

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

В.І. Солодкий



ПРОЕКТУВАННЯ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ФРЕЗИ

МЕТОДИ ПРОФІЛЮВАННЯ

Матеріал для самостійної роботи

Електронне мережеве навчальне видання

2-ге видання, перероблене і доповнене

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2024

УДК 621.914(075.8)
С60

Автор: *Солодкий Валерій Іванович*, канд. техн. наук, доц.

Рецензент *Охріменко О.А.*, док. техн. наук, професор,
КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Відповідальний редактор *Адаменко Ю.І.* канд. техн. наук, доцент,
КПІ ім. Ігоря Сікорського.

*Вчена рада навчально-наукового
механіко-машинобудівного інституту
(протокол № 8 від 25.03.2024 р)*

Солодкий В. І.

С60 Проектування різальних інструментів. Фрези, методи профілювання [Електронний ресурс]: метод. вказівки для здобувачів ступеня бакалавр за освіт. програмою “Конструювання та дизайн машин” спец. 131 – Прикладна механіка/ В. І. Солодкий : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2-ге вид. перероблене та доповн. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 33 с.

Наведено теоретичні та практичні відомості з проектування фрез загального та спеціального призначення. Теоретичні положення супроводжуються практичними рекомендаціями. Розглянуто особливості проектування фрезерного інструмента різного призначення. Наведені методики та приклади профілювання та проектування черв'ячних фрез цільної конструкції для обробки шліцьових та багатогранних валів.

Для викладачів та студентів усіх форм навчання за технічними спеціальностями.

УДК 621.914(075.8)

© В. І. Солодкий
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024

ДО СТУДЕНТІВ

Викладений матеріал призначений для
самостійної роботи за темою “Проектування фрез”
та роботи над дипломним проектом
освітнього рівня бакалавр.

Зміст

1. Дискові фрези	6
1.1. Графічне профілювання	6
1.1.1. Підготовчі побудови	7
1.1.2. Послідовність профілювання	7
1.2. Аналітичне профілювання	8
2. Черв'ячні фрези	11
2.1. Радіус початкового кола	11
2.2. Метод послідовних положень	14
2.2.1. Пряма задача графічного профілювання	15
2.2.1.1. Шаблон відомого профілю	15
2.2.1.2. Шаблон побудов	16
2.2.1.3. Профілювання	17
2.2.2. Зворотна задача графічного профілювання	20
2.3. Метод загальних нормалей	22
2.3.1. Підготовчі побудови	22
2.3.2. Побудова лінії зачеплення	23
2.3.3. Профіль інструмента	24
2.4. Графоаналітичне профілювання	25
2.4.1. Кочення кола по прямій	26
2.4.2. Кочення прямої по колу	29
Контрольні запитання	31
Посилання	32

Перелік ілюстрацій

1.1.	Графічне профілювання дискової фрези	6
1.2.	Аналітичне профілювання	9
2.1.	Параметри торцевого профілю деталі	12
2.2.	Шаблон профілю деталі:	15
2.3.	Шаблон побудов	16
2.4.	Послідовність побудов	18
2.5.	Результати профілювання	19
2.6.	Зворотна задача профілювання	21
2.7.	Підготовчі побудови	22
2.8.	Остання поділка	23
2.9.	Лінія зачеплення	24
2.10.	Профіль інструмента	25
2.11.	Кочення кола	26
2.12.	Реперна точка	26
2.13.	Траєкторія реперної точки	27
2.14.	Утворення профілю інструмента	28

Перелік прикладів

1.1.	Профілювання дискової фрези	9
------	-----------------------------------	---



1. Дисківі фрези

При виготовленні дисківих фасонних фрез необхідно враховувати, що через наявність додатного переднього кута γ профіль оброблюваної деталі та профіль різальної кромки фрези не збігаються [1, 2]. Отже, для того щоб виготовити якісний інструмент необхідно визначити профіль різальної кромки у передній площині зубця фрези¹.

1.1. Графічне профілювання

Графічне визначення профілю різальної кромки (графічне профілювання) подано на рис. 1.1. Вважаємо відомими: профіль деталі, габаритний діаметр фрези та передній кут γ зубця майбутньої дисківі фасонної фрези.

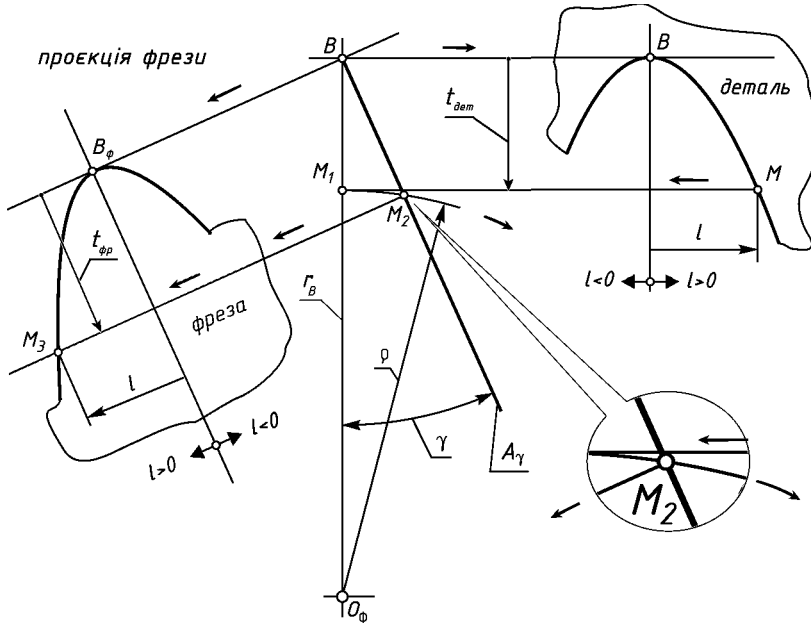


Рис. 1.1. Графічне профілювання дисківі фрези

¹У деякій літературі та довідниках минулого століття для визначення профілю різальної кромки фрези використовують "коефіцієнти коригування". Цей метод обумовлений відсутністю сучасної обчислювальної техніки (елементарних калькуляторів) і призводить до значних похибок.

1.1.1. Підготовчі побудови

Послідовність графічних підготовчих побудов така.

Етап 1

Спочатку у масштабі викреслюють положення передньої поверхні (лінія A_γ) під кутом γ та центр O_ϕ майбутньої фрези. Точка B це вершинна точка інструмента, вона розташована на відстані r_B від центру фрези.

Етап 2

Через точку B проводимо горизонталь і викреслюємо профіль деталі у відповідному масштабі. На профілі викресленому профілі деталі позначаємо точку B_d (це найглибша точка профілю деталі).

Етап 3

Будуємо проєкцію фрези. Через точку B проводимо лінію перпендикулярну до сліду A_γ . На довільній відстані ставимо точку B_ϕ . Через точку проводимо перпендикуляр до $\overline{BB_\phi}$. На цьому підготовчі дії закінчено.

1.1.2. Послідовність профілювання

Розглянемо послідовність графічного проілювання для довільної точки M профілю деталі. Результатом має бути визначення положення точки профілю різальної кромки, яка утворює задану точку M профілю деталі.

Етап 1

Через вибрану довільну точку M на профілі деталі проводимо горизонталь до точки M_1 .

Етап 2

Із центру фрези (точка O_ϕ) радіусом ρ проводимо дугу до отримання точки M_2 . Точка M_2 це точка перетину дуги радіуса ρ із слідом A_γ передньої поверхні зубця фрези.

Етап 3

З точки M_2 перпендикулярно до сліду A_γ провести лінію довільної довжини на якій відкласти відрізок довжиною l . Зверніть увагу за знак відрізка l .

Етап 4

Отримана точка M_3 є точкою різальної кромки фрези, яка оброблює точку M профілю деталі. Виконавши розглянуті побудови для інших точок (довільних) профілю деталі отримаємо профіль різальної кромки фрези у площині передньої поверхні.

Зауваження 1. Отриманий в результаті побудов профіль різальної кромки має нагадувати профіль деталі. Він має бути однаковим за шириною з профілем деталі, але трохи вищий (трохи витягнутий у висоту) ніж профіль деталі $t_{фр} > t_{дет}$.

Зауваження 2. Загалом чим більше взято точок профілю деталі, тим “точнішим” буде визначено профіль різальної кромки, але все має бути у розумних межах.

Характеристики графічного профілювання

Переваги	Недоліки
Наочність побудов та отримання результату.	Неможливість отримати високу точність результату. Мінімальна похибка визначення розмірів не менше ніж 0,2 мм.

1.2. Аналітичне профілювання

На відміну від графічного профілювання аналітичний метод дозволяє отримати результат з достатньо малою похибкою².

Розрахункова схема аналітичного профілювання дискової фасонної фрези загального призначення подана на рис. 1.2.

На наведеному рисунку прийняті такі позначення розрахункових параметрів:

- r_b – радіус вершинної точки профілю фрези (габаритний радіус);
- γ – передній кут зубця фрези;
- $t_{дет}$ – глибина (висота) профілю деталі у розрахунковій точці;
- $t_{фр}$ – глибина (висота) профілю фрези у розрахунковій точці різальної кромки;
- B – вершина профілю фрези;
- ρ – радіус на якому розташована профілю деталі, яка буде обробляти розрахункову точку профілю деталі.

²Похибка математичних розрахунків визначається параметрами обчислювального пристрою і дорівнює, у більшості випадків, одному знаку у восьмому розряді обчислювального приладу.

Аналітичне профілювання доцільно виконувати у такій послідовності.

Спочатку визначають конструктивні параметри фрези, тобто: габаритний радіус r_B та передній кут γ . Далі вибирають на профілі деталі розрахункові точки та визначають для них відповідні значення параметра $t_{дет}$ глибини³.

Глибину (висоту) $t_{фр}$ профілю фрези розраховують за формулами:

$$t_{фр} = r_B \cos \gamma - \sqrt{\rho^2 - a^2}. \quad (1.1)$$

Параметри ρ та a , що входять до формули (1.1) можливо визначити за формулами:

$$a = r_B \sin \gamma, \quad (1.2)$$

$$\rho = r_B - t_{дет}. \quad (1.3)$$

Розрахунки за (1.1) необхідно провести для всіх розрахункових точок профілю деталі.

Приклад 1.1 (Профільовання дискової фрези).

Виконати профілювання (визначити глибину профілю точки різальної кромки фрези) для дискової фасонної фрези, що обробляє відомий профілю деталі.

Вихідний дані:

$r_B = 35$ мм – габаритний радіус фрези;

$\gamma = 12^\circ$ – передній кут зубця фасонної фрези у площині перпендикулярній до осі інструмента;

$t_{дет} = 10$ мм – глибина профілю деталі у розрахунковій точці.

Рішення:

1. За формулою (1.2) маємо:

$$a = r_B \sin \gamma = 35 \sin 12^\circ = 7,2769 \text{ мм.}$$

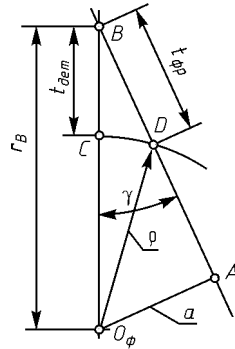


Рис. 1.2. Аналітичне профілювання

³Загалом чим більше розрахункових точок, тим краще. Але доцільним є вибирати у якості розрахункових точок такі точки, які характеризують загальну форму профілю деталі.

2. За формулою (1.3) маємо:

$$\rho = r_b - t_{\text{дет}} = 35 - 10 = 25 \text{ мм.}$$

3. За формулою (1.1) маємо:

$$\begin{aligned} t_{\text{фр}} &= r_b \cos \gamma - \sqrt{\rho^2 - a^2} = \\ &= 35 \cos 12^\circ - \sqrt{25^2 - 7,2769^2} = 10,3177 \text{ мм.} \end{aligned}$$

4. Остаточню приймаємо $t_{\text{фр}} = 10,31 \text{ мм.}$

Зауваження. Проміжні розрахунки доцільно виконувати з “точністю” на один-два розряди більшою ніж потребує кінцевий результат. Зазвичай для розрахунків інструменту достатньо вести розрахунки з точністю до четвертого знаку після коми⁴.



⁴Під час виконання розрахунків металорізального інструменту для обробки зубчастих коліс, розрахунки необхідно виконувати з точністю до шостого знаку обчислювального засобу.

2. Черв'ячні фрези

Графічні методи профілювання найбільш наочні, але й найменш точні. У той же час вони дозволяють детально простежити весь процес формування. При застосуванні графічних методів, побудови доцільно виконувати у збільшеному масштабі, приміром 5:1 або 10:1.

Проектування черв'ячної фрези для деталей будь-якого профілю здійснюється у такій послідовності:

- визначення радіусу початкового кола, що пов'язане з відомим профілем деталі;
- профілювання, результатом якого є початкова інструментальна поверхня та профіль різальних кромки інструмента;
- розрахунок основних конструктивних параметрів фрези;
- оформлення креслеників.

2.1. Радіус початкового кола

Величина радіусу $r_{\text{п}}$ початкового кола має суттєвий вплив на профіль початкової інструментальної поверхні, форму різальної кромки інструмента та умови формування. Тому величина радіусу $r_{\text{п}}$ початкового кола не може бути прийнятий довільною.

Зауваження. При графічному профілюванні не враховують значення допусків на виготовлення деталі через те, що похибка графічних побудов значно більша величини допуску виготовлення.

На величину радіуса початкового кола $r_{\text{п}}$ (рис. 2.1) впливають:

- відстань від кінцевої точки (точка A на кресленнику) прямолінійної ділянки профілю деталі до її центру. Будемо позначати її як R_{max} та говорити про найбільший радіус прямолінійного профілю;
- радіус кола, яке вписано у геометричну фігуру утворену прямолінійним профілем деталі. Будемо позначати його як a та говорити про довжину центральної нормалі до прямолінійного профілю деталі.

Отже, щоб знайти довжину центральної нормалі a необхідно з центру деталі опустити нормаль на лінію профілю деталі. Найбільший вплив на результат профілювання має загальна геометрична форма торцевого профілю деталі.

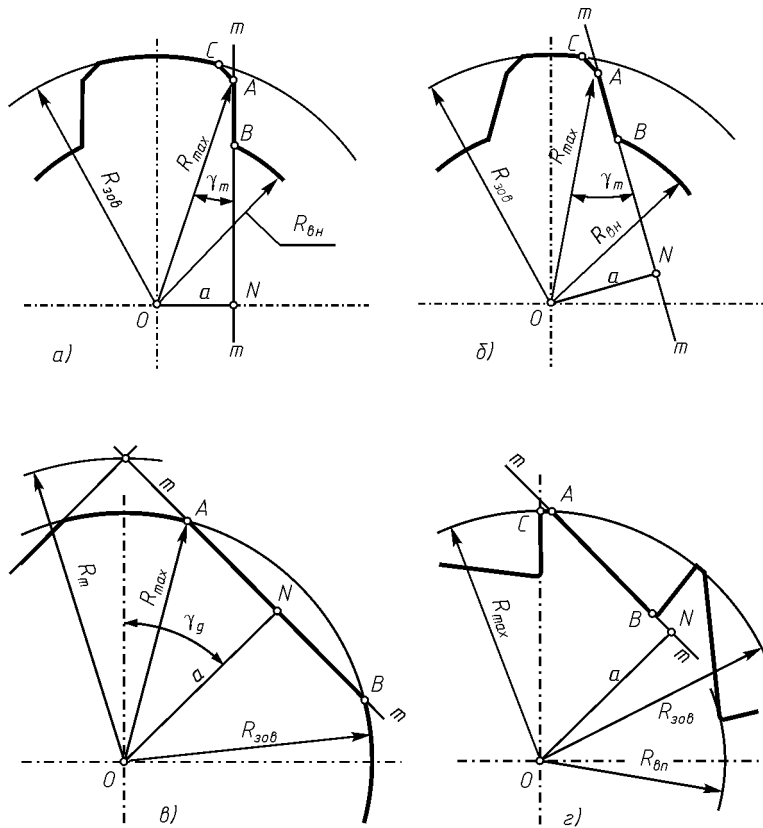


Рис. 2.1. Параметры торцевого профиля детали

Розглянемо більш детально параметри, що впливають на величину радіуса r_{Π} початкового кола (рис. 2.1).

Точки A та B це кінцеві точки прямолінійного профілю деталі. Через них проходить пряма $m-m$. Відрізок ON – це нормаль проведена до прямої через точку O центру деталі. Отже довжина відрізка ON і є центральна нормаль a . Радіус R_{max} це найдовша відстань від центру O деталі до зовнішньої точки A прямолінійної ділянки профілю AB . Відстань між точками C та A це фаска, її наявність не обов'язкова.

Для деталей шліцьового профілю з паралельними бічними сторонами (рис. 2.1,а) радіус початкового кола r_{Π} визначають за залежністю:

$$r_{\Pi} = R_{max} \sqrt{1 - 0,75 \sin^2 \gamma_m}, \quad (2.1)$$

$$\sin \gamma_m = \frac{a}{R_{max}}, \quad (2.2)$$

де γ_m – це кут між прямою $m-m$ та радіусом R_{max} точки A прямолінійної ділянки профілю деталі. Кут γ_m називають кутом профілю.

Для шліцьових деталей, що мають трикутний профіль (рис. 2.1,б) величину початкового кола r_{Π} визначають як:

$$r_{\Pi} = \sqrt{R_{max}^2 - 0,75a^2} \quad (2.3)$$

де a – це довжина центральної нормалі.

Зауважимо, що наведена формула справедлива тільки для шліців з прямою боковою стороною. Евольвентні шліці розраховують за іншими залежностями.

Для багатогранних валів (рис. 2.1,в) величину початкового кола r_{Π} визначають як:

$$r_{\Pi} \geq R_{max} \sqrt{1 - 0,75 \sin^2 \gamma_g}, \quad (2.4)$$

$$\cos \gamma_g = \frac{a}{R_m} \quad \text{або} \quad \gamma_g = \frac{\pi}{N}, \quad (2.5)$$

де γ_g – кут між центральною нормаллю a та віссю симетрії багатогранного профілю деталі;

R_m – радіус точки перетину двох сусідніх ліній $m-m$;

N – кількість граней вала.

У той же час треба враховувати, що кількість граней багатогранного валу може змінюватись від трьох до нескінченності. В результаті цього значення кута γ_g теж змінюються у значному діапазоні. Отже, наведена формула дає тільки найменше можливе значення радіусу початкового кола r_{Π} .

Для валів типу храпове колесо профіль (рис. 2.1,з) величину початкового кола r_{Π} приймають як:

$$r_{\Pi} = R_{\max}. \quad (2.6)$$

Зауваження. Отримана за наведеними залежностями (2.1) ... (2.6) величина радіусу r_{Π} початкового кола – є найменшою допустимою величиною. Тому у процесі подальших розрахунків вона може бути округлена у більшу сторону.

У загальному випадку єдиною умовою, що впливає на розмір початкового кола r_{Π} є те, що нормаль до будь-якої точки профілю деталі повинна перетинати це початкове коло.

2.2. Метод послідовних положень

Розглянемо найбільш класичний метод графічного профілювання, а саме – метод послідовних положень. Зміст цього методу полягає в тому, що відомий профіль (у нашому випадку це багатогранний вал) у процесі профілювання займає ряд послідовних положень. Огинаюча до цих послідовних положень і буде шуканим (спряженим) профілем початкової інструментальної поверхні.

Загальна похибка визначення огинаючої буде тим менша, чим менший крок між послідовними положеннями відомого профілю.

Вважається доцільним приймати таку кількість дискретних положень, яка забезпечує повну побудову шуканого профілю за 20... 25 переходів на один геометрично закінчений елемент. Під геометрично закінченим елементом мається на увазі зубець, канавка, виступ, або западина профілю. Відповідно до цього і треба вибирати дискретність послідовних положень відомого профілю.

Зауваження. При графічному профілюванні доцільно, там де це можливо, замінювати кутові побудови лінійними. Наприклад, відкладати не кут, а катети трикутника. Це зменшить похибку графічних побудов у декілька разів.

2.2.1. Пряма задача графічного профілювання

При вирішенні прямої задачі профілювання відомим є профіль деталі, а шуканим – профіль початкової інструментальної поверхні (інструмента). При застосуванні методу послідовних положень [3] необхідно виготовити два шаблони:

- шаблон відомого профілю деталі;
- та шаблон на якому виконують графічні побудови.

2.2.1.1. Шаблон відомого профілю

Відомим профілем є профіль деталі, який пов'язаний з початковим колом радіуса r_{II} . На рис. 2.2 подано шаблони шліцьового валу та шаблон багатогранного валу, що має чотири сторони.

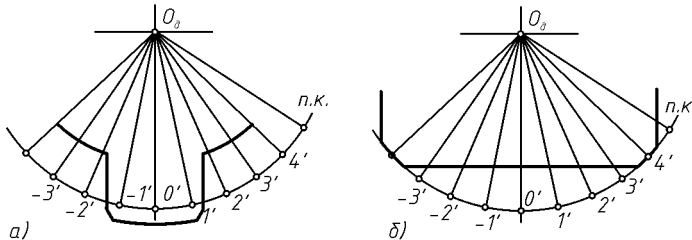


Рис. 2.2. Шаблон профілю деталі:
а – профіль шліцьового валу;
б – профіль багатогранного (чотиригранного) валу

Шаблон необхідно виготовити із твердого паперу, або картону. При застосуванні комп'ютерних графічних систем шаблон доцільно утворити як окремий шар. Це дає змогу виконувати обкатку, як процес дублювання об'єктів з одночасним поворотом та переміщенням шару⁵.

Фізично в якості шаблону профілю деталі доцільно брати аркуш твердого паперу (вагману). Послідовність побудов відомого шаблону профілю деталі наступна.

Етап 1

Прийняти доцільний масштаб графічних побудов. Зазвичай це 5:1 або 10:1.

⁵Не треба вважати, що графічні методи це обов'язково папір та олівець. Практично всі сучасні системи CAD CAM побудовані на графічному представленні побудов, їх особливність полягає тільки в тому, що побудови здійснюються не на папері, а на екрані монітору.

Етап 2

За залежностями (2.1) ... (2.6) розрахувати та викреслити початкове коло відповідного радіусу $r_{п}$.

Етап 3

Викреслити частину відомого профілю деталі. Загалом можна викреслити будь-яку частину деталі, але доцільним є креслення симетричної частини, наприклад, зубця, або западини між сусідніми зубцями. На наведеному кресленю (рис. 2.2) відомий профіль деталі подано товстою лінією.

Етап 4

Поділити початкове коло $r_{п}$ на рівні відрізки та пронумерувати їх, як подано на прикладі. Доцільно брати за нульову позначку таку, що поділяє профіль деталі симетрично. Хоча у загальному випадку це не має будь-якого значення, однак при симетричній побудові менша імовірність зробити помилку.

Етап 5

Вирізати шаблон по контуру таким чином, щоб на ньому залишилась точка $O_{д}$ центру деталі.

Зауваження. При використанні графічних систем автоматизованого проектування доцільно побудований профілю оформити, як окремий шар.

2.2.1.2. Шаблон побудов

Всі подальші побудови будемо виконувати на окремому шаблоні (рис. 2.3) у такій послідовності. Фізично в якості “шаблону побудов” доцільно брати аркуш ватману.

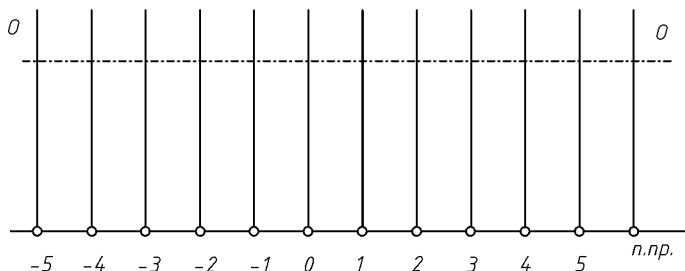


Рис. 2.3. Шаблон побудов

Етап 1

На відстані, що дорівнює величині радіуса r_{Π} початкового кола провести від початкової прямої тонку лінію центрів $O-O$ паралельну до початкової прямої.

Етап 2

Провести горизонтальну лінію (лінія *n.n.p.* на кресленику) прийнявши її за початкову пряму.

Етап 3

Поділити початкову пряму на відрізки довжина яких дорівнює довжині дугових поділок на початковому колі r_{Π} . Тобто довжина дуги $\widehat{O'1'}$ на початковому колі, має дорівнювати довжині відрізка $\overline{O1}$ на початковій прямій. І так далі для всіх розрахункових точок.

Етап 4

Провести перпендикуляри до початкової прямої так, щоб вони перетинали лінію $O-O$.

На цьому завершено попередні підготовчі дії після яких можна переходити безпосередньо до профілювання.

2.2.1.3. Профілювання

Усі подальші побудови виконують на шаблоні побудов (рис. 2.3) у такій послідовності.

Етап 1

Накласти шаблон відомого профілю деталі на шаблон побудов (рис. 2.4,а) та сумістити точку θ' шаблону деталі з точкою θ шаблону побудов⁶.

Етап 2

Сумістити між собою перпендикуляр до початкової прямої та радіусну пряму, як подано на прикладі.

Етап 3

Обвести шаблон олівцем або зафіксувати його положення у випадку застосування комп'ютерних систем проектування.

⁶Точки O' та O це базові точки від яких починають профілювання. Доцільно, щоб ці точки поділяли відомий профіль деталі симетрично, тоді буде легше контролювати послідовність профілювання.

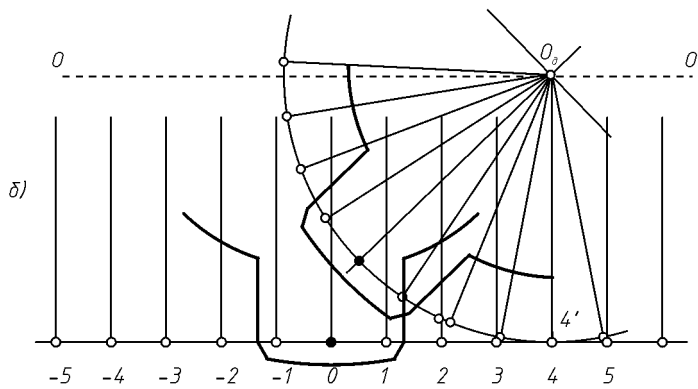
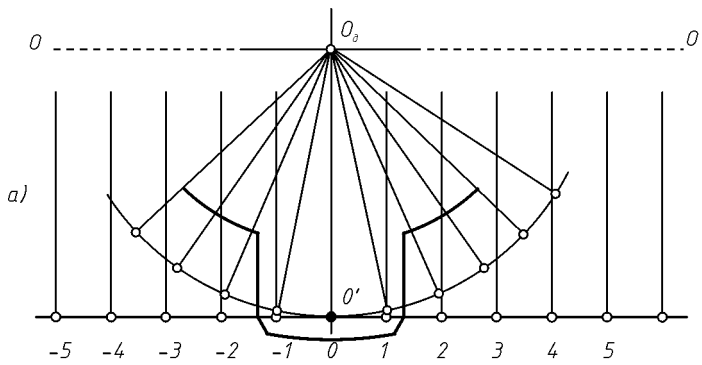


Рис. 2.4. Послідовність побудов

Етап 4

Послідовно сумістити відповідні позначки на початковому колі та на початковій прямій (на рис. 2.4,б подано випадок для позначки 4) та обвести шаблон.

Зауваження. Оскільки на вирізаному шаблоні деталі частина початкового кола буде зрізана, то шаблон треба розташовувати так, щоб точка центру деталі знаходилась на лінії центрів $O-O$.

Результатом дій буде графічна сукупність кривих за рис. 2.5 на якому товстою лінією позначено початкове положення профілю деталі. Огинаючи до послідовних положень і є профіль початкової інструментальної поверхні черв'ячної фрези для утворення заданого шліцьового валу.

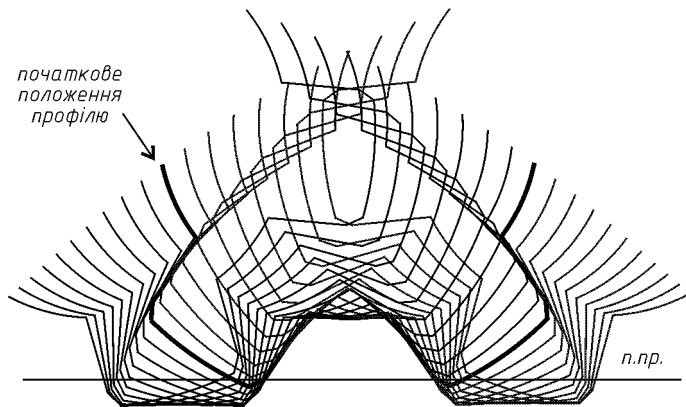


Рис. 2.5. Результати профілювання

Застереження. При застосуванні комп'ютерних графічних систем найчастішою помилкою є різний масштаб по горизонталі та вертикалі, який виникає при трансформуванні креслеників в ручному режимі.

Сучасні комп'ютерні системи дозволяють значно спростити графічне профілювання за методом послідовних положень. Немає сенсу ділити початкове коло на відрізки та суміщати поділки. Весь процес обкатки зводиться до двох операцій:

- перша, це лінійний крок відомого профілю деталі вздовж прямої;
- та другий, це поворот відомого профілю на відповідний кут.

Єдине що треба зробити – розрахувати співвідношення лінійного кроку та кута повороту обкатки. Все інше можливо виконати за рахунок повторення команд дублювання.

2.2.2. Зворотна задача графічного профілювання

Метою зворотної задачі є визначення профілю деталі, яка буде утворена відомим інструментом. Послідовність графічного вирішення зворотної задачі наступна.

Етап 1

Викреслити шаблон відомого профілю інструмента (рис. 2.6,а) та пронумерувати поділки. Відстань між поділками не обов'язково повинна бути такою ж, як у прямій задачі. Вона може бути будь-якою, але загалом – чим більше поділок, тим "достовірнішим" буде результат.

Етап 2

Виготовити шаблон початкового кола. При цьому, його розмір повинен точно дорівнювати радіусу початкового кола, який був прийнятий при вирішенні прямої задачі.

Етап 3

Сумістити шаблони (рис. 2.6,б) між собою. Звісно, довжина поділок на початковому колі і на початковій прямій мають бути однакової величини.

Етап 4

Виконати обкатку шаблону інструмента (початкової прямої) по початковому колу деталі (рис. 2.6,в). Для цього необхідно послідовно сумістити позначки з однаковими номерами та відповідні радіуси з перпендикулярами. Результатом обкочування буде профіль деталі у її торцевому перерізі.

При застосуванні комп'ютерних графічних систем доцільно розрахувати кут між сусідніми радіусами. Тоді обкатку прямої по колу можливо виконувати у два етапи в такій послідовності:

- сумістити однакові поділки початкового кола та початкової прямої;
- повернути початкову пряму з профілем навколо поділки на розрахований кут між сусідніми радіусами.

Треба зауважити, що при зворотній задачі відомий профіль не тільки обертається, але й переміщується по дузі. Це ускладнює застосування комп'ютерних систем.

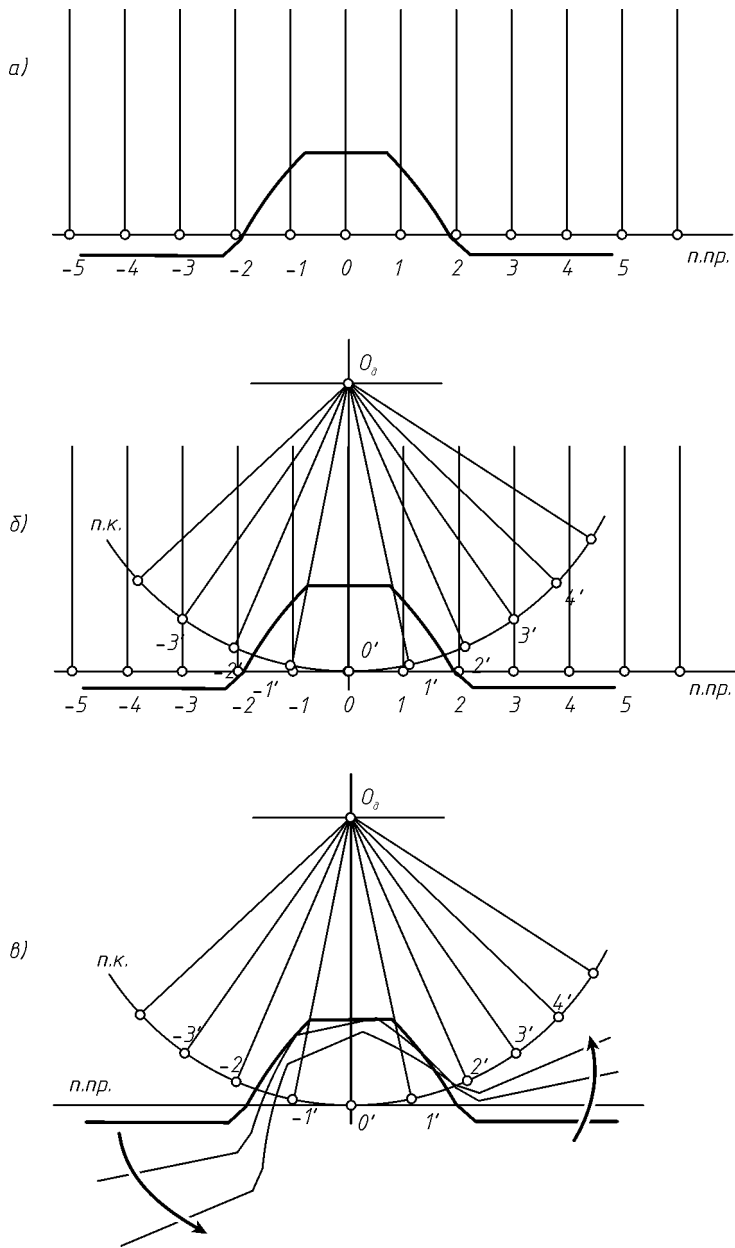


Рис. 2.6. Зворотня задача профілювання

2.3. Метод загальних нормалей

Метод загальних нормалей, який запропонував Гохман Х. І.⁷ базується на положенні, що в точці контакту деталь та інструмент мають спільну нормаль⁸.

Цей метод дозволяє знайти шуканий профіль не як огинаючу до кривих, а як лінію що проходить через послідовність точок⁹. Побудови за методом загальних нормалей складаються з двох етапів:

- визначення лінії зачеплення деталі та інструмента;
- визначення профілю початкової інструментальної поверхні.

2.3.1. Підготовчі побудови

Насамперед треба викреслити початкове положення основних елементів у такій послідовності.

Етап 1

Визначити за (2.1) ... (2.6) радіус початкового кола та викреслити його і початкову пряму, як подано на рис. (2.7).

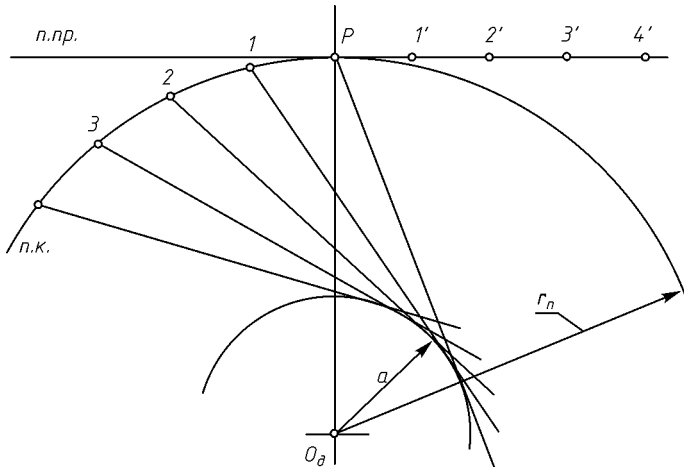


Рис. 2.7. Підготовчі побудови

⁷Гохман Хаїм Ісгудович (02.02.1851 – 30.01.1916) – приват-доцент Новоросійського університету, член Одеського відділення Російської технічної спілки. Автор праці “Кінематика машин” в якій заклав основи аналітичного підходу до вивчення механізмів.

⁸Саме через це цей метод профілювання називається методом загальних нормалей.

⁹Це дозволяє встановити, яка точка кромки інструмента буде обробляти конкретну точку профілю деталі. Що у свою чергу дозволяє аналізувати ступінь завантаженості кромки.

Етап 2

Викреслити коло радіуса a (дивись рис. 2.1, a на с. 12). Чисельно величина радіуса a дорівнює половині ширини шліца.

Етап 3

На початковому колі та на початковій прямій позначити поділки однакової довжини.

Довжина дуги початкового кола повинна дорівнювати довжині прямого відрізка початкової прямої. Кількість поділок у межах 7 ... 10. Загалом, чим більше тим краще.

Етап 4

Провести з поділок початкового кола дотичні до кола радіуса a визначеного за етапом 1.

Зауваження. Поділки на початковому колі необхідно проводити так, щоб відстань h за рис. 2.8 від останньої поділки (на рисунку це точка 4) до початкової прямої була трохи більшою за висоту профілю деталі.

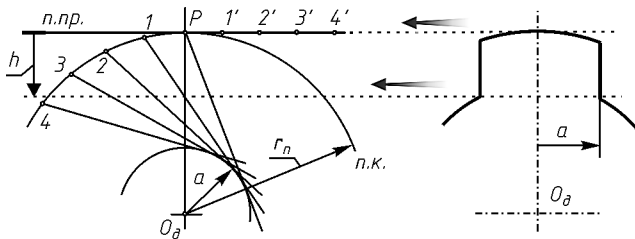


Рис. 2.8. Остання поділка

Порада. Загалом чим більша кількість поділок, тим краще, Але все добре у розумних межах. Тому на практиці достатньо 5 ... 7 поділок. Більша кількість не підвищить точність побудов, але суттєво їх ускладнить.

2.3.2. Побудова лінії зачеплення

Лінію зачеплення будують у такій послідовності (рис. 2.9).

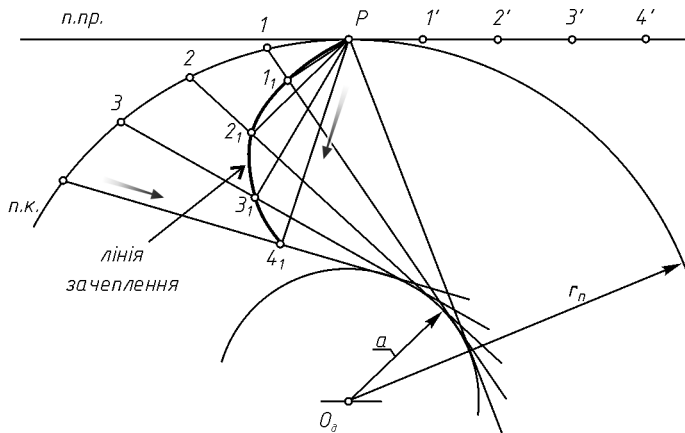


Рис. 2.9. Лінія зачеплення

Етап 1

З точки P (полюс миттєвого обертання) опустити перпендикуляри на дотичні до кола. Отримані точки позначити з індексом 1 (точки 1_1 ; 2_1 ; 3_1 і так далі ...).

Етап 2

Через отримані точки (точки 1_1 ; 2_1 ; 3_1 і так далі ...) провести плавну криву, яка і буде лінією зачеплення.

Зауваження 1. Якщо лінія зчеплення має "хвилястий" характер, то це свідчить про те, що перпендикуляри опущені з полюсу P насправді не є перпендикулярні до відповідних ліній.

Зауваження 2. Лінія зачеплення схожа на коло, але не є колом, вона тільки схожа на коло. Тому не можна замінювати її частиною кола заради спрощення побудова.

2.3.3. Профіль інструмента

Профіль інструмента (початкової інструментальної поверхні) визначають у такій послідовності (рис. 2.10) на якому: *п.пр.* – початкова пряма; *п.к.* – початкове коло.

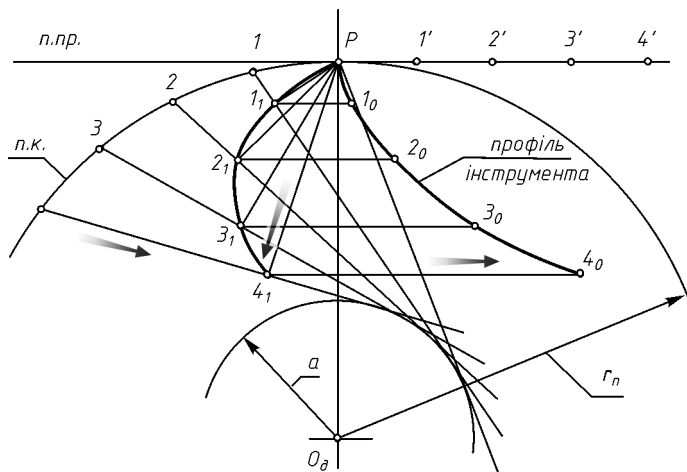


Рис. 2.10. Профіль інструмента

Етап 1

З кожної точки лінії зачеплення (точки з індексом 1) провести горизонтальну лінію, довжина якої дорівнює відповідній поділіці на початковій прямій. Наприклад, відрізок $2_1 2_0$ дорівнює відрітку $P 2'$ на початковій прямій.

Етап 2

Отримані точки позначити з нижнім індексом θ . Це точки, що належать до профілю інструмента.

Етап 3

Через отримані точки (точки індексом θ) провести плавну криву, яка і буде профілем інструмента.

Зауваження. Отримана крива профілю інструмента повинна мати плавний характер. Для фрези, що обробляє шліцьовий вал, вона – майже коло, але все ж таки не є колом.

2.4. Графоаналітичне профілювання

Зміст графоаналітичного методу полягає в тому, що послідовні положення відомого профілю розраховують аналітичним способом, а огинаючи до них визначають графічним. Графоаналітичний метод дуже

добре застосовувати у комп'ютерних системах. Аналітичні розрахунки виконують програмно, а графічні побудови виконуються автоматично за результатами розрахунків [3].

2.4.1. Кочення кола по прямій

Якщо розглядати кочення початкового кола по початковій прямій, тобто пряму задачу (рис. 2.11), то положення шаблону (який зв'язано з початковим колом) можливо задати координатами точки M та кутом t нахилу радіального відрізка OM .

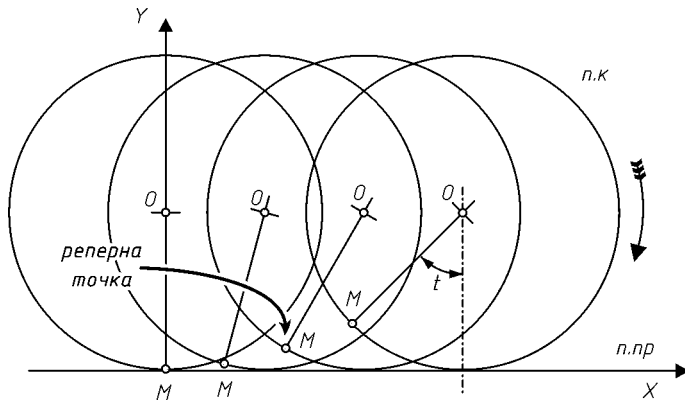


Рис. 2.11. Кочення кола

На рис. 2.12 подано розташування профілю деталі та точки M . Будемо називати її реперною точкою. Як бачимо, реперна точка може бути розташована як вище початкової прямої, так і нижче. Все залежить від профілю деталі.

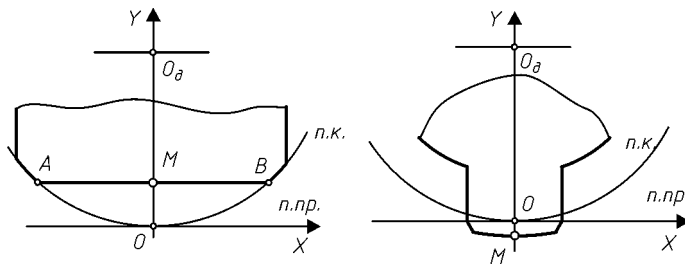


Рис. 2.12. Реперна точка

Загалом точка M може бути розташована, як в середині початкового кола, так і зовні, але обов'язково на координатній осі Y . У будь-якому разі, доцільним є розташування реперної точки на профілі деталі, або інструмента (залежно від того, що є відомим профілем). В такому випадку значно простіше виконувати графічні побудови, реперна точка існує матеріально і її можна побачити на шаблоні.

Можна брати реперну точку у середині шаблону, але це не зручно при графічних побудовах, бо шаблон закриває собою кресленик. Відстань між точкою M та центром O деталі позначимо як r_M .

Профіль шаблону може бути розташований відносно лінії OM довільно, однак краще щоб вона поділяла його симетрично. В такому випадку менша імовірність помилки при графічних побудовах.

Якщо надати початковому колу рух кочення по початковій прямій, то координати x_M та y_M реперної точки M в системі координат XU зв'язаної з початковою прямою можливо визначити як:

$$\begin{aligned} x_M &= r_{\Pi} t - r_M \sin t, \\ y_M &= r_{\Pi} - r_M \cos t, \end{aligned} \tag{2.7}$$

- де r_{Π} – прийнятий радіус початкового кола;
 r_M – відстань між точкою M та центром O деталі;
 t – перемінний параметр виражений у радіанах.

Загальний вигляд розрахованої траєкторії реперної точки залежить від співвідношення між радіусами r_{Π} та r_M . На рис. 2.13 подано приклади траєкторії послідовних положень точки M для різних співвідношень параметру r_M та величини r_{Π} .

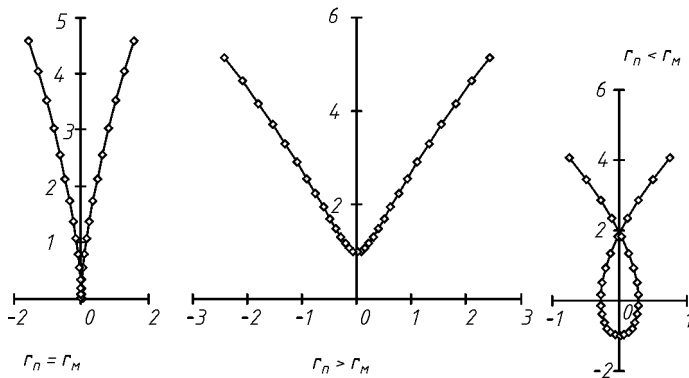


Рис. 2.13. Траєкторія реперної точки

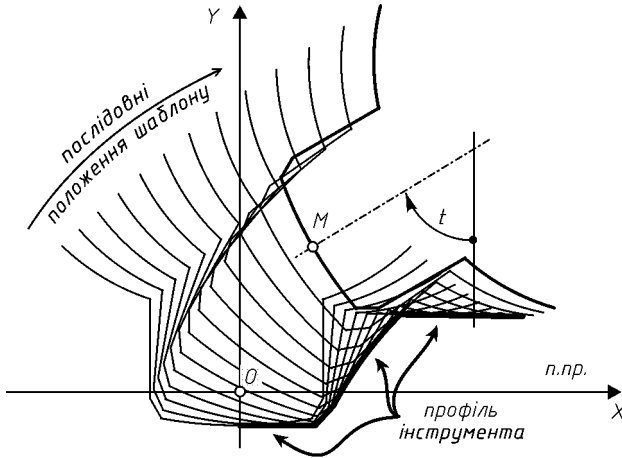


Рис. 2.14. Утворення профілю інструмента

У будь якому разі траєкторія буде циклоїдою:

- при $r_{\Pi} = r_m$ це буде звичайна циклоїда;
- при $r_{\Pi} > r_m$ циклоїда буде скороченою;
- а при $r_{\Pi} < r_m$ – циклоїда буде подовженою.

Зауваження. У будь якому випадку, форма траєкторії повинна бути симетричною відносно осі Y та плавною.

На рис. 2.14 наведено результати графоаналітичних побудов визначення профілю фрези для утворення шліцьового валу¹⁰.

Послідовність графоаналітичного профілювання може бути така.

Етап 1

За 2.1 ... 2.6 розрахувати радіус r_{Π} початкового кола відповідно до профілю деталі.

Етап 2

Викреслити, на твердому папері у вибраному масштабі (бажано кратному 5 або 10), шаблон профілю деталі.

¹⁰Тонкими лініями подано послідовні положення шаблону. Товстою лінією виділено шаблон, який було застосовано у профілюванні. Його положення визначають точка M та кут t нахилу осі симетрії.

Етап 3

Визначити положення реперної точки M та величину відстані r_M .

Етап 4

Приймаючи ряд послідовних значень параметра t з кроком приблизно $\pm 0,1$ радіану, розрахувати за (2.7) сукупність координат x_M та y_M реперної точки M . Кочення треба виконувати в обидві сторони тому параметр t треба приймати з різними знаками.

Доцільно розрахунки координат точки M та графічні побудови вести одночасно, це дасть змогу не виконувати зайвих побудов.

Етап 5

Викреслити сукупність послідовних положень шаблону та провести огинаючу до них.

2.4.2. Кочення прямої по колу

При коченні прямої по колу (зворотна задача профілювання) за початок системи координат приймемо точку дотику початкового кола та початкової прямої, тобто миттєвий полюс обертання P . Тоді у початковий момент вісь X буде співпадати з початковою прямою, а вісь Y проходить через полюс P та центр початкового кола.

Принципи розташування шаблону та реперної точки такі ж самі, як і для схеми кочення кола по прямій, реперна точка M лежить на осі Y . Її положення визначимо параметром h_M , який геометрично дорівнює відстані від осі X (від початкової прямої) до реперної точки M розташованої на відомому профілі:

- якщо реперна точка M розташована вище осі X , то параметр h_M має додатній знак.
- якщо реперна точка M розташована нижче осі X , то параметр h_M має від'ємний знак.

Можна казати, що параметр h_M дорівнює координаті точки M на осі Y . Тоді координати x_M та y_M реперної точки M в процесі обкатки прямої по колу можна визначити як:

$$\begin{aligned}x_M &= r_{\Pi} \sin t - r_{\Pi} \cos t + h_M \cos t, \\y_M &= h_M \sin t + r_{\Pi} \sin t - (r_{\Pi} - r_{\Pi} \cos t).\end{aligned}\tag{2.8}$$

Крива, яку опише реперна точка M у процесі обкатки є евольвентою. Залежно від величини параметру h_M ця крива буде звичайною

евольвентою, подовженою, або скороченою. Графічно отримані криві будуть нагадувати криві, подані на рис. 2.13. Це пояснюється тим, що евольвента є окремим випадком циклоїди.

Послідовність графоаналітичного профілювання може бути така.

Етап 1

Прийняти радіус $r_{\text{п}}$ початкового кола такий самий, який був при вирішенні прямої задачі.

У протилежному випадку результати розрахунків гарантовано (теоретично обґрунтовано) не будуть збігатись.

Етап 2

Викреслити на твердому папері шаблон профілю інструмента у вибраному масштабі.

Етап 3

Визначити положення реперної точки M та величину відстані h_M враховуючи її знак.

Етап 4

Приймаючи ряд послідовних значень параметра t з кроком приблизно $\pm 0,1$ радіану, розрахувати за (2.8) сукупність координат x_M та y_M реперної точки M . Кочення виконувати в обидві сторони.

Етап 5

Викреслити сукупність послідовних положень шаблону та провести огинаючу до них.

Зауваження 1. Доцільно розрахунки координат x_M та y_M точки M та графічні побудови вести одночасно, це дасть змогу не виконувати зайвих побудов.

Зауваження 2. Доцільно базову точку M вибирати такою, щоб вона поділяла відомий профіль симетрично. У такому разі значно спрощуються побудови та контроль їх вірності.



Контрольні запитання

1. Які методи профілювання застосовують при проєктуванні черв'ячних фрез?
2. В чому полягає метод послідовних положень?
3. В чому полягає пряма задача профілювання?
4. Що таке зворотна задача профілювання?
5. Які типи шаблону використовують під час профілювання та навіщо?
6. У чому полягає суть методу загальних нормалей?
7. Нормалі до яких поверхонь (профілів) мають збігатись?
8. Що таке “лінія зачеплення”?
9. У чому полягає суть графоаналітичного профілювання?
10. Які елементи розраховують під час графоаналітичного профілювання?
11. Що таке “огинача до послідовних положень”, що це за профіль?
12. Як доцільно вибирати реперні точки?



Посилання

1. Солодкий В. І., Плівак О. А., Майданюк С. В. Проектування різальних інструментів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 170 с.
2. Чумак М. С., Мохорт А. Т., Мохорт В. Т. Фрезерна справа : Підручник. Львів : Либідь, 2004. 440 с.
3. Солодкий В. І. Фрези черв'ячні для деталей прямобічного профілю. *Вісник Національного технічного університету України КПІ*. 2010. № 9/10. С. 120–125.

Електронне мережеве видання

Солодкий Валерій Іванович

ПРОЕКТУВАННЯ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ
ФРЕЗИ

2-ге видання, перероблене і доповнене

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056 <https://kpi.ua>
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.