gear-wheels cutting by a disk milling cutter. Results over of theoretical analysis of cuts parameters - thickness and area of transversal cut and experimental research of wear of disk milling cutter are brought in the process of cutting of gear-wheels

Актуальність задачі У кожному методі обробки різанням параметри зрізуваних шарів – форма, розміри і періодична зміна в циклі обробки відповідно до схеми різання, час контакту інструменту з заготовкою в періодичному різанні, розподілення припуску між лезами та зубцями багатозубого інструменту несуть повну інформацію про даний процес. Ці закономірності зумовлюють та відображають складні статичні і динамічні деформаційні, контактні, силові і теплові процеси і явища на інструментальних поверхнях. Визначення параметрів зрізів є першим кроком вивчення процесу різання у відповідному методі обробки та основою для дослідження сили різання і тертя, теплоту процесу і температуру різання, інтенсивність зношування інструментів тощо.

Відомий радіально-коловий спосіб нарізання зубчастих коліс тонкими дисковими фрезами на обкочувальному зубофрезерному верстаті при неперервному діленні-обкочуванні – «спосіб Благута» [1], за яким нарізаються синусоїдальні колеса. Цей спосіб придатний для виготовлення коліс будь-якого профілю, в тому числі евольвентного при зміні закону радіального зворотно-поступального періодичного руху дискової фрези, наприклад з допомогою системи ЧПК верстата, або використанням кулачкового сліdkуючого пристрою.

Як і в черв'ячному зубофрезеруванні, параметри зрізів дискової фрези визначають коливання сили за оберт фрези і роботу різання, величину теплоутворення, нагрівання і спрацювання інструменту, інтенсивність коливань і вібрацій, точність обробки та якість утворених поверхонь. Проте, внаслідок малої товщини дискової фрези її зубці, порівняно із масивними та жорстким зубцями черв'ячної фрези зазнають великих теплових і силових навантажень, а сама дискова фреза схильна до підвищених пружних деформацій та коливань, особливо в осьовому напрямку.

Оскільки параметри зрізів у цьому способі ще мало вивчені, ставиться задача дослідити їх закономірності та вплив на силу різання, що необхідно для комплексного описання, математичного моделювання і оптимізації технологічного процесу зубонарізання та конструкції інструментів.

Метою роботи є встановлення закономірностей процесу різання і формоутворення та параметрів зрізів дискової фрези в радіально-коловому способі як основи для комплексного та системного дослідження процесу зубообробки в цьому способі.

Виклад основного матеріалу. В більшості із методів обробки, які характеризуються простою кінематикою (точіння, стругання, протягування тощо) параметри зрізів визначаються на основі елементарних розрахункових схем. Проте в процесах зубонарізання за методом неперервного обкочування з діленням у формоутворенні бере участь велика кількість зубців і лез,

параметри зрізів на яких неперервно змінюються в циклі обробки, а їх точне визначення в кожен момент часу різання є складною задачею. Западини між зубцями колеса формуються в циклі, який охоплює часткові процеси попереднього різання десятками зубців з трьома лезами – вершинними та двома боковими. Форма і розміри зрізів відмінні на кожному зубці і лезі та змінюються за час контакту з заготовкою, при цьому на лінії зачеплення може діяти одночасно декілька зубців інструменту. В таких умовах визначення параметрів зрізів на основі спрощених розрахункових схем, якими ще до цього часу користуються на практиці черв'ячного зубонарізання, не має сенсу та не відображає суті складних процесів, що протікають в робочих зонах зубонарізних інструментів.

Для моделювання параметрів зрізів в обкочувально-радіальному способі (РК-способі) використано основні положення, розроблені для черв'ячного зубофрезерування [2, 3]. У цій методиці різання інструменту в будь-який момент часу і у довільній точці робочого простору здійснюється в перехідній поверхні між сформованою формою впадини і необробленою поверхнею заготовки, що представлена у виді перехідної поверхні. Ця поверхня утворюється контурами зубців, які здійснювали різи в попередніх циклах взаємного переміщення, приведених до лінійного і кутового положення даного зубця, а їх переріз визначає миттєву форму та розміри перерізу зрізу для цього зубця. Для прикладу, як формується миттєвий переріз зубця черв'ячної фрези на гвинтовій поверхні у певному повороті його передньої поверхні відносно заготовки, на рис.1 наведено множину перерізів, яка визначає його форму і розміри зрізу.

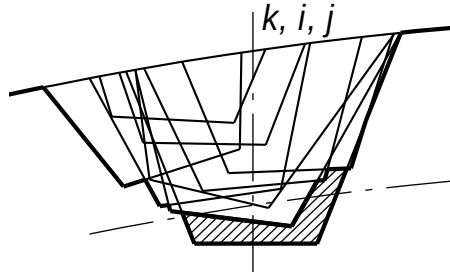


Рис. 1. Утворення миттєвого перетину зрізу одним із зубців черв'ячної фрези в його певному кутовому і лінійному положенні у зоні різання

Для моделювання параметрів зрізів дискової фрези в РК-способі неперервного зубонарізання необхідно встановити, як впливає кінематика цього способу на формування миттєвого перерізу зрізів. Результируючий рух різання-формування складається з обертання фрези навколо осі з центром в т. O_r - руху різання; руху колової подачі - неперервного обертання заготовки в русі обкочування навколо т. $O_{кн}$ (конструктивний рух); руху інструменту в осьовій подачі (рис.2, рис.3), де O_r , $O_{кн}$ - точки геометричної та кінематичної осей фрези.

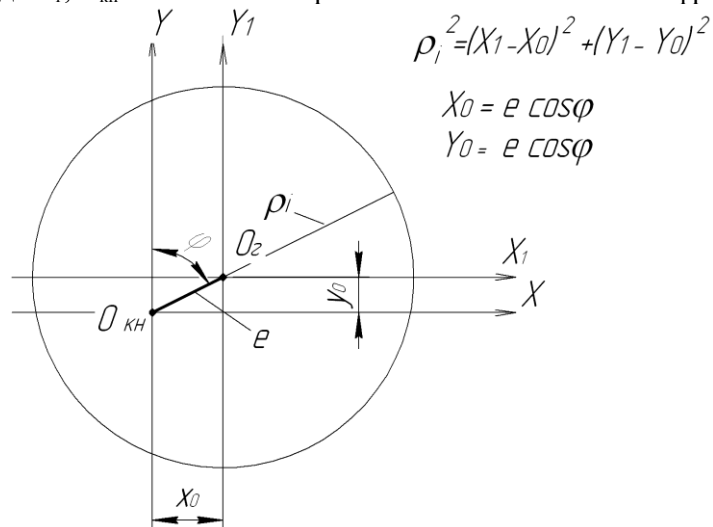


Рис. 2. Миттєвий радіус-вектор i -го зубця дискової фрези відносно базової системи координат XO_kY

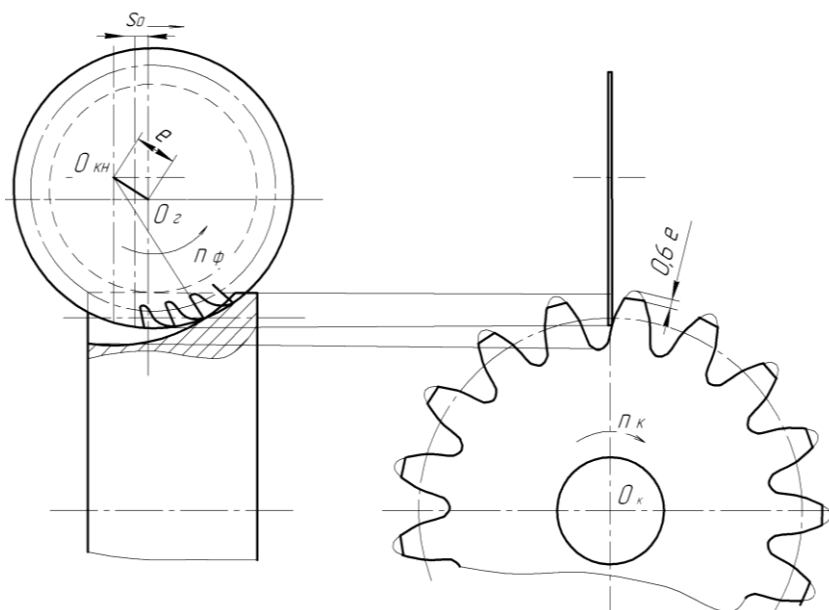


Рис. 3. Схема формоутворення і різання в РК-способі

В проміжному положенні фрези перехідна поверхня розглядається утвореною даним, i -м зубцем, з миттєвим радіусом виступів ρ_i ; цим же зубцем у попередньому по осьовій подачі фрези положенні $s_{o_{i-1}}$, що має такий же миттєвий радіус: $\rho_i = \rho_{(i-1)s}$ (рис.4, а), а також попереднім по подачі на зубець фрези $s_{z_{i-1}}$ зубцем з радіусом виступів $\rho_{(i-1)\phi}$ (рис.4, а), слід якого повернений у напрямку обертання заготовки на одиничний кут обкочування $\psi = \frac{360}{Z_K \cdot Z_\phi}$ (рис.5), при цьому:

$$x_i = (R_{a\phi} + e \cdot \cos \varphi_i) \cdot \cos \frac{\varphi_i}{Z_K}; \quad (1)$$

$$y_i = (R_{a\phi} + e \cdot \cos \varphi_i) \cdot \sin \frac{\varphi_i}{Z_K}; \quad (2)$$

$$\rho_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}, \quad (3)$$

При різанні в одній впадині кут повороту фрези φ змінюється від 0 до 2π з кроком $\tau_{\phi p} = \frac{360}{Z_\phi}$, де Z_ϕ , Z_K – кількість зубців фрези та колеса, відповідно. При такому описанні

кінематики неперервний процес різання розглядається в дискретних фіксованих фазах, в яких відтворюються взаємні послідовні положення фрези і заготовки в русі різання, обкочування і осьової подачі.

Параметри зрізів змінюються в межах дуги контакту зубця з заготовкою. Товщина зрізів на вершинному лезі зростає від нульового значення до максимального, що відповідає куту Φ повороту фрези, а на виході зубця з контакту з заготовкою знову зменшується до нуля. Значення кута Φ , що змінюється на кожному зубці внаслідок ексцентриситету, при розгляді даної та попередньої по осьовій подачі положеннях фрези рівне:

$$\Phi_i = \arctg \frac{\Delta x_i}{\rho_{\min}}, \quad (4)$$

де $\rho_{\min} = R_{a\phi} - e$;

Величина Δx_i визначається із умови перетину кіл, що мають миттєві радіуси вершин виступів зубців ρ_i та ρ_{i-1} з поверхнею заготовки зубчастого колеса в площині різання, що збігається з осью площини фрези.

Координати перетину прямої $y = \rho_{\min} = R_{a\phi} - e$ з колом миттєвого радіусу ρ_i , яке перебуває в попередньому по осьовій подачі положенні $s_{o_{i-1}}$:

$$\Delta x_i = \sqrt{\rho_{i-1}^2 - \rho_{\min}^2} - \frac{s_o}{Z_{\phi p}}; \quad (9)$$

$$y' = \rho_i - \rho_{i-1}. \quad (10)$$

Результати моделювання.

Дослідження параметрів різання та графіки виконані з допомогою електронних таблиць Excel на основі залежностей (1-10), які описують миттєві положення і величини радіус-векторів зовнішнього діаметра фрези у послідовних кутах її повороту через одиничний кут обкочування та їх перетину з характерними поверхнями заготовки. Товщина зрізу визначається в точці виходу зубця з заготовки на куті Φ , де вона має найбільше на довжині дуги контакту значення при різанні з зустрічною подачею.

На рис. 6-10 наведені залежності товщини зрізів на вершинному лезі по куту повороту фрези від модуля, осьової подачі, максимальної товщини від кількості зубців фрези; ширини зрізів боковим входним лезом ($D_{af} = 200$ мм, $s_o = 2$ мм/об. $m = 2,5$ мм) та сумарної площі зрізів на вершинних і бокових лезах фрези.

З наведених графіків виходить, що найбільш навантаженими зубцями фрези є не ті, що розташовані на максимальному ексцентриситеті, як це здавалося б, виходячи з руху фрези, яка встановлена ексцентрично, за синусоїдальним законом, а дві групи зубців, розташованих на кутах повороту в ділянці 90° - 130° і 180° - 250° (залежно від параметра зрізів). Ці групи зубців знімають найбільшу за площею перерізу стружку та будуть зазнавати найінтенсивнішого зношування. Подібна картина спостерігається також для інших діапазонів робочих режимів та параметрів фрези і колеса. Вихідні леза фрези практично не беруть участі в усуненні припуску із впадин між зубцями коліс і працюють частиною висоти, що мало відрізняється від товщини на вершинних лезах.

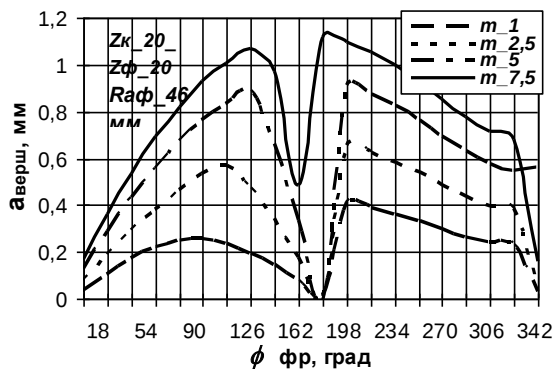


Рис.6. Залежність товщини зрізів вершинного леза від модуля

Осьова подача 2 мм/об.; $Z_k = 20$; $Z_{\phi p} = 20$; $Da_{\phi} = 92$ мм; ширина вершинного леза фрези 2 мм; передавальне число мультиплікатора 3

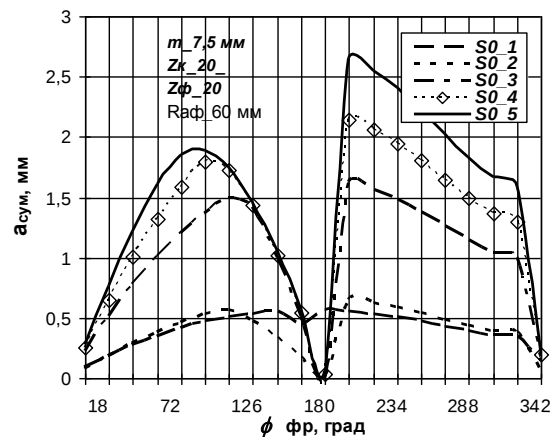


Рис.7. Залежність товщини зрізів вершинного леза від осьової подачі

$m = 7,5$ мм; $Da_{\phi} = 150$ мм

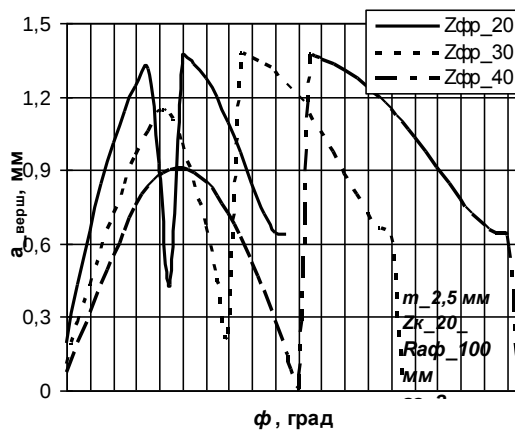


Рис.8. Залежність товщини зрізів вершинного леза від кількості зубців фрези
подача $S_o = 2,5$ мм/об. колеса; $Z_k = 35$; $Da_{\phi} = 120$ мм; $m = 7,5$ мм

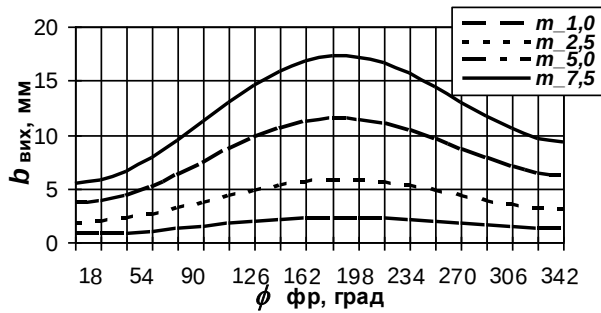


Рис. 9. Залежність ширини зрізів на бокових входних лезах від модуля
подача $S_o = 5 \text{ мм/об. колеса}$; $Z_k = 35$;
 $Z_{фр} = 20$; $D_{a_ф} = 120 \text{ мм}$;

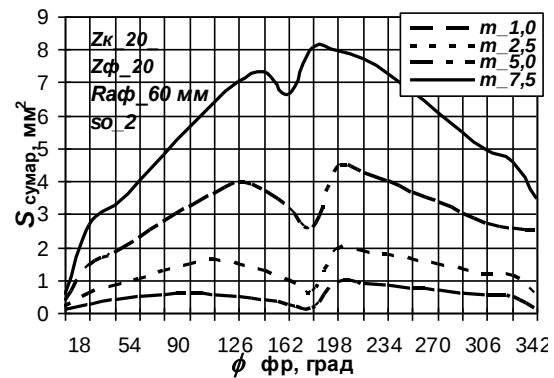
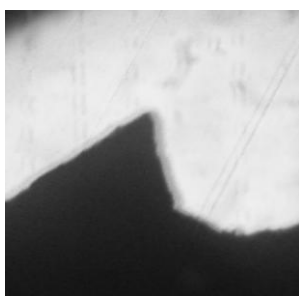


Рис. 10. Залежність сумарної площі зрізів від модуля

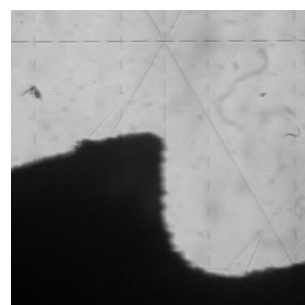
Експериментальні дослідження. Отримані дані узгоджуються з експериментальними результатами, отриманими при нарізанні прямозубого колеса модулем 2,5 мм і кількістю зубців 56 дисковою фрезою (матеріал - Р6М5; $D_{aф} = 160 \text{ мм}$; $s_o = 2 \text{ мм/об.}$; $Z_{ф} = 64$, рис.). Вимірювання з допомогою інструментального мікроскопа мод. підтверджує зношування дискової фрези на ділянках, де теоретичні значення товщини і площі поперечного перерізу зрізів є максимальними. На рис. 11 показано зубець, що працює на ділянці повороту фрези 185° (а) та зубець на ділянці 210° (б), величина зношування по задній поверхні становить 0,55 мм.



Рис. 11. Нарізання зубчастого колеса дисковою фрезою в умовах неперервного обточування на зубофрезерному верстаті мод. 5E32



а



б

Рис. 12. Зношування зубців дискової фрези

Висновки

1. Розроблена методика та визначено розрахункові схеми для встановлення параметрів зрізів дискової фрези в радіально-коловому способі нарізання зубчастих коліс. Отримані дані становлять основу для комплексного і системного дослідження процесу різання у даному способі зубообробки.

2. Основні положення розробленої методики та отримані залежності для розрахунку параметрів зрізів підтверджені аналізом закономірностей зношування зубців фрези, що відповідають їх розрахунковому навантаженню.

3. Встановлено кути повороту дискової фрези та ділянки різання, на які припадають найбільші товщина зрізуваного шару та площа поперечного перерізу зрізів. Найбільш навантаженими зубцями дискової фрези за параметрами зрізів є не ті, що розташовані на ділянці максимального ексцентриситету, а зубці на ділянках, наближених до величини e_{max} на підході до максимального ексцентриситету та відразу після його проходження.

1. Патент України №73550: МПК7 В23Р15/14: Благут Е.М. Спосіб нарізки зубчастих коліс синусоїдальної передачі Благута. Бюл. № 8, 2005 р. 2. Грицай І.Є. Моделювання параметрів зрізів, сил та моментів під час нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами. Машинознавство. N7, 1998. С.19-23. 3. Грицай І.Є., Афтаназів І.С. Підвищення ефективності двохперехідного нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезам з модифікованим профілем // Вестник Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". Машиностроение. Выпуск 40. Київ – 2001. С. 140 - 149.