

Секція 3

ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА. ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 621.833.002

Я.М. ЛИТВИНЯК

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ГНУЧКОСТІ ОПЕРАЦІЙ ЗУБОНАРИЗАННЯ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ПІДВИЩЕНОЇ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОЦЕСУ РАДІАЛЬНО-КОЛОВОГО ПРОФІЛЮВАННЯ ЗУБЦІВ

© Литвиняк Я.М., 2012

Проведено моделювання операції нарізання евольвентних зубчастих коліс дисковими фрезами під час інтегрованого застосування процесів радіально-колового зубонарізання дисковою фрезою та копіювання за безперервного ділення. Процес дає змогу підвищити продуктивність та досягнути необхідної точності профілю зубців колеса.

The design of cutting operations of gear-wheels involutes is conducted. In cylinder wheels, cuttings of indents carry out a disk milling cutter. The new process of copying will be realized the continuous rotation of purveyance of wheel is provided in which.

Постановка проблеми. Зубчасті колеса належать до групи деталей, що утворюють найпоширеніші передачі, які використовуються у багатьох виробках, виготовлених на машинобудівних підприємствах. Отримання зубчастих коліс різних типорозмірів супроводжується значними витратами, які зосереджені на операціях формоутворення зубців. Крім того, безпосередньо з технологічними чинниками також пов'язані експлуатаційні показники циліндричних зубчастих передач, що залежать як від точності зубчастих коліс, так і від їх потенційної навантажувальної здатності, яка, своєю чергою, здебільшого визначається формою профілю зубців і формою міжзубцевої западини. Висока вартість зубонарізних верстатів, інструментів, оснащення та значна тривалість зубонарізних операцій дають змогу сформулювати завдання щодо пошуку шляхів для підвищення техніко-економічних показників технологічних процесів виготовлення, насамперед найрозповсюдженіших циліндричних зубчастих коліс. Застосування зубообробних верстатів, керованих системами ЧПК, сучасних зуборізальних інструментів із високоміцних інструментальних матеріалів супроводжується підвищенням точності зубчастих коліс без істотного зростання продуктивності, а зрештою, і

економічних показників. Такий стан речей пояснюється тим, що під час формування профілю зубців коліс застосовують лише два традиційні методи формоутворення – копіювання та обкату, яким властива низка відносних не тільки переваг, але й недоліків та обмежень. Отже, наукові пошуки, що стосуються розроблення і дослідження альтернативних існуючим процесів зубонарізання, які можуть бути реалізовані, зокрема в автоматизованому виробництві, за незначних капіталовкладень, але уможливають забезпечити технологічну гнучкість, адаптованість до змінюваної номенклатури циліндричних зубчастих коліс на постійному верстаному устаткуванні обмеженою кількістю зуборізальних інструментів і технологічного оснащення, належать до актуальних та перспективних для машинобудування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для усунення недоліків, властивих процесам нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами (метод обкату) чи модульними дисковими фрезами (метод копіювання або метод ділення), пропонується для використання новий процес радіально-колового зубонарізання дисковою фрезою з безперервним діленням (РКБД), що полягає у прорізання міжзубцевої западини у заготовці зубчастого колеса, що безперервно обертається, дисковою фрезою, встановленою із ексцентриситетом на інструментальній оправці зубофрезерного верстата [2]. Виконані пошукові експериментальні дослідження дали змогу встановити, що практичне застосування процесу РКБД потребує певних доопрацювань, оскільки надання головному різальному ребру зубця зуборізального інструмента – дисковій фрезі – певної, навіть незначної ширини 2δ , супроводжується відповідним, інколи значним зменшенням товщини зубця оброблюваного зубчастого колеса. Внаслідок цього зубець ЗК отримує такий профіль, який не повністю забезпечує належні параметри зачеплення у циліндричних зубчастих передачах [1]. Необхідно зауважити, що у проєктованих чи використовуваних різноманітних машинах і механізмах застосовують здебільшого циліндричні евольвентні зубчасті передачі. Виготовлення для цих передач зубчастих коліс із евольвентними зубцями можна здійснювати також за допомогою процесу РКБД, що ефективніший від використовуваних методів зубонарізання, однак його реалізація можлива лише завдяки застосуванню на зубофрезерному верстаті додаткового, простого за конструкцією, інструментального оснащення і звісно ж за дотримання науково обґрунтованих технологічних рекомендацій [1, 2].

Формулювання мети досліджень. Моделювання комплексного процесу копіювання із застосуванням дискових фрез із профільованими різальними зубцями за умови безперервного ділення та радіально-колового формоутворення для операцій зубонарізання циліндричних евольвентних коліс в автоматизованому виробництві.

Викладення основного матеріалу досліджень. Застосування для процесу РКБД інструмента – дискової фрези (ДФ), що повинна обов'язково мати зубці з певною шириною 2δ головного різального ребра, супроводжується отриманням зубців у нарізованому зубчастому колесі (ЗК) із меншою від потрібної товщини, а також з синусоподібним профілем, який відмінний від евольвентного. Зубці ЗК матимуть найбільшу товщину, що дорівнює половині колового кроку, тільки за умови $2\delta = 0$. Однак така загострена форма у плані різального зубця ДФ не має практичного застосування внаслідок дуже низької стійкості. Отже, забезпечення прийнятної стійкості ДФ вимагає використання різальних зубців із певною шириною 2δ , а отримання евольвентного профілю зубців ЗК потребує відповідного корегування параметрів інструмента і технологічних чинників.

Пропонується для отримання евольвентного профілю зубців ЗК за допомогою процесу РКБД поєднати два способи: копіювання кінематичного, який реалізується процесом радіально-колового формоутворення дисковим інструментом (РКБД), та традиційного копіювання, який полягає у кінцевому наданні потрібного профілю зубцям ЗК фасонною дисковою фрезою, різальна частина зубців якої має евольвентний профіль. Такий гібридний технологічний процес зубонарізання

поєднує переваги високопродуктивного різання ДФ, спорядженої стійкими до спрацювання твердосплавними різальними зубцями (незважаючи на фасонну їх форму) та усунення одного з основних недоліків методу традиційного копіювання – зниження продуктивності зубонарізання внаслідок значного допоміжного часу, що витрачається на дискретний поворот на один зубець заготовки ЗК (на відміну від цього, процес РКБД здійснюють за безперервного обертання заготовки ЗК) [1]. У цьому випадку встановлена з ексцентриситетом на інструментальній оправці зубофрезерного верстата ДФ периферійною частиною своїх різальних зубців завширшки 2δ прорізає міжзубцеві западини ЗК, здійснюючи основну частину роботи зубонарізання, а евольвентного профілю зубцям ЗК надають спрофільовані по евольвенті бокові фасонні леза зубців ДФ під час короткотривалого розташування у певному місці на траєкторії свого відносного руху. Для того, щоб периферійні ділянки зубців ДФ завширшки 2δ не зрізали значну частину зубців ЗК, потрібну для формування на них евольвентного профілю, було запропоновано істотно збільшити величину ексцентриситету e , з яким встановлена ДФ на інструментальній оправці зубофрезерного верстата [2]. Такий технологічний захід виявився для багатьох практичних випадків неприйнятним внаслідок обмеженості простору між ДФ, яка розміщена на інструментальній оправці, та стінкою супорта зубофрезерного верстата, а також значним зростанням радіальної складової сумарної швидкості різання, що істотно збільшувало динамічні навантаження на інструментальну оправку із встановленою ДФ.

Аналіз процесу різання, встановленого з ексцентриситетом ДФ при РКБД, дав змогу виявити одну особливість – радіальна складова швидкості відносного руху ДФ у міжзубцевих западинах ЗК перевищує певну допустиму межу, до якої не спостерігається накладання траєкторій відносного руху точок периферійної частини зубців ДФ завширшки 2δ на профіль евольвентних зубців ЗК, що нарізаються. Тому надання інструментальній оправці разом із ДФ протягом часу прорізання однієї міжзубцевої западини (за один повний оберт) періодичного, нерівномірного колового руху дасть змогу уникнути надмірного зрізання матеріалу із зубців ЗК боковою частиною зубців ДФ завширшки 2δ . Наведене реалізовано у технологічному заході нарізання зубчастих коліс із застосуванням процесу РКБД разом із копіюванням профілю зубця колеса (РКБДК). Потрібні періодичні кутові сповільнення та пришвидшення (однакові за абсолютною величиною амплітуди та за середнім значенням) запропоновано здійснити за допомогою додаткового інструментального пристрою динамічної зміни кутової швидкості (ДЗКШ) (рис. 1).

Пристрій ДЗКШ складається із двох пар зубчастих коліс 7, 8, 9, 10 (КЗВ) з однаковими модулем, кількістю зубців і радіусами початкових кіл (R_0), а також вала 6, вісь якого паралельна до осі інструментальної оправки 1. Кожне із вказаних зубчастих коліс КЗВ має радіально зміщений зубчастий вінець. Величина радіального зміщення для усіх КЗВ однакова і дорівнює e_r . На інструментальній оправці 1 розташовані привідне зубчасте колесо 7 та ексцентрикова частина оправки 4, до якої прикріплене вихідне зубчасте колесо 10. Проміжні зубчасті колеса 8 та 9 встановлені на валу 6. Інструментальній оправці 1 та заготовці зубчастого колеса 2 надають рівномірних кутових швидкостей, які відповідно дорівнюють ω_{01} та ω_2 ($\omega_2 = \omega_{01} \cdot Z$, де Z – кількість зубців нарізуваного циліндричного колеса).

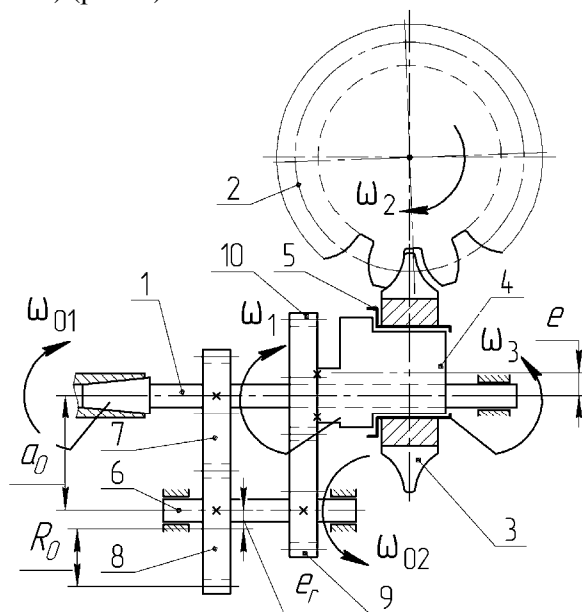


Рис. 1. Схема реалізації процесу РКБДК

Необхідне кутове сповільнення та рівне йому кутове пришвидшення отримує ексцентрикочастина 4 інструментальної оправки 1 в межах одного із Z циклів прорізання завдяки використуваному ДЗКШ, тобто постійна кутова швидкість ω_{01} перетворюється у нерівномірну кутову швидкість ω_1 колеса 10 та ексцентрикочастини 4. Крім того, проміжні зубчасті колеса 8, 9 разом із валом 6 обертаються з нерівномірною кутовою швидкістю ω_{02} . На ексцентрикочастині 4 розміщена втулка 5 разом із ДФ-3, якій надається додатковий обертовий рух (на схемі привід не відображений) із кутовою швидкістю ω_3 , що може регулюватися у певних межах залежно від потрібної швидкості нарізання.

Кожен із двох утворених КЗВ зубчастих механізмів, що входять до пристрою ДЗКШ, може бути замінений на еквівалентний двокривошипний механізм, у якому довжини кривошипів дорівнюють радіальному зміщенню зубчастих вінців e_r , а довжина шатуна l_0 та відстань a_0 між осями кривошипів (зубчастих коліс) пов'язані такими співвідношеннями: $a_0 = l_0$ та $a_0 = 2R_0$. Ведучий кривошип (колесо 7) має постійну кутову швидкість ω_{01} , а перший (колесо 8) та другий (колесо 10) ведені кривошипи отримують змінні кутові швидкості відповідно ω_{02} та ω_1 . Нерівномірність обертання зростає від вхідної ланки – інструментальної оправки 1 до вихідної ланки – ексцентрикочастини 4. Складаючи для першого еквівалентного двокривошипного механізму рівняння проєкцій кривошипів та шатуна на вертикальну та горизонтальну координатні осі і зважаючи на співвідношення між відповідними центральними кутами повороту кривошипів ($\varphi_{01}, \varphi_{02}, \varphi_1$) та їх кутовими швидкостями ($\omega_{01} = \frac{d\varphi_{01}}{dt}$, $\omega_{02} = \frac{d\varphi_{02}}{dt}$, $\omega_1 = \frac{d\varphi_1}{dt}$), згідно з методикою викладеною у [3], після певних перетворень отримуємо такі основні вирази:

$$e_r \cdot \sin \varphi_{01} + e_r \cdot \sin \varphi_{02} = l_0 \cdot \sin(\varphi_{01} - \varphi_{02});$$

$$(l_0 - e_r) \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_{01}}{2} = (l_0 + e_r) \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_{02}}{2}. \quad (1)$$

За аналогією для другого еквівалентного двокривошипного механізму з виразу (1) матимемо

$$(l_0 - e_r) \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_{02}}{2} = (l_0 + e_r) \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2}. \quad (2)$$

Отже, згідно з виразами (1) та (2), для цілого пристрою ДЗКШ співвідношення між кутами повороту ведучої ланки φ_{01} та веденої ексцентрикочастини φ_1 набудуть такого вигляду:

$$(l_0 - e_r)^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_{01}}{2} = (l_0 + e_r)^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2}; \quad (3)$$

$$\varphi_1 = 2 \cdot \operatorname{arctg} \left[\left(\frac{l_0 - e_r}{l_0 + e_r} \right)^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_{01}}{2} \right]. \quad (4)$$

Після знаходження квадрата виразу (3) встановимо ще одне важливе співвідношення:

$$\frac{\cos^2 \frac{\varphi_1}{2}}{\cos^2 \frac{\varphi_{01}}{2}} = \frac{\left(\frac{l_0 + e_r}{l_0 - e_r} \right)^4}{\sin^2 \frac{\varphi_{01}}{2} + \cos^2 \frac{\varphi_{01}}{2} \cdot \left(\frac{l_0 + e_r}{l_0 - e_r} \right)^4}. \quad (5)$$

Диференціюючи вираз (3) за параметром t і використовуючи (5), матимемо

$$(l_0 - e_r)^2 \cdot \frac{d\varphi_{01}}{dt} \cdot \frac{1}{\cos^2 \frac{\varphi_{01}}{2}} = (l_0 + e_r)^2 \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} \cdot \frac{1}{\cos^2 \frac{\varphi_1}{2}} ;$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_{01}} = \frac{\left(\frac{l_0 + e_r}{l_0 - e_r}\right)^2}{\sin^2 \frac{\varphi_{01}}{2} + \cos^2 \frac{\varphi_{01}}{2} \cdot \left(\frac{l_0 + e_r}{l_0 - e_r}\right)^4} . \tag{6}$$

Необхідно зауважити, що останній вираз (6) визначає змінне передавальне відношення пристрою ДЗКШ залежно від кута повороту інструментальної оправки.

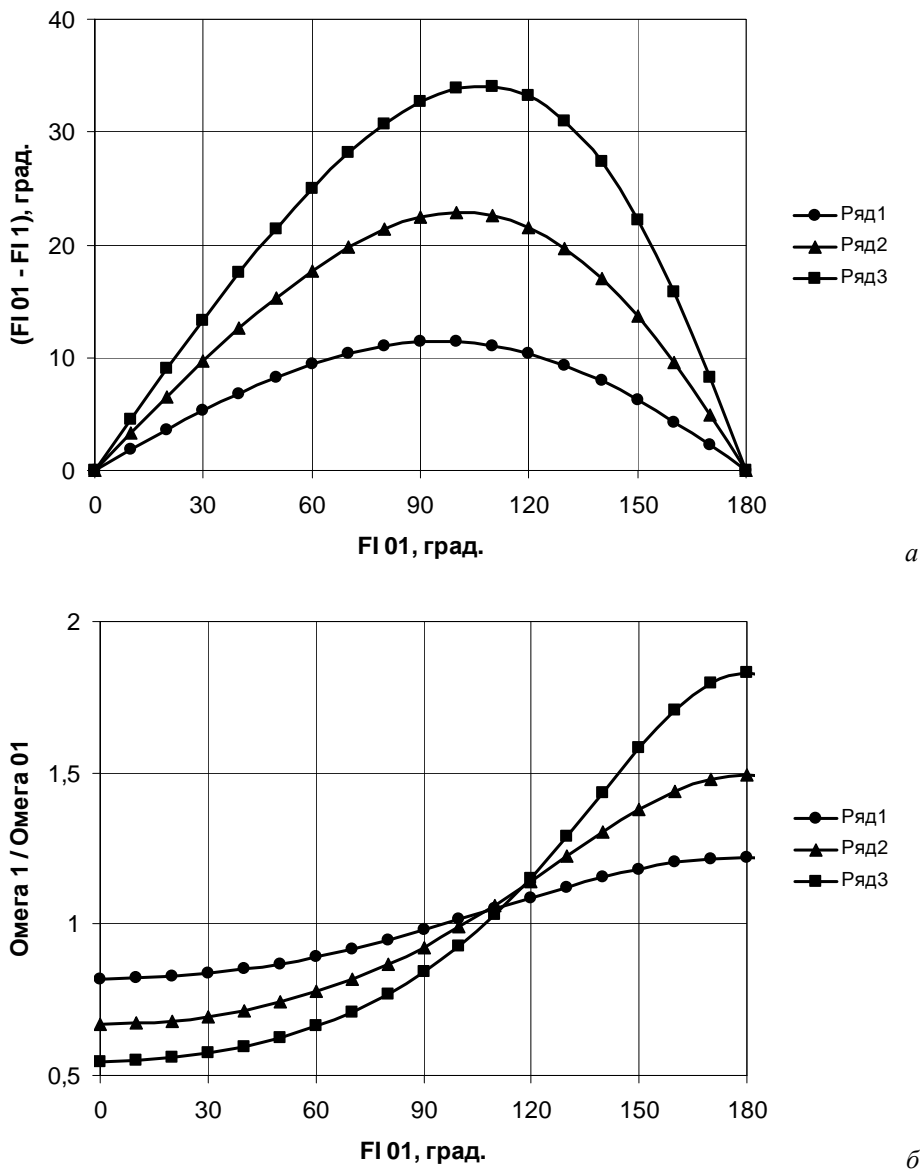


Рис. 2. Кут $(\varphi_{01} - \varphi_1)$ запізнення (випередження) ексцентрикової частини інструментальної оправки (а) та передавальне відношення $\frac{\omega_1}{\omega_{01}}$ пристрою ДЗКШ (б) залежно від початкового кута повороту:

φ_{01} ($R_0 = 50$ мм; $l_0 = 100$ мм; $e_r = 5$ мм (ряд 1); $e_r = 10$ мм (ряд 2); $e_r = 15$ мм (ряд 3))

Вплив початкового кута повороту інструментальної оправки φ_{01} на кут $(\varphi_{01} - \varphi_1)$ запізнення або випередження ексцентрикової частини інструментальної оправки та на передавальне відношення $\frac{\omega_1}{\omega_{01}}$ пристрою ДЗКШ відображений на рис. 2. У розглянутих межах зміни чинників кут $(\varphi_{01} - \varphi_1)$ запізнення (випередження) може досягти 34° , а передавальне відношення пристрою може становити 1,83. Отже, достатньо простий з конструктивного погляду пристрій ДЗКШ забезпечує надійне отримання змінного за величиною обертowego руху.

Висновки. Комплексне поєднання методу копіювання та нового процесу радіально-колового формоутворення дисковими фасонними фрезами для нарізання евольвентних циліндричних зубчастих коліс забезпечує підвищення продуктивності на операціях зубонарізання, а також універсальність процесу та відповідну його гнучкість, які потрібні в автоматизованому виробництві. Розроблені математичні залежності для прогнозування результатів обробки та проектування відповідного технологічного оснащення.

1. Литвиняк Я.М. Інструментальне забезпечення отримання евольвентного профілю зубців циліндричних коліс способом радіально-колового формоутворення / Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2010. – № 679: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – С. 14–21.
2. Литвиняк Я.М. Розрахунок параметрів дискових інструментів для радіально-колового нарізання зубчастих вінців циліндричних зубчастих коліс // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2011. – № 702: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – С. 24–31.
3. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин. – К.: Наук. думка, 2002 – 660 с.