

Міністерство освіти та науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут і Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут
кафедра Інтегрованих технологій машинобудування

Методичні вказівки з лабораторної роботи студентів з курсу

ОСНОВИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ

**Тема: Визначення спряжених профілів при схемі формоутворення, що відповідають
коченню без ковзання початкового кола по початковому колу**

підготовки бакалавр
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

напряму 6.050503 – Машинобудування
(шифр і назва)

спеціальності 8(7),05050302 - Інструментальне виробництво
(шифр і назва)

спеціалізації _____
(назва)

форми навчання денна
(денна/заочна)

Основи формоутворення поверхонь [Електронний ресурс]: Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Визначення спряжених профілів при схемі формоутворення, що відповідають коченню без ковзання початкового кола по початковому колу» для студентів напряму підготовки 6.050503 – Машинобудування / Уклад.: О.А. Охріменко, Д.Ю. Джулій, С.В. Майданюк, К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 20 с.

Рекомендовано вченою радою ММІ НТУУ «КПІ»
(Протокол №7 від 27.02.2017 р.)

ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ОСНОВИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Визначення спряжених профілів при схемі формоутворення, що відповідають коченню
без ковзання початкового кола по початковому колу

Для студентів напряму підготовки
6.050503 – машинобудування

Укладачі: Охріменко Олександр Анатолійович, д.т.н., доц.
Джулій Дмитро Юрійович, к.т.н., доц.
Майданюк Серій Володимирович, асист.

Відповідальний редактор: В.А. Пасічник, д.т.н., проф.

Рецензент: Д.А. Красновид, к.т.н., доц.

Лабораторна робота №1

Визначення спряжених профілів при схемі формоутворення, що відповідають коченню без ковзання початкового кола по початковому колу

Мета роботи. Мета роботи полягає в оволодінні методики визначення спряжених профілів при схемі формоутворення, що відповідає коченню без ковзання кола, зв'язаного з вихідною інструментальною поверхнею (ВІП) по початковому колу зв'язаного з профілем деталі.

Завдання: студент за погодженням з викладачем отримує заготовку профілю деталі, для якої необхідно визначити ВІП при схемі формоутворення, що відповідає коченню без ковзання початкового кола по початковому колу і порівняти результати практичного визначення ВІП отримані за допомогою спеціального пристосування з аналітичним розрахунком.

1.Короткі теоретичні відомості

Кінематичні схеми формоутворення вважаються схемами другого класу, якщо вихідний відносний рух $Д/І$ буде миттєвим обертальним або миттєвим поступальним рухом. Другий клас включає чотири типи кінематичних схем формоутворення, при яких аксоїди деталі та інструменту обкочуються один по одному без ковзання. Аксоїдами можуть бути циліндр і площина, циліндр і циліндр, конус і площина, конус і конус. Прикладом подібних схем формоутворення можуть служити процеси оброблення зубчастих коліс довбачами (рис.1), гребінками та інші.

Цей же клас включає схему формоутворення, у якій відносний рух буде миттєвим обертальним рухом, що є результатом двох обертань навколо паралельних осей з рівними та однаково направленими кутовими швидкостями. У схем другого класу зазначені відносні рухи $Д/І$ є результатами двох обертів навколо осей, що паралельні чи перетинаються. При цьому схема, що відповідає коченню без ковзання циліндра по площині, може розглядатися як результат двох обертань навколо паралельних осей. При цьому поступальний рух можна вважати граничним випадком обертання, а площину – циліндром нескінченно великого радіусу.

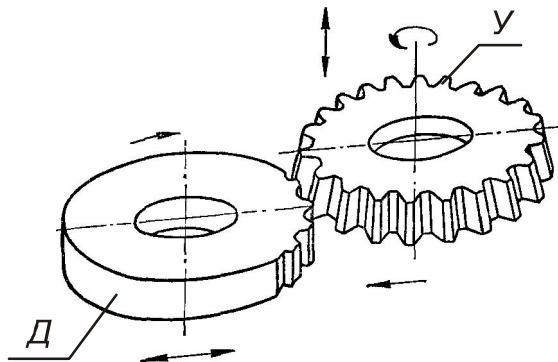


Рис.1. Обробка довбчаєм зубчастого колеса.

Розглянемо схему формоутворення, при якій відносний рух інструмента і багатозубої оброблюваної деталі зводиться до кочення без ковзання початкового циліндра радіуса R_1 , зв'язаного з деталлю, по початковому циліндру радіуса R_2 зв'язаного з інструментом. З профілем деталі зв'яжемо систему координат Y_1Z_1 , з профілем вихідної інструментальної поверхні - Y_2Z_2 . Виберемо також нерухому систему координат Y_0Z_0 . Взаємне розташування систем координат у початковий момент часу зображено на рис.2а, а в довільний момент - на рис.2б.

Кут повороту системи Y_1Z_1 позначимо через t . Тоді кут повороту системи Y_2Z_2 буде $t = \frac{R_1}{R_2}$, оскільки коло радіуса R_1 котиться без ковзання по колу радіуса R_2 .

Формули перетворення координат записуються таким чином:

$$\begin{cases} Y_0 = Y_1 \cos t - Z_1 \sin t; \\ Z_0 = Z_1 \cos t + Y_1 \sin t - R_1; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Y_2 &= Z_1 \sin\left(t \frac{R_1 + R_2}{R_2}\right) - Y_1 \cos\left(t \frac{R_1 + R_2}{R_2}\right) - (R_1 + R_2) \sin\left(t \frac{R_1}{R_2}\right); \\ Z_2 &= (R_1 + R_2) \cos\left(t \frac{R_1}{R_2}\right) - Z_1 \cos\left(t \frac{R_1 + R_2}{R_2}\right) - Y_1 \sin\left(t \frac{R_1 + R_2}{R_2}\right). \end{aligned} \quad (2)$$

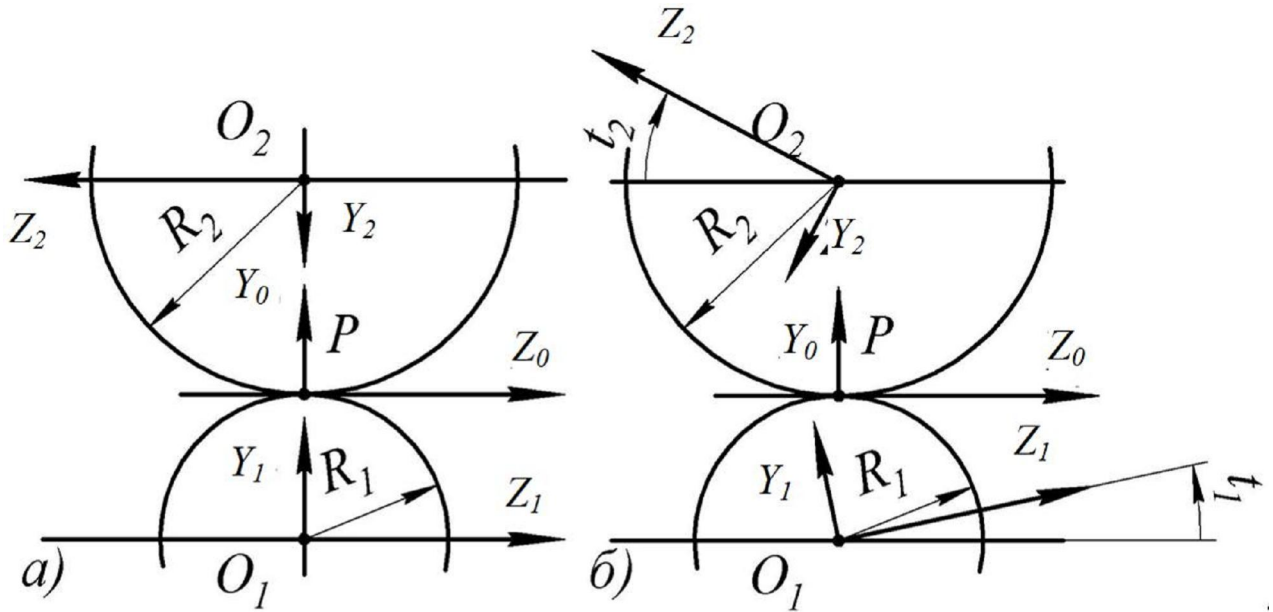


Рис.2. Схема формоутворення при коченні початкового кола деталі по початковому колу інструмента.

Рівняння заданого профілю деталі в загальному вигляді буде:

$$Y_1 = f(Z_1), \quad (3)$$

Рівняння заданого профілю деталі в параметричному вигляді буде:

$$Z_1 = f_1(u), \quad Y_1 = f_2(u), \quad (4)$$

, де u – параметр, що відповідає положенню точки на профілі.

Кут нахилу дотичної до профілю деталі, коли рівняння профілю деталі в загальному вигляді:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\partial f(Z_1)}{\partial (Z_1)}, \quad (5)$$

Кут нахилу дотичної до профілю деталі, коли рівняння профілю деталі задано в параметричному вигляді:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\frac{\partial Y_1}{\partial u}}{\frac{\partial Z_1}{\partial u}}, \quad (6)$$

Рівняння контакту у випадку, який розглядається, записується таким чином:

$$\begin{aligned} \sin(\psi + t) &= \frac{Z_1 \sin \psi + Y_1 \cos \psi}{R_1} \Rightarrow \\ t &= \arcsin\left(\frac{Z_1 \sin \psi + Y_1 \cos \psi}{R_1}\right) - \psi \end{aligned} \quad (7)$$

Спільний розгляд рівняння профілю деталі, рівняння контакту і формул перетворення координат дає профіль вихідної інструментальної поверхні.

Координата точок профілю вихідної інструментальної поверхні розраховуються в такій послідовності:

- вибираються координати Y_1 , Z_1 вузлових точок профілю деталі, в яких визначаються кути нахилу дотичних ψ ;
- за рівнянням контакту розраховуються кути t при яких точки профілю деталі контактують зі спряженими точками профілю вихідної інструментальної поверхні;
- за формулами перетворення координат знаходяться точки контакту в системі координат Y_2Z_2 , сукупність яких дає спряжений профіль вихідної інструментальної поверхні.

2.Виконання роботи.

Матеріали: Заготовка профілю деталі, цупкий папір, креслярські приладдя, ножиці, липка стрічка(скотч).

Пристосування: Макет імітації кочення без ковзання початкового кола по початковому колу – видає викладач.

2.1. Практична частина виконання роботи.

Для виконання роботи використовується пристосування – макет, яке імітує кочення початкового кола 1 по початковому колу 2 без проковзування рис.3.

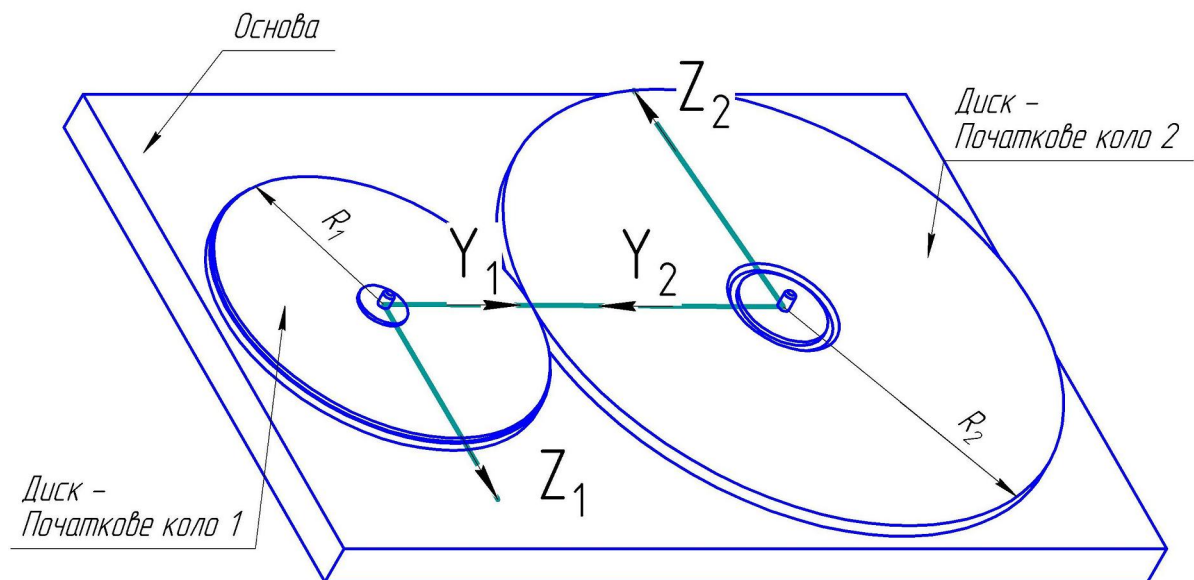


Рис.3. Пристосування – макет для імітації кочення без ковзання кола 1 по колу 2 і розташування на ньому систем координат пов'язаних з деталлю і ВПІ.

За рахунок сил тертя диск 1 з нанесеним гумовим покриттям на циліндричній частині передає обертання диску 2 при чому на яку довжину сектора дуги радіуса R_1 обернувся диск 1 на таку саму довжину дуги відбудеться поворот диска 2 радіусом R_2 , відбувається кочення без ковзання диска 1 по диску 2.

Вхідні дані: профіль деталі для якої необхідно визначити вихідну інструментальну поверхню при кінематичній схемі обробки, яку студент самостійно вирізає з листу пластику за попереднім узгодженням з викладачем рис.4.

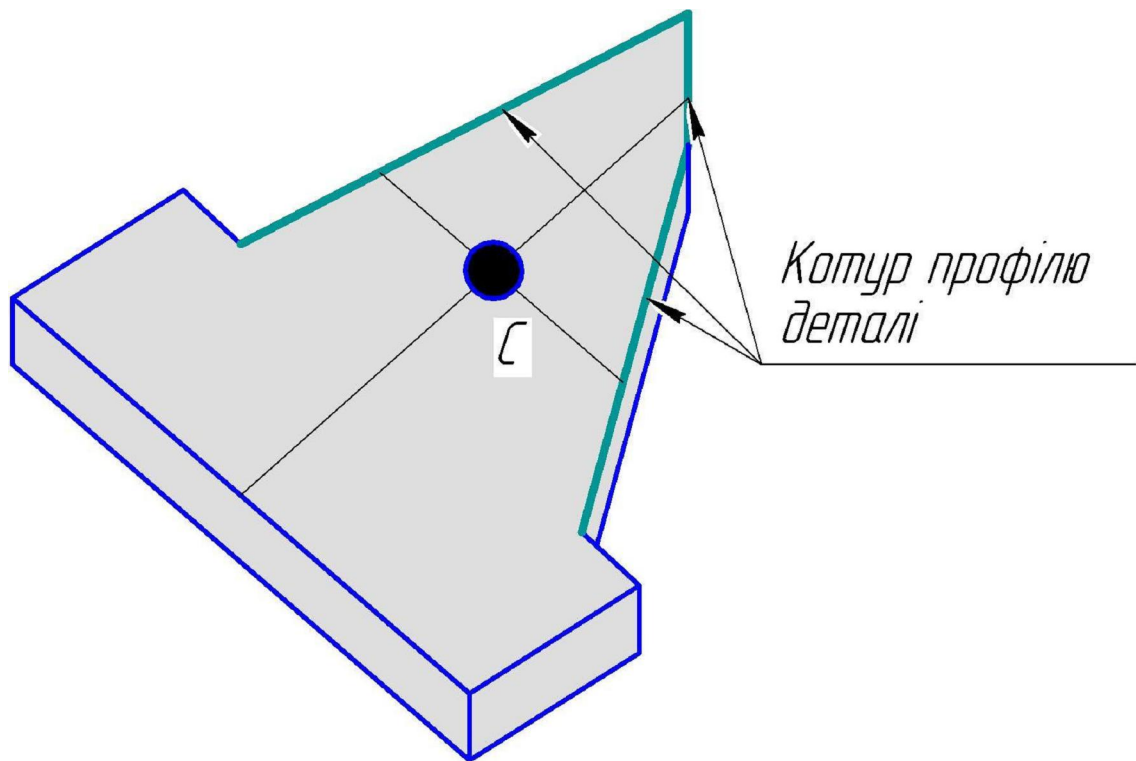


Рис.4. Заготовка – профіль деталі.

Пластикову заготовку профілю деталі закріплюємо за допомогою липкої стрічки (скотч) на диску 1 так щоб вертикальна лінія профілю деталі співпала з між осьовою лінією, що з'єднує центри обертання обох дисків, а точка С (рис.4) знаходилась в точці дотику кіл диска 1 та 2 (рис.5). Вирізаємо з паперу сектор і закріплюємо його так, щоб його центр знаходився на осі обертання диска 2 і лінія яка його ділить симетрично в початковий момент часу співпадала з між осьовою лінією (рис.4).

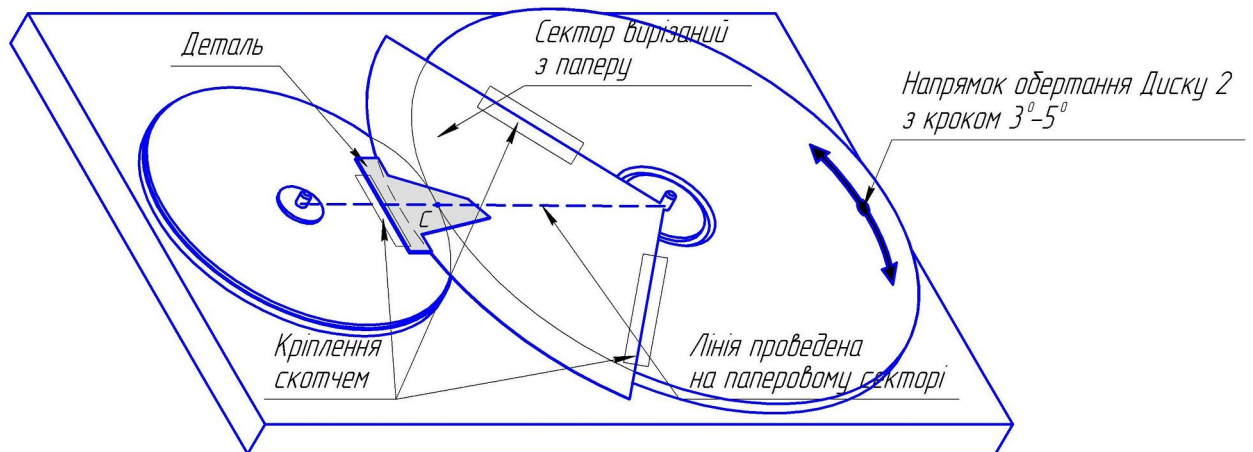


Рис. 5. Схема розташування профілю деталі і паперового сектора на пристосуванні.

Після закріплення деталі і сектора де будемо обертати в кожну сторону диск 2 і відмічати послідовні положення профілю деталі за допомогою олівця на паперовому секторі через кожні 3 – 5 градусів, після цього знімаємо паперовий сектор з пристосування.

На отриманому паперовому секторі (рис.6) графічно визначаємо огинаючу до послідовних положень профілю деталі, розбиваємо рівномірно огинаючу на 20 точок і визначаємо їх координати в системі Z_2Y_2 за допомогою лінійки.

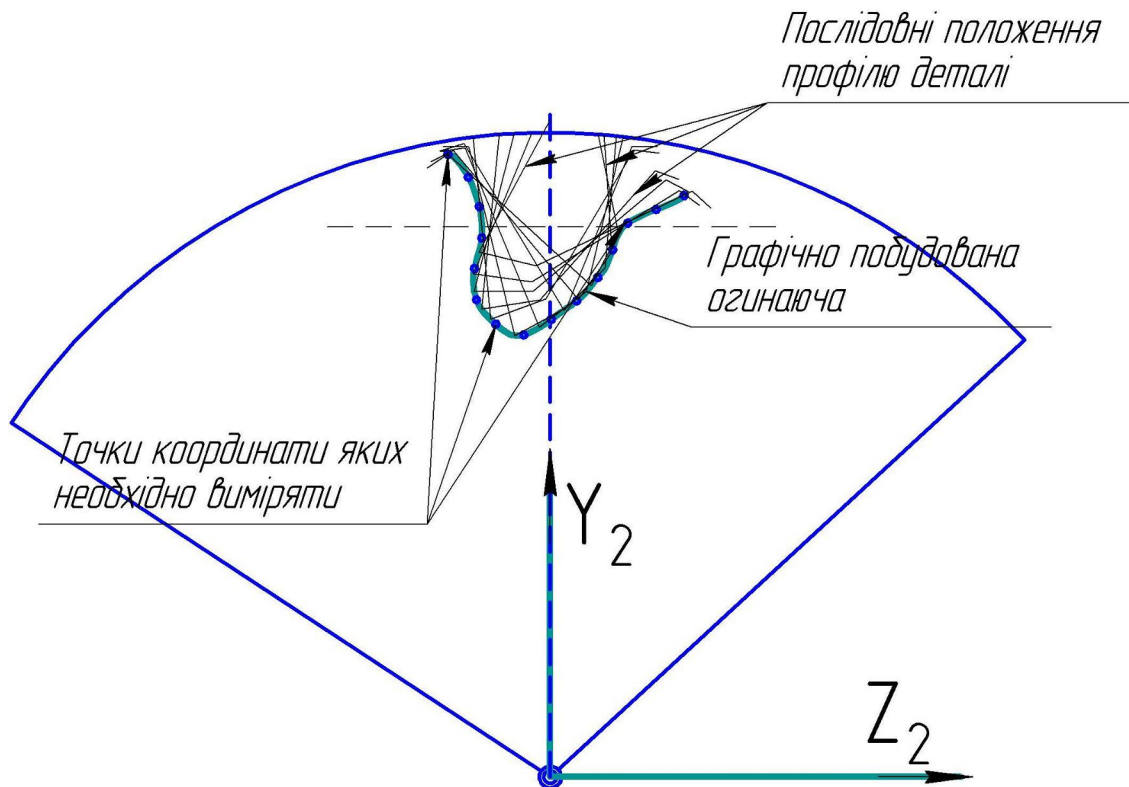


Рис. 6. Отримані послідовні положення профілю деталі при імітації кочення без ковзання кола 1 по колу 2.

2.2. Розрахункова частина:

Розрахунок спряженого профілю (ВП) ведемо наступним чином:

Вхідними даними є: радіуси початкових кіл $R1 = \text{___ мм}$, $R2 = \text{___ мм}$, їх необхідно виміряти на пристосуванні, схема профілю деталі (рис.7)

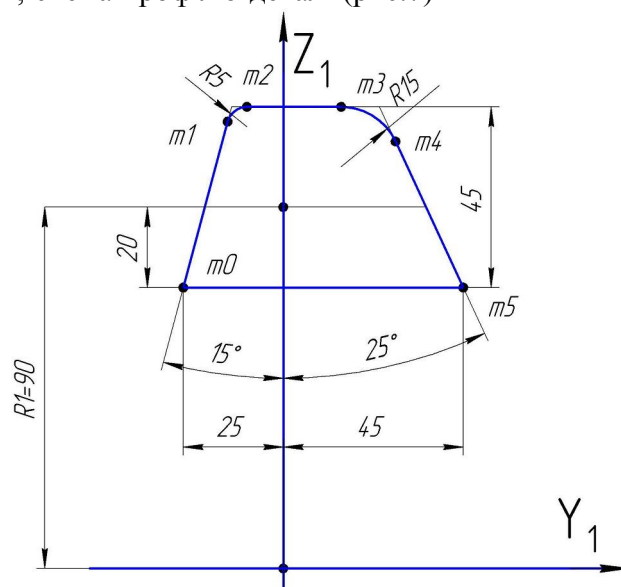


Рис.7. Схема профілю деталі – робоча частина.

Необхідно визначити координати точок профілю і кутів дотичних до них, для кожної ділянки профілю деталі в системі Z_1Y_1 . (Примітка - 20 точок для кожної ділянки). Для цього записуємо рівняння профілю кожної ділянки в системі координат Z_1Y_1 , бажано в параметричному вигляді змінюючи рівномірно параметр u в межах, що описує робочу ділянку профілю, використовуючи рівняння (4) отримуємо необхідні координати і заносимо їх в табл.1. Кут нахилу дотичної розраховуємо за залежністю (6).

Отримані значення координат точок і кутів нахилу дотичних до них підставляємо в рівняння контакту (7) і знаходимо кутове положення профілю деталі, яке визначається кутом t при якому дана точка на профілю деталі буде формувати точку на профілю ВП. Для знаходження координат точок ВП (спряженого профілю) необхідно в рівняння (2) підставити відповідні значення координат точки профілю деталі з (4) та відповідаючи їм значення розв'язку рівняння контакту з (7), отримані значення заносимо в таблицю і так розраховуємо для кожної ділянки.

Таблиця 1. Розрахунки огиначої
Ділянка 01

№	Y1 мм (рівняння 4)	Z1 мм (рівняння 4)	ψ , рад (рівняння 6)	t , рад (рівняння 7)	Y2, мм (рівняння 2)	Z2, мм (рівняння 2)
1	-25	110	0,265	...	...	...
2	-24,951	110,272	0,265	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
20	-24,759	112,179	0,265	...	...	...

За результатами розрахунків, значення Y_2 Z_2 для кожної ділянки будуємо графік огиначої рис.8.

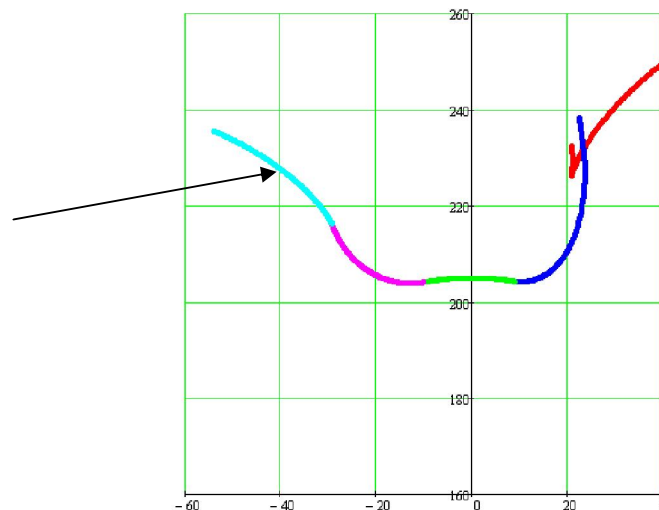


Рис.8. Профіль огиначої (ВП).

Якщо на профілю деталі є ділянки без плавного спряження рис.9, то необхідно для них окремо визначити ділянку огиначої, що утворюється такими точками.

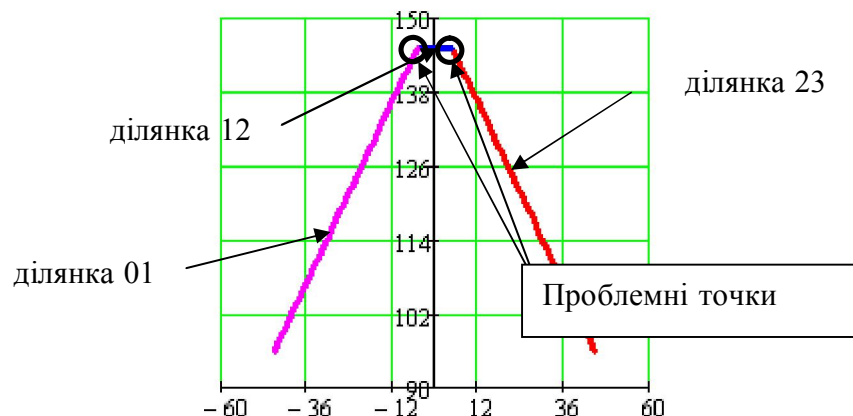


Рис. 9. Профіль деталі який не має плавного спряження між суміжними ділянками.

Для цих точок є невизначеність напрямку нормалі до профілю – так для бічної сторони це один напрямок, для вершинної ділянки це інший напрямок. В цих точках існує

розрив першої похідної першого роду, щоб знайти профіль який буде утворений такою ділянкою при вибраній схемі формоутворення – необхідно розглянути траєкторію руху такої точки у системі в якій визначаємо спряжений профіль. Для цього необхідно записати координати цих точок і записати траєкторію їх руху при зміні параметру t .
- $T1$ рис.10.

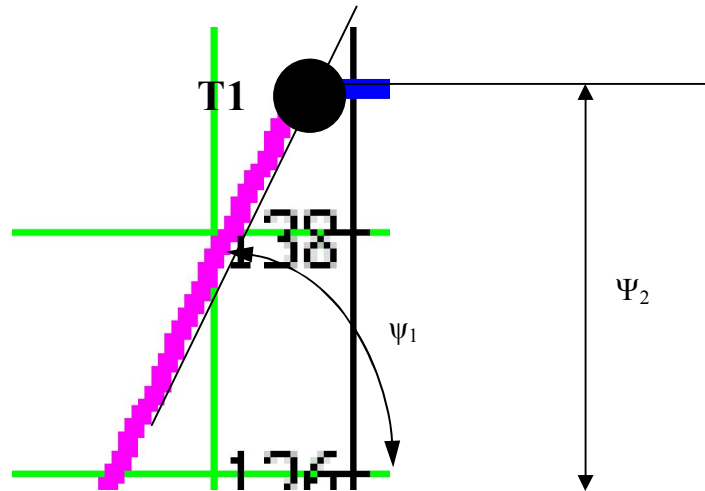


Рис. 10. Точка на профілю, що розглядається і дотичні до профілю в цій точці.

Необхідно визначити координати точки $T1(Y_{T1} Z_{T1})$, далі розглядаємо межі зміни параметру $t[t_{min} t_{max}]$ (8, 9):

$$\sin(\psi_1 + t \min) = \frac{Y_{T1} \cos \psi_1 + Z_{T1} \sin \psi_1}{R1}, (8)$$

де ψ_1 – кут нахилу дотичної в точці $T1$ коли вона належить бічній стороні (рис.10).

$$\sin(\psi_2 + t \max) = \frac{Y_{T1} \cos \psi_2 + Z_{T1} \sin \psi_2}{R1}, (9)$$

де ψ_2 – кут нахилу дотичної в точці $T1$ коли вона належить вершинній (рис.10). Далі розраховуємо траєкторію точки $T1$ в системі $(Z_2 Y_2)$ використовуючи залежність (2) і заносимо результат в таблицю 2.

Таблиця 2. Розрахунки огинаючої, що утворюється точкою профілю, яка не має плавного спряження ділянок.

№	Y_{T1}	Z_{T1}	t	Y_2	Z_2
1			t_{min}	...	...
2			...	...	...
3			...	...	...
...			...	...	...
...			...	...	...
20			t_{max}	...	...

Результат побудови огинаючої де на профілі деталі є точки з розривом 1 похідної показано на рис.11.

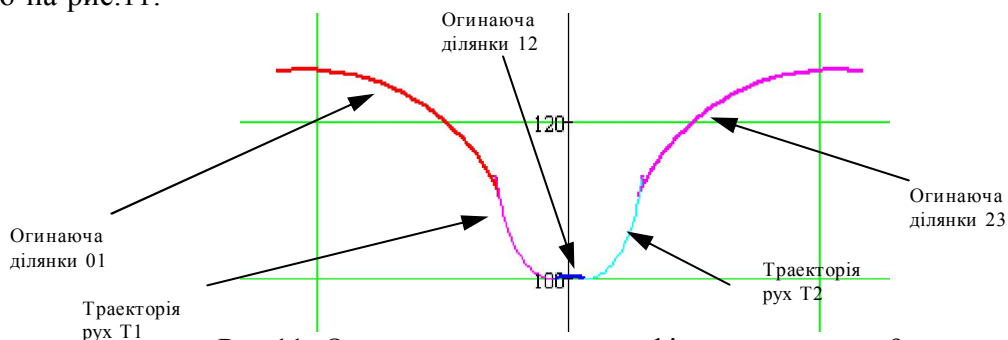


Рис.11. Огинаюча утворена профілем, що на рис.9.

Також необхідно порівняти отриманий на установці профіль з розрахунковими даними.

Додаткові бали за лабораторну роботу 5 кредитів !!! – необхідно в протоколі звіту навести рисунок побудови в нерухомій системі координат Y_0Z_0 графіки ліній зачеплення – характеристики і також нанести на них твірний профіль(профіль деталі) в положенні $t=0$ і спряжений з ним профіль (ВІП).

ЛІТЕРАТУРА

1. *Гречишников В.А., Кирсанов Г.Н., Катаев А.В. Автоматизированное проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Мосстанкин, 1984. – 109 с.*
2. *Люкишин В. С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1968. – 371 с.*
3. *Перепелица Б.А. Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием. – Харьков: Вища школа, 1991. – 512 с.*
4. *Равська Н. С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці/ Н. С. Равська, П. П. Мельничук, Т. П. Ніколаєнко. - К.: Вид. СКД-Друк, 2013. – 215с.*
5. *Родин П.Р. Основы формообразования поверхности резанием. – К.: Вища школа, 1977. – 190 с.*
6. *Юнусов Ф.С. Формообразование сложнопрофильных поверхностей шлифованием. – Л.: Машиностроение, 1987. – 248 с.*

ДОДАТОК 1: ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ПРОТОКОЛУ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Лабораторна робота №1

Визначення спряжених профілів при схемі формоутворення, що відповідають коченню без ковзання початкового кола по початковому колу

Мета роботи. Мета роботи полягає в оволодінні методики визначення спряжених профілів при схемі формоутворення, що відповідає коченню без ковзання кола, зв'язаного з вихідною інструментальною поверхнею по початковому колу зв'язаного з профілем деталі.

Процеси формоутворення які ми розглядаємо виконуються при обробці різанням на зуба довбальних станках, а також при обробці все можливих зубчастих деталей накоченням роликми.

Короткі теоретичні відомості:

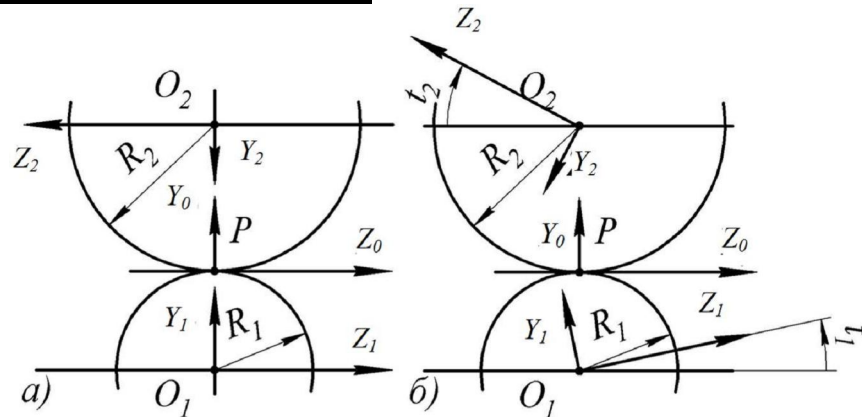


Рис.1. Схема розташування систем координат при формоутворенні.

Формули зв'язку між системами координат:

$$Y_2 = Z_1 \sin\left(t \frac{R_1 + R_2}{R_2}\right) - Y_1 \cos\left(t \frac{R_1 + R_2}{R_2}\right) - (R_1 + R_2) \sin\left(t \frac{R_1}{R_2}\right);$$

$$Z_2 = (R_1 + R_2) \cos\left(t \frac{R_1}{R_2}\right) - Z_1 \cos\left(t \frac{R_1 + R_2}{R_2}\right) - Y_1 \sin\left(t \frac{R_1 + R_2}{R_2}\right).$$

Де:

X_1, Y_1, Z_1 – координати точок профілю деталі;

X_2, Y_2, Z_2 – координати точок профілю відхідної інструментальної поверхні;

t – кут повороту профілю точок профілю деталі навколо осі X ;

R_1, R_2 – радіуси початкових кіл деталі та відхідної інструментальної поверхні.

Рівняння контакту:

$$t = \arcsin\left(\frac{Z_1 \sin \psi + Y_1 \cos \psi}{R_1}\right) - \psi$$

Де, ψ – кут нахилу дотичної до проявлю деталі в точці з координатами (X_1, Y_1, Z_1)

					Лабораторна робота №1			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення спряжених профілів при схемі формоутворення, що відповідають коченню без ковзання початкового кола по початковому колу	Літ.	Арк	Аркушів
Розроб	Грищенко						11	14
Перевір.						Гр. МІ - 11		
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.								

ВХІДНІ ДАНІ:

Радіуси початкових кіл: R1= _____ мм, R2= _____ мм

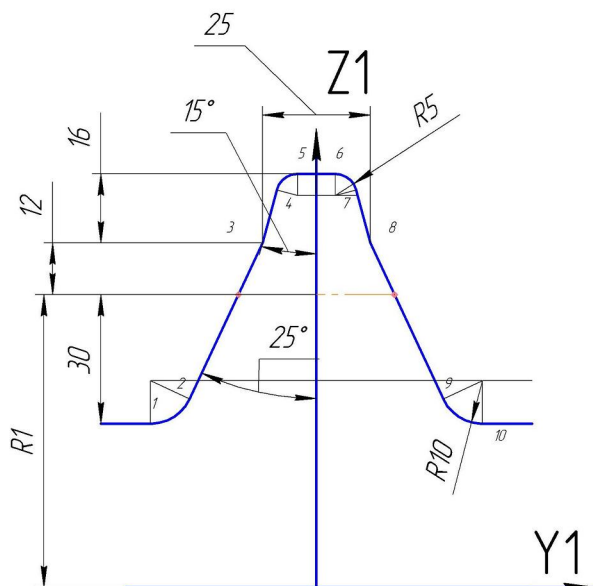


Рис.2. Схема профілю деталі

Таблиця 1. Розрахунки огинаючої
Ділянка 12

№	Y ₁ , мм	Z ₁ , мм	ψ, рад	t, рад	Y ₂ , мм	Z ₂ , мм
1	-25	110	0,265	...	...	...
2	-24,951	110,272	0,265	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
20	-24,759	112,179	0,265	...	...	...

Ділянка 23

...

...

...

Ділянка 910

(В разі наявності на профілю деталі точок де відсутнє плавне спряження між суміжними ділянками приводи таблицю з розрахунками траєкторій цих точок)

Таблиця _____

Траєкторія точки _____

№	Y _{T1}	Z _{T1}	t	Y ₂	Z ₂
1			t _{min}	...	...
2			...	...	...
3			...	...	...
...			...	...	...
...			...	...	...
20			t _{max}	...	...

Координати огинаючої отриманої експериментальним методом.

№	Z_2 , мм	Y_2 , мм
1	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
20	...	...

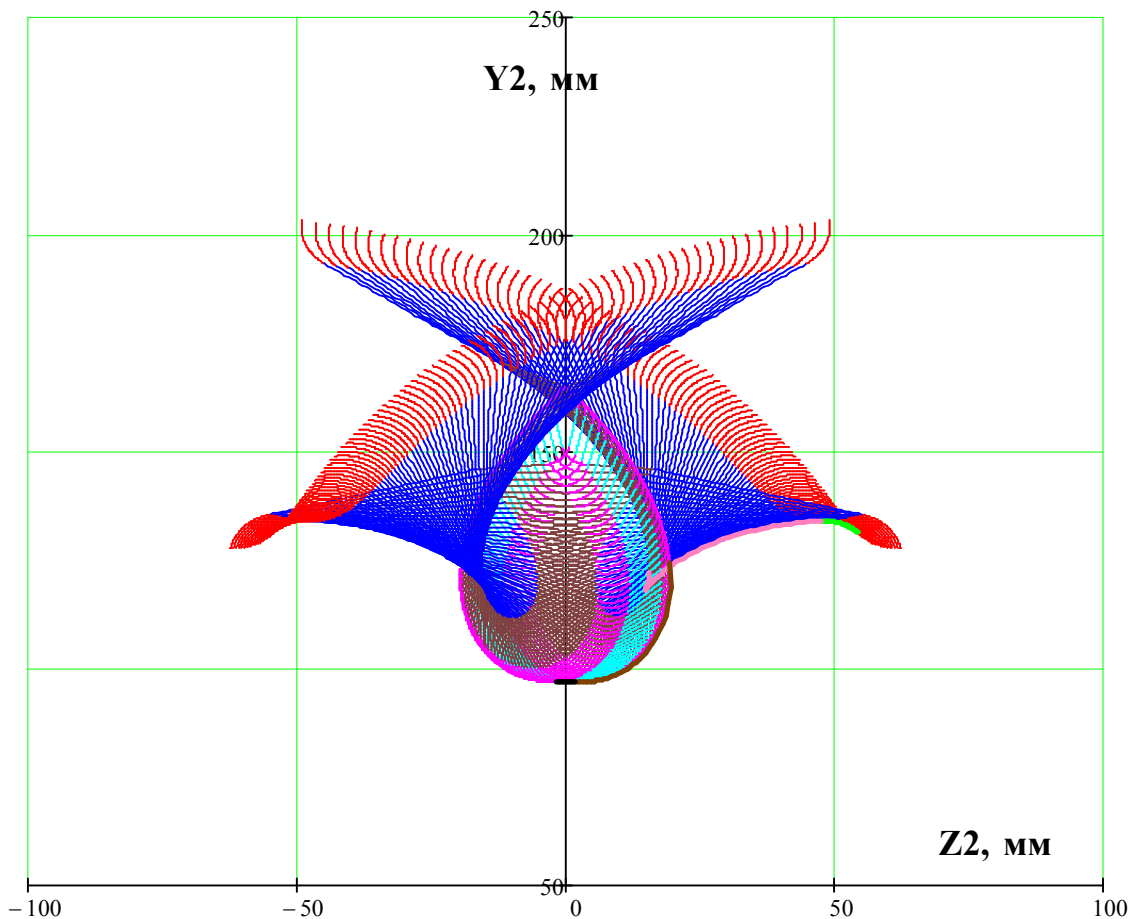


Рис.3. Сімейство плоских кривих та огинаюча цього профілю отримані аналітично

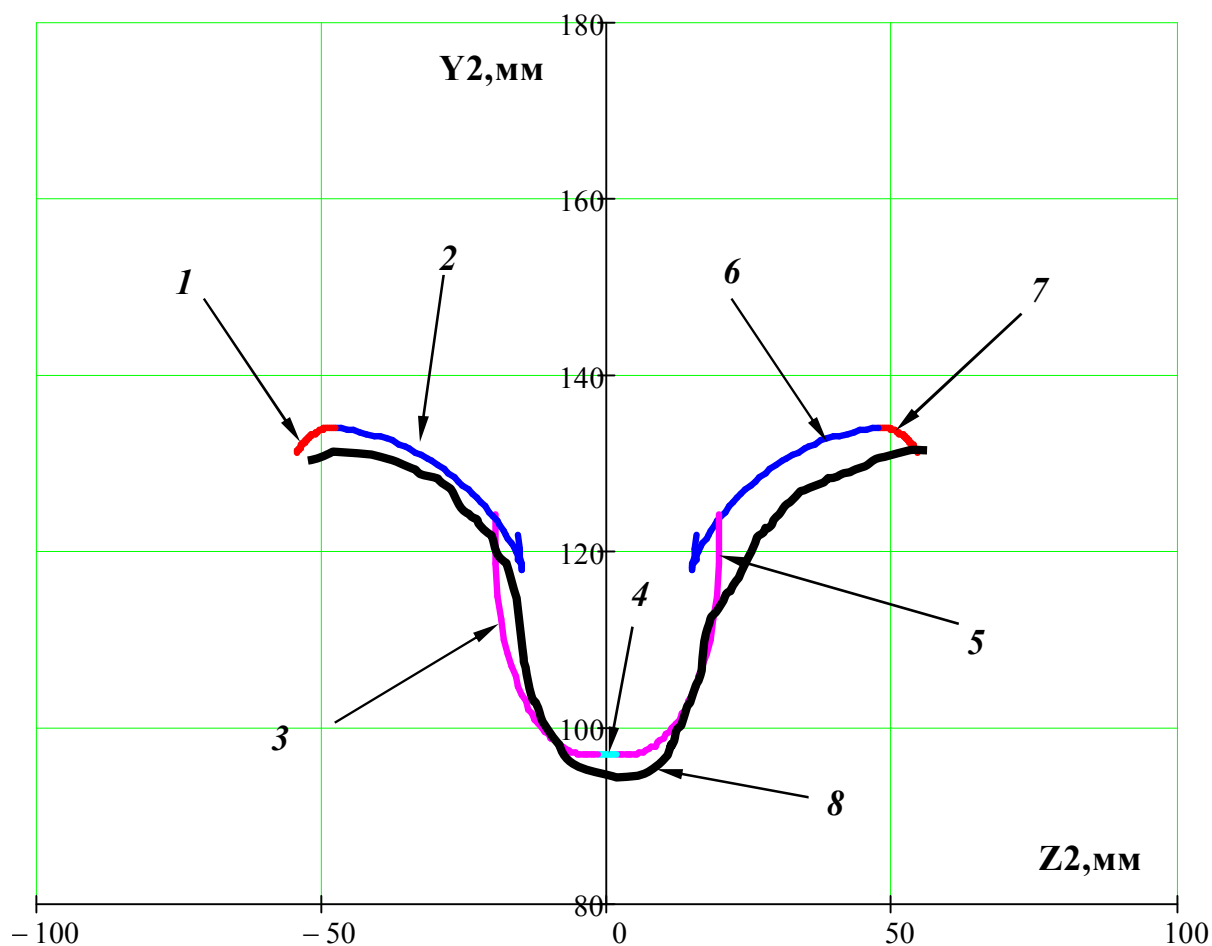


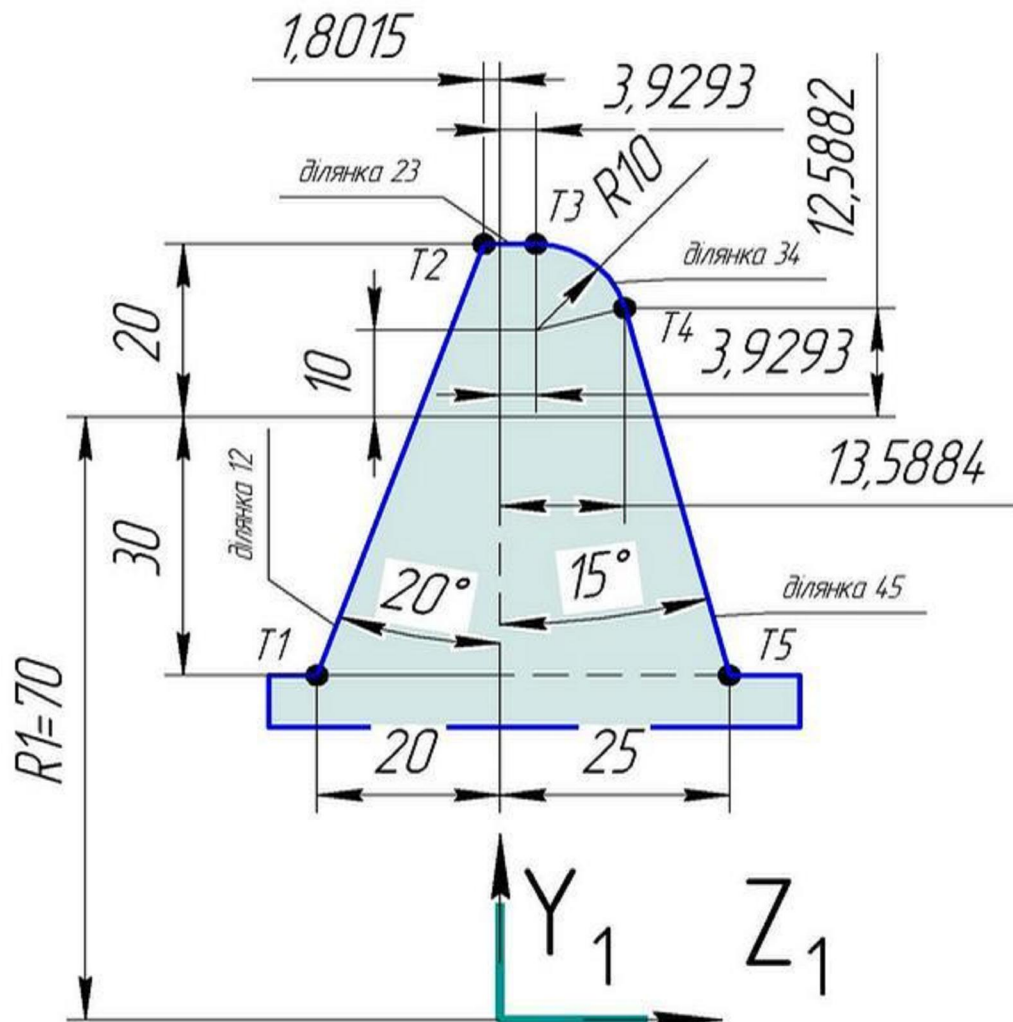
Рис.4. Порівняння огинаючих отриманих аналітично та за допомогою пристосування.
 1- ділянка 12, 2- ділянка 23, 3- ділянка 45, 4- ділянка 56, 5- ділянка 67, 6- ділянка 89, 7- ділянка 910, 8- крива огинаючої отримана експериментально.

Тут прикріплюємо паперовий сектор що отримали на експериментальній установці.



Висновок: загальний висновок по роботі, чому навчилися і що отримали за результати, порівняння отриманих результатів практично і аналітично.

Вхідні дані Профіль деталі в обраній системі координат $R1 := 70$ $R2 := 140$



Функції, що описують ділянки профілю деталі в межах від T1 до T5

Ділянка 12 $Z1 := -20$ $Y1 := -30$ $Z2 := -1.8015$ $Y2 := 20$ $kz12 := Z2 - Z1$ $ky12 := Y2 - Y1$

$$R12(u) := \begin{pmatrix} 0 \\ Y1 + ky12 \cdot u + R1 \\ Z1 + kz12 \cdot u \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{рівняння ділянки 12 в параметричному вигляді}$$

Ділянка 23 $Z3 := 3.9293$ $Y3 := 20$ $kz23 := Z3 - Z2$ $ky23 := Y3 - Y2$

$$R23(u) := \begin{pmatrix} 0 \\ Y2 + ky23 \cdot u + R1 \\ Z2 + kz23 \cdot u \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{рівняння ділянки 23 в параметричному вигляді}$$

Ділянка 34 координати центру дуги кола $R=10$ $cy34 := 10$ $cz34 := 3.9293$ радіус кола $r34 := 10$

початковий і кінцеві кут сектора дуги кола $fs34 := 15 \cdot \text{deg}$ $fe34 := 90 \cdot \text{deg}$ $kf34 := fe34 - fs34$

$$R34(u) := \begin{pmatrix} 0 \\ cy34 + r34 \cdot \sin(fs34 + kf34 \cdot u) + R1 \\ cz34 + r34 \cdot \cos(fs34 + kf34 \cdot u) \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{рівняння ділянки 34 в параметричному вигляді}$$

Ділянка 45 $Z4 := 13.5884$ $Y4 := 12.5882$ $Z5 := 25$ $Y5 := -30$ $kz45 := Z5 - Z4$ $ky45 := Y5 - Y4$

$$R45(u) := \begin{pmatrix} 0 \\ Y4 + ky45 \cdot u + R1 \\ Z4 + kz45 \cdot u \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{рівняння ділянки 45 в параметричному вигляді}$$

Кількість розрахункових точок(20) на кожній ділянці профілю $k1 := 19$ $j1 := 0..k1$

Змінна, що відповідає за положення точки на профілю в межах визначеної ділянки профілю

$$U_{j1} := j1 \cdot \frac{1}{k1}$$

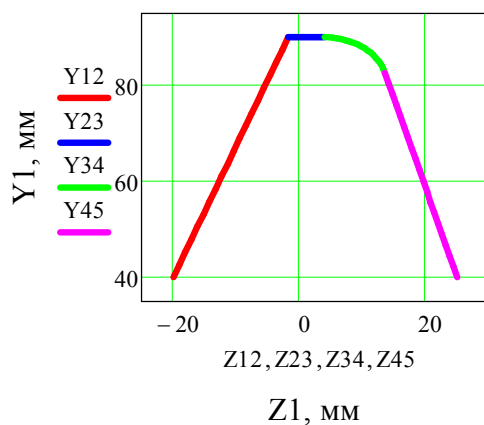
Розрахункові координати точок кожної ділянки профілю

Ділянка 12 Ділянка 23 Ділянка 34 Ділянка 45
 $Y12_{j1} := R12(U_{j1})_{1,0}$ $Y23_{j1} := R23(U_{j1})_{1,0}$ $Y34_{j1} := R34(U_{j1})_{1,0}$ $Y45_{j1} := R45(U_{j1})_{1,0}$
 $Z12_{j1} := R12(U_{j1})_{2,0}$ $Z23_{j1} := R23(U_{j1})_{2,0}$ $Z34_{j1} := R34(U_{j1})_{2,0}$ $Z45_{j1} := R45(U_{j1})_{2,0}$

Y12 =		0	Y23 =		0	Y34 =		0	Y45 =		0
	0	40		0	90		0	82.588		0	82.588
	1	42.632		1	90		1	83.247		1	80.347
	2	45.263		2	90		2	83.89		2	78.105
	3	47.895		3	90		3	84.515		3	75.864
	4	50.526		4	90		4	85.119		4	73.622
	5	...		5	...		5	...		5	...

Z12 =		0	Z23 =		0	Z34 =		0	Z45 =		0
	0	-20		0	-1.802		0	13.589		0	13.588
	1	-19.042		1	-1.5		1	13.387		1	14.189
	2	-18.084		2	-1.198		2	13.142		2	14.79
	3	-17.127		3	-0.897		3	12.852		3	15.39
	4	-16.169		4	-0.595		4	12.52		4	15.991
	5	...		5	...		5	...		5	...

Графік профілю деталі отриманий по розрахунковим точкам (Y12, Z12, Y23, Z23, Y34, Z34, Y45, Z45)



Рівняння дотичних до профілю кожної ділянки, що задані параметрично

$$\psi_{12}(u) := \operatorname{atan} \left[\frac{\left(\frac{d}{du} R_{12}(u)_{1,0} \right)}{\left(\frac{d}{du} R_{12}(u)_{2,0} \right)} \right] \quad \psi_{23}(u) := \operatorname{atan} \left[\frac{\left(\frac{d}{du} R_{23}(u)_{1,0} \right)}{\left(\frac{d}{du} R_{23}(u)_{2,0} \right)} \right] \quad \psi_{34}(u) := \operatorname{atan} \left[\frac{\left(\frac{d}{du} R_{34}(u)_{1,0} \right)}{\left(\frac{d}{du} R_{34}(u)_{2,0} \right)} \right]$$

$$\psi_{45}(u) := \operatorname{atan} \left[\frac{\left(\frac{d}{du} R_{45}(u)_{1,0} \right)}{\left(\frac{d}{du} R_{45}(u)_{2,0} \right)} \right]$$

Розрахункові значення дотичних ψ до профілю деталі в розрахункових точках

$$\begin{array}{llll} \text{Ділянка 12} & \text{Ділянка 23} & \text{Ділянка 34} & \text{Ділянка 45} \\ \Psi_{12j1} := \psi_{12}(U_{j1}) & \Psi_{23j1} := \psi_{23}(U_{j1}) & \Psi_{34j1} := \psi_{34}(U_{j1}) & \Psi_{45j1} := \psi_{45}(U_{j1}) \end{array}$$

Записуємо функції рівнянь зв'язку між системами координат (2)

$$ZP2(y1, z1, t) := y1 \cdot \sin\left(t \cdot \frac{R1 + R2}{R2}\right) - z1 \cdot \cos\left(t \cdot \frac{R1 + R2}{R2}\right) - (R1 + R2) \sin\left(t \cdot \frac{R1}{R2}\right)$$

$$YP2(y1, z1, t) := -y1 \cdot \cos\left(t \cdot \frac{R1 + R2}{R2}\right) - z1 \cdot \sin\left(t \cdot \frac{R1 + R2}{R2}\right) + (R1 + R2) \cos\left(t \cdot \frac{R1}{R2}\right)$$

Записуємо функцію рівняння контакту (7)

$$NV(y1, z1, \psi) := \operatorname{asin}\left(\frac{y1 \cdot \sin(\psi) + z1 \cdot \cos(\psi)}{R1}\right) - \psi$$

Розв'язок рівняння контакту для кожної розрахункової точки, кожної ділянки профілю

$$\begin{array}{ll} \text{ділянка 12} & \text{ділянка 34} \\ TR_{12j1} := NV(Y_{12j1}, Z_{12j1}, \Psi_{12j1}) & TR_{34j1} := NV(Y_{34j1}, Z_{34j1}, \Psi_{34j1}) \\ \text{ділянка 23} & \text{ділянка 45} \\ TR_{23j1} := NV(Y_{23j1}, Z_{23j1}, \Psi_{23j1}) & TR_{45j1} := NV(Y_{45j1}, Z_{45j1}, \Psi_{45j1}) \end{array}$$

Допоміжні розрахунки для побудови послідовних положень профілю деталі в процесі формоутворення

$$k2 := 40 \quad \text{кількість положень} \quad j2 := 0..k2$$

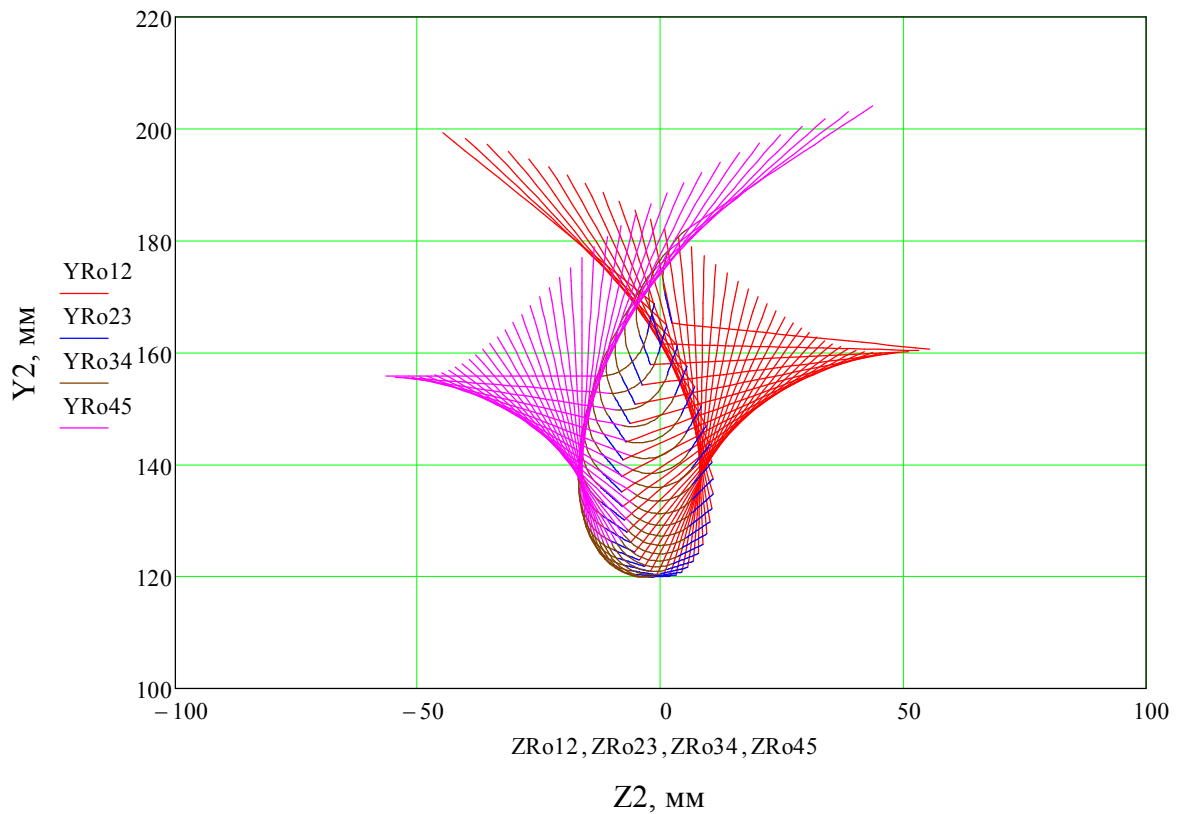
$$F1D := 100 \cdot \text{deg} \quad \text{Діапазон кута сектору обертання кола Диск 1} \quad F1MIN := -0.5 \cdot F1D \quad F1MAX := 0.5 \cdot F1D$$

$$F1j2 := F1MIN + j2 \cdot \frac{F1MAX - F1MIN}{k2} \quad \text{кутові положення значень кута обертання Диска 1}$$

Розрахунок точок сімества плоских кривих утворених профілем деталі при даній схемі формоутворення

$$\begin{array}{ll} \text{ділянка 12} & \\ ZRo_{12j1, j2} := ZP2(Y_{12j1}, Z_{12j1}, F1j2) & YRo_{12j1, j2} := YP2(Y_{12j1}, Z_{12j1}, F1j2) \\ \text{ділянка 23} & \\ ZRo_{23j1, j2} := ZP2(Y_{23j1}, Z_{23j1}, F1j2) & YRo_{23j1, j2} := YP2(Y_{23j1}, Z_{23j1}, F1j2) \\ \text{ділянка 34} & \\ ZRo_{34j1, j2} := ZP2(Y_{34j1}, Z_{34j1}, F1j2) & YRo_{34j1, j2} := YP2(Y_{34j1}, Z_{34j1}, F1j2) \\ \text{ділянка 45} & \\ ZRo_{45j1, j2} := ZP2(Y_{45j1}, Z_{45j1}, F1j2) & YRo_{45j1, j2} := YP2(Y_{45j1}, Z_{45j1}, F1j2) \end{array}$$

графік сімейства плоских кривих отриманих при обкаті профілю деталі при заданій схемі формоутворення



Розрахунок координат точок огинаючої утворених профілем деталі при даній схемі формоутворення

ділянка 12

$$ZR_{12j1} := ZP2(Y_{12j1}, Z_{12j1}, TR_{12j1}) \quad YR_{12j1} := YP2(Y_{12j1}, Z_{12j1}, TR_{12j1})$$

ділянка 23

$$ZR_{23j1} := ZP2(Y_{23j1}, Z_{23j1}, TR_{23j1}) \quad YR_{23j1} := YP2(Y_{23j1}, Z_{23j1}, TR_{23j1})$$

ділянка 34

$$ZR_{34j1} := ZP2(Y_{34j1}, Z_{34j1}, TR_{34j1}) \quad YR_{34j1} := YP2(Y_{34j1}, Z_{34j1}, TR_{34j1})$$

ділянка 45

$$ZR_{45j1} := ZP2(Y_{45j1}, Z_{45j1}, TR_{45j1}) \quad YR_{45j1} := YP2(Y_{45j1}, Z_{45j1}, TR_{45j1})$$

Розрахунок траєкторії особливої точки на профілю деталі (T2)

координати точки T2 в системі Z1Y1 $Y_{230} = 90$ $Z_{230} = -1.802$

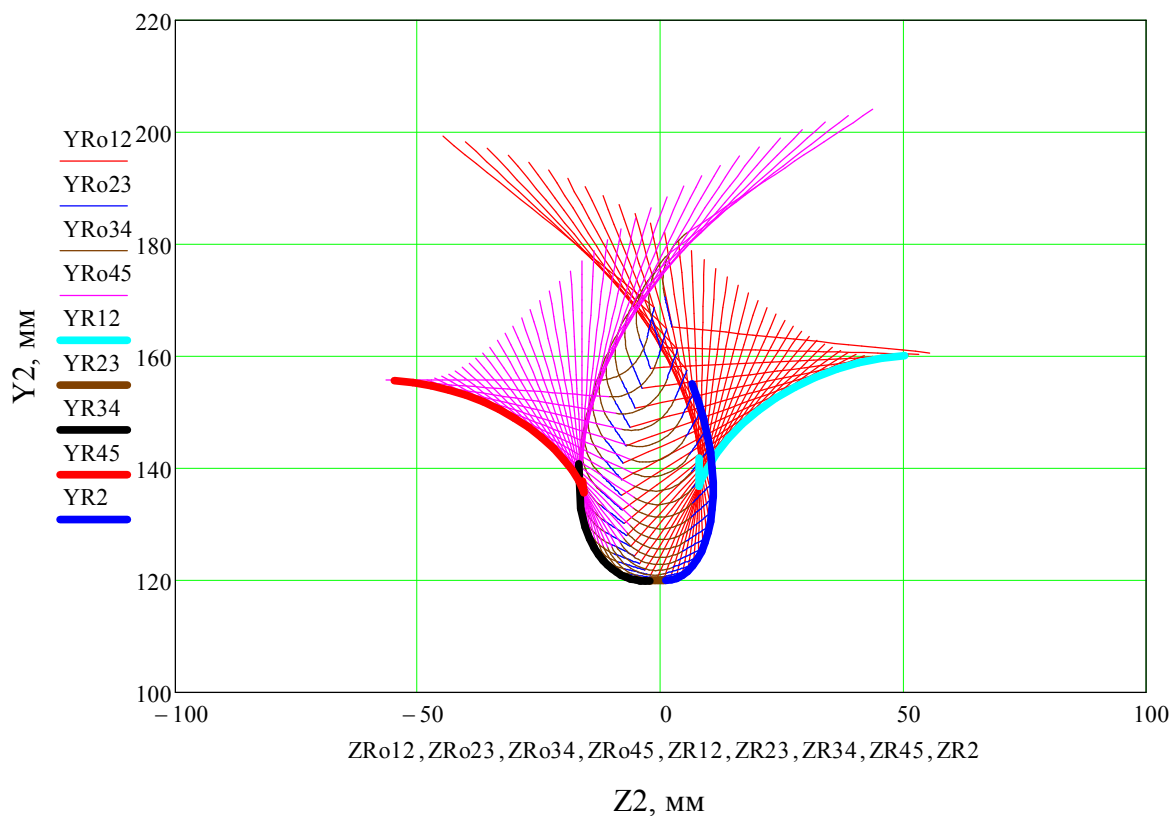
$TR_{12k1} = 0.349 - 0.621i$ tmax, якщо число комплексне, для розрахунків беремо значення по модулю

$TR_{230} = -0.026$ tmin

$$F_{2j1} := TR_{230} + j1 \cdot \frac{|TR_{12k1}| - TR_{230}}{k1}$$

$$ZR_{2j1} := ZP2(Y_{230}, Z_{230}, F_{2j1}) \quad YR_{2j1} := YP2(Y_{230}, Z_{230}, F_{2j1})$$

графік сімейства плоских кривих отриманих при обкаті профілю деталі при заданій схемі формоутворення, огинаючих та траєкторії особливої точки T2



Вручну водимо координати точок огинаючої отриманої на пристосуванні, після введення кожної цифри значення насаємо знак ,(кома)

k3 := 19 j3 := 0..k3

Z2Ej3 := Y2Ej3 :=

-50	160
-48	155
-46	153
-40	151
-32	148
-30	145
-20	136
-15	128
-10	123
-5	119
-3	119
-1	120
0	120
4	123
6	128
8	131
9	138
15	140
30	146
40	150

графік огинаючої сімейства плоских кривих отриманих при обкаті профілю деталі при заданій схемі формоутворення, траєкторії особливої точки T2 та значень координат точок отриманих експериментально

