

УДК 621.914

Б.Назаревич; О.Назаревич

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

РОЗРАХУНОК ТА ПРОЕКТУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕОМ ЧЕРВ'ЯЧНО-ШЛІЦЕВОЇ ФРЕЗИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШЛІЦЕВОГО ВАЛИКА З ПРЯМОБІЧНИМИ ШЛІЦАМИ

На основі аналізу існуючих теорій і методик розрахунку та проектування черв'ячно-шліцевих фрез для виготовлення шліцевих валиків з прямобічними шліцями створена уточнена методика інженерного розрахунку фрез в середовищі MathCADу. Достовірність методик перевірено графічним способом в графічному редакторі AutoCADу. Створено програму на мові AutoLISP, що вмонтована у графічний редактор AutoCADу і дозволяє графічно побудувати боковий профіль зуба фрези у нормальному перетині при заданому профілі шліца, а також за заданою формою зуба фрези у нормальному перетині одержати профіль шліца. Програма забезпечує перевірку можливості одержання невольвентного профілю шліца методом обкатування.

1. Теорія та методика розрахунку

Існуючі теорії [1, с. 801-837], [2, с. 410-425], [3, с. 281-290], [4, с. 255-279], [5, с. 143-156], [6, с. 208-226] і інженерні методики [5, с. 130-142, с. 151-161], [6, с. 226-233], [7, с. 567-577], [8, с. 444-450], [9], [10], [11] розрахунку та проектування черв'ячно-шліцевих фрез для виготовлення шліцевих валиків з прямобічними шліцями мають деякі розбіжності, що потребували уточнення. Зроблено спробу створити узагальнену теорію та методику розрахунку цих фрез. Виконано аналіз наближених аналітичних розрахунків через перевірку теоретичних положень цього методу з чисельним розрахунком конкретних типорозмірів черв'ячно-шліцевих фрез у середовищі MathCADу з точністю чотирнадцять знаків після коми. Достовірність теоретичних положень та розрахунків забезпечує графічна побудова в середовищі AutoCADу, де зроблено перевірку як точності розрахунків форми, так і відхилення від прямолінійності бокової поверхні шліца. Це дозволило графічно перевірити та визначити фактичну числову величину відхилення від прямолінійності бокової поверхні шліца при прийнятих умовах наближеного розрахунку і порівняти цю похибку з теоретично визначеним значенням. Оскільки в AutoCADі застосовується коефіцієнт масштабування десять трильйонів разів, це дозволило визначити похибки з точністю чотирнадцять знаків після коми. На основі даного теоретичного матеріалу створена інженерна методика розрахунку даних фрез у середовищі MathCADу. Автори [12], [13], [14], [15] спробували використати ЕОМ для розрахунку тільки трудомісткої частини - координат бокового профілю зуба фрези у нормальному перетині. У запропонованій інженерній методиці розрахунку подано повний розрахунок фрез даного типу, а також рекомендації для їх проектування як пояснювальну записку, де можна вільно змінювати вхідні дані та рекомендовані конструктивні величини.

1.1. Призначення та область застосування черв'ячно-шліцевих фрез

У машинобудуванні застосовуються зубчасті (шліцеві) з'єднання (шліцеві валики і втулки). Найбільш широко застосовуються шліцеві з'єднання з прямобічним профілем зубів, які розташовані паралельно до осі з'єднання. Форми деяких шліцевих валиків з прямобічними сторонами шліца показано на Рис. 1.: шліцевий валик з паралельними бічними сторонами і фаскою f (Рис. 1, а); шліцевий валик з трикутними шліцями (Рис. 1, б); шліцевий валик з боковими сторонами на лінії радіусів (Рис. 1, в); шліцевий валик з паралельними сторонами впадин (Рис. 1, г). Стандартизовані тільки шліцеві з'єднання для шліців з паралельними бічними сторонами (Рис. 1, а). Профіль, розміри, допуски і посадки на даний тип з'єднання регламентуються нормативами, що приведені у літературі [16, 17, 18, 19].

Шліцеві з'єднання виготовляються легкої, середньої і важкої серій. Центрування втулки з валиком може здійснюватися по внутрішньому діаметру шліцевого валика d_i (Рис. 2, виконання А і С), по зовнішньому діаметру d_e і бічних сторонах b (Рис. 2, виконання В). Шліцеві валики даних з'єднань виготовляються черв'ячно-шліцевими фрезами методом обкатування. Слід відмітити, що валики з'єднання важкої серії виконання А, як правило, методом обкату не виготовляються. Для виготовлення шліцевих валиків виконання В і С застосовуються черв'ячно-шліцеві фрези "без вусиків" (Рис. 3), для шліцевих валиків виконання А - черв'ячно-шліцеві фрези "з вусиками" (Рис. 4). Обидва типи фрез випускаються згідно з вимогами стандарту [7, с. 573], [22], при цьому забезпечується шорсткість оброблених поверхонь 1.6...3.2 мкм, точність обробки $7 \div 10$ квалітет [16, с. 517].

Крім вище наведених типів фрез: черв'ячно-шліцеві "без вусиків", черв'ячно-шліцеві "з вусиками", що використовуються для виготовлення шліцевих валиків з прямобічними шліцами методом обкатування, застосовуються також фрези з певним положенням відносно оброблюваного валу і фрези "улітки".

При роботі черв'ячно-шліцевими фрезами "без вусиків" не забезпечується по всій глибині впадини шліца прямолінійний профіль. При основі впадини шліца є перехідна ділянка, обмежена кривою радіуса r (Рис. 2, виконання В і С), що не дозволяє застосовувати дану фрезу для виготовлення шліцевих валиків при центруванні по внутрішньому діаметру d_i .

Черв'ячно-шліцева фреза "з вусиками" забезпечує прямолінійність бічної сторони впадини шліца до її перетину з колом внутрішнього діаметра валика d_i . Зуб такої черв'ячно-шліцевої фрези у нормальному перетині має невеликі виступи, що називаються "вусиками", які при фрезеруванні валика вриваються глибше, ніж вершина зуба фрези, і так утворюють біля основи шліца невелике заглиблення (Рис. 2, виконання А).

Переваги роботи черв'ячно-шліцевої фрези "з вусиками" порівняно з іншими типами фрез:

- забезпечення прямолінійності бічної сторони шліца;
- забезпечення центрування шліцевого з'єднання по внутрішньому діаметру валика d_i .

При цьому можливі такі недоліки:

- "вусики" фрези не дозволяють застосовувати високих швидкостей різання і подач, оскільки вони є слабким місцем і швидко зношуються;
- шліцевий валик, виготовлений черв'ячно-шліцевою фрезою "з вусиками", має меншу міцність, тому що заглиблення при основі шліца є концентратором напружень.

Враховуючи ці аргументи рекомендуємо використовувати черв'ячно-шліцеву фрезу "з вусиками" якомога рідше і при обґрунтованій доцільності.

Прийmemo наступні позначення (Рис. 1): b - ширина шліців валика; R - радіус початкового розрахункового кола шліца; a - віддаль по нормалі від прямої профілю валика до центру початкового кола; γ - кут профілю шліца по початковому колу; α - кут обкатування.

Залежність кута профілю шліца по початковому колу від радіусу початкового (розрахункового) кола для розрахунку будь-яких форм профілю шліцевого валика визначається:

$$\sin \gamma = \frac{a}{R} \quad (1)$$

Для шліцевого валика з паралельними бічними сторонами формула виглядатиме так:

$$\sin \lambda = \frac{b}{2R} \quad (2)$$

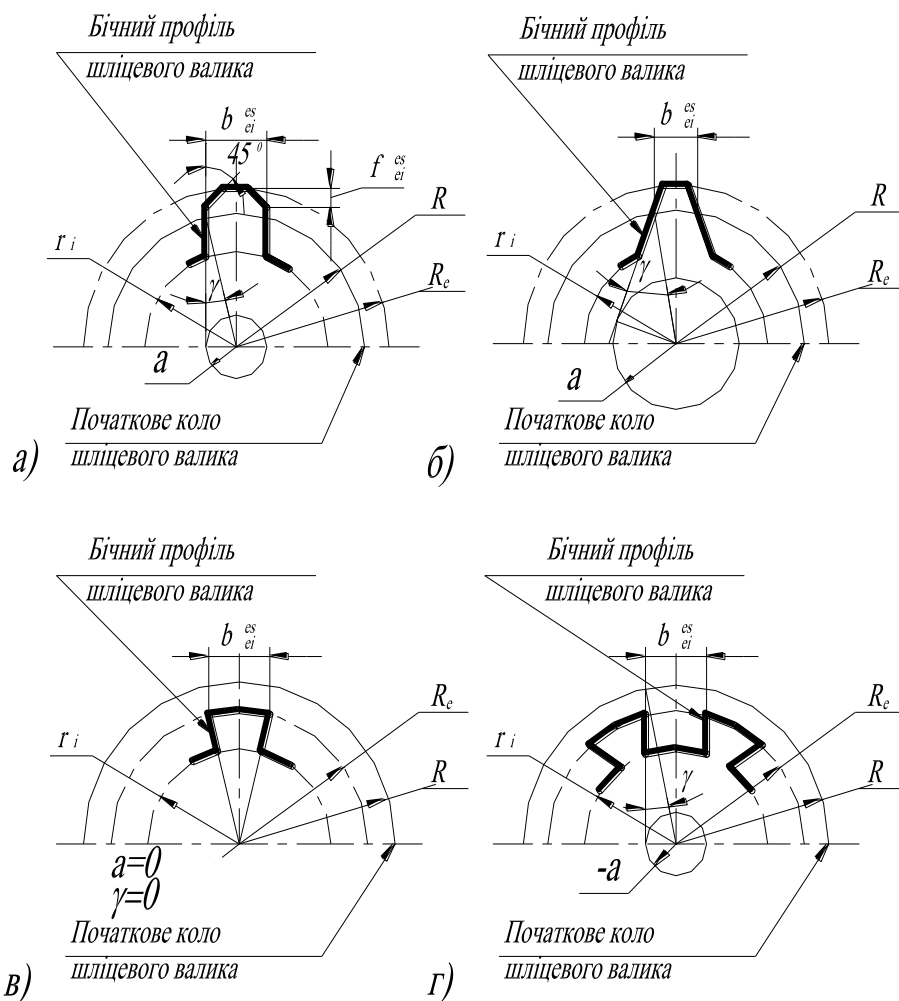


Рис. 1. Форми профілів шліцевих валиків з прямобічними бічними сторонами шліців.

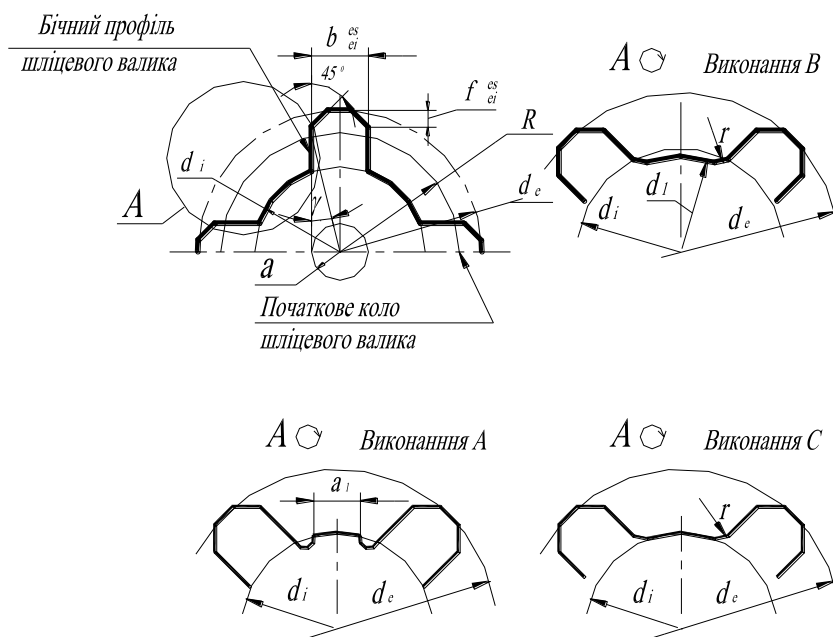


Рис. 2. Форми виконання шліцевих валиків з паралельними сторонами шліца.

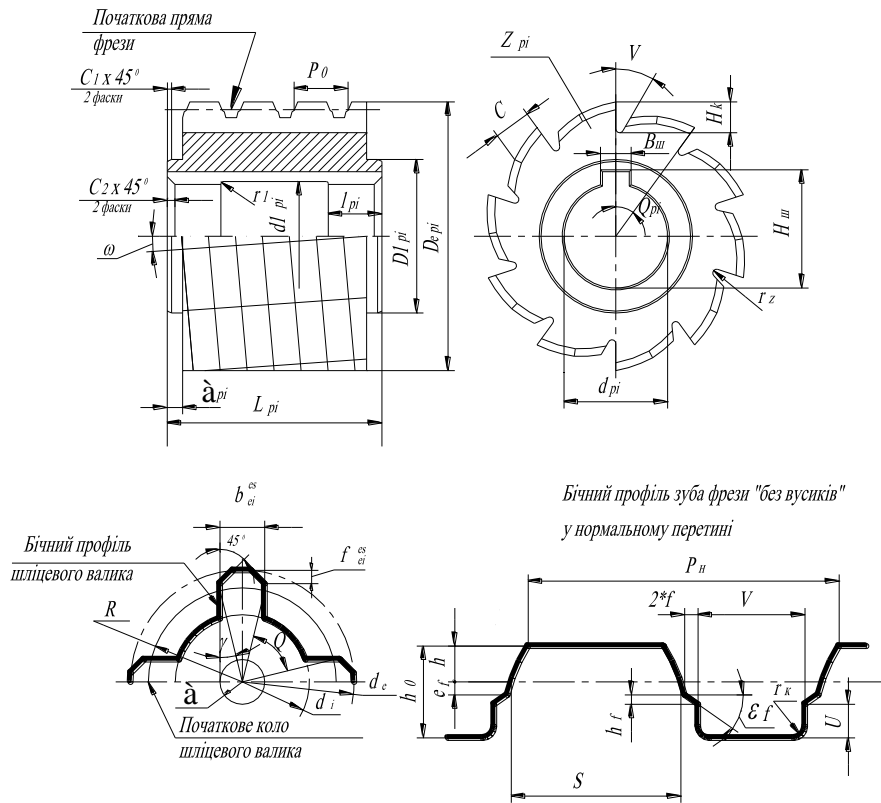


Рис. 3. Черв'ячно-шліцева фреза "без вусиків", профіль шліцевого валика виконання В і С і бічний профіль зуба фрези у нормальному перетині.

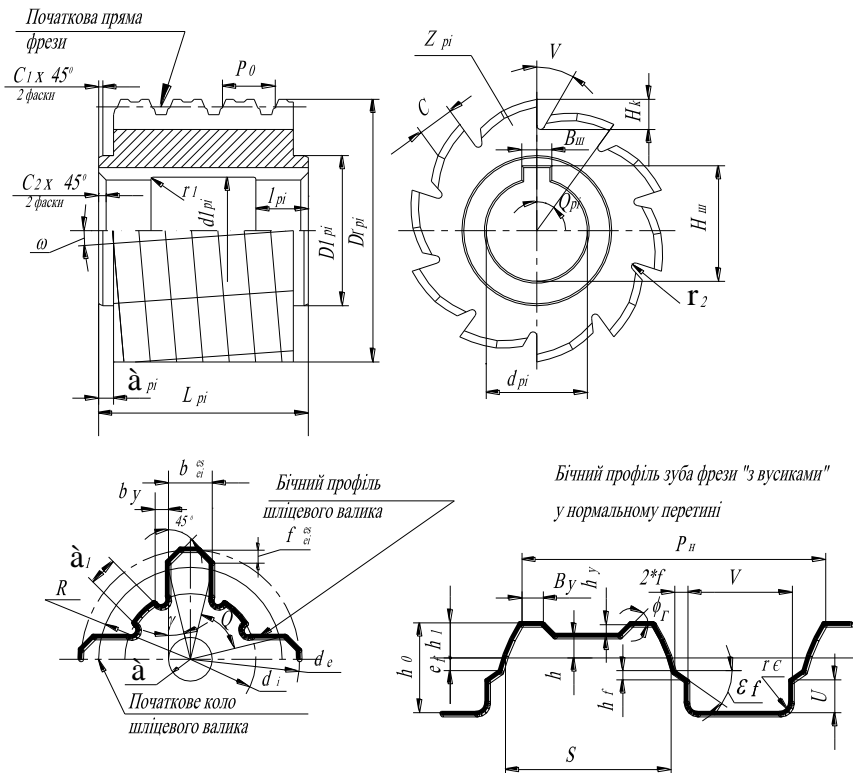


Рис. 4. Черв'ячно-шліцева фреза "з вусиками", профіль шліцевого валика виконання А і бічний профіль зуба фрези у нормальному перетині.

1.2. Способи визначення профілю зуба фрези для утворення прямобічних шліців

Проектування черв'ячно-шліцевої фрези полягає у визначенні габаритних і конструктивних розмірів фрези та координат бічного профілю зуба фрези у нормальному перетині. Це зумовлено тим, що в процесі обкатування бічний профіль фрези формує бічні стінки шліцевого валика. Від точності визначення профілю фрези залежить точність оброблюваного валика.

Необхідний профіль зуба фрези у нормальному перетині можна одержати такими способами:

- графічним;
- графоаналітичним;
- аналітичним.

Графічні способи, що виконуються на папері і олівцем, дозволяють наочно уявити спосіб обкатування, але не забезпечують необхідної точності проектування профілю фрези. При використанні ЕОМ графічні методи забезпечують високу наочність і точність побудови профілю, що в деяких випадках дозволяє порівняти графічні способи з іншими.

Аналітичні способи дозволяють з потрібною точністю визначити координати профілю фрези, але трудомісткі в обчисленні і можуть допускати помилки. Тільки при застосуванні ЕОМ недоліки аналітичного способу не виявляються.

На практиці застосовують як графічний, так і аналітичний способи. При цьому, графічним способом перевіряють наявність грубих помилок в аналітичних розрахунках.

Розглянемо три способи графічної побудови профілю зуба фрези у нормальному перетині:

- побудовою послідовних положень профілю деталі (шліцевого валика);
- визначенням профілю за допомогою лінії профілювання;
- у середовищі AutoCAD з використанням мови програмування AutoLISP.

1.3. Графічний спосіб побудови профілю зуба фрези у нормальному перетині побудовою послідовних положень профілю деталі (шліцевого валика)

Цей спосіб полягає в наступному: на листі паперу П (Рис. 5) в якомога більшому масштабі проводимо початкове коло шліцевого валика, радіус R якого обчислюється за формулою (14), і будуємо його бічний профіль. На початковому колі відкладаємо рівні дуги:

$$\cup d_0d_1 = \cup d_2d_3 = \cup d_4d_5 = \dots$$

Через отримані точки d_i проводимо радіуси Od_i .

На прозорому папері (кальці) K проводимо початкову пряму фрези (інструментальної рейки) і на ній відкладаємо точки e_i на рівних віддальях одна від одної. Ці віддалі дорівнюють довжині дуги $\cup d_0d_1$ початкового кола шліцевого валика, при цьому задовольняється рівність:

$$e_0e_1 = e_2e_3 = \dots = \cup d_0d_1 = \cup d_2d_3 = \dots$$

Через точки e_i проводимо прямі, перпендикулярні до початкової прямої фрези.

Накладаємо кальку K на креслення Π так, щоб точка e_0 співпала з точкою d_0 , а пряма e_0f_0 з радіусом d_0O . У цьому положенні на кальку K наносять профіль шліцевого валика, зображеного на папері Π . Профіль шліцевого валика на кальку наносимо, суміщуючи положення точок e_1 і d_1 , пряму e_1f_1 і d_1O і т.д. Загальна дотична до n -положень профілю шліцевого валика дасть профіль зуба фрези у нормальному перетині.

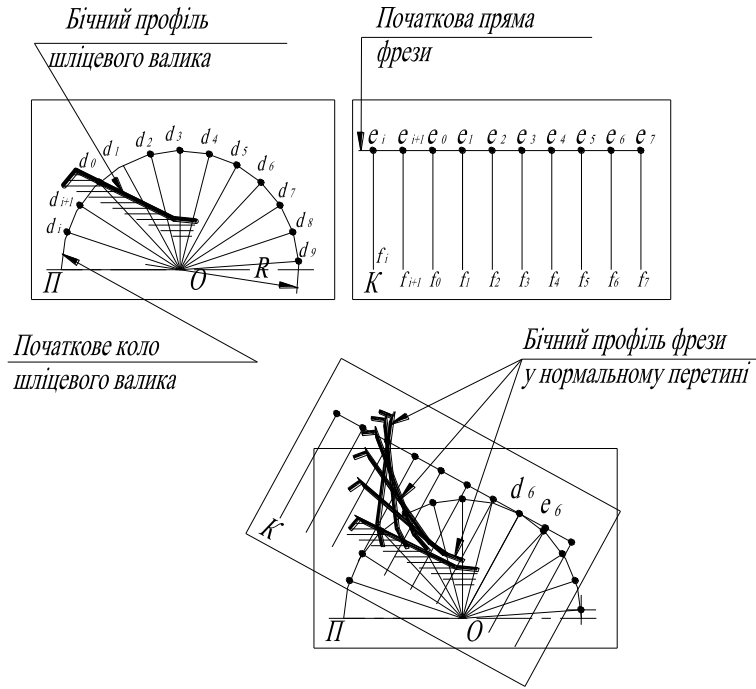


Рис. 5. Графічна побудова профілю зуба фрези у нормальному перетині шляхом побудови послідовних положень профілю деталі.

1.4. Графічний спосіб побудови профілю зуба фрези у нормальному перетині за допомогою лінії профілювання

Цей спосіб полягає в наступному, що на кресленні в якомога більшому масштабі викреслюють початкове коло шліцевого валика, радіус R якого обчислюється за формулою (14), і дотичну до нього початкову пряму фрези (Рис. 6).

У точці їх дотику (поліус профілювання P) будуємо профіль шліцевого валика. Дотично до продовженого профілю шліцевого валика будуємо коло радіусом, що визначається з формули (1):

$$a = R * \sin \gamma \tag{3}$$

а для шліцевого валика з паралельними шліцями ця формула виглядає так:

$$a = \frac{b}{2} \tag{4}$$

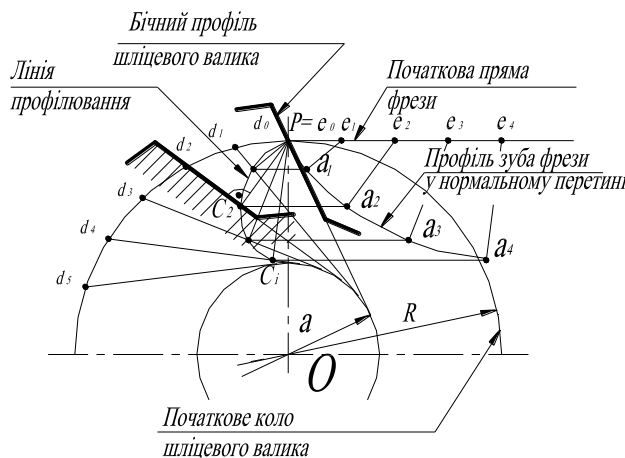


Рис. 6. Графічний спосіб побудови профілю зуба фрези у нормальному перетині за допомогою лінії профілювання.

При обертанні пряма профілю завжди дотична до кола з радіусом a . На початковому колі шліцевого валика будуюмо дуги $\cup d_0d_1 = \cup d_2d_3 = \dots$, а на початковій прямій фрези відрізки $e_0e_1 = e_2e_3 = \dots = \cup d_0d_1 = \cup d_2d_3 = \dots$. Для визначення профілю фрези у будь-якій точці, наприклад у точці 2, будуюмо профіль шліцевого валика у даному положенні. З полюса P проводимо перпендикуляр до профілю шліцевого валика і отримуємо точку C_2 . Через точку e_2 проводимо паралельну лінію до відрізка PC_2 , а через точку C_2 - лінію, паралельну початковій прямій фрези. Точка перетину a_2 лежить на профілі зуба фрези у нормальному перетині.

Аналогічну побудову робимо для інших положень. З'єднуючи точки a_i , отримуємо профіль зуба фрези у нормальному перетині. Лінія точок C_i визначає точки, в яких проходить дотик профілю шліцевого валика з інструментом (черв'ячно-шліцевою фрезею) в процесі обкатування - це лінія профілювання.

1.5. Побудова профілю зуба фрези у нормальному перетині в середовищі AutoCAD з використанням мови програмування AutoLISP

Побудову профілю зуба фрези у нормальному перетині для виготовлення певного профілю можна наглядно одержати використовуючи мову програмування AutoLISP, вмонтовану в середовище AutoCADу (Рис. 7). Для цього потрібен рисунок профілю шліцевого валика і програма на мові AutoLISP, тоді AutoCAD створить методом обкатування (зворотний обкат) профіль зуба фрези у нормальному перетині. На Рис. 7 показано чотири профілі шліцевого валика, де в правому стовпчику рисунка AutoCAD створив бічний профіль зуба фрези у нормальному перетині. Багато ліній відповідають різним положенням шліцевого валика у процесі обкатування, а дотична крива до N -положень бокового профілю шліца дає профіль зуба у нормальному перетині черв'ячно-шліцевої фрези (на рисунку показано стрілкою). Це наочний метод, він дозволяє перевірити можливість проектування черв'ячно-шліцевої фрези для заданого профілю шліцевого валика.

На Рис. 8 показано побудову профілю шліцевого валика при відомому профілі зуба черв'ячно-шліцевої фрези у нормальному перетині (прямий обкат). На лівому рисунку задано профіль черв'ячно-шліцевої фрези "без вусиків" і одержано за допомогою програми, написаної мовою програмування AutoLISP, та графічного редактора AutoCAD, профіль шліцевого валика. На правому ж рисунку показано побудову профілю шліцевого валика при заданому профілі зуба черв'ячно-шліцевої фрези "з вусиками" у нормальному перетині.

1.6. Аналітичний спосіб визначення профілю черв'ячно-шліцевої фрези

Існують точні аналітичні методи розрахунку профілю черв'ячно-шліцевої фрези [20] і наближені [6]. Точний метод складний і громіздкий, а наближений - простий і для більшості випадків задовольняє норми точності стандартів [18] для шліцевих з'єднань [19].

Наближеність розрахунку полягає у тому, що реальне просторове зачеплення черв'ячно-шліцевої фрези з шліцевим валиком замінюється плоским зачепленням валика й інструментальної рейки. Тому ставиться завдання знайти профіль зуба інструментальної рейки. Таке зачеплення (плоске валик - рейка) характеризується такими обов'язковими умовами:

- у точках профілювання (дотику) з'єднані профілі деталі (шліцевого валика) і різального інструменту повинні мати спільну нормаль;
- ця нормаль має проходити через нерухому точку дотику P (полюс) початкового кола деталі й інструменту;
- у будь-яких положеннях деталі нормаль повинна перетинати (або дотикатися) до початкового кола у послідовному порядку.

Профілі шліцевих валиків

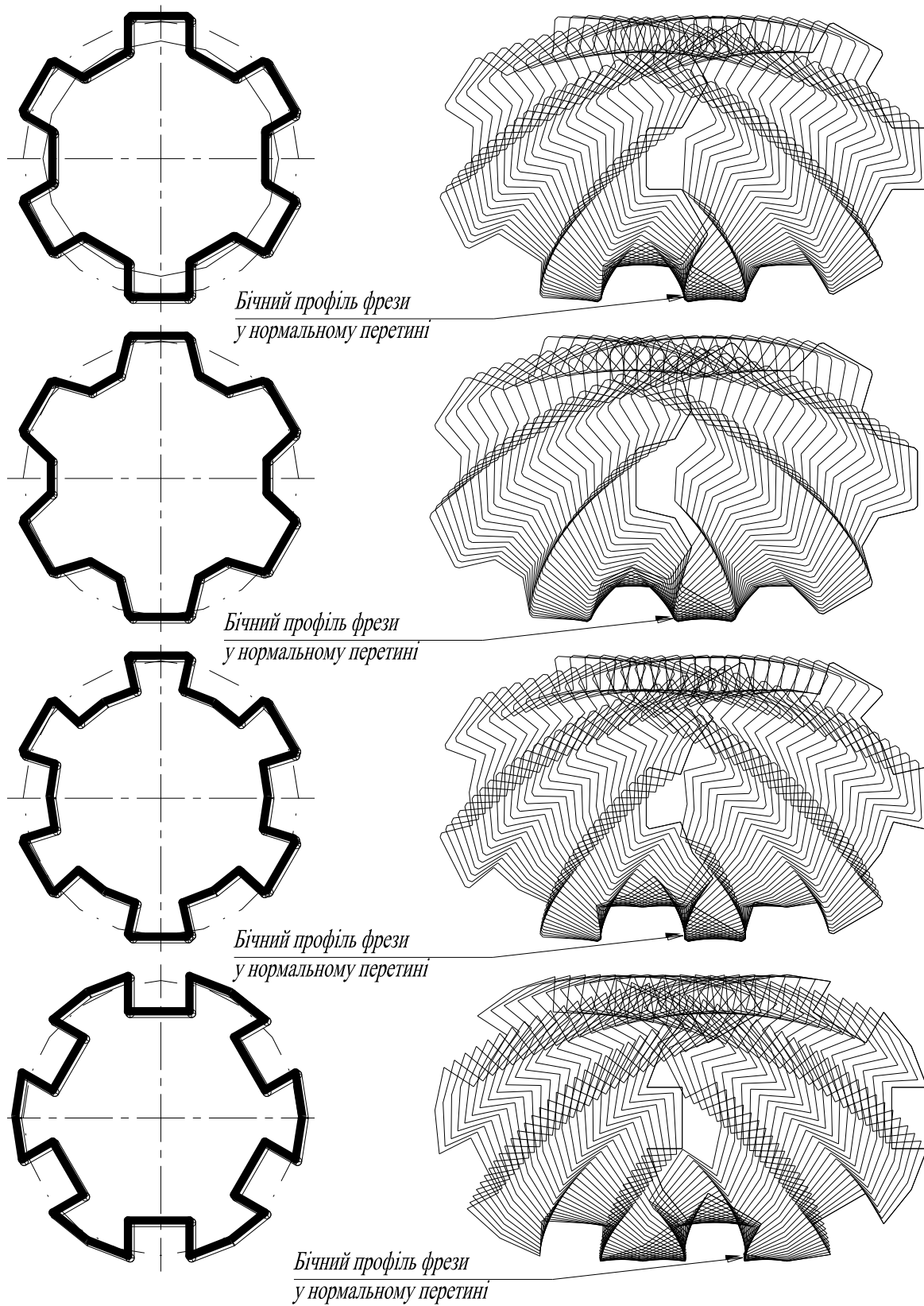


Рис. 7. Побудова профілю зуба фрези у нормальному перетині в середовищі AutoCAD з використанням мови програмування AutoLISP (зворотний обкат).

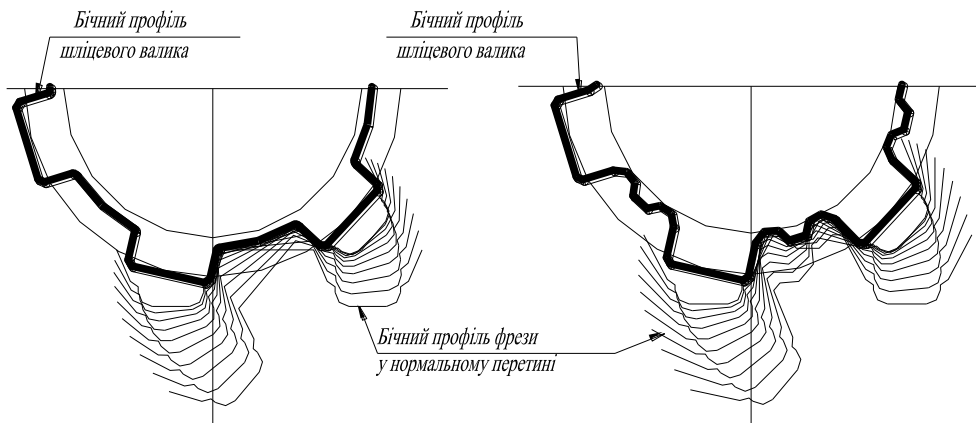


Рис. 8. Побудова профілю шліцевого валика, що утворюється при фрезеруванні черв'ячно-шліцевою фрезою (прямий обкат), у середовищі AutoCAD з використанням мови програмування AutoLISP.

1.7. Побудова лінії профілювання (зачеплення)

Для здійснення процесу обкату необхідно, щоб у процесі різання початкова пряма інструменту котилася без ковзання по початковому колу деталі (шліцевому валику).

Побудуємо лінію профілювання (зачеплення) для шліцевого валика й інструменту (Рис. 9), що утворюється у процесі різання.

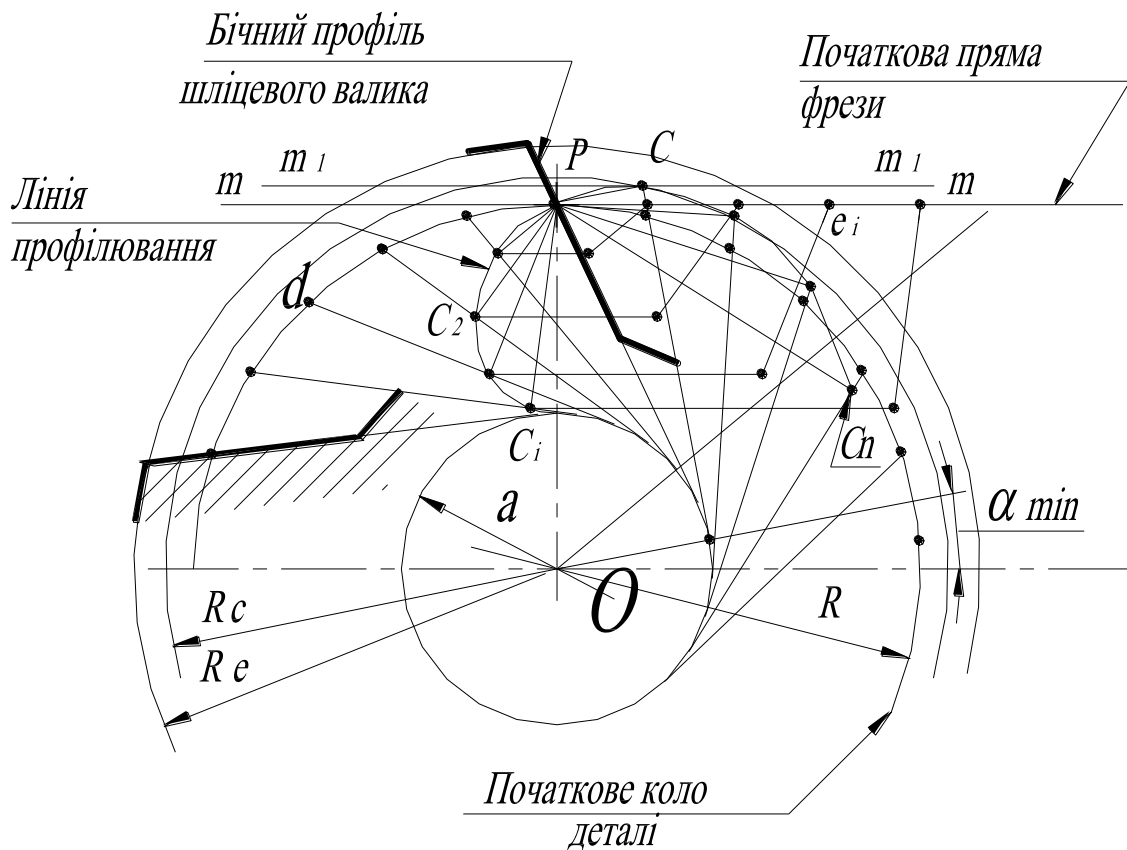


Рис. 9. Побудова лінії профілювання (зачеплення).

Точка **P** - полюс профілювання (зачеплення).

Лінія C_i - лінія профілювання: це геометричне місце точок дотику профілю інструменту і шліцевого валика. Методика побудови подана у попередньому параграфі.

Точка **C** - найвища точка лінії профілювання і відрізок лінії профілювання CC_{Π} не може бути реальною лінією зачеплення. Якщо провести коло радіусом R_c , то ділянка профілю шліца, розташованого за межами кола радіуса R_c , не може бути оброблена (бокова поверхня шліца). Тому можна зробити висновок, що при заданому радіусі початкового (розрахункового) кола **R** зовнішній радіус шліцевого валика R_e не повинен бути більшим від радіуса R_c .

1.8. Розрахунок початкового кола шліцевого валика (деталі)

На основі сказаного, визначимо значення радіуса початкового (розрахункового) кола **R** шліцевого валика (Рис. 10).

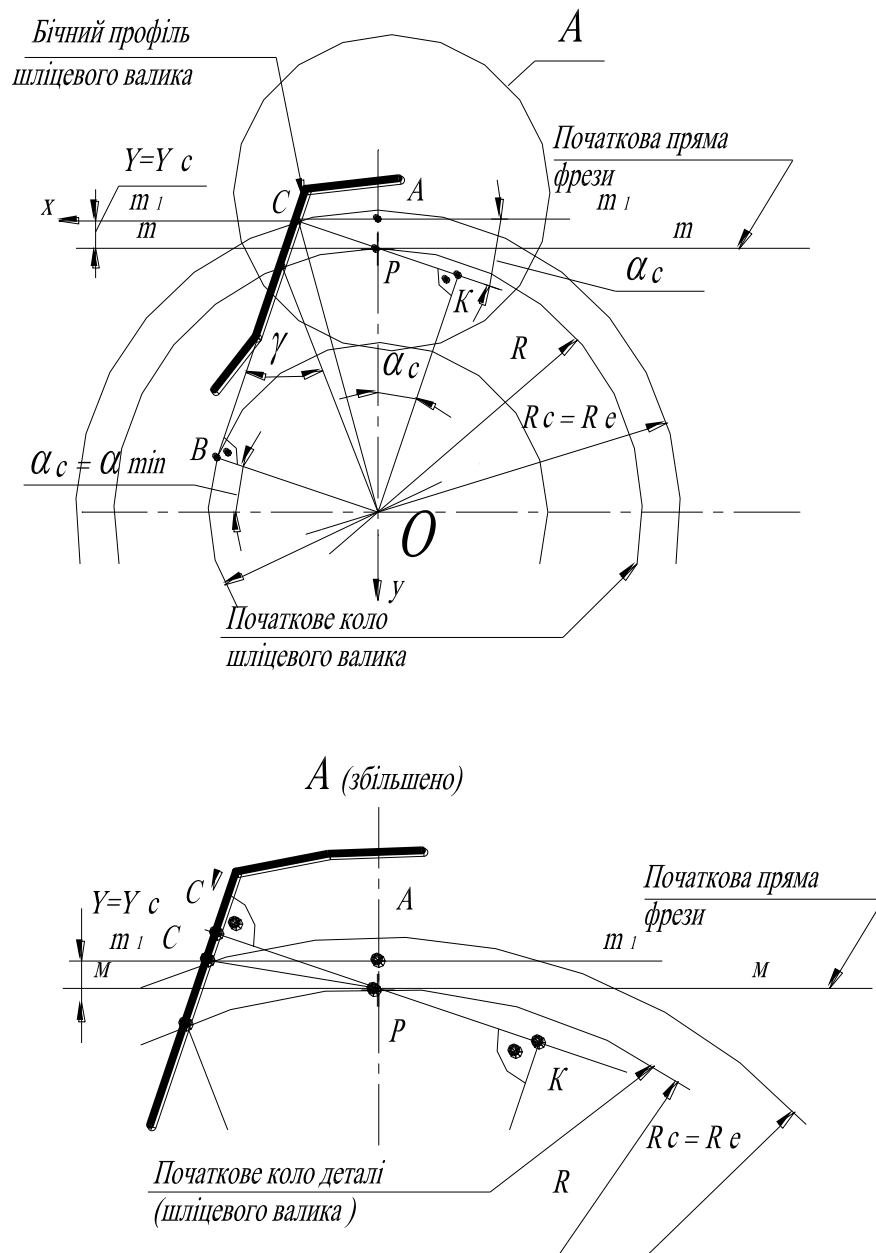


Рис. 10. Визначення значення радіуса початкового (розрахункового) кола **R** шліцевого валика.

Знайдемо величину ординати Y точки C - найвищої точки лінії зачеплення, яку може правильно обробити черв'ячно-шліцева фреза, виходячи із умови, що $R_c=R_e$. В цьому положенні кут обкату α мінімальний і відповідає положенню профілю деталі у точці C :

$$\alpha_c = \alpha_{\min} = \alpha$$

З трикутника PCA :

$$y = PC * \sin \alpha \quad (5)$$

Визначимо довжину відрізка PC :

$$PC = KC - PK \quad (6)$$

із формули (2) визначимо: $KC = a = R * \sin \gamma$

З трикутника OPK :

$$PK = R * \sin \alpha$$

Підставимо значення PC і PK у формулу (6) і отримаємо:

$$PC = R(\sin \gamma - \sin \alpha) \quad (7)$$

Підставимо у формулу (7) значення PC , що можна визначити з формули (5):

$$PC = \frac{y}{\sin \alpha}$$

$$\frac{y}{\sin \alpha} = R(\sin \gamma - \sin \alpha) ,$$

тоді:

$$y = R(\sin \gamma - \sin \alpha) \sin \alpha \quad (8)$$

Розв'яжемо рівняння (8) щодо до $\sin \alpha$:

$$\sin \alpha = \frac{\sin \gamma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma}{2}\right)^2 - \frac{y}{R}} \quad (9)$$

При аналізі формули (9) можна визначити, що найменше значення кута α буде тоді, коли: $\left(\frac{\sin \gamma}{2}\right)^2 - \frac{y}{R} = 0$, тоді на основі цієї ж формули:

$$\sin \alpha_{\min} = \sin \alpha_c = \frac{\sin \gamma}{2} \quad (10)$$

З рівняння $\left(\frac{\sin \gamma}{2}\right)^2 - \frac{y}{R} = 0$ знайдемо координату y точки C . При цьому знайдемо a із формули (1) $a = \sin \gamma * R$ і замінимо добуток $\sin \gamma * R$ на величину a , а також помножимо чисельник і знаменник на величину R . Таким чином, після відповідних перетворень отримаємо формулу:

$$y = y_c = \left(\frac{\sin \gamma}{2}\right)^2 * R = \frac{\sin \gamma * \sin \gamma * R * R}{4 * R} = \left(\frac{a^2}{4R}\right) \quad (11)$$

Радіус R_c можна знайти з трикутника OCA (Рис. 10):

$$OC^2 = OA^2 + AC^2$$

$$OC^2 = R_c^2 = (R + y_c)^2 + (y_c * \operatorname{tg} \alpha)^2 \quad (12)$$

Підставимо в формулу $\sin \gamma = a/R$ і спростимо її:

$$\sin \alpha_{\min} = \sin \alpha_c = \frac{\sin \gamma}{2} .$$

Після цього підставимо у формулу (12) значення значення y_c , по формулі (11), а також підставимо в формулу (10) $\sin \gamma = a/R$ і спростимо її:

$$\sin \alpha_{\min} = \sin \alpha_c = \frac{\sin \gamma}{2}.$$

Після цього підставимо значення $\sin \alpha_c$ у формулу (12). Після спрощення цієї залежності отримаємо:

$$R_c = \sqrt{R^2 + 0.75 * a^2} \quad (13)$$

Вважаючи, що точка С - це точка найбільшого радіуса шліцевого валика, який можна отримати при обкатуванні інструментальної рейки і шліцевого валика, будемо мати: $R_c = R_e$. Тоді одержимо оптимальний (найменший) радіус R початкового (розрахункового) кола шліцевого валика з прямолінійним профілем бічної сторони із формули (13):

$$R = \sqrt{R_c^2 - 0.75 * a^2} = \sqrt{R_e^2 - 0.75 * a^2} \quad (14)$$

Це наближений метод розрахунку розмірів черв'ячно-шліцевої фрези [6], тому що при побудові лінії профілювання точка С не може знаходитися на перпендикулярі, проведеному з полюса Р. Фактично вона знаходиться (Рис. 10) у точці С'. Винесений вид А, що показаний у збільшеному вигляді і побудований у середовищі АСADу з точністю програмного продукту, наочно виявляє дану похибку. В подальшому буде наведено методику розрахунку точності фрезерування шліцевого валика і доведено, що дане спрощення розрахунку суттєво не впливає на прямолінійність бічної поверхні шліца, але при цьому можна досягти необхідної точності виготовлення шліца по його ширині.

Практично, під час розрахунку, за заданим радіусом зовнішнього кола R_e (кола виступів) шліцевого валика визначаємо радіус початкового кола R , враховуючи, що коло R_e (найвища можлива точка зачеплення інструментальної рейки і шліцевого валика) має збігатися з радіусом R_e .

1.9. Визначення координат бічного профілю зуба фрези у нормальному перетині

Розглянемо профілювання черв'ячно-шліцевої фрези та визначимо координати кривої бічного профілю зуба фрези у нормальному перетині (Рис. 11).

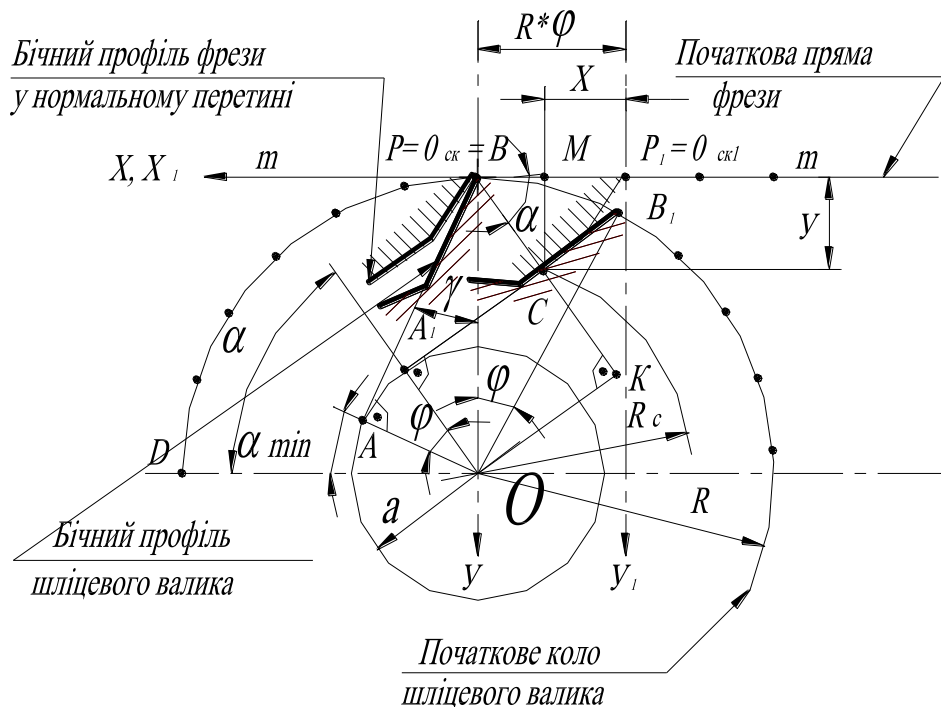


Рис. 11. Визначення координат кривої бічного профілю зуба черв'ячно-шліцевої фрези.

Як відомо, початкова пряма фрези **mm** котиться по початковому колу радіуса **R** шліцевого валика без ковзання, а тому початкове розміщення бічного профілю черв'ячно-шліцевої фрези і шліцевого валика знаходяться у точці **P=O_{ск}=B**.

Точка **P** - полюс зачеплення, точка **O_{ск}** - початок системи координат **XY**, точка **B** - точка, що належить початковому колу шліцевого валика.

Повернемо шліцевий валик (деталь) на довільний кут φ , тоді пряма **AB**, на якій знаходиться бічний профіль шліцевого валика, переміститься в положення **A₁B₁**. Тому початок системи координат разом з полюсом зачеплення і боковим профілем черв'ячно-шліцевої фрези займе нове положення **P₁=O_{ск1}**, а спільна точка **B** шліцевого валика переміститься в положення **B₁**. Утворюється нова системи координат **X₁Y₁**, зміщена відносно початкового положення на величину:

$$\text{дуга } BB_1 = PP_1 = R * \varphi,$$

де φ - кут повороту в радіанах.

У даному положенні бічний профіль шліцевого валика буде профілюватися черв'ячно-шліцевою фрезою у точці **C**, згідно з обов'язковими умовами зачеплення (див. с. 71), а тому:

$$PC \perp A_1B_1.$$

Запишемо координати точки **C**:

$$y = MC = PC * \sin \alpha \quad (15)$$

$$x = R * \varphi - PC * \cos \alpha \quad (16)$$

При цьому визначимо з кута **DOB**:

$$\text{кут } A_1OB = 90 - \alpha,$$

з іншого боку з трикутника **AOB**:

$$\text{кут } AOB = 90 - \gamma,$$

а з цього ж трикутника:

$$\text{кут } A_1OB = \text{куту } AOB - \text{кут } OOA_1 = 90 - \gamma - \varphi.$$

Прирівняємо значення кутів **A₁OB**, одержаних із кута **DOB** і з трикутника **AOB**:

$$90 - \alpha = 90 - \gamma - \varphi,$$

а після спрощення виразу та згідно **Рис. 11** одержимо:

$$\alpha = \gamma + \varphi \quad (17)$$

З трикутника **OKP**:

$$PC = PK - KC$$

$$PK = R * \cos(90 - \alpha) = R * \sin \alpha$$

$$KC = OA_1 = OA = R * \sin \gamma$$

Тому:

$$PC = R * \sin \alpha - R \sin \gamma = R(\sin \alpha - \sin \gamma) \quad (18)$$

Згідно з формулою (17):

$$\varphi = \alpha - \gamma \quad (19)$$

Підставимо значення формул (18) і (19) у формули (15) і (16), тоді одержимо:

$$y = R(\sin \alpha - \sin \gamma) * \sin \alpha \quad (20)$$

$$x = R[(\alpha - \gamma) - (\sin \alpha - \sin \gamma) * \cos \alpha] \quad (21)$$

Значення кутів α і γ подані у радіанах, а їх значення у тригонометричних функціях у градусах.

Рівняння (20) і (21) є координатами точок бічного профілю зуба черв'ячно-шліцевої фрези у нормальному перетині, які визначаються залежно від значення кута обкатування α . Для практичного застосування ці формули не зручні, оскільки не відомо, в яких границях задавати значення кута обкатування α . Поряд з цим відоме

значення координати **y**, що відповідає значенню висоти профілю шліцевого валика **h**. Координата **y** - це величина, що визначає координати точки дотику черв'ячно-шліцевої фрези і шліцевого валика у процесі обробки, і може приймати значення від $y_{\min}=0$ до $y_{\max}=\mathbf{R}e - \mathbf{R}=\mathbf{h}$. Тому розв'яжемо рівняння (20) відносно **sin α** , коли відоме значення координати **y**:

$$\sin \alpha = \frac{\sin \gamma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma}{2}\right)^2 + \frac{y}{R}} \quad (22)$$

За визначеним **α** знаходимо **X**, при цьому значення кутів **α^0** , **γ^0** , **α** та **γ** приймаються у градусах :

$$x = R[(\alpha^0 - \gamma^0) * 0.01745 - (\sin \alpha - \sin \gamma) * \cos \alpha] \quad (23)$$

Рівняння (22) і (23) і є розрахунковими формулами для профілювання бічного профілю черв'ячно-шліцевої фрези у нормальному перетині при відомому значенні **y**, що знаходиться в межах $y_{\min}=0$, $y_{\max}=\mathbf{R}e - \mathbf{R}=\mathbf{h}$.

1.10. Заміна теоретичного профілю фрези дугами

На практиці теоретичний профіль фрези, що визначається рівняннями (22) і (23), замінюють дугами кола. Залежно від точності і характеру обробки (чорнове нарізування шліца під шліфування чи чистове фрезерування) бічний профіль фрези у нормальному перетині може замінюватися одною або двома дугами.

Рекомендується:

для чистових шліцевих фрез робити заміну профілю однією дугою для шліцевих валиків, висота профілю якого **h** до 3,5 мм, а двома дугами, коли **h**>3,5 мм;

для чорнових фрез завжди замінювати бічний профіль черв'ячно-шліцевої фрези одною дугою.

Заміна одною дугою.

Для заміни теоретичного профілю фрези у нормальному перетині одною дугою необхідно задати координати трьох вузлових точок даної теоретичної кривої (див. Рис. 12)

перша точка A_0 - знаходиться у полюсі профілювання **P**, а отже в початку системи координат XY,

друга точка A_1 - задається ординатою $y_1=0.9h$, звідки визначається значення кута **α_1** за формулою (22), а потім абсциса точка **x_1** за формулою (23),

третья точка A_2 - задається ординатою в межах $y_2=(0.4-0.6h)$, звідки теж визначається значення кута **α_2** за формулою (22), а потім абсциса точка **x_2** за формулою (23).

Заміна теоретичного профілю фрези у нормальному перетині однією дугою [1, с. 819], [6, с.228], [21, с.609] здійснюється при наявності координат трьох вузлових точок **A_0** , **A_1** , **A_2** (див. Рис. 12) на даній теоретичній кривій за відомими формулами аналітичної геометрії:

координати центра дуги, що замінює теоретичний профіль фрези:

$$y_{01} = \frac{[x_2 * (x_1^2 + y_1^2) - x_1 * (x_2^2 + y_2^2)]}{[2 * (x_2 * y_1 - x_1 * y_2)]} \quad (24)$$

$$x_{01} = \frac{(x_2^2 - 2 * y_{01} * y_2 + y_2^2)}{2 * x_2} \quad (25)$$

а радіус дуги, що замінює профіль фрези:

$$r_{01} = \sqrt{(x_{01}^2 + y_{01}^2)} \quad (26)$$

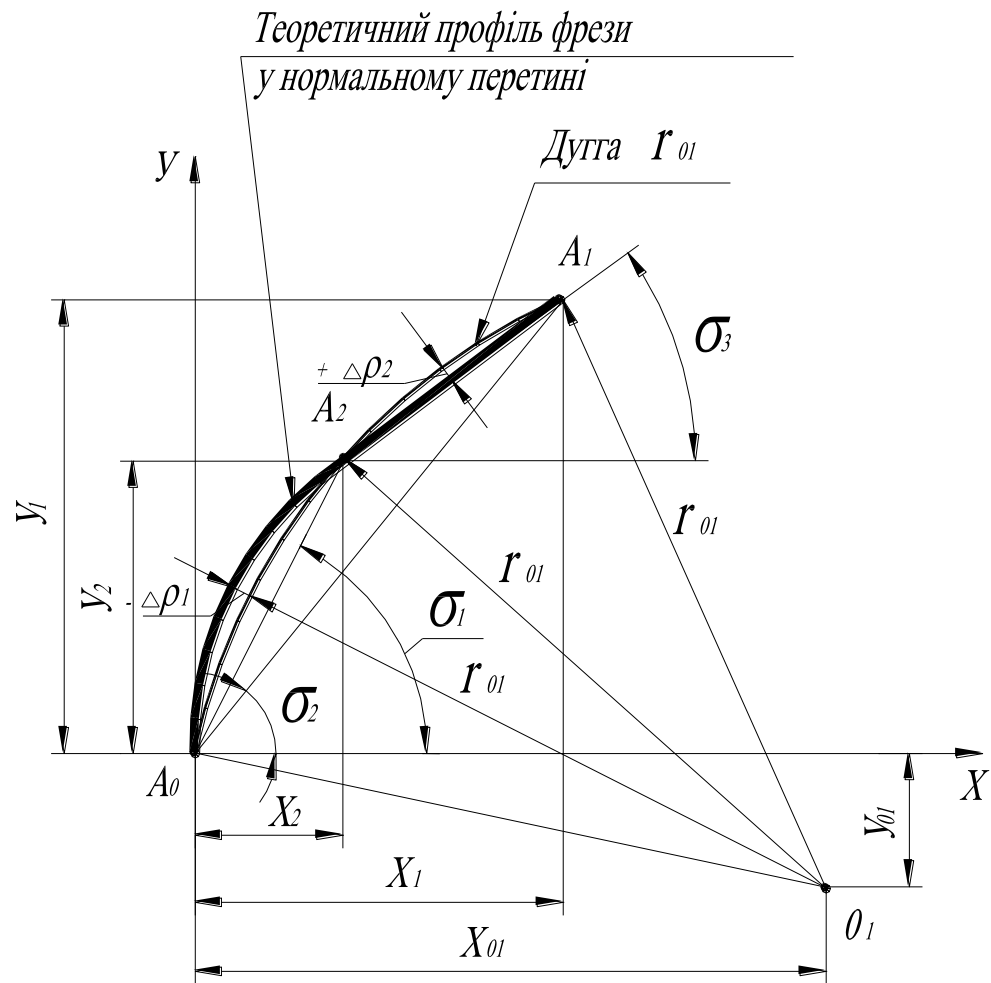


Рис. 12. Заміна теоретичного профілю фрези у нормальному перетині одною дугою.

Розглянемо **другий спосіб** [21, с.610] заміни теоретичного профілю фрези у нормальному перетині одною дугою (див. **Рис. 12**).

Для цього визначимо значення кутів σ_1 , σ_2 , σ_3 :

$$\operatorname{tg} \sigma_1 = \frac{y_2}{x_2}; \quad \operatorname{tg} \sigma_2 = \frac{y_1}{x_1}; \quad \operatorname{tg} \sigma_3 = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad (27)$$

Для визначення координат центра дуги, що замінює теоретичний профіль фрези, а також радіуса цієї дуги, підставимо визначені значення кутів σ_1 , σ_2 , σ_3 за формулами (27) у такій залежності:

$$r_{01} = \left(\frac{y_1 - y_2}{2 * \sin \sigma_3 * \sin(\sigma_1 - \sigma_2)} \right) \quad (28)$$

$$x_{01} = x_1 + r_{01} * \sin(\sigma_3 + \sigma_2 - \sigma_1) \quad (29)$$

$$y_{01} = y_1 - r_{01} * \cos(\sigma_3 + \sigma_2 - \sigma_1) \quad (30)$$

Заміна двома дугами.

Для заміни теоретичного профілю фрези у нормальному перетині двома дугами необхідно задати координати чотирьох вузлових точок даної теоретичної кривої (див. Рис. 13):

перша точка A_0 - знаходиться в полюсі профілювання P , а отже в початку системи координат XU ,

друга точка A_1 - задається ординатою $y_1=0.9h$, звідки визначається значення кута α_1 за формулою (22), а потім - абсциса точка x_1 за формулою (23),

третя точка A_2 - задається ординатою у межах $y_2=(0.6-0.7h)$, також визначається значення кута α_2 за формулою (22), а потім - абсциса точка x_2 за формулою (23),

четверта точка A_3 - задається ординатою у межах $y_3=(0.25-0.34h)$, також визначається значення кута α_3 за формулою (22), а потім - абсциса точка x_3 за формулою (23).

Заміна теоретичного профілю фрези у нормальному перетині двома дугами [1, с. 819; 6, с.228; 21, с.609] здійснюється за наявності координат чотирьох вузлових точок A_0, A_1, A_2, A_3 (див. Рис. 13). При цьому теоретична крива розбивається на дві ділянки: $A_0A_3A_2$ і A_1A_2 .

На ділянці $A_0A_3A_2$ теоретична крива замінюється дугою з радіусом дуги r_{01} з координатами її центру x_{01}, y_{01} , що визначаються за формулами (24), (25) і (26), при цьому потрібно замінити індекси при відповідних змінних координат точок:

$$y_{01} = \frac{[x_3 * (x_2^2 + y_2^2) - x_2 * (x_3^2 + y_3^2)]}{[2 * (x_3 * y_2 - x_2 * y_3)]} \quad (31)$$

$$x_{01} = \frac{(x_3^2 - 2 * y_{01} * y_3 + y_3^2)}{2 * x_3} \quad (32)$$

$$r_{01} = \sqrt{(x_{01}^2 + y_{01}^2)} \quad (33)$$

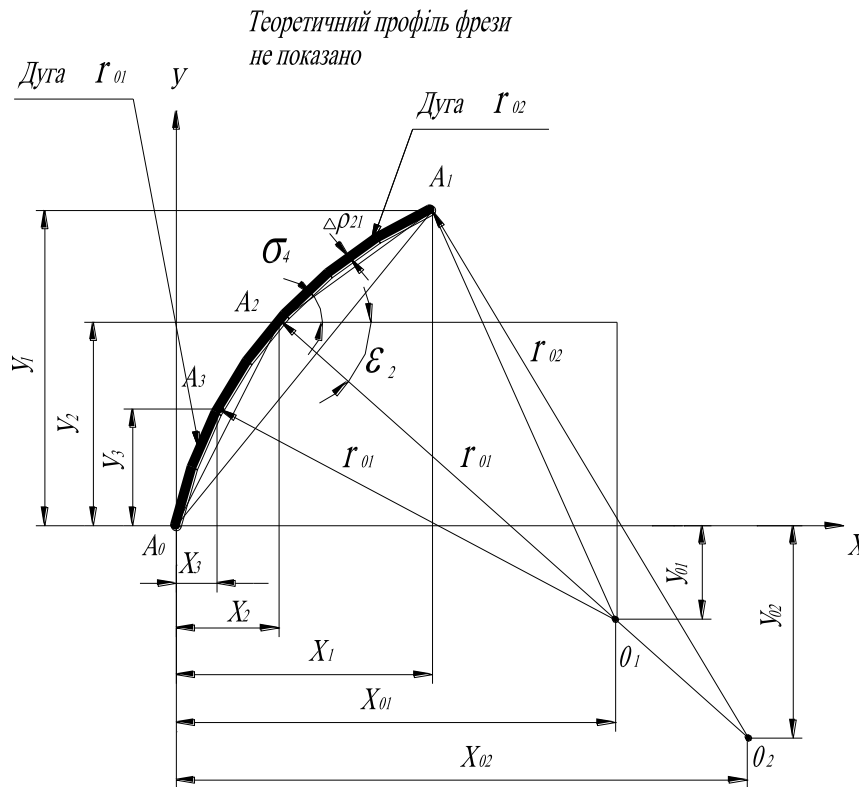


Рис. 13. Заміна теоретичного профілю фрези у нормальному перетині двома дугами.

Розглянемо **другий спосіб** [21, с.610] заміни теоретичного профілю фрези на ділянці $A_0A_3A_2$ у нормальному перетині однією дугою (див. Рис. 13). Для цього визначимо значення кутів $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$:

$$\operatorname{tg} \sigma_1 = \frac{y_3}{x_3}; \quad \operatorname{tg} \sigma_2 = \frac{y_2}{x_2}; \quad \operatorname{tg} \sigma_3 = \frac{y_2 - y_3}{x_2 - x_3} \quad (34)$$

Для визначення координат центра дуги x_{01} і y_{01} , що замінює теоретичний профіль фрези, а також радіуса r_{01} цієї дуги, підставимо визначені значення кутів σ_1 , σ_2 , σ_3 за формулами (34) в такий залежності:

$$r_{01} = \left(\frac{y_2 - y_3}{2 * \sin \sigma_3 * \sin(\sigma_1 - \sigma_2)} \right) \quad (35)$$

$$x_{01} = x_2 + r_{01} * \sin(\sigma_3 + \sigma_2 - \sigma_1) \quad (36)$$

$$y_{01} = y_2 - r_{01} * \sin(\sigma_3 + \sigma_2 - \sigma_1) \quad (37)$$

На ділянці A_1A_2 теоретична крива замінюється дугою радіуса r_{02} з координатами її центру x_{02} , y_{02} [21, с.610]). Для цього необхідно визначити величини r_{02} , x_{02} і y_{02} . Спочатку визначимо:

$$\operatorname{tg} \sigma_4 = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad \operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{y_2 - y_{01}}{x_{01} - x_2} \quad (38)$$

А далі визначимо величини r_{02} , x_{02} і y_{02} :

$$r_{02} = \frac{x_1 - x_2}{2 * \cos \sigma_4 * \cos(\sigma_4 + \varepsilon_2)} \quad (39)$$

$$x_{02} = x_2 + r_{02} * \cos \varepsilon_2 \quad (40)$$

$$y_{02} = y_2 - r_{02} * \sin \varepsilon_2 \quad (41)$$

Існують також інші методики визначення величини радіуса дуги кола і координат його центру, що замінює теоретичну криву [5, с.134, табл. 24], [6, с.218, табл. 13]. Проте ці методики неточні, тому замінюють теоретичну криву тільки однією дугою. Інформація в цих джерелах зведена в таблицю, в якій подано координати кола x_0 і y_0 для радіуса початкового (розрахункового) кола $R=1$. Крім цього, таблиця складена для трьох випадків:

$$h < 0.12R;$$

$$h = (0.12 \div 0.16)R;$$

$$h = (0.16 \div 0.20)R.$$

Попередньо за формулою (14), (с. 76) визначимо радіус початкового (розрахункового) кола R і $\sin \gamma = a/R$. За ближчим значенням $\sin \gamma$ знаходимо розміри профілю фрези, що замінюється однією дугою радіусом r_0 з координатами центру x_0 , y_0 . Ці величини дійсні для радіуса початкового розрахункового кола $R=1$.

За прийнятим табличним значенням $\sin \gamma$ уточнюємо величину кута профілю γ і за ним визначаємо уточнену величину радіуса $R = a / \sin \gamma$, за яким проводимо подальші обчислення. При цьому, табличні значення величин r_0 , x_0 , y_0 і Δp перемножуємо на уточнену величину радіуса R , і отримуємо необхідні фактичні значення r_0 , x_0 , y_0 і Δp . У цьому випадку Δp величина відхилення дійсного профілю від теоретичного.

1.11. Точність заміни теоретичного профілю фрези дугами

У зв'язку із заміною теоретичного профілю фрези однією чи двома дугами виникає питання про вплив даної заміни на точність (прямолінійність) виготовлення бічних поверхонь шліца. Далі подаємо інженерну методику перевірки точності виготовлення шліцевого валика, теоретичні основи якої подані в літературі [1, с.819], [21, с.611].

Для перевірки точності заміни теоретичного профілю фрези однією чи двома дугами задамо координати профілю кривої, де буде визначена неточність виготовлення Δp . Слід відмітити, що додатне значення Δp на окремій ділянці зуба фрези показує зменшення ширини зуба фрези і призводить до відповідного місцевого потовщення

ширини шліца **b** шліцевого валика. Від’ємне значення $\Delta\rho$ показує потовщення ширини зуба фрези і призводить до відповідного місцевого зменшення ширини шліца **b** шліцевого валика.

При заміні теоретичного профілю фрези **однією дугою** (Рис. 12) неточність виготовлення визначається величиною $\Delta\rho_1$, що вимірюється за діаметральним відрізком, що проходить через точку O_1 і точку, що знаходиться по середині між точками A_0 і A_2 , а також величиною $\Delta\rho_2$, що вимірюється по діаметральному відрізку, який проходить через точку O_1 і точку, що знаходиться по середині між точками A_2 і A_1 .

Для цього визначимо величини **A** і **B** (величину y_{01} потрібно брати з урахуванням знаку):

$$A = \frac{(R * \gamma + x_{01})}{\left(2 * R + \frac{2}{3} * y_{01}\right)}; \quad B = \frac{y_{01}}{\left(R + \frac{2}{3} * y_{01}\right)} \quad (42)$$

За визначеними величинами **A** і **B** визначимо кути обкату α для точок, в яких буде обраховано $\Delta\rho$:

$$\alpha_{m1} = A + \sqrt{(A^2 + B)}; \quad \alpha_{m2} = A + \sqrt{(A^2 + B)} \quad (43)$$

Максимальне відхилення від теоретичної кривої профілю у точках, заданих кутами обкату α_{m1} і α_{m2} , становить $\Delta\rho_i$:

$$\Delta\rho_1 = R * (\sin \alpha_{m1} - \sin \gamma) - \frac{y_{01}}{\sin \alpha_{m1}} - r_{01}; \quad (44)$$

$$\Delta\rho_2 = R * (\sin \alpha_{m1} - \sin \gamma) - \frac{y_{01}}{\sin \alpha_{m1}} - r_{01}. \quad (45)$$

Абсолютна сума значень $\Delta\rho_1$ і $\Delta\rho_2$ не повинна перевищувати 2/3 допуску на ширину шліца **b**.

Сумарне відхилення:

$$\Delta\rho = |\Delta\rho_1| + |\Delta\rho_2|.$$

Допуск на ширину шліца **b** визначається при відомому верхньому відхиленні es_b і нижньому відхиленні ei_b :

$$T_b = es_b - ei_b$$

Умова правильності заміни теоретичної кривої профілю фрези дугою і дотримання умов точності:

$$\Delta\rho \leq \frac{2}{3} (es_b - ei_b). \quad (46)$$

Якщо величина відхилення (неточності) більше від допустимої і не виконується нерівність (46), то потрібно замінити у вказаних межах значення величини ординат **y** точок A_1 , A_2 , і повторити обчислення значень кутів обкату α за формулою (22), визначити нові значення абсцис **x** за формулою (23) вказаних точок. Якщо і тоді не будуть задовольнятися умови (46), то необхідно замінити теоретичний профіль фрези двома дугами.

Слід відмітити, що при висоті профілю $h > 0.12 * R$ заміна теоретичної кривої дугою одного радіуса дає надто великі відхилення, тому в цьому випадку теж рекомендуємо робити заміну двома дугами.

При заміні теоретичного профілю фрези **двома дугами** (Рис. 13) неточність виготовлення визначається окремо на ділянці теоретичної кривої $A_0A_3A_2$, окремо на ділянці кривої A_2A_1 .

Визначимо неточність виготовлення на ділянці кривої $A_0A_3A_2$, яка визначається величиною неточності виготовлення $\Delta\rho_{11}$ і $\Delta\rho_{12}$. Величина $\Delta\rho_{11}$, що вимірюється по діаметральному відрізку, що проходить через точку O_1 і точку, що знаходиться

посередині між точками A_0 і A_3 , а також величиною $\Delta\rho_{12}$, що вимірюється по діаметральному відрізку, що проходить через точку O_1 і точку, що знаходиться посередині між точками A_3 і A_2 .

Для цього визначимо величини A_1 і B_1 (величину y_{01} потрібно брати з урахуванням знака):

$$A = \frac{(R^* \gamma + x_{01})}{\left(2 * R + \frac{2}{3} * y_{01}\right)}; \quad B = \frac{y_{01}}{\left(R + \frac{2}{3} * y_{01}\right)} \quad (47)$$

За визначеними величинами A_1 і B_1 за формулою (47) визначимо кути обкату α для точок, в яких обчислимо $\Delta\rho$:

$$\alpha_{m11} = A_1 + \sqrt{(A_1^2 + B_1)}; \\ \alpha_{m12} = A_1 - \sqrt{(A_1^2 + B_1)} \quad (48)$$

Максимальне відхилення від теоретичної кривої профілю у точках, заданих кутами обкату α_{m11} і α_{m12} , становить $\Delta\rho$:

$$\Delta\rho_{11} = R^*(\sin \alpha_{m11} - \sin \gamma) - \frac{y_{01}}{\sin \alpha_{m11}} - r_{01}; \quad (49)$$

$$\Delta\rho_{12} = R^*(\sin \alpha_{m12} - \sin \gamma) - \frac{y_{01}}{\sin \alpha_{m12}} - r_{01} \quad (50)$$

Абсолютна сума значень $\Delta\rho_{11}$ і $\Delta\rho_{12}$ не повинна перевищувати 2/3 допуску на ширину шліца b .

Сумарне відхилення:

$$\Delta\rho_1 = |\Delta\rho_{11}| + |\Delta\rho_{12}|.$$

Допуск на ширину шліца b визначається при відомому верхньому відхиленні es_b і нижньому відхиленні ei_b :

$$T_b = es_b - ei_b.$$

Умова правильності заміни теоретичної кривої профілю фрези дугою і дотримання умов точності:

$$\Delta\rho_1 \leq \frac{2}{3}(es_b - ei_b). \quad (51)$$

Якщо величина відхилення (неточності) більша від допустимої, і не виконується нерівність (51), то потрібно замінити у вказаних межах значення величини ординат y точок A_3 , A_2 , і повторити обчислення значень кутів обкату α за формулою (22) та визначити нові значення абсцис x за формулою (23) вказаних точок. Якщо і тоді не будуть задовольнятися умови (51), то необхідно провести заміну теоретичного профілю фрези двома дугами.

Визначимо неточність виготовлення на ділянці кривої A_2A_1 , що визначається величиною неточності виготовлення $\Delta\rho_{21}$ і $\Delta\rho_{22}$. Величина $\Delta\rho_{21}$, що вимірюється за діаметральним відрізком, який проходить через точку O_2 і точку, що знаходиться посередині між точками A_2 і A_1 , а також величиною $\Delta\rho_{22}$, що вимірюється за діаметральним відрізком, що проходить через точку O_2 і точку, що знаходиться за межами точки A_1 .

Для цього визначимо величини A_2 і B_2 (величину y_{02} потрібно брати з урахуванням знаку):

$$A_2 = \frac{(R * \gamma + x_{02})}{\left(2 * R + \frac{2}{3} * y_{02}\right)}; \quad B_2 = \frac{y_{02}}{\left(R + \frac{2}{3} * y_{02}\right)} \quad (52)$$

За визначеними величинами A_2 і B_2 за формулою (52) обчислимо кути обкатування α для точок, в яких буде визначено $\Delta\rho$:

$$\alpha_{m21} = A_2 + \sqrt{(A_2^2 + B_2)}; \\ \alpha_{m22} = A_2 - \sqrt{(A_2^2 + B_2)} \quad (53)$$

Оскільки величина $\Delta\rho_{22}$, що вимірюється за діаметральним відрізком, який проходить через точку O_2 і точку, що знаходиться за межами точки A_1 , то враховуємо тільки те $\Delta\rho_{21}$ або $\Delta\rho_{22}$, яке визначається при мінімальному α_{m2min} , що дорівнює мінімальному із двох значень α_{m21} і α_{m22} . Оскільки більше значення α_{m2max} із вибраних α_{m21} і α_{m22} відповідає точці, що знаходиться за границями дуги (за точкою A_1 вгору):

$$\Delta\rho_{21} = R * (\sin \alpha_{m21} - \sin \gamma) - \frac{y_{01}}{\sin \alpha_{m21}} - r_{02}; \quad (54)$$

$$\Delta\rho_{22} = R * (\sin \alpha_{m22} - \sin \gamma) - \frac{y_{02}}{\sin \alpha_{m22}} - r_{02}. \quad (55)$$

У даному випадку приймаємо $\Delta\rho_2$, що дорівнює одному із значень $\Delta\rho_{21}$ або $\Delta\rho_{22}$, визначеному при α_{m2min} .

Допуск на ширину шліца b визначається при відомому верхньому відхиленні es_b і нижньому відхиленні ei_b :

$$T_b = es_b - ei_b$$

Умова правильності заміни теоретичної кривої профілю фрези дугою і дотримання умов точності:

$$\Delta\rho \leq \frac{2}{3} (es_b - ei_b) \quad (56)$$

1.12. Визначення висоти перехідної кривої для шліцевого валика при фрезеруванні його черв'ячно-шліцевою фрезою “без вусиків”

При фрезеруванні шліцевого валика черв'ячно-шліцевою фрезою “без вусиків” при ніжці шліца утворюється перехідна крива (галтель) радіусом r_f , висота якої ($h_{пер}$) не повинна перевищувати величини мінімального зазору Δr_{min} по внутрішньому діаметру між шліцевою втулкою і шліцевим валиком:

$$\Delta r_{min} = D_{i_{min}} - d_{i_{max}}$$

$$D_{i_{min}} = D_i + ei_{D_i}$$

$$d_{i_{max}} = d_i + es_{d_i},$$

- де D_i - номінальний діаметр впадин шліцевої втулки;
 ei_{D_i} - нижнє відхилення діаметру впадин шліцевої втулки;
 d_i - номінальний діаметр впадин шліцевого валика;
 es_{d_i} - верхнє відхилення діаметру впадин шліцевого валика.

Тепер визначимо величину перехідної кривої $h_{пер}$, що знаходиться при ніжці шліца. З Рис. 14 видно, що профіль фрези не може розміститися нижче від лінії KK_1 , що дотична до радіуса впадин шліцевого валика $r_f = di_{max}/2$. Точка В - крайня точка прямолінійної ділянки бічного профілю шліцевого валика. Ділянка бічного профілю шліцевого валика, що розташована нижче від лінії KK_1 і точки В, буде спряжена з колом впадин r_f по перехідній кривій.

Із трикутника OAB :

$$R_B = OB = \sqrt{OA^2 + AB^2} = \sqrt{r_i^2 + h^2 * ctg^2 \alpha_2}$$

Значення α_r визначимо, підставивши у формулу (9) $y=h$, де h - висота профілю щіцевого валика:

$$\sin \alpha_r = \frac{\sin \gamma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma}{2}\right)^2 - \frac{y}{R}}$$

Висота перехідної кривої визначається:

$$h_{пер} = R_B - r_i$$

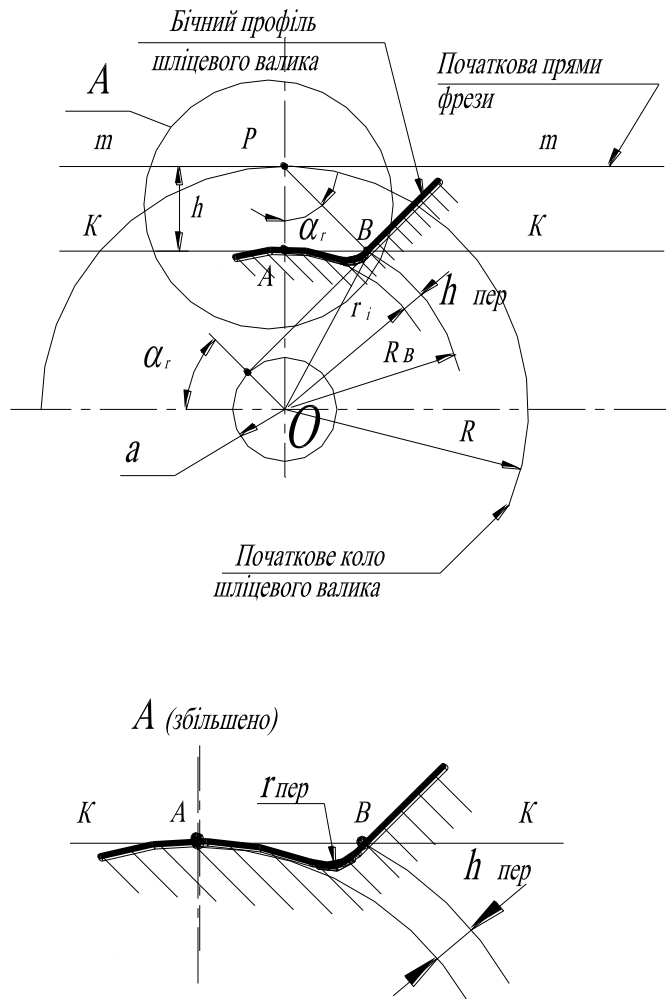


Рис. 14. Визначення висоти перехідної кривої для шліцевого валика при фрезеруванні його черв'ячно-щіцевою фрезою "без вусиків"

1.13. Визначення розмірів вусиків черв'ячно-щіцевої фрези "з вусиками"

Щоб правильно визначити розміри вусиків черв'ячно-щіцевої фрези необхідно точно з профілювати точку К, що має лежати на бічній поверхні шліцевого валика і не вище від радіуса r_1 - радіуса впадин шліцевого валика.

З Рис. 15 очевидно, що $AK=OK_1$, а з трикутника ОАК:

$$AK = OK * \cos \gamma_k = r_i * \cos \gamma_k.$$

З трикутника ОРК₁:

$$OK_1 = OP * \sin(90 - \alpha_k) = R * \cos \alpha_k.$$

А тепер прирівняємо праві частини величин АК і ОК₁:

$$r_i * \cos \gamma_k = R * \cos \alpha_k .$$

З останньої рівності визначимо $\cos \gamma_k$. Кут γ_k є критичним кутом, при якому може відбуватися профілювання бічного профілю шліцевого валика у точці К:

$$\cos \alpha_k = \frac{r_i * \cos \gamma_k}{R} . \quad (57)$$

Кут γ_k можна визначити з формули (2) для шліцевих валиків з паралельними сторонами:

$$\sin \gamma_k = \frac{b}{2 * r_i} .$$

При визначеному куті α_k з формули (57) знаходимо висоту вусика h_y від початкової прямої фрези до вершини зуба фрези за формулою (20):

$$y = h_y = R * \sin \alpha_k (\sin \alpha_k - \sin \gamma_k) .$$

Величина врізання фрези в тіло шліцевого валика за межі кола впадин валика:

$$\Delta R = h_y - (R - r_i) = h_y - h .$$

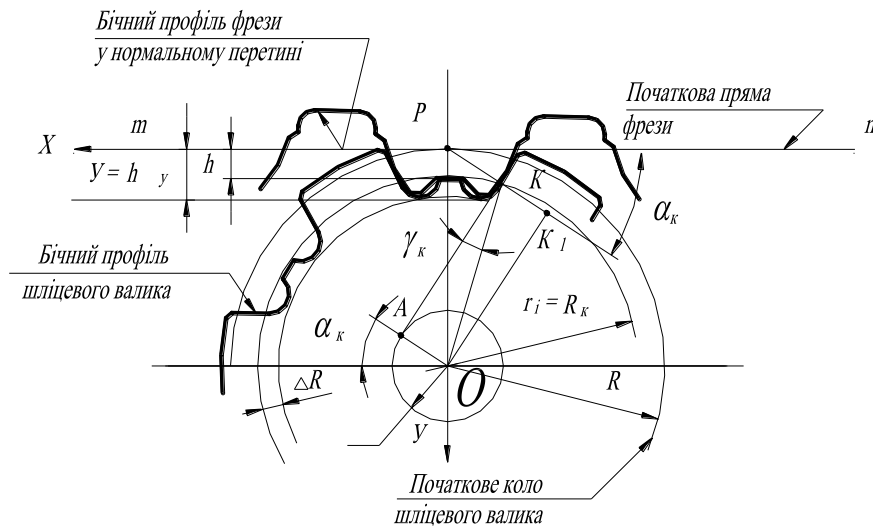


Рис. 15. Визначення розмірів вусиків черв'ячно-шліцевої фрези "з вусиками".

1.14. Визначення товщини зуба фрези

Товщина зуба фрези по початковій прямій у нормальній перетині:

$$S = R * \theta \quad (58)$$

де $\theta = 2(\frac{\pi}{z} - \gamma)$ - центральний кут впадини шліцевого валика в радіанах;

z - кількість шліців валика.

А товщина зуба фрези в інших точках профілю залежить від величини y_i :

$$S(y_i) = S - 2 * x_i \quad (59)$$

1.15. Габаритні та конструктивні параметри черв'ячно-шліцевої фрези

Габаритні розміри, точність конструктивних елементів і шорсткість поверхонь черв'ячно-шліцевих фрез, для виготовлення шліцевих валів з прямобічним профілем вибираються за рекомендаціями стандарту [22] або довідникової літератури [7], в якій приведено як габаритні розміри [7, с.576], точність виконання черв'ячно-шліцевих фрез [7, с.573], допуски і граничні відхилення параметрів цих фрез [7, табл.13.46, с.575]. Можна використати також рекомендації [3, с.281-290], [8, с.444-450].

На основі вищенаведеного теоретичного матеріалу розроблена інженерна методика розрахунку черв'ячно-шліцевих фрез.

На сайті Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя <http://library.tu.edu.te.ua/> в розділі Вісник ТДТУ в списку рефератів статей за 2001 рік, том 6, №4 розміщено два розділи, де наведені інженерні методики розрахунку:

- 1. Інженерна методика розрахунку та проектування в прикладах. Розрахунок профілю та вибір конструктивних параметрів черв'яно-шліцевої фрези “без вусиків” для шліцевого валика $D - 6x23d11x28e8x6d9$**
- 2. Інженерна методика розрахунку та проектування в прикладах. Розрахунок профілю та вибір конструктивних параметрів черв'яно-шліцевої фрези “з вусиками” для шліцевого валика $d - 6x23e8x28d11x6d9$**

The unitary theory and technique of engineering computation of given splines in a form of explanatory note in MathCAD medium is developed on the basis of the analysis of modern theories and techniques of spline hobs computation and design for manufacturing the spline-rollers with straight-side splines. The verisimilitude of these techniques is checked graphically in a graphical AutoCAD editor. The programme in AutoLISP language incorporated into the graphical AutoCAD editor is developed. It allows to build graphically the side profile of a spline tooth in a normal section at the given spline profile and vice versa to obtain a spline profile at the given form of a spline tooth in a normal section. The programme will supply control on a possibility to obtain non-involute spline profile by means of rolling.

Література

1. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов. - М.: Машгиз, 1963. -952 с.
2. Четвериков С.С. Металлорежущие инструменты. -М.: Высшая школа. 1965. -730с.
3. Алексеев Г.А., Аршинов В.А., Кричевская Р.М. Конструирование инструмента. -М.: Машиностроение, 1979, -383с.
4. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. -К.: Вища школа, 1990. -424с.
5. Фрайфельд И.А. Расчеты конструкций специального режущего инструмента. -Л.: -М.: Машгиз, 1959. - 196с.
6. Романов В.Ф. Расчеты зуборезных инструментов. -М.: Машиностроение, 1969. -255с.
7. Справочник инструментальщика. /И.А.Ординарцев, Г.В.Филипов, А.И.Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А.Ординарцева. -Л.: Машиностроение, 1987. -846с.
8. Шатин В.П., Шатин Ю.В. Справочник конструктора-инструментальщика. -М.: Машиностроение, 1975. -456с.
9. Расчет червячных шлицевых фрез с применением ЭВМ: Методика расчета / Тульский филиал головного специализированного конструкторского и технологического бюро автоматизированных систем управления. – Тула, 1981. -36с.
10. Проектный и проверочный расчет червячных фрез для нарезания валов с прямобочным профилем зубьев, расположенных параллельно оси шлицевого соединения: Методика расчета / Московский инструментальный завод. Отдел САПР ИНСТРУМЕНТ. – М., 1990. -27с.
11. Расчет червячных шлицевых фрез: Методика расчета / Львовский инструментальный завод. –Львов, 1991. -49.
12. Царенко М.А., Погораздов В.В. Профилирование червячной фрезы с помощью микро-ЭВМ // Машиностроитель. –1984. – №11. – С. 27-28.
13. Песочин С.М., Фролов М.В., Зайцев В.В. Замена теоретического профиля зуба червячной фрезы для нарезания шлицевых валов с прямобочным профилем участком эвольвенты окружности // Машиностроение. – 1992. - №1-3. – С. 129-132.
14. Винокурова В.И., Лукьянович И.Р. Применение ПЭВМ при проектировании червячных шлицевых фрез // Вестник машиностроения. – 1993. – №3. – С. 42- 44.
15. Лашнев С.И. и Юликов М.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. -М.: Машиностроение, 1975. -392с.
16. Допуски и посадки: Справочник /В.Д.Мягков, М.А.Палей, А.Б.Романов, В.А.Брагинский. -Л.: Машиностроение. 1979. Часть 1, -544с.
17. ГОСТ 1139-80. Соединения зубчатые (шлицевые) прямобочные. Размеры, допуски и посадки.
18. СТ СЭВ 187-75. Соединения шлицевые прямобочные. Допуски.
19. СТ СЭВ 188-75. Соединения шлицевые прямобочные. Размеры.
20. Цвис Ю.В. Профилирование режущего инструмента. -М.: Машгиз, 1961. -156с.
21. Справочник металлста. В 5-и томах. Том.3. Под ред. Малова А.Н. -М.: Машиностроение. 1977. - 748с.
22. ГОСТ 8027-60. Фрезы червячные чистовые для шлицевых валов с прямобочным профилем.
23. Допуски и посадки: Справочник /В.Д.Мягков, М.А.Палей, А.Б.Романов, В.А.Брагинский. -Л.: Машиностроение. 1979. Часть 2, -545-1032с.