

УДК 621.

Равська Н.С. д.т.н., проф., Охріменко О.А. к.т.н., доц.  
НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

## УМОВИ НЕ ПІДРІЗАННЯ ПРОФІЛЮ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ПРИ ЗУБОФРЕЗЕРУВАННІ ЧЕРВ'ЯЧНИМИ ФРЕЗАМИ

Ravskaja N.S., Ohrimenko A.A  
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine ([itm@kpi.ua](mailto:itm@kpi.ua))

### TERMS UNDERCUTTING GEARS WHEN HANDLING WORM MILLS

*В роботі розглядається питання умов не подрезання бокового профілю зубчастих коліс при зубофрезеруванні червячними фрезами. Встановлено залежності для знаходження точки возврата (особою точки) на поверхності зубчастого колеса, яка формується винтовою входною інструментальною поверхністю фрези. Визначено і досліджено вплив конструктивних параметрів червячних фрез на подрезання профілю зубчастих коліс. Проведено їх порівняльний аналіз з випадком, коли поверхність зубчастого колеса утворюється плоскою рейкою. Представлено методи і конструкцію червячної фрези, яка дозволяє формувати зубчасті колеса з малим числом зубів без подрезання і має велику продуктивність за рахунок удосконаленої геометрії режущої частини бокової сторони зуба у вершині.*

*Ключевые слова:* зубчасті колеса, червячні фрези, режущий інструмент, подрезание

#### Вступ

Зубчасті циліндричні колеса на даний час є найпоширенішими елементами машин і механізмів при перетворенні, передачі обертального руху. Одним із основних видів отримання, таких зубчастих коліс є процес зубофрезерування черв'ячними фрезами. Цей інструмент використовується, як для чистої обробки зубчастих коліс так і для подальшої обробки зубошліфуванням чи зубошевінгуванням. Не зважаючи на широке застосування процесу зубонарізання черв'ячними фрезами він має багато суттєвих недоліків пов'язаних як із самим процесом формування поверхні зубчастого колеса фрезою, а саме, це явище подрезання. Також суцільні черв'ячні фрези мають недосконалу геометрію різальної частини, що негативно впливає на процес різання і як наслідок на точність самих зубчастих коліс. При чому це особливо важливо для зубчастих коліс з малим числом зубів: колеса шестерінчастих насосів, великомодульні зубчасті колеса приводів гірничого, енергетичного обладнання, при нарізанні яких черв'ячна фреза працює в складних умовах.

#### Мета

Мета роботи полягає в дослідженні явища подрезання профілю зубчастого колеса черв'ячними фрезами у просторовому зачепленні фрези – колесо та розробку рекомендацій по зменшенню впливу цього явища і підвищенню працездатності фрез, що нарізають зубчасті колеса з малим числом зубів.

Подрезання зубчастого колеса згідно загально прийнятої теорії формування рейковим інструментом [1, 2, 3] виникає при нарізанні прямозубого зубчастого колеса з числом зубів менше 17. Ця залежність наводиться для вихідного контуру – висота ніжки, якого складає  $m$  – модуль зубчастого колеса. Однак профіль колеса утворюється вихідною інструментальною рейкою висота ніжки якої складає  $1,25m$  і тоді мінімальна кількість зубів колеса, яке можна нарізати без подрезання буде становити 21 згідно [1].

Формування фрези-колесо відбувається у просторі на відміну від рейка-колесо і тому положення радіуса подрезання ніжки колеса буде залежати не тільки від кількості зубів колеса, що нарізується, але й від параметрів фрези: тип вихідного черв'яка, діаметр фрези, що не враховуються при розгляді плоскої задачі, ці дослідження для просторової задачі до цих пір не проводились. Існують роботи по визначенню точки повернення у просторових зачепленнях [1, 4], наявність якої на профілі приводить до порушення другої умови формування [5] – подрезання, однак для випадку зубофрезерування черв'ячними фрезами ці дослідження не проводились.

#### Дослідження

Вирішення даного питання будемо вести на основі розробленої загальної моделі зубофрезерування зубчастих коліс черв'ячними фрезами [6, 7], ця модель є універсальною і розглядає майже всі випадки формування зубчастих коліс черв'ячними фрезами.

$$R_2 = m_{20s} \cdot m_{20f} \cdot m_{20} \cdot m_{01} R_1, \quad (1)$$

Де,  $R_j$  – радіус вектор точки в системі пов'язаною з фрезою та колесом відповідно  $m_{01}$ ,  $m_{02}$ ,  $m_{20f}$ ,  $m_{20s}$  – матриці перетворень координатних систем [6].

Явище підрізання поверхні зубчастого колеса виникає тоді коли відсутнє плавне спряження бічної сторони зуба колеса з перехідною поверхнею. Згідно з положеннями теорії формоутворення поверхонь це є порушенням другої умови формоутворення. Це пов'язано з виникненням на огинаючому профілю зубчастого колеса точки повернення (ребра повернення). Точка повернення виникає на бічній поверхні зубчастого колеса, яка формується бічною гвинтовою поверхнею вихідної інструментальної поверхні (ВІП) фрези [1, 2, 3].

Тому задача визначення підрізання бічної поверхні зубчастих коліс при формоутворенні ВІП черв'ячної фрези зводиться до визначення точки повернення на профілі і параметрів відповідної точки на ВІП фрези, яка формує цю точку рис.1. І в подальшому визначення параметрів фрези чи її установки при яких точка повернення на профілі буде формуватись відповідною точкою на профілі ВІП фрези, яка лежить за межами робочої ділянки.

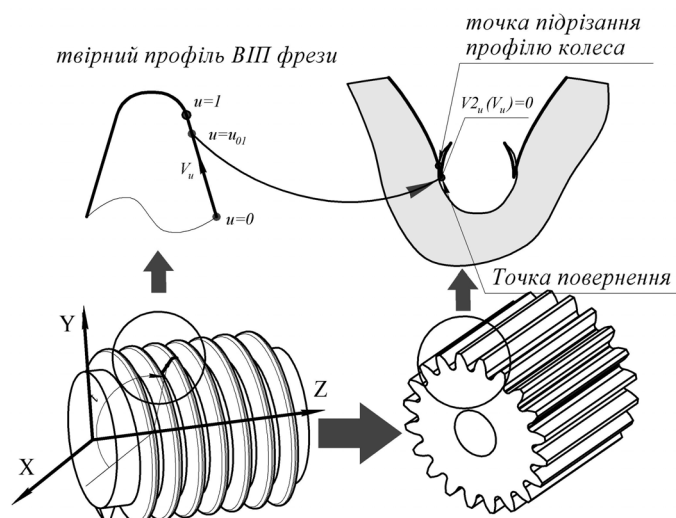


Рис. 1. Формування підрізання профілю колеса і точки повернення на ньому

Точка повернення визначається, як особлива точка на профілю колеса, що формується при його огинанні бічною поверхнею ВІП черв'ячної фрези.

Згідно [1, 4] необхідна ознака існування ребра (точки) повернення на огинаючій поверхні параметризованого сімейства поверхонь при огинанні сімейством поверхонь знаходиться за наступними залежностями [1, 4], це відповідає схемі однопараметричного огинання, для двопараметричного огинання, що відповідає задачі визначення поверхні зуба спряженого зубчастого колеса при зубофрезеруванні пропонуються інші залежності [1, 4].

Однак цей випадок можна спростити і звести його до випадку однопараметричного огинання, це пов'язано з тим, що особлива точка, яка впливає на підрізання формується в основному тільки від одного руху – обертання фрези та колеса, а від другого руху – рух фрези відносно осі колеса при значеннях параметрів коліс для, яких використовується процес зубофрезерування відсутня. Тому можна використовувати спосіб визначення описаний для однопараметричного руху, додавши для сумісного розгляду, ще друге рівняння контакту при двопараметричному руху і ця система повністю визначить параметри точки повернення на поверхні зубчастого колеса:

$$\begin{aligned} NV_{f01} &= 0 \\ NV_{s02} &= 0, \\ g_{f01} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Де,  $NV_{f01}$ ,  $NV_{s02}$  – рівняння контакту поверхні фрези з поверхнею зубчастого колеса при схемі формоутворення черв'ячними фрезами [6, 7];

$$[4] \quad g_{f01} = \begin{vmatrix} \frac{\partial}{\partial t} NV_{f01} & \frac{\partial}{\partial u} NV_{f01} & \frac{\partial}{\partial f_{01}} NV_{f01} \\ \frac{\partial}{\partial t} R_2 \cdot \frac{\partial}{\partial t} R_2 & \frac{\partial}{\partial t} R_2 \cdot \frac{\partial}{\partial u} R_2 & \frac{\partial}{\partial t} R_2 \cdot \frac{\partial}{\partial f_{01}} R_2 \\ \frac{\partial}{\partial u} R_2 \cdot \frac{\partial}{\partial t} R_2 & \frac{\partial}{\partial u} R_2 \cdot \frac{\partial}{\partial u} R_2 & \frac{\partial}{\partial u} R_2 \cdot \frac{\partial}{\partial f_{01}} R_2 \end{vmatrix}, \quad (3)$$

$$R_2 = m_{20f} \cdot m_{20} \cdot m_{01} R_1$$

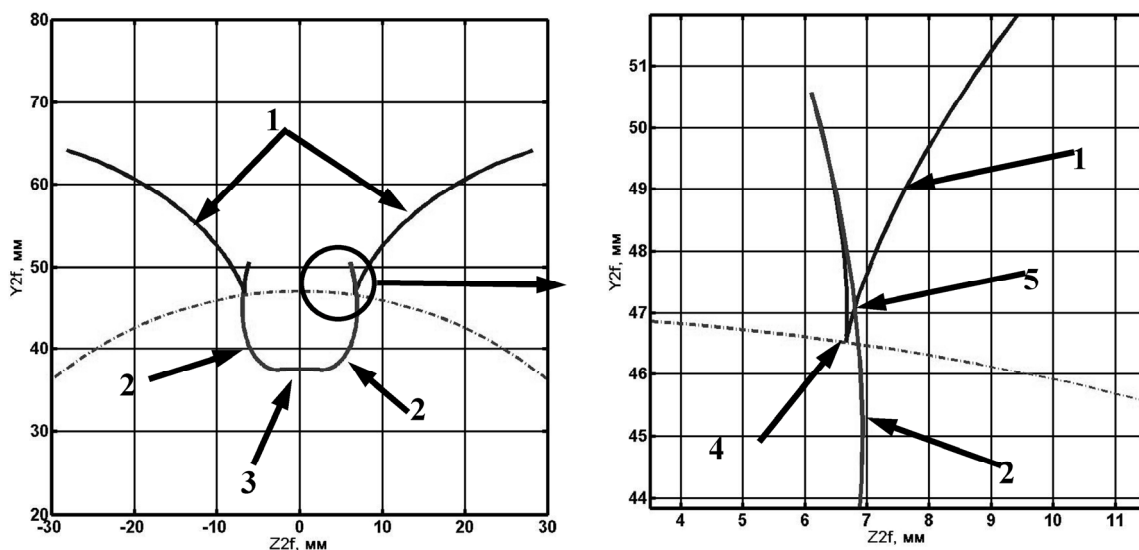
Інший запис залежності  $g_{f01}$  кінематичним методом [1],

$$g_{f01} = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial t} NV_{f01} & \frac{\partial}{\partial u} NV_{f01} & \frac{\partial}{\partial f_{01}} NV_{f01} \\ \frac{\partial}{\partial t} (m_{01}R_1)_X & \frac{\partial}{\partial u} (m_{01}R_1)_X & V_{fX} \\ \frac{\partial}{\partial t} (m_{01}R_1)_Y & \frac{\partial}{\partial u} (m_{01}R_1)_Y & V_{fY} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де  $(m_{01}R_1)_X, (m_{01}R_1)_Y, V_{fX}, V_{fY}$  - складові компонентів векторів по відповідним координатам:  $X, Y$  [8, 9].

Залежності (3) і (4) абсолютно однакові, вони були використані для перевірки адекватності моделі визначення особливих точок, що підтверджується чисельними розрахунками. Їх в розгорнутому вигляді для прямолинійних чи округлих частин ВІП фрези не приводимо, тому що, вони мають дуже громіздкий вигляд.

Для прикладу наведені розрахунки визначення точки повернення рис.2.



**Рис. 2. Профіль торцевого перерізу западини зубчастого колеса:  $m=10, Z=10, \alpha=20^\circ, d_a=160, r_{a0}=0.01, \beta_k=0^\circ$ , ВІП – конволютний черв'як, радіус точки повернення - 36.3085мм: 1-бічна сторона профілю зуба, 2-перехідна крива, 3- западина зуба, 4-точка повернення на профілі зуба, 5-точка підрізання бічного профілю зуба**

Для знаходження величини підрізання необхідно визначити параметри точки повернення визначаються значеннями змінних:  $u, t, f_{01}$  з рівнянь (1). Положення точки на профілі ВІП фрези, що формує точку повернення визначається параметром  $u$ , тому необхідно порівняти його значення з значенням, що описує робочу ділянку ВІП фрези. Для всіх ділянок профілю фрези зміна параметру  $u$  лежить в межах  $[0, 1]$ , якщо знайдене значення цього параметру знаходиться за межами цього діапазону, або на границі то явище підрізання при формоутворенні відсутнє.

В іншому випадку необхідно знайти точку перетину від огинаючих суміжних ділянок. Для цього необхідно сумісно розглянути координати точок в торцевому перерізі від сумісних ділянок ВІП фрези разом з відповідними рівняннями контакту:

$$\begin{aligned} NV_{f01i} &= 0; NV_{f01i+1} = 0 \\ NV_{s02i} &= 0; NV_{s02i+1} = 0 \\ R_{2iY} &= R_{2i+1Y} : R_{2iZ} = R_{2i+1Z} \end{aligned} \quad (5)$$

Де,  $i$ - номер ділянки ВІП фрези, що розглядається,  $i+1$ - суміжна ділянка, до  $i$  сторони.

З залежностей (5) знайдемо межі зміни параметру  $u$  для опису суміжних ділянок профілю ВІП фрези з врахуванням явища підрізання, при чому цей діапазон буде менший за  $[0, 1]$ , так як частина профілю ВІП фрези виключається з процесу формоутворення профілю колеса.

Було досліджено вплив конструктивних розмірів фрези на положення радіуса підрізання на профілі зубчастого колеса і проведено порівняння його з радіусом підрізання, який формує рейка (рис.3, 4, 5.)

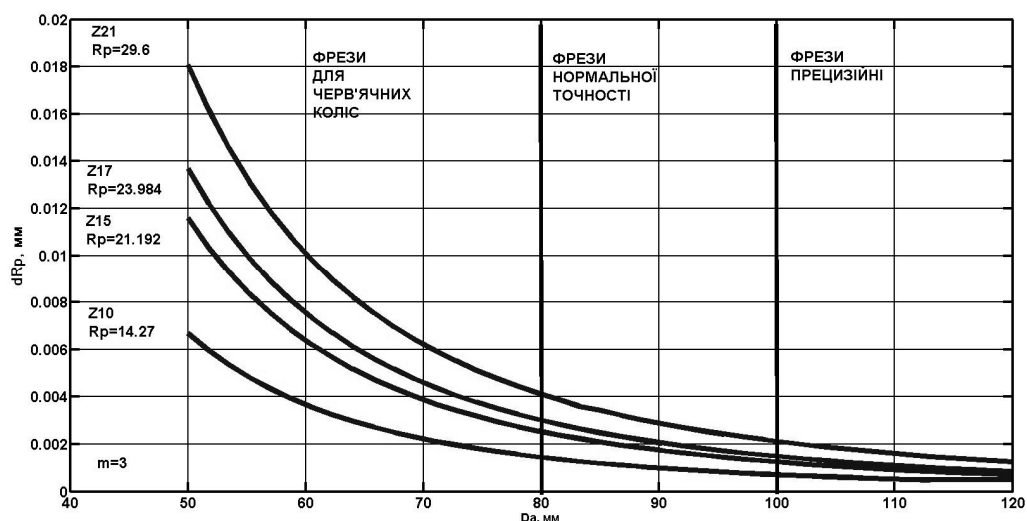


Рис. 3. Вплив діаметру фрези на положення радіуса підрізання на профілі зубчастого колеса і проведено порівняння його з радіусом підрізання, який формує рейка  $m=3$ ,  $Z$  – кількість зубів,  $D_a$  – діаметр фрези,  $R_p$  – радіус підрізання, який формує рейка, фреза конволіутна

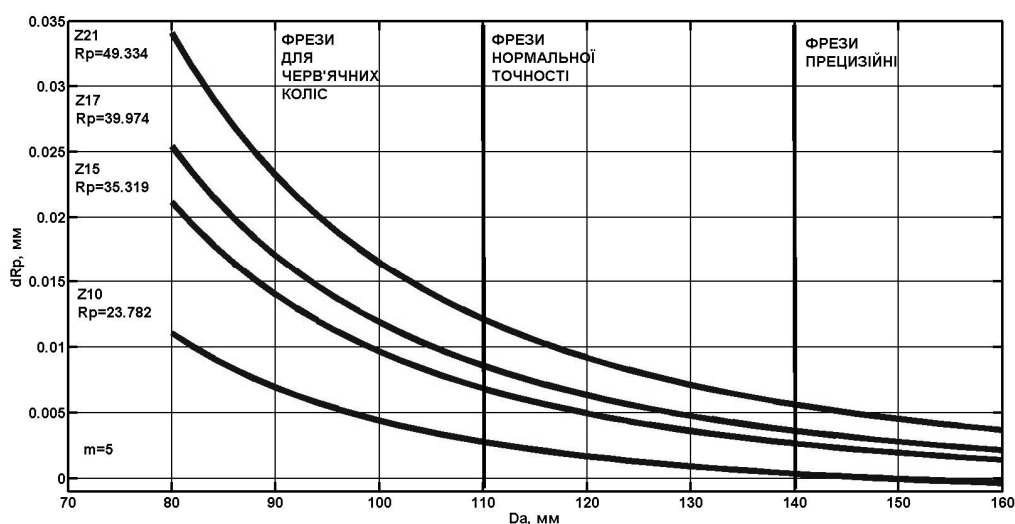


Рис. 4. Вплив діаметру фрези на положення радіуса підрізання на профілі зубчастого колеса і проведено порівняння його з радіусом підрізання, який формує рейка  $m=5$ ,  $Z$  – кількість зубів,  $D_a$  – діаметр фрези,  $R_p$  – радіус підрізання, який формує рейка, фреза конволіутна

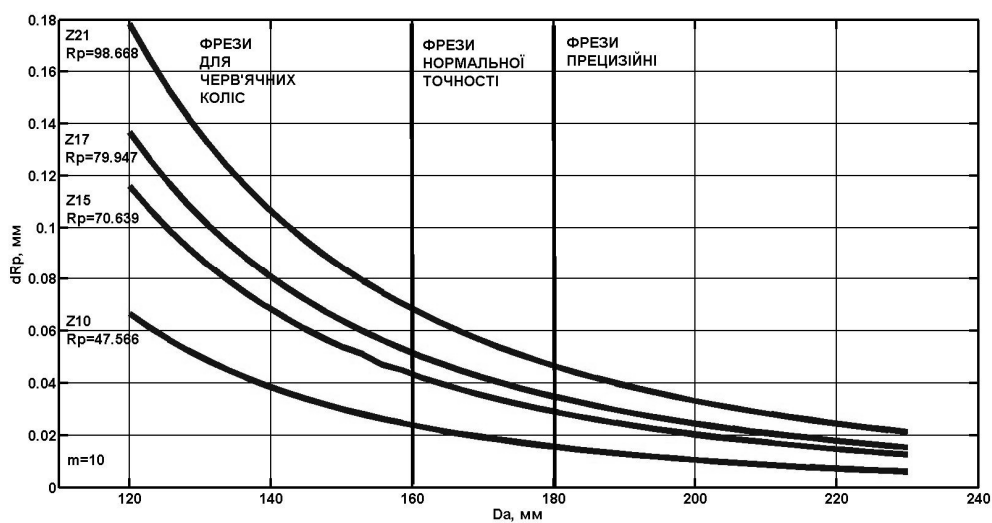


Рис. 5. Вплив діаметру фрези на положення радіуса підрізання на профілі зубчастого колеса і проведено порівняння його з радіусом підрізання, який формує рейка  $m=10$ ,  $Z$  – кількість зубів,  $D_a$  – діаметр фрези,  $R_p$  – радіус підрізання, який формує рейка, фреза конволіутна

За результатами проведених розрахунків отримано, що в залежності від збільшення діаметру фрези різниця між радіусом підрізання отриманого ВІП фрези та рейкою зменшується, однак ця різниця для прецизійних фрез та фрез нормальної точності невелика. Для фрез призначених для нарізання черв'ячних коліс це може бути суттєвою і тому необхідно контролювати це явище. Також це може бути важливим для зубчастих коліс, які використовуються в авіаційних двигунах [8], що мають збільшену висоту головки зуба 1.25m і явище підрізання для таких коліс більш актуальне. При збільшенні числа зубів нарізаємого колеса різниця між радіусами підрізання росте, а значить зменшується довжина бічної сторони зуба і збільшується підрізання профілю перехідною кривою. Також встановлено, що тип черв'яка несуттєво впливає на зміну радіуса підрізання, різниця для всіх фрез модулів 1-10 не перевищує 1 мкм

Так як явище підрізання профілю зубів колеса найбільш поширеним є для зубчастих коліс з малою кількістю зубів, також нарізання таких коліс черв'ячними спряжено з значними труднощами, а саме значні динамічні навантаження в процесі різання пов'язані з швидкою зміною параметрів зрізаємого шару і несприятлива геометрія бічних сторін зуба фрези, що в цілому призводить до зменшення працездатності такого інструменту і точності коліс, що обробляються.

Було досліджено висоту робочої бічної ділянки зуба фрези  $h_{amin}$ , що приймає участь у формоутворенні бічного профілю зуба (рис.6, 7)

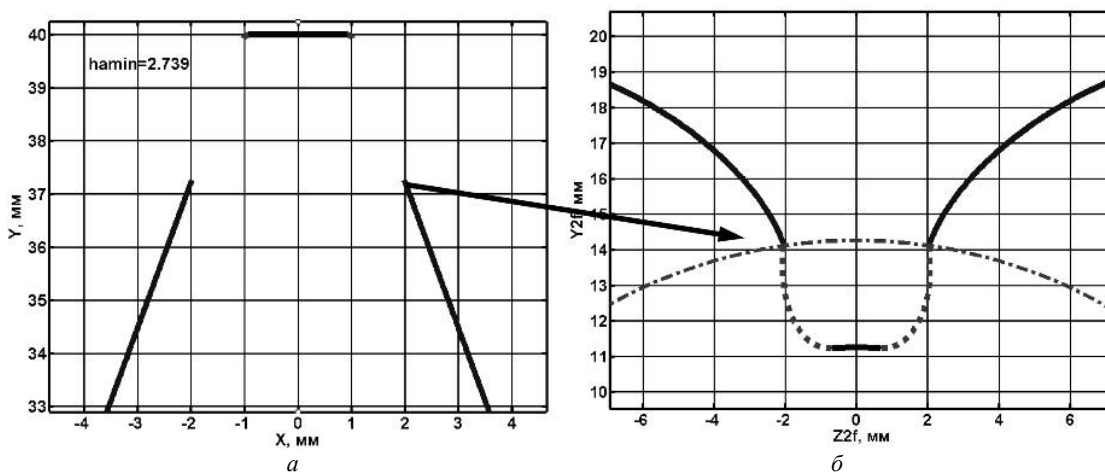


Рис. 6. Робоча частина бічного профілю твірної черв'ячної фрези а) і профіль зубчатого колеса сформований такою фрезою б).  $m=3, d_a=80, r_{a0}=0.1$ , фреза коволютна,  $Z_k=10, x=0, \beta_k=0^0$

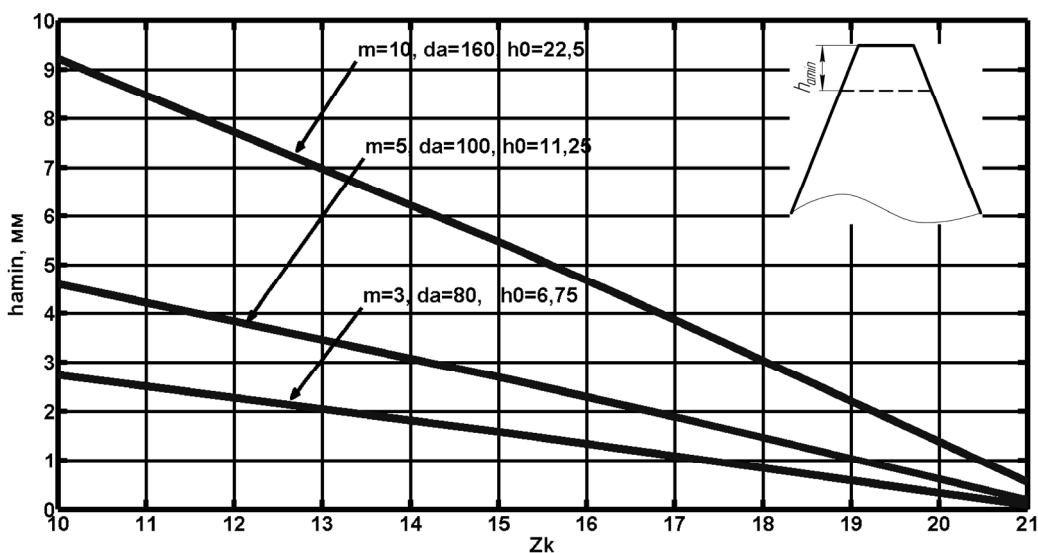


Рис. 7. Висота неробочої бічної ділянки  $h_{amin}$  ВІП фрези в залежності від кількості зубів коліс  $Z_k$  не коригованих, що нарізається та фрез різних модулів з різними діаметрами вершин зубів  $d_a$ ,  $h_0$ -висота зуба фрези

Як показують розрахунки на профілі зуба присутня ділянка починаючи з вершини і до певного значення (рис.7), яка не бере участь у формоутворенні, а тільки зрізує певний припуск. Тому ділянку профілю фрези яка формує особливу точку можна виключити з формоутворення бічної сторони профілю зуба. Це зробимо за рахунок додаткової ділянки у вершини зуба фрези (рис.8.а) з збільшеним кутом профілю  $\alpha_{ha}$ , яка

починається з розрахункової величини  $h_{amin}$ , за рахунок цього на цій ділянці формуються значення задніх кутів більші ніж на основній бічній стороні зуба фрези, що повинно покращити працездатність такої фрези. Недоліком таких фрез є те, що вони є не зовсім універсальними, так як висота розташування  $h_{amin}$  залежить від параметрів нарізаемого колеса, однак можна розрахувати для певного числа зубів і використовувати такі фрези для виготовлення зубчатих коліс з меншим числом зубів. Такі фрези можуть бути використані у масовому виробництві зубчастих коліс шестерінчастих насосів, які мають малу кількість зубів  $Zk=8\dots 15$ .

Для прикладу наведено розрахунок такої фрези для колеса шестерінчастого насоса НШ10. Параметри зубчастого колеса:  $m=3$ ,  $Zk=10$ ,  $x=+0.3485$ ,  $\beta_0=0^0$ , діаметр вершин зубів колеса  $d_{a1}=38.1$ , діаметр западин  $d_{f1}=24.7$ , фреза конвольютна  $d_a=80$ ,  $r_{a0}=0.05$ . За результатами розрахунків отримали значення  $h_{amin}=1.272$ , радіус підрізання  $R_{lim}=14.139$  і пропонується наступна конструкція зуба фрези (рис.8.б). На рис.9 показано розрахунок зачеплення поверхні колеса з ВІП фрези за методикою описаною в [6].

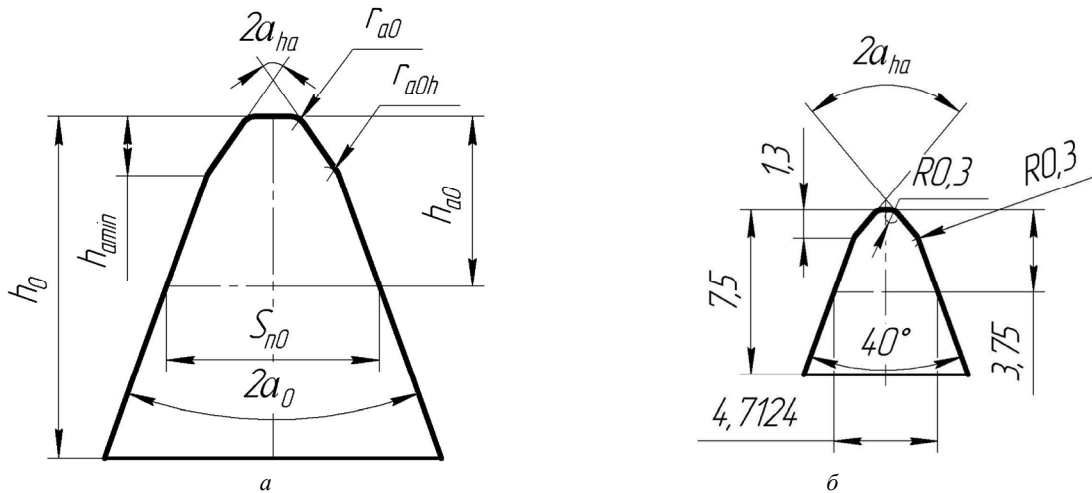


Рис. 8. а) профіль зуба фрези, що дозволяє виключити особливу точку на поверхні зубчастого колеса, що обробляється. б) розрахунковий профіль ВІП конвольютної черв'ячної фрези призначеної для формування без підрізання зубчастого колеса:  $m=3$ ,  $Zk=10$ ,  $x=+0.3485$ ,  $\beta_0=0^0$ , діаметр вершин зубів колеса  $d_{a1}=38.1$ , діаметр западин  $d_{f1}=24.7$ , фреза конвольютна  $d_a=80$ ,  $r_{a0}=0.05$

За результатами розрахунків встановлено, що можна отримати профіль зубчастого колеса без підрізання всі його ділянки будуть спряжені плавно між собою рис.9.б і складається з 9 ділянок плавно спряжених між собою, по дві ділянки: 1- від основних бічних сторін, 2-ділянки утворені округленням при з'єднанні основної бічної сторони з допоміжною бічною стороною, 3- ділянки утворені від допоміжної бічної сторони, 4-ділянки утворені округленням вершини зуба і 1 ділянка 5-утворена вершиною зуба.

Так як западина такого колеса має складну форму (рис.9.б) ділянки 2,3,4 і відрізняється від западини зубчатих коліс то такі зубчасті зачеплення необхідно перевіряти на інтерференцію. Були розраховано форму западини такого зубчастого колеса в залежності від кута допоміжного профілю  $\alpha_{h0}$  [ $25^0\dots 40^0$ ] рис.10.

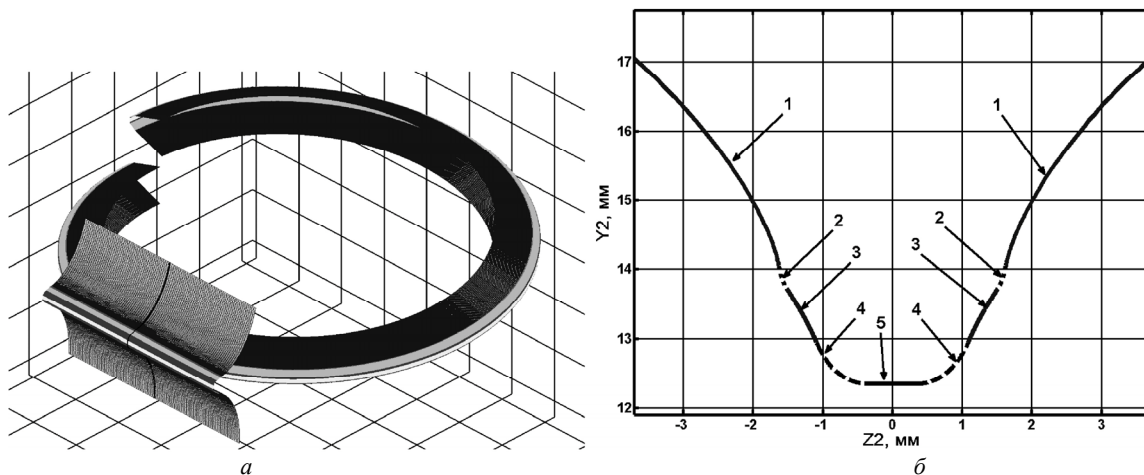


Рис. 9. Зубчасте колесо  $m=3$ ,  $Zk=10$ ,  $x=+0.3485$ ,  $\beta_0=0^0$  утворене без підрізання конвольютною фрезою  $d_a=80$ ,  $r_{a0}=0.05$ . а)- просторове зачеплення колеса з ВІП фрези, б)- профіль западини колеса

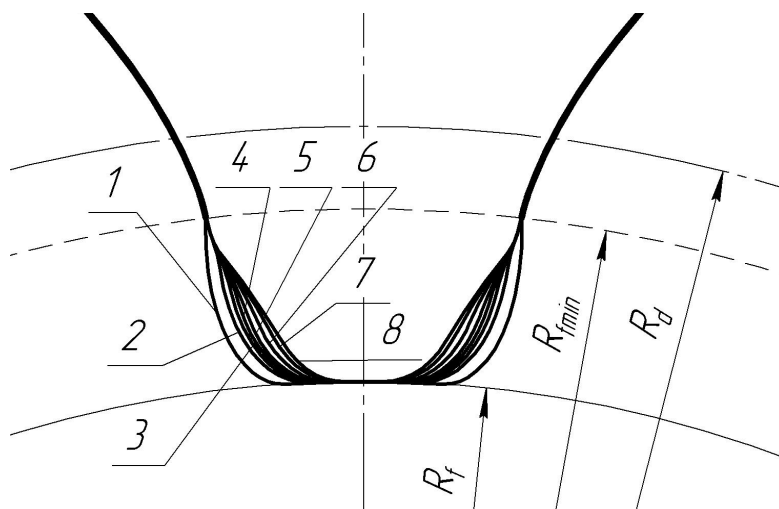


Рис. 10. Профіль западини зубчастого колеса  $m=3, Zk=10, x=+0.3485, \beta_0=0^0$  утворене конволіотною фрезою  $d_a=80, r_{a0}=0.05$  зі змінним профілем ВП фрези в залежності від кута  $\alpha_{h0}$ : 1- стандартний профіль з підрізанням, 2- $25^0$ , 3- $28^0$ , 4- $30^0$ , 5- $32^0$ , 6- $35^0$ , 7- $38^0$ , 8- $40^0$

Так як теорія зачеплень таких коліс з складним профілем западини (рис.10) не розроблена, то необхідно було перевірити таке зачеплення на випадок інтерференції, це було зроблено графічним моделюванням для всіх профілів і випадок інтерференції встановлено на рис.11. для кута  $\alpha_{h0}=40^0$ .

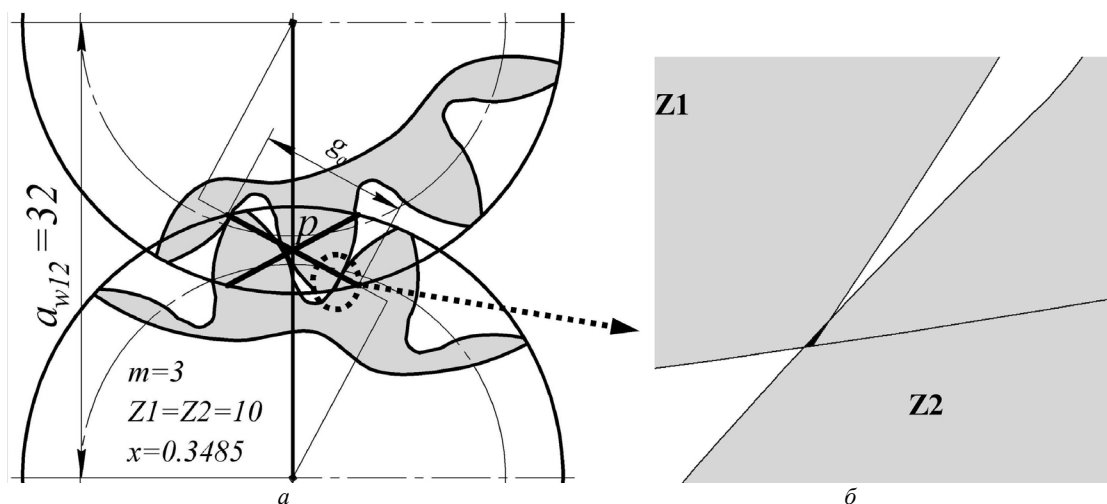


Рис.11.а) зачеплення зубчастих коліс  $m=3, Zk=10, x=+0.3485, \beta_0=0^0$  б) інтерференція зубчастих коліс при  $\alpha_{h0}=40^0$

Тому для нарізання коліс  $m=3, Zk=10, x=+0.3485, \beta_0=0^0$  можна рекомендувати фрези з кутом допоміжного профілю згідно розрахунків  $\alpha_{h0} \leq 38^0$ . Такі фрези будуть забезпечувати нарізання профілю зубчастого колеса без підрізання і за рахунок того, що на допоміжній бічній кромці кут профілю становить  $38^0$  то середнє значення заднього кута розрахованого за [9] для фрези  $d_a=80, r_{a0}=0.05, \alpha_b=10^0$ -задній кут при вершині зуба буде становити  $\alpha_{бнч}=6^0$ , що більше ніж на головній бічній кромці за  $\alpha_{бнч}=3,5^0$  [9] тому такі фрези повинні мати перевагу за працездатністю над фрезами стандартної конструкції. Недолік таких фрез, дещо складніша технологія виготовлення і не універсальність, однак при нарізанні інших зубчастих коліс їх потрібно перевіряти на параметри роботи в зачепленні, якщо вони будуть задовольняти вимогам та такі фрези можна використовувати.

**Висновки**

В роботі досліджено явище підрізання профілю зубчастих коліс при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами. На базі розробленої узагальненої моделі зубофрезерування черв'ячними фрезами [6, 7] вирішено задачу заходження особливої точки на профілі зубчастого колеса при двопараметричному огинанні, що відповідає процесу зубофрезерування черв'ячними фрезами і визначення точки підрізання профілю зубчастого колеса. Досліджено вплив конструктивних параметрів черв'ячних фрез на явище підрізання. Встановлено, що при збільшенні числа зубів нарізаємого колеса різниця між радіусами підрізання росте, а значить зменшується довжина бічної сторони зуба і збільшується підрізання профілю перехідною кривою. Також встановлено, що

тип черв'яка несуттєво впливає на зміну радіуса підрізання, різниця для всіх фрез модулів 1-10 не перевищує 1 мкм.

На базі проведених досліджень запропоновано конструкцію різальної частини черв'ячної фрези для виготовлення зубчатих коліс з малим числом зубів, що дозволяє отримувати профіль зубчастого колеса без підрізання і за рахунок, що на допоміжній бічній кромці такої фрези кут профілю більший кут стандартної фрези і тому задній бічний кут буде мати більші значення ніж у стандартних фрез, як наслідок запропоновані фрези повинні мати більшу працездатність.

**Анотація.** В роботі розглядається питання умов не підрізання бічного профілю зубчастих коліс при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами. Встановлені залежності для знаходження точки повернення (особливої точки) на поверхні зубчастого колеса, що формується гвинтовою вихідною інструментальною поверхнею фрези. Визначено і досліджено вплив конструктивних параметрів черв'ячних фрез на підрізання профілю зубчатих коліс. Проведено їх порівняльний аналіз з випадком коли поверхня зубчастого колеса утворюється плоскою рейкою. Запропоновані методи та конструкцію черв'ячної, що формують зубчасті колеса з малою кількістю зубів без підрізання і має більшу працездатність за рахунок кращої геометрії різальної частини бічної сторони зуба біля вершини.

**Ключові слова:** зубчасті колеса, черв'ячні фрези, різальний інструмент, підрізання

**Abstract. Purpose.** The aim of the work is to study the phenomenon of profile cutting gear hobbing cutters in spatial gearing Hiller - wheel and the development of recommendations to reduce the impact of this phenomenon and to increase efficiency of cutters that cut gears with few teeth.

**Design/methodology/approach.** The dependencies to find the cusps (singular point) on the surface of the gear, which is formed by a helical initial tool surface milling. Defined and investigated the influence of the design parameters of hobs on cropping profile gears. Their comparative analysis with the case where the surface of the gear rack is formed flat. **Keywords:** gears, helical milling, cutting tools, pruning

**Findings.** On the basis of the research proposed design of the worm milling cutter for making gears with few teeth, which yields a profile without cutting gear and by that on the secondary side of the edge profile angle cutter such greater angle as standard cutters and the back side angle will be more important than standard cutters, consequently proposed cutters should have greater efficiency.

**Keywords:** gears, worm cutters, cutting tools, undercutting

#### Бібліографічний список використаної літератури

1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. - М.: Наука, 1968. - 586 с.
2. Болотовский И.А. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных передач. - М: Машиностроение, 1986. - 447 с.
3. Гинзбург Е.Г. Зубчатые передачи: Справочник. - Л.: Машиностроение, 1980. - 416 с.
4. Залгаллер В. А. Теория огибающих. М. Наука 1975г.-104 с
5. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием. - К.: Выща школа, 1977. - 190 с.
6. Охріменко О.А. Формоутворення поверхні зубчастих косозубих зубчастих коліс при зубофрезеруванні. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. - Краматорськ, вип. №31, 2013 С.38-46.
7. Равская Н.С. Определение угла в плане червячных фрез при нарезании косозубых зубчатых колес. / Равская Н.С., Охрименко А.А. //Известия ТулГУ, Тула, Российская федерация. Технические науки №8 2013 - С. 179-189.
8. Елисеєв Ю.С. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей.// Елисеєв Ю.С., Крымов В.В., Нежурин И.П., Новиков В.С., Рыжов Н.М / - М.: Высшая школа, 2001. - 493 с.
9. 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. - 179с.

#### References

1. Litvin F.L. Teoriya zubchatykh zaceplenij. Moscow: Nauka, 1968. 586 p.
2. Bolotovskij I.A. Spravochnik po geometricheskomu raschetu jevol'ventnykh zubchatykh i cherv'yachnykh peredach. Moscow: Mashinostroenie, 1986. 447 p.
3. Ginzburg E.G. Zubchatye peredachi: Spravochnik. Leningrad: Mashinostroenie, 1980. 416 p.
4. Zalgaller V. A. Teoriya ogibajushhih. Moscow. Nauka 1975. 104 p
5. Rodin P. R. Osnovy formoobrazovaniya poverhnostej rezaniem. Kyiv: Vyshha shkola, 1977. 190 p.
6. Ohrimenko O.A. Formoutvorennja poverhni zubchastih kosozubih zubchastih kolis pri zubofrezervuvanni. Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem. Zbirnik naukovih prac'. Kramators'k, vip. No.31, 2013 PP.38-46.
7. Ravskaja N.S, Ohrimenko A.A. Opredelenie ugla v plane cherv'yachnykh frez pri narezanii kosozubykh zubchatykh kolos. Izvestija TulGU, Tula, Rossijskaja federacija. Tehniceskie nauki. No.8 2013. PP. 179-189.
8. Eliseev Ju.S., Krymov V.V., Nezhurin I.P., Novikov V.S., Ryzhov N.M. Proizvodstvo zubchatykh kolos gazoturbinyh dvigatelej. Moscow: Vysshaja shkola, 2001. 493 p.
9. Boguslaev V.O., Rav'ska N.S., Kachan O.Ja., Balushok K.B., Mozgovij V.F., Ohrimenko O.A. Formoutvorennja cherv'yachnykh zuboriznykh frez. Zaporizhzhja, vid. VAT «Motor Sich», 2007 . 179 p.