

УДК 621.833.002

Я.М. ЛИТВИНЯК, І.Є. ГРИЦАЙ, Є.М. МАХОРКІН
Національний університет "Львівська політехніка"

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ГНУЧКОСТІ ОПЕРАЦІЙ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗУБЦІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

© Литвиняк Я.М., Грицай І.Є., Махоркін Є.М., 2008

Наведені результати дослідження процесу утворення зубців синусоїдального профілю за узгодженого руху заготовки зубчастого колеса з коловим рухом осі дискового інструмента, які забезпечують підвищення технологічної гнучкості операцій фрезерування зубців в автоматизованому виробництві.

The results of research of process of formation of indents of sinewave type are resulted at the concerted motion of purveyance of gear-wheel with circled motion of axis of disk instrument for the increase of technological flexibility of operations of milling of indents in the automated production.

Постановка проблеми. Споживачі транспортних, вантажопідіймальних машин, верстатів тощо визначають вимоги, які повинні задовольняти зубчасті передачі, а саме: достатньо висока точність, мал шумність, висока міцність за низької металоємності, оптимальне співвідношення ціна – якість. Зростання типорозмірів зубчастих передач додатково ускладнює завдання виготовлення зубчастих коліс, що на сучасному етапі розвитку машинобудування спонукає до використання переналаджувального устаткування, технологічного спорядження, металорізальних інструментів і технологічних процесів, пристосованих до потреб виробництва, яке швидко змінюється.

Застосування зубофрезерних верстатів з ЧПК належить до одного із способів досягнення поставлених завдань, який достатньо активно реалізується у провідних промислово розвинутих країнах, хоча вимагає відповідного сучасного інструментального забезпечення, а саме, конструктивно видозмінених комбінованих або суцільних черв'ячних фрез класу точності А або АА [1, 6].

Інший шлях, який цілком відповідає умовам виробництва на вітчизняних підприємствах, ґрунтується на повнішому використанні технологічних можливостей існуючих універсальних зубофрезерних верстатів після їх певної модернізації, яка полягає в оснащенні додатковим, нетиповим технологічним спорядженням і конструктивно простими зуборізними дисковими інструментами, що адаптовані до реалізації нових технологічно гнучких процесів формоутворення зубчастих вінців, вимагає незначних капіталовкладень, однак потребує ґрунтовних наукових досліджень. Все це в комплексі загалом дозволить забезпечити сучасні високі вимоги до підвищення надійності зубчастих передач [2, 3, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Профіль зубців зубчастих коліс визначається здебільшого способом його отримання. Переважальність у застосуванні зубчастих передач з евольвентним профілем зубців ґрунтується на технологічності отримання робочих поверхонь зуборізних інструментів, особливо тих, які реалізують метод обкочування, наприклад, черв'ячних фрез з прямолінійними головними різальними ребрами.

Сучасні еволюційні тенденції розвитку технологічних процесів виготовлення зубчастих коліс свідчать про те, що на відповідних зарубіжних підприємствах операція зубофрезерування є основною операцією, яка забезпечує кінцеву високу точність виготовлення зубчастого вінця. Конструкції сучасних черв'ячних фрез удосконалюються в напрямку підвищення точності, що,

свою чергою, спонукає підвищувати точність їх встановлення на зубофрезерному верстаті. Для цього черв'ячні фрези виготовляють суцільними з двома посадковими шийками циліндричної або конічної форми, тобто традиційні фрезерні оправки не застосовуються. Загальна робоча ширина згаданих фрез у 3–4 рази перевищує ширину традиційних черв'ячних фрез. Крім того, сучасні фрези можуть бути комбінованими, тобто суміщати одночасно декілька інструментів, наприклад, чорнову, чистову черв'ячні фрези та фрезу для зняття фасок. Іншою важливою конструктивною особливістю сучасних черв'ячних фрез є застосування модифікованого профілю, який, незважаючи на певну видозміну евольвентного профілю зубчастого вінця колеса, дає змогу покращити шумові характеристики зубчастої передачі, а також отримати раціональні припуски для подальшої фінішної обробки. Застосування згаданих інструментів економічно доцільне вже у серійному виробництві і потребує відповідних зубофрезерних верстатів з ЧПК, на яких з одного встановлення заготовки виконується чорнове та чистове нарізання, зняття фасок і заокруглення зубців завдяки функціональній можливості верстатів забезпечити необхідне осьове переміщення удосконалених черв'ячних фрез з метою зміни їх робочих ділянок. Однак, перераховані особливості зубофрезерування потребують в комплексі значних капіталовкладень, тому їх реалізація на вітчизняних підприємствах є доволі проблематичною [1, 6].

Альтернативним способом зубофрезерування черв'ячними фрезами є спосіб нарізання зубчастих вінців дисковими фрезами за методом обкочування за умови безперервного ділення з переміщенням осі фрези по круговій траєкторії або зворотно-поступально. Узгоджений рух інструмента та заготовки дає можливість надати зубцям колеса синусоїдального профілю за значно вищої, порівняно з традиційною, продуктивності зубофрезерування. Згаданий профіль дозволяє дещо покращити показники міцності, зносостійкості зубців колеса та шумові характеристики зубчастої передачі. Однак, існуючі відомості про взаємозв'язок конструктивних показників синусоїдальних зубчастих коліс з технологічними факторами процесу зубонарізання не дозволяють практично реалізувати загалом перспективний спосіб зубооброблення [2, 3, 4].

Формулювання мети досліджень. Мета досліджень – моделювання процесу кінематичного утворення зубців синусоїдального профілю за узгодженого обертання заготовки зубчастого колеса з коловим рухом осі дискового інструмента для забезпечення технологічної гнучкості операцій зубооброблення в автоматизованому виробництві.

Викладення основного матеріалу досліджень. Технологічний спосіб зубонарізання циліндричних зубчастих коліс в умовах обкочування у разі неперервного ділення, дає змогу здійснити формоутворення бокових поверхонь зубців зубчастого колеса за рахунок колового руху дискового інструмента (КРД), здебільшого дискової фрези, який встановлений із певним зміщенням (ексцентрично) щодо осі обертання інструментальної верстатної оправки. Кінематично узгоджений рух заготовки зубчастого колеса та дискового інструмента супроводжується почерговим переміщенням дискового інструмента в міжзубцевій западині та оминанням попередньо утвореного зубця зубчастого колеса. Бокова поверхня зубців колеса формується двопараметричною сукупністю положень переважально вершин різальних лез зубців дискового інструмента. Завдяки цьому існує можливість отримувати криволінійні випукло-ввігнуті бокові поверхні зубців зубчастого колеса синусоїдального профілю.

Схема взаємодії зубців дискового інструмента із циліндричною заготовкою зубчастого колеса при КРД зображена на рис.1. У своїй торцевій площині дисковий інструмент, разом із зв'язаною рухомою інструментальною системою координат $S_1(x_1, y_1, z_1)$, переміщається по колу радіусом e навколо точки O , з одночасним поворотом інструмента навколо точки O_1 на центральний кут. Точки O та O_1 в торцевій площині інструмента є проєкціями відповідно осі верстатної технологічної оправки та осі інструмента.

Дисковий інструмент складається з різальних зубців $K_1, K_2, \dots, K_i \dots, K_j$ кожен з яких розташований рівномірно вздовж кола радіуса R_1 з центральним кутом між зубцями $\beta_{ct0} = 2\pi/Z_0$, де Z_0 – загальне число зубців дискового інструмента. Кутіві координати окремих зубців β_{ctj} залежать від початкової кутіві координати β_{ct1} першого зубця K_1 та порядкового номера Z_{ctj} певного зубця інструмента так:

$$\beta_{ctj} = \beta_{ct1} + (Z_{ctj} - 1) \cdot \beta_{ct0} \quad (1)$$

Кожна вершина зубця інструмента $K_1, K_2, \dots, K_i \dots, K_j$ в торцевій площині інструмента щодо центра обертання технологічної оправки O рухається по коловій траєкторії певного радіуса. Віддалі від вершини певного зубця до осі дискового інструмента та до осі технологічної оправки, відповідно до точок O_1 та O – різні, наприклад, $R_1 \neq R_{K2}$. Радіуси колових траєкторій вершин зубців інструмента в його торцевій площині, з врахуванням (1), визначаються згідно з виразом

$$R_{Kj} = \sqrt{r^2 + R_j^2 + 2 \cdot r \cdot R_j \cdot \cos(\beta_{ct1} + (Z_{ctj} - 1) \cdot \beta_{ct0})}. \quad (2)$$

Загальні траєкторії руху вершин зубців дискового інструмента також різні, а слід різання, що залишає у міжзубцевій западині заготовки кожний зубець інструмента, відмінний один від одного як в радіальному, так і в коловому напрямках заготовки. У початковий момент часу система координат S_1 разом з дисковим інструментом займає положення $S_{10} (x_{10}, y_{10}, z_{10})$, а після повороту навколо точки O на центральний кут θ_1 – положення $S_{11} (x_{11}, y_{11}, z_{11})$. Тоді вершини зубців $K_2, K_3, K_4,$

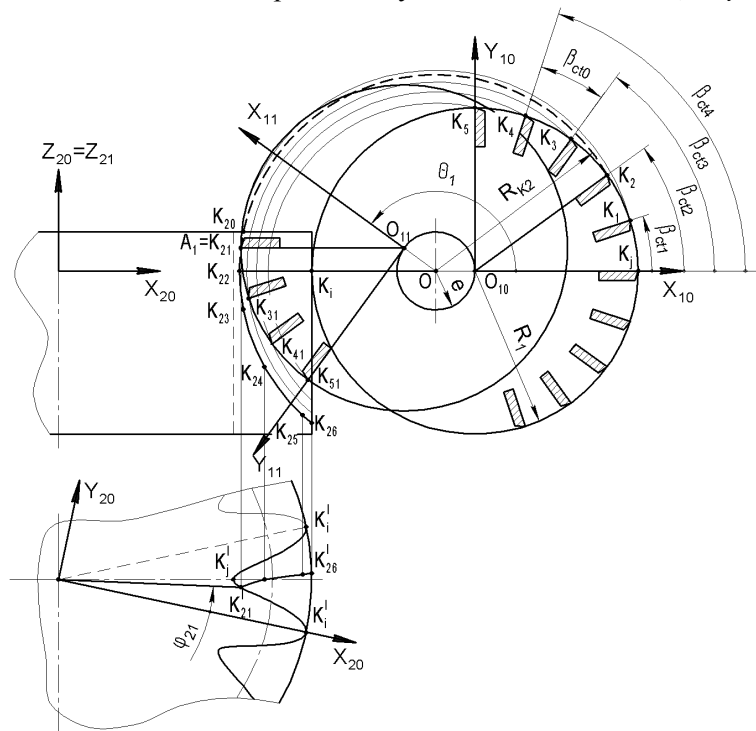


Рис 1. Схема нарізання зубців способом неперервного ділення за колового руху дискового інструмента

K_5 займуть у міжзубцевій западині заготовки колеса положення $K_{21}, K_{31}, K_{41}, K_{51}$. У конкретний момент часу профіль зубця колеса формується лише точкою K_{21} , яка розташована на початку відрізка $K_{21}O_{11}$, що паралельний координатній осі $O_{10}X_{10}$. Для цього положення проекція на координатну вісь $O_{10}X_{10}$ вершини зубця K_{21} розташована найдалі щодо точки O на відміну від відповідних проекцій координат вершин зубців K_{31}, K_{41}, K_{51} , які раніше за вершину зубця інструмента K_{21} здійснили кінцеве формування профілю зубця колеса, оскільки $R_{K2} > R_{K3} > R_{K4} > R_{K5}$.

Після формування відповідної ділянки профілю зубця зубчастого колеса, вершина зубця дискового інструмента K_{21} в міжзубцевій западині заготовки продовжує в торцевій площині дискового інструмента рух по коловій траєкторії радіусом R_{K2} , займаючи послідовно положення $K_{22} \dots K_{26}$. Однак у цей час, формоутворення профілю зубця заготовки здійснюють вершини наступних різальних зубців дискового інструмента, а вершини $K_{22} - K_{26}$ формують допоміжну поверхню у міжзубцевій западині заготовки. У торцевій площині заготовки кінцевий

синусоїдальний профіль, утворений між точками $K'_i - K'_{21} - K'_j - K'_i$, а траєкторія руху вершини K_{21} відображена кривою $K'_{21} - K'_{26}$.

Профіль зубців циліндричного зубчастого колеса, утворюваного вершинами різальних зубців дискового інструмента, які розташовані на профілюючому колі, визначається сукупністю положень точок A_{i1} . Координати точок $A_{i1} \equiv K_{i1}$ (наприклад, $A_1 \equiv K_{21}$) в системі координат $S_2(x_2, y_2, z_2)$, яка своєю чергою зв'язана із заготовкою зубчастого колеса, дають змогу встановити таку систему параметричних рівнянь синусоїдального профілю бокових поверхонь зубців зубчастого колеса:

$$\begin{cases} x_2 = (R_2 + \chi_1 + e \cdot \cos \theta) \cdot \cos \varphi_2 - \delta \cdot \sin \varphi_2; \\ y_2 = -(R_2 + \chi_1 + e \cdot \cos \theta) \cdot \sin \varphi_2 - \delta \cdot \cos \varphi_2; \\ z_2 = e \cdot \sin \theta + \psi, \end{cases} \quad (3)$$

де θ – кут повороту інструментальної оправки навколо своєї осі разом з ексцентрично встановленим дисковим інструментом; ψ – величина подачі дискового інструмента вздовж осі заготовки зубчастого колеса; δ – величина осьового зміщення профілюючого кола дискового інструмента щодо центральної площини симетрії зубчастого колеса; R_2 – радіус початкового кола нарізаного зубчастого колеса ($R_2 = 0,5 \cdot m \cdot Z_2$, де Z_2 – кількість зубців зубчастого колеса; φ_2 – кут повороту рухомої системи координат S_2 , зв'язаної із заготовкою нарізаного зубчастого колеса ($\varphi_2 = \frac{\theta}{Z_2}$); e – величина зміщення осі дискового інструмента; χ_1 – величина радіального корегування.

Профільююче коло дискового інструмента утворюється вершинами його зубців $K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_j$, які під час обертання дискового інструмента розташовані в одній площині, яка своєю чергою в ідеальному випадку повинна збігтися з центральною площиною симетрії, а також проходити через вісь обертання заготовки зубчастого колеса. Друга особливість способу КРД полягає в тому, що профіль зубців зубчастого колеса не залежить від радіуса R_1 дискового інструмента, оскільки в залежностях (3) згаданий фактор відсутній. Тобто однаковий профіль зубців колеса можна отримати різними за діаметром дисковими інструментами. Під час нарізання зубців зубчастого колеса вершина кожного різального зубця дискового інструмента навколо нерухомої заготовки рухається по гвинтоподібній траєкторії, яка утворена на поверхні тора, вісь якого збігається з віссю заготовки зубчастого колеса, а радіус поперечного перерізу тора для кожної вершини зубця дискового інструмента визначається за формулою (2). Кожна згадана гвинтоподібна траєкторія на торі дотикається до синусоїдального профілю зубців колеса лише в одній точці, наприклад, $A_1 \equiv K_{21}$ (див. рис.1).

Геометричні параметри зубців синусоїдальних зубчастих коліс визначаються в основному двома факторами – величиною осьового зміщення профілюючого кола дискового інструмента щодо центральної площини симетрії зубчастого колеса та колового зміщення e осі дискового інструмента. Формоутворення бокових поверхонь зубців не залежить від зовнішнього діаметра дискового інструмента R_1 . Осьове зміщення δ профілюючого кола щодо центральної площини симетрії заготовки зубчастого колеса, яке аналогічне похибці встановлення інструмента на зубообробному верстаті, супроводжується спотворенням симетричної форми зубця зубчастого колеса в його коловому напрямку.

Параметр δ можна використати для визначення профілю зубців зубчастого колеса під час застосування дискового інструмента з головним різальним лезом завдовжки 2δ , яке паралельне до осі обертання інструмента. Під час нарізання зубців згаданим дисковим інструментом на зубчастому колесі спостерігається збільшення ширини міжзубцевої западини з одночасним зменшенням товщини зубця. Забезпечення однакових по ширині розмірів западини та зубця на

ділильному діаметрі зубчастого колеса вимагає здійснення радіального корегування положення дискового інструмента, тобто для способу КРД необхідне зміщення дискового інструмента разом з верстатною оправкою в бік збільшення віддалі до осі обертання заготовки зубчастого колеса. Величину корегування χ_1 для згаданих умов доцільно знаходити на прикладі зубонарізання способом КРД прямозубої рейки (див. рис.2).

При $\delta=0$ формоутворення зубців синусоїдального профілю способом КРД на рейці здійснюється вершинами зубців дискового інструмента, розташованими на колі радіусом R_1 . У такому разі профіль зубців рейки окреслюється кривою 1, яка симетрична щодо ділильної прямої (вісь X), перетинає вісь X в точках A_1 та B_2 , які розташовані на віддалі $\frac{1}{2}P$, де P – крок зубців ($P = \pi \cdot m$). Тоді профіль зубців рейки у параметричній формі описується виразами

$$\begin{cases} x_0 = e \cdot k \cdot \theta ; \\ y_0 = -e \cdot \cos \theta ; \\ z_0 = 0, \end{cases} \quad (4)$$

де k – коефіцієнт форми синусоїдального профілю.

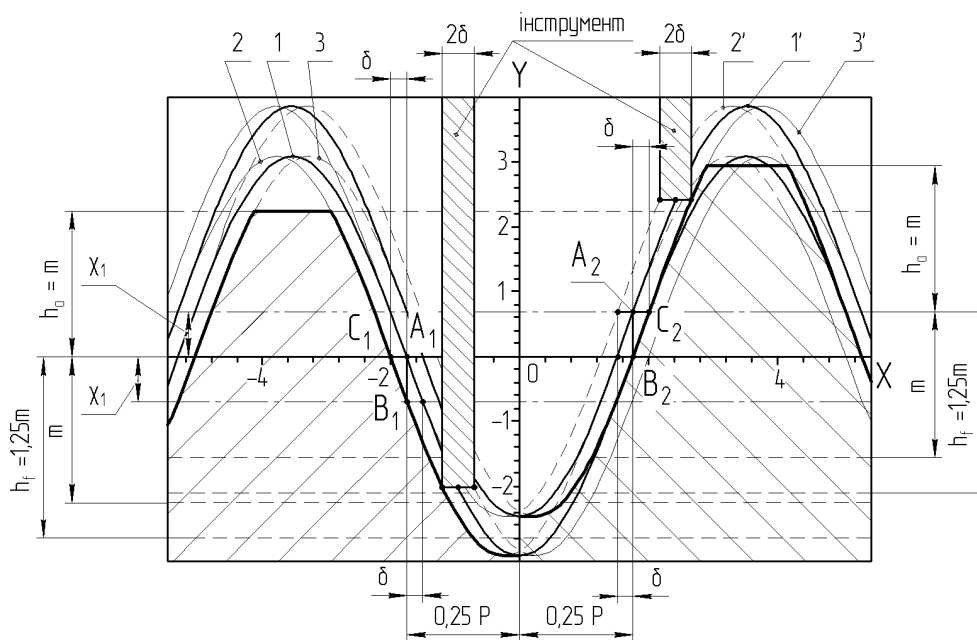


Рис. 2. Розрахункова схема корегування зубців синусоїдального профілю, нарізаних способом КРД на зубчастій прямозубій рейці під час застосування дискового інструмента з головним різальним лезом завдовжки 2δ (модуль $m=2,25$ мм)

Величини k , e залежать від модуля m та кута профілю α_0 рейки на ділильній прямій. Беручи

до уваги співвідношення $tg\alpha_0 = \frac{dx_0}{dy_0} = \frac{k}{\sin \theta}$ або $k = tg\alpha_0 \cdot \sin \theta$, а також враховуючи, що в точці

A_1 на ділильній прямій $\theta = \theta_{A_1} = \frac{\pi}{2}$, отримуємо

$$k = tg\alpha_0, \quad e = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{tg\alpha_0}. \quad (5)$$

Приймаючи кут профілю $\alpha_0 = 20^\circ$, який використовується для евольвентних зубчастих передач, згідно з (4) та (5) отримуємо $k_0 = 0,36397$, $e_0 = 1,37374 \cdot m$. Кут профілю α_0 безпосередньо визначає форму бокової поверхні зубця синусоїдального профілю. Для одного модуля m у разі збільшення кута профілю α_0 зменшуються висота профілю зубця і величина зміщення e осі дискового інструмента.

Коефіцієнт форми k визначає пологість синусоїдального профілю. Застосовувані для зубонарізання реальні дискові інструменти здебільшого мають леза різальних зубців певної довжини. Тому в формоутворенні профілю зубців рейки беруть участь крайні вершини різального леза, які зміщені щодо площини симетрії дискового інструмента на величину δ . Товщина отримуваних зубців рейки зменшується відповідно на подвійну довжину відрізка A_1C_1 . Технологічно забезпечити розрахункову величину товщини зубця рейки можна корегуванням положення використовуваного дискового інструмента, що полягає у його прямолінійному переміщенні на величину $\chi_1 = A_1B_1 = A_2B_2$. Завдяки цьому нарізається корегований синусоїдальний профіль, який на ділильній прямій збігається з вихідним розрахунковим профілем (кривою 1) і формується почергово правою та лівою вершинами різального леза дискового інструмента. Права частина корегованого профілю окреслюється кривою $2'$, а ліва частина профілю – кривою $3'$. Для корегованого профілю прямозубої рейки залишається незмінним кут профілю α_0 в точці B_2 , проте, змінюється величина зміщення осі дискового інструмента e_{cr} та коефіцієнт форми k_{cr} . Абсциса точки A_2 кривої $1'$ визначається згідно з співвідношеннями – $x_{crA_2} = e_{cr} \cdot k_{cr} \cdot \theta_{A_2} = e_{cr} \cdot k_{cr} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{1}{4} \cdot P$, тобто $e_{cr} = \frac{m}{2 \cdot k_{cr}}$. Враховуючи

значення кутового параметра θ_{B_1} для кривої 2, абсциса точки B_1 визначається так:

$|x_{B_1}| = e \cdot k \cdot |\theta_{B_1}| = \left(\frac{1}{4} \cdot P - \delta \right)$. Беручи до уваги вирази (5), отримуємо $|\theta_{B_1}| = \left(\frac{\pi}{2} - \frac{2\delta}{m} \right)$. Для точок B_1 та

B_2 відповідно кривих 2 та $3'$, справджується співвідношення між кутовими параметрами $\theta_{B_2} = |\theta_{B_1}|$.

Крім того, в точці A_1 кривої 1 передбачаємо, що кут профілю α_0 дорівнює куту профілю в точці B_2

кривої $3'$, тобто $\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{d x_{cr}}{d y_{cr}} = \frac{k_{cr}}{\sin \theta_{B_2}}$ або $k_{cr} = \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} - \frac{2\delta}{m} \right)$. Величина корегування χ_1

визначається, як ордината точки B_1 за другим виразом системи (4): $\chi_1 = |y_{0B_1}| = e \cdot \cos \theta_{B_1}$. Отже, значення χ_1 , e_{cr} та k_{cr} розраховуються за такими залежностями:

$$\chi_1 = e \cdot \sin \left(\frac{2\delta}{m} \right), \quad k_{cr} = \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \cos \left(\frac{2\delta}{m} \right), \quad e_{cr} = \frac{m}{2 \cdot k_{cr}}. \quad (6)$$

Під час зубонарізання товщина зубців коліс виконується меншою від теоретичної $s = 0,5 \cdot \pi \cdot m$ на величину Δs необхідного зменшення товщини зуба колеса з метою утворення потрібного бокового зазору j в зубчастій передачі. Зменшення товщини зубця колеса практично можна здійснювати відповідною зміною віддалі між верстатною оправкою з дисковим інструментом та оброблюваною заготовкою зубчастого колеса, тобто величина корегування χ_1 зменшується на величину $\Delta \chi_1$. Якщо прийняти величину загального потовщення зубців стандартних черв'ячних фрез згідно з ГОСТом 9324-80 такою, що дорівнює величині Δs (наприклад, $\Delta s = 0,11$ мм для $m = 2$ мм; $\Delta s = 0,17$ мм для $m = 5$ мм; $\Delta s = 0,21$ мм для $m = 10$ мм), тоді згідно з рис.2 для однієї сторони профілю прямозубої рейки отримуємо $\Delta \chi_1 = \frac{\Delta s}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_0}$. Отже,

система параметричних рівнянь (3), для випадку корегованого синусоїдального профілю бокових поверхонь зубців прямозубого зубчастого колеса, набуває вигляду

$$\begin{cases} x_{cr2} = (R_2 + \chi_1 - \Delta\chi_1 + e_{cr} \cdot \cos \theta) \cdot \cos \varphi_2 - \delta \cdot \sin \varphi_2; \\ y_{cr2} = -(R_2 + \chi_1 - \Delta\chi_1 + e_{cr} \cdot \cos \theta) \cdot \sin \varphi_2 - \delta \cdot \cos \varphi_2; \\ z_{cr2} = e_{cr} \cdot \sin \theta + \psi, \end{cases} \quad (7)$$

Профіль зубців прямозубого зубчастого колеса, згідно з виразами (7), зображений на рис. 3.

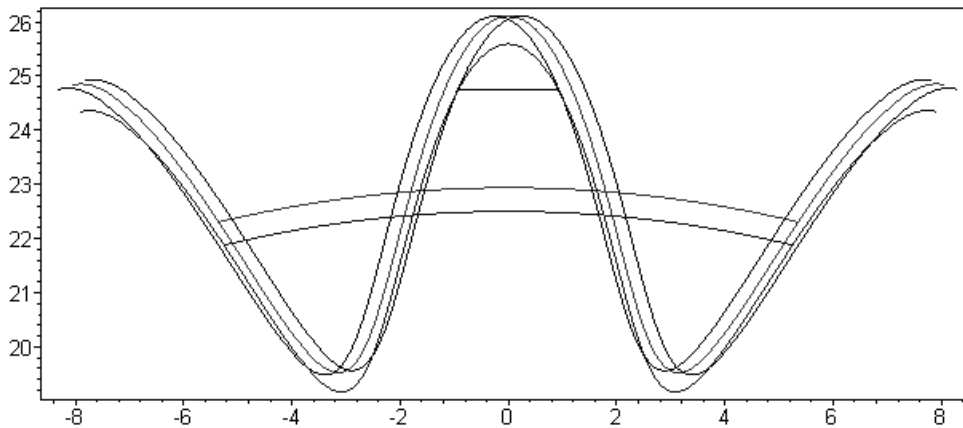


Рис. 3. Прогнозований профіль синусоїдальних корегованих зубців прямозубого зубчастого колеса ($m=2,25$ мм, $Z_2=20$, $R_2 = 22,5$ мм, $\alpha_0=20^\circ$, $\delta = 0,25$ мм, $\chi_1 = 0,698$ мм, $\Delta s = 0,19$ мм, $\Delta\chi_1 = 0,261$ мм, $e_{cr} = 3,168$ мм, $k_{cr} = 0,355$)

Висновки. Підвищення технологічної гнучкості операцій фрезерування зубців зубчастих коліс в автоматизованому виробництві можливе завдяки впровадженню альтернативних існуючим способів зубонарізання, що може забезпечити вагомі технічні та економічні результати. Спосіб зубофрезерування методом обкочування за колового руху дискового інструмента із зміщеною віссю в умовах безперервного ділення забезпечує підвищення продуктивності зубонарізання, дає змогу отримати зубчасті колеса із зубцями синусоїдального профілю, а також покращити експлуатаційні характеристики зубчастих передач. Застосування дискових інструментів супроводжується корегуванням їх радіального положення щодо заготовки зубчастого колеса для врахування довжини головного різального леза зубця дискового інструмента та товщини зубця зубчастого колеса. Профіль зубців колеса визначається кутом профілю, модулем та кількістю зубців колеса і впливає на величину зміщення осі дискового інструмента щодо осі верстатної оправки.

1. Антонюк В.Е. *Современные технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес // Оборудование и инструмент для профессионалов. Сер. Металлообработка. – 2007. – №4. – С. 6–18.*
2. Грицай І.Є., Благут Е.М., Яворський В.З. *Синусоїдальне зубчасте зачеплення та новий ефективний метод його виготовлення // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: Матер. 5-й Междунар. промышлен. конф., п. Славское, Карпаты. – К.: УИЦ “Наука. Техника. Технология”. – 2005. – С. 47–50.*
3. Грицай І.Є., Благут Е.М. *Зубчастые эвольвентные передачи: достоинства и недостатки традиции // Оборудование и инструмент для профессионалов. Сер. Металлообработка. – 2005. – №2. – С. 36–40.*
4. Грицай І.Є., Литвиняк Я.М., Кук А.М. *Застосування дискових фрез із рухомою віссю обертання для покращення техніко-економічних показників виготовлення циліндричних зубчастих коліс. Інструменти та інструментальне виробництво: Матер. 1-ї наук.-практ. конф. Львів, 24–25 жовтня. Зб. наук. статей. – Львів: ЛвЦНТЕІ, 2007. – С. 31 – 32.*
5. Литвин Ф.Л. *Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука, 1968. – 584 с.*
6. Локтев Д.А. *Рациональная эксплуатация современных червячных фрез // Оборудование и инструмент для профессионалов. Сер. Металлообработка. – 2007. – №4. – С. 20–23.*