УДК 621.833
Громнюк С.І., інженер

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОНЕРІВНОСТЕЙ ЗУБЧАСТИХ ПОВЕРХОНЬ В РАДІАЛЬНО-КОЛОВОМУ СПОСОБІ ЗУБОНАРІЗАННЯ

Актуальність проблеми. В приводах сучасних транспортних машин зубчасті колеса та передачі працюють в умовах високих швидкостей та значних навантажень силами і моментами, а робочі поверхні зубців зазнають дії дуже великих контактних тисків, інтенсивного тертя, теплового впливу та зношування. В таких умовах основною умовою високих експлуатаційних властивостей цих деталей є якість їх виконання - комплексний показник, який охоплює розмірну точність поверхонь, макро- та мікронекрівності, поверхневу твердість, глибину залягання і знак напружень на поверхнях контакту. Високі вимоги до зубчастих коліс, які безперервно зростають, зумовлюють пошук нових ефективних технологій їх виготовлення, зміцнення та чистової обробки.

Одним із перспективних напрямків удосконалення та підвищення ефективності цих процесів є радіально-коловий спосіб зубооброблення (РК-спосіб). Його суть полягає в нарізанні зубчастих поверхонь дисковим інструментом – тонкою відрізною фрезою при неперервному обкочуванні, як це є у черв’ячному зубофрезеруванні та на аналогічному обладнанні. Проте, на відміну від черв’ячної фрези, яка повинна мати той же модуль, що й нарізувані нею зубчасті колеса, одну дискову фрезу можна використовувати для широкого діапазону модулів шляхом зміни ексцентриситету при її установці, тому цей спосіб є високоефективним, матеріало- та ресурсоощадним [1-3]. На сьогодні цей спосіб і його технологія ще недостатньо теоретично обґрунтовані для можливості його широкого впровадження, зокрема, не встановлено як впливають умови процесу на формування параметрів шорсткості робочих поверхонь.

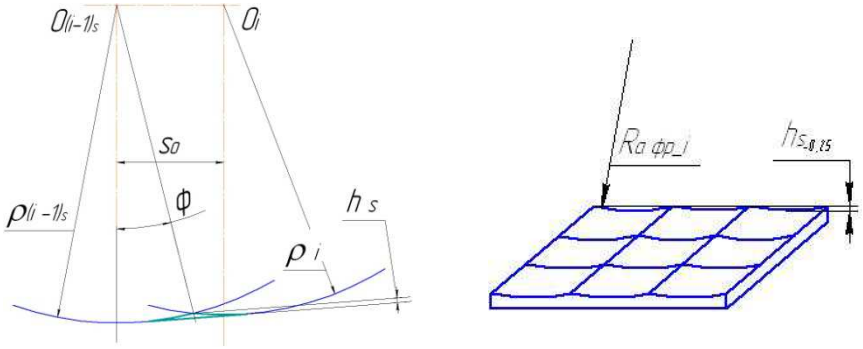
Метою даної статті є дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів радіально-колового способу на якість нарізання зубчастих коліс.

Виклад основного матеріалу. Під час форомування зубчастих профілів дисковою фрезою на утвореній поверхні зубця залишаються сліди від поверхні різання здовж осі впадини (в осьовій площині

колеса), а також в радіальній площині, паралельній торцю колеса. Перше відхилення на утворюваній поверхні виникає внаслідок осьового переміщення інструменту, а друге – внаслідок обертання заготовки зубчастого колеса та дискретності різів багатозубчастим інструментом при неперервному обкочуванні.

Мікронерівності поверхні внаслідок осьової подачі.

Вказане відхилення зображене на рис.1. На відміну від черв'ячної фрези «брижі» на поверхні від дискової фрези в РК-способі мають змінну висоту внаслідок зміни ексцентриситету по куту повороту фрези та її миттєвого радіусу ρ_i. На рис.1, а показано сліди двох різів фрези, зміщених в часі на величину осьової подачі s_o на ділянці врізання, де $\rho_i < \rho_{(i-1)s}$., а на рис.1, б – фрагмент поверхні зубця, який містить цю похибку.



а б

Рисунок 1 - Мікровідхилення на поверхні зубця внаслідок осьової подачі

Величину залишкового сліду h_s як функцію кута повороту фрези можна визначити з координат перетину двох кіл радіусом ρ_i, зміщених на величину осьової подачі :

$$h_s = \sqrt{\rho_i^2 - \frac{s_o^2}{4}} = \frac{s_o^2}{8 \cdot \rho_i}, \quad (1)$$

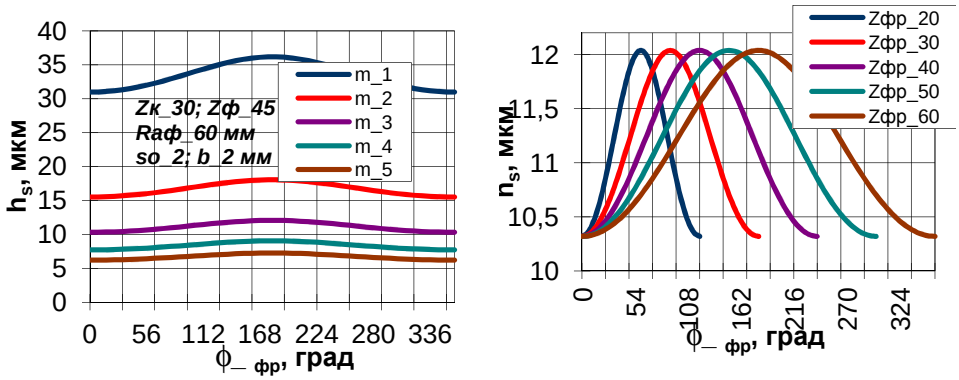
де ρ_i - миттєвий радіус синусоїди.

На рис.2 наведені графіки мікронерівності h_s від модуля (а) та від кількості зубців колеса, як нарізають (б).

На рис. 3 показано залежність максимальної похибки зубчастого профіля за оберт фрези залежно від модуля (а), подачі (б) та кількості зубців колеса (в) для тих же початкових даних.

Складова мікронерівностей поверхні внаслідок руху обкочування.

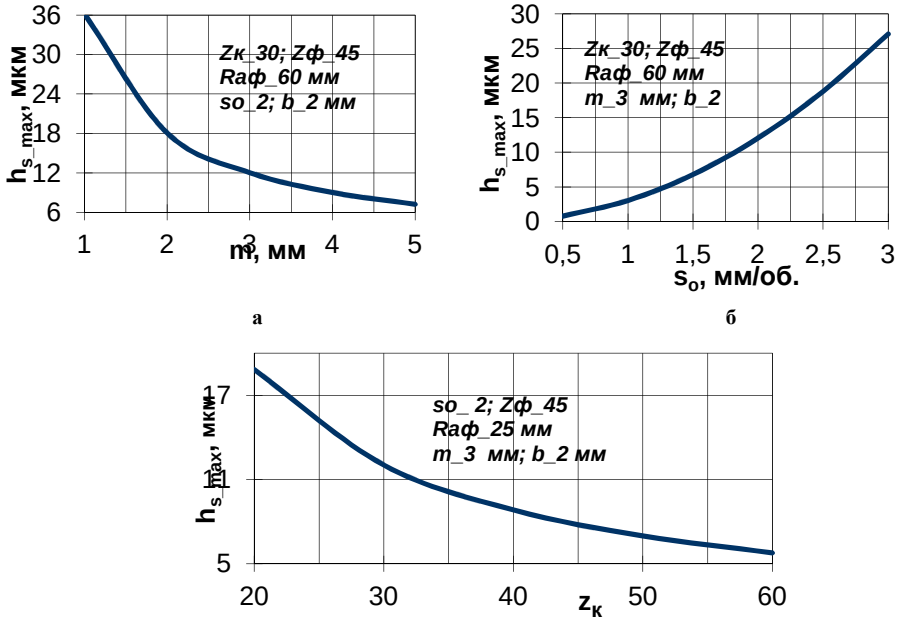
Виникнення мікронерівностей h_φ профілю внаслідок дії цього чинника – дискретних різів дискової фрези при неперервному обкочуванні пояснює рис.4.



а б

Рисунок 2 - Залежність складової h_s мікронерівностей профілів від модуля (а) та кількості зубців фрези (б) по куту повороту фрези

кількість зубців колеса $z_к$ =30, фрези - $z_{фр}$ = 45; діаметр фрези $R_{a\,фр}$ = 120 мм; осьова подача s_o = 2 мм/об.; ширина фрези b = 2 мм



а б в

Рис.3. Залежність максимального значення параметра h_s мікронерівностей від модуля (а), осьової подачі (б) та кількості зубців колеса (в)

кількість зубців колеса $z_к$ =30, фрези - $z_{фр}$ = 45; діаметр фрези $R_{а\ фр}$ = 120 мм; осьова подача s_o = 2 мм/об.; ширина фрези b = 2 мм

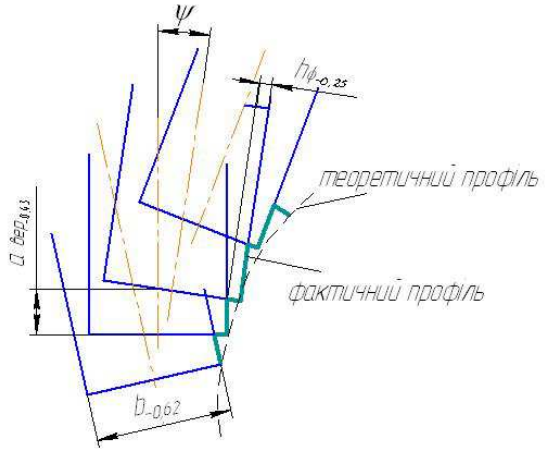


Рисунок 4 - Утворення h_φ мікронерівностей профілю зубців внаслідок руху обкочування

Висоту складової h_φ мікронерівностей з достатньою для практичних розрахунків точністю можна визначити як функцію товщини зрізів $a_{вер}$ на вершинних лезах фрези та одиничного кута обкочування ψ:

$$h_\varphi = a_{вер} \cdot \sin\psi \qquad (2)$$

де ψ =360/($z_к \cdot z_{фр}$).

На рис.5 наведені графіки, які характеризують дану складову h_φ для модулів 1-7,5 мм (а) та кількості зубців фрези 20, 30 і 40 на основі параметрів зрізів, методика розрахунку яких наведена в роботі [4].

Сумарне відхилення профілів зубчастих коліс утворюється як результат накладання двох вказаних кінематичних рухів, а загальна висота мікронерівностей буде рівна сумі похибок h_s (1) *і* h_φ (2):

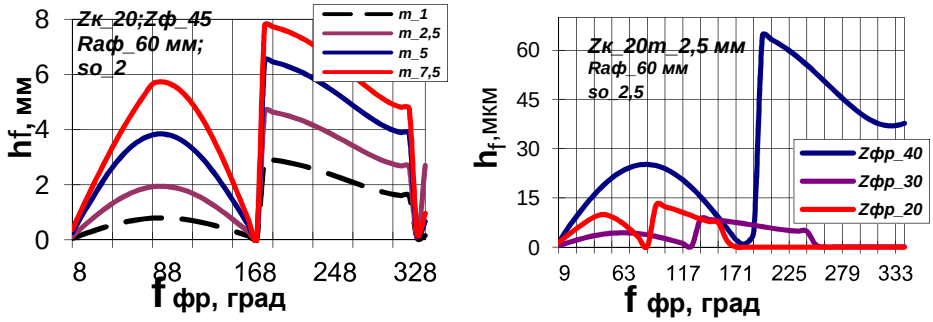
$$h_\Sigma = h_s + h_\varphi = \rho_i - \sqrt{\rho_i^2 - \frac{s_o^2}{4}} + a_{вер} \cdot \sin\psi \cdot \qquad (3)$$

На рис.6 наведено залежність зміни сумарного максимального відхилення профілів зубчастих коліс модулів 1 мм, 3 мм і 5 мм по куту повороту фрези.

Рівняння (3) дає змогу визначати максимально допустиму величину осьової подачі залежно від допуска параметра шорсткості, яку треба досягти при зубофрезеруванні в РК-способі:

$$s_o \le \sqrt{8 \cdot \left(h_\Sigma - a_{вер} \cdot \sin\psi\right) \cdot R_{a_фр}}\ , \text{ мм/об.} \qquad (4)$$

Наприклад, на основі моделювання параметрів зрізів залежно від числа зубців фрези для модуля 5 мм , товщини фрези 2 мм і діаметра дискової фрези 120 мм встановлено максимальні значення товщини зрізів a_{max} на вершинних лезах фрези. Якщо приймемо допустиму висоту мікронерівностей 20 мкм, то на основі залежності (3) можна розрахувати максимально допустиму величину осьової подачі $S_{o\ max}$, мм/об., при якій сумарна висота не буде перевищувати 20 мкм (табл.1, рис.7).



а б

Рисунок 5 - Залежність параметра h_φ мікронерівностей від модуля (а) та від кількості зубців фрези (б)

кількість зубців колеса $z_к$ =30, фрези - $z_{фр}$ = 45; діаметр фрези $R_{a\ фр}$ = 120 мм; осьова подача s_o = 2 мм/об.; ширина фрези b = 2 мм

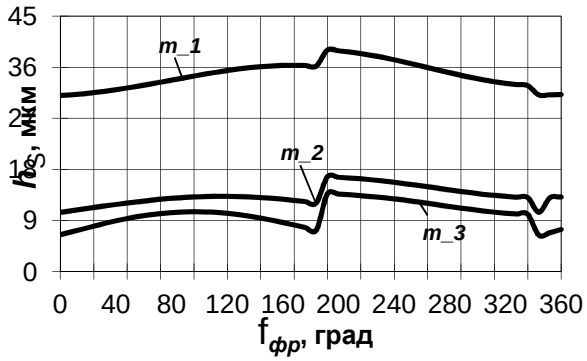


Рисунок 6 – Сумарна висота мікронерівностей профілів у впадині між зубцями для m = 1 мм, 3 мм і 5 мм

кількість зубців колеса $z_к$ =30, фрези - $z_{фр}$ = 45; діаметр фрези $R_{a\ фр}$ = 120 мм; осьова подача s_o = 2 мм/об.; ширина фрези b = 2 мм

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку та максимальна допустима подача

$Z_{фр}$	20	30	40
ψ, град	0,9	0,6	0,45
$a_{max,}$ мм	1,131	0,827	0,567
$S_{o\,max}$, мм/об.	0,52	2,33	2,73

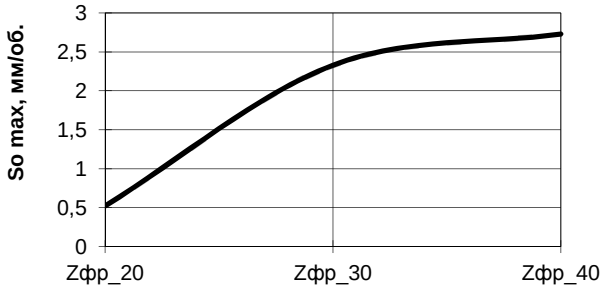


Рисунок 7 - Максимально допустима величина осьової подачі з умови $R_z < 20$ мкм

кількість зубців колеса $z_к$ *=20, діаметр фрези* $R_{a\,фр}$ *= 120 мм; ширина фрези b = 2 мм; максимальна висота мікро нерівностей* R_z 20 мкм

Висновки.

1. Складова мікронерівностей профілів зубчастих коліс, яка визначається осьовою подачею інструменту значно більше залежить від модуля, ніж від кількості зубців дискової фрези, в той час, як складова, що визначається одиничним кутом обкочування у значно більшій мірі залежна від числа зубців інструменту порівняно з модулем колеса.

2. Перша складова висоти мікронерівностей профілів має найбільше значення в ділянці дна впадини, а друга – на середині висоти зубців по обидвох (лівих і правих) профілях, при цьому на вихідній по ексцентриситету частині фрези висота мікронерівностей може бути у два рази вищою, ніж на вхідній частині.

3. Отримані залежності дають змогу назначати осьову подачу фрези в РК-способі за встановленим технічними умовами допуском шорсткості бокових поверхонь зубців і величинами конструктивно-технологічних чинників процесу зубонарізання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грицай И.Е., Благут Е.Н. Зубчатые передачи и технологии их изготовления: новое в традиционном. - Оборудование и инструмент: Международный информационно-технический журнал. - №2 (61) 2005. – С.36-40.

2. Литвиняк Я.М., Грицай І.Є., Махоркін Є.М. Підвищення технологічної гнучкості операцій формоутворення зубців циліндричних зубчастих коліс в автоматизованому виробництві // Автоматизація виробничих процесів у машинобуд. та приладобудув. Укр. міжвідомчий наук.-технічн. збірник. Львів.: Вид-во НУ “Лівівсь. політехіка”. Випуск №42. - 2008. С.157-163.

3. Грицай І.Є., Литвиняк Я.М. Синусоїдальні зубчасті передачі як альтернатива традиційним передачам та новий метод їх виготовлення. Зб.: Вісник Національного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Проблеми механічного приводу». Х5арків: НТУ «ХПІ». – 2009, №19. – 168 с. – с. 43 – 53.

4. Грицай І.Є., Громнюк С.І., Кук А.М. Параметри поперечного перерізу зрізів в радіально-обкочувальному способі нарізання зубчастих коліс з осьовою подачею. Вісник НУ "Львів. політехніка» Оптимізація виробничих процесів і техн. контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. - № 772. - Львів. - Вид-во НУ "Львів. політехніка".- 2014.- С.8-14.