

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



# ТЕХНОЛОГІЯ ТА САП ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

## МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
«Технологія та САП обробки на верстатах з ЧПК»  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньо-професійною  
програмою «Технології машинобудування», «Комп'ютерні системи  
проектування» всіх форм навчання

Обговорено і рекомендовано  
на засіданні кафедри  
технологій машинобудування  
та деревообробки  
протокол №3 від 20.10.2021 р.

ЧЕРНІГІВ 2021



Технологія та САП обробки на верстатах з ЧПК. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технологія та САП обробки на верстатах з ЧПК» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньо-професійною програмою «Технології машинобудування», «Комп'ютерні системи проектування» всіх форм навчання. – Чернігів: НУЧП, 2021.– 51 с.

Укладачі: БОЙКО СЕРГІЙ ВАСИЛЬОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент  
ЄРОШЕНКО АНДРІЙ МИХАЙЛОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за видання: ЄРОШЕНКО АНДРІЙ МИХАЙЛОВИЧ, завідувач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, канд. техн. наук, доцент.

Рецензент: ГАНЄСВ ТИМУР РАШИТОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва НУ «Чернігівська політехніка»

© Бойко С.В., Єрошенко А.М.  
© НУ«Чернігівська політехніка»

## Зміст

Вступ	4
1 Загальні методичні вказівки	5
2 Оформлення звіту з лабораторних робіт	
<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
3 Критерії оцінки знань під час виконання і захисту лабораторних робіт	6
Лабораторна робота №1	7
Лабораторна робота №2	14
Лабораторна робота №3	22
Лабораторна робота №4	31
Лабораторна робота №5	41
Лабораторна робота №6	44
Рекомендована література	
<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	

## Вступ

Основою підготовки сучасних спеціалістів з технології машинобудування є формування навичок автоматизованого програмування верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) і вмінь виконувати автоматизовану підготовку управляючих програм для верстатів токарної, свердлильно-фрезерної груп та оброблювальних центрів за допомогою однієї або кількох систем автоматизованого програмування (САП).

Дисципліна «Технологія та САП обробки на верстатах з ЧПК» має велике значення для підготовки фахівців з технології машинобудування тому, що її вивчення дозволяє в подальшому самостійно у виробничих умовах виконувати автоматизовану підготовку управляючих програм для верстатів з ЧПК.

Метою виконання лабораторних робіт є здобуття знань основ автоматизованої підготовки управляючих програм для верстатів з ЧПК, навичок програмування і роботи з сучасними системами автоматизованого програмування з урахуванням останніх досягнень в цій галузі для практичного їх використання при розв'язанні різноманітних технологічних задач реального виробництва,.

Знання, вміння та навички, які отримають студенти при виконанні лабораторних робіт будуть використані в подальшому при вивченні інших дисциплін за освітньо-професійною програмою «Технології машинобудування», «Комп'ютерні системи проектування» у курсовому, дипломному проектуванні та у виробничій діяльності.

## **1 Загальні методичні вказівки**

Лабораторні роботи виконуються в обсязі, передбаченому навчальним планом підготовки здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньо-професійною програмою «Технології машинобудування», «Комп'ютерні системи проектування», у відповідності з робочою програмою дисципліни «Технологія та САП обробки на верстатах з ЧПК». Графік виконання лабораторних робіт доводиться до відома студентів на першому занятті.

До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які засвоїли теоретичний матеріал за конспектом лекцій, підручником або методичними вказівками і оформили частину звіту до підрозділу „Дані виконання роботи”.

При підготовці до лабораторної роботи необхідно уважно прочитати розділ „Теоретична інформація”. В цьому розділі наведено стислі теоретичні відомості, необхідні для виконання лабораторної роботи. Незрозумілі питання, що виникають при підготовці до виконання лабораторної роботи потрібно з'ясувати під час консультацій.

## 2 Оформлення звіту з лабораторної роботи

Звіт з лабораторної роботи оформляється у відповідності із загальними вимогами до текстових документів за ДСТУ 3008-95. Текст виконується від руки або друкується на принтері на одній стороні аркуша білого паперу формату А4 з обмежувальними рамками. Відстань від верхнього, нижнього та правого краю аркуша до обмежувальної рамки - 5мм, від лівого – 20мм.

Не допускається оформлення частини тексту звіту від руки, а частини – друкуванням на принтері (крім оформлення рисунків).

Перенесення слів в заголовках, запис заголовку на одній сторінці, а початок тексту на іншій, скорочення слів, крім загальноприйнятих, не допускається, крапку в кінці заголовка не ставлять.

Звіт з кожної лабораторної роботи повинен мати наступну структуру:

1. Номер лабораторної роботи.
2. Назва лабораторної роботи.
3. Мета роботи.
4. Теоретична інформація.
5. Оснащення роботи.
6. Дані виконання роботи.
7. Висновки.

В підрозділі „Теоретична інформація” необхідно обов’язково привести основні визначення та рисунки (крім тих, які дозволяється не виконувати).

У підрозділі „Висновки” описати результати, вміння та навички, отримані та набуті при виконанні лабораторної роботи.

Всі підрозділи і рисунки повинні мати номер. Нумерація підрозділів та рисунків включає номер лабораторної роботи і порядковий номер підрозділу або рисунка в межах однієї лабораторної роботи. Номер рисунка розміщують під зображенням, за ним через риску вказується назва рисунка. Наприклад: *Рисунок 1.1 – Схема обробки площини на фрезерному верстаті* - перший рисунок в звіті з лабораторної роботи 1. Якщо на рисунку вказані позиції елементів, то їх розшифровка наводиться під рисунком, перед його назвою.

Формули нумеруються арабськими цифрами. Номер формули вказують на правому боці аркуша у круглих дужках на рівні формули. Він складається з номера лабораторної роботи і порядкового номера формули в ній. Пояснення значень символів у формулах слід писати зразу під формулою в тій же послідовності, як вони подані у формулах. Кожне пояснення пишеться з нового рядка, перший рядок розпочинається словом “де” без двокрапки.

Після виконання всіх лабораторних робіт окремі звіти скріплюються в послідовності виконання робіт в загальний звіт, оформляється титульний аркуш, всі сторінки нумеруються. Нумерація наскрізна. Виконання і своєчасний захист всіх лабораторних робіт є обов’язковою умовою допуску

студента до складання іспиту з дисципліни „Технологія та САП обробки на верстатах з ЧПК”.

### **3 Критерії оцінки знань під час виконання і захисту лабораторних робіт**

У відповідності до „Положення про поточне та підсумкове оцінювання знань здобувачів вищої освіти Національного університету «Чернігівська політехніка», затвердженого наказом ректора НУЧП №26 від 31.08.2020р студенти за результатами роботи в семестрі здобувач вищої освіти може набрати до 60-75 % підсумкової оцінки за виконання всіх видів робіт, що виконуються протягом семестру і до 40-25 % підсумкової оцінки – на екзамені.

Відповідно до робочої програми з дисципліни «Технологія та САП обробки на верстатах з ЧПК» встановлені наступні критерії оцінки знань студентів під час виконання і захисту лабораторних робіт:

- студент, який давав правильні відповіді на запитання при перевірці ступеню підготовленості до виконання лабораторної роботи та вчасно захистив лабораторну роботу отримує **5 балів** з них:

- **2 бали** – за правильну відповідь на контрольне запитання під час перевірки готовності до виконання лабораторної роботи;

- **3 бали** – при здачі лабораторної роботи з них:

**1 бал** – за оформлення роботи (наявність і правильність розрахунків, наявність чіткого і логічного висновку, відсутність „ознак” сканованого тексту”, відповідність вимогам ЄСКД, правилам нарисної геометрії та технічного креслення). За умови недотримання хоча б однієї з перелічених вимог студент за оформлення лабораторної роботи отримує 0 балів і виправляє всі вказані викладачем недоліки.

**2 бали** – за відповіді на питання під час здачі лабораторної роботи: **2** питання по **1** балу.

- студент, який без поважної причини не з'явився на лабораторному занятті, або був присутнім на лабораторному занятті без звіту, але вчасно відпрацював і захистив роботу за виконання лабораторної роботи отримує **3 бали**.

- без поважної причини невчасно виконані і захищені лабораторні роботи, оцінюються в **0 балів**.



## Методичні рекомендації до лабораторних робіт

Примітка. Вчасно виконаною і захищеною вважається робота, виконана в період між початком семестру та першим контрольним заходом (модульним контролем), або між суміжними датами модульних контролів.

## Лабораторна робота №1

### ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ КОДІВ ПРОГРАМУВАННЯ

#### 1.1 Мета роботи

Ознайомитись з мовою програмування верстатів з ЧПК – G-коди. Вивчити основні коди і параметри команд.

#### 1.2 Теоретична інформація

GКод — умовна назва мови програмування пристроїв із числовим програмним керуванням (ЧПК). Був створений компанією Electronic Industries Alliance на початку 1960 р. Фінальна доробка була схвалена в лютому 1980 року як стандарт RS274D. Комітет ISO затвердив GКод, як стандарт ISO 6983-1:1982, держкомітет по стандартах СРСР — як ДЕРЖСТАНДАРТ 20999-83. У радянській технічній літературі GКод позначається, як код ISO 7біт (ISO 7-bit), тому що GКод кодували на 8мм перфострічку.

Виробники систем ЧПК(CNC) як правило використовують софт керування верстатом, для якого написана (оператором) програма обробки як сукупність осмислених команд керування. GКод використовується як базова підмножина мови програмування.

##### 1.2.1 Структура програми

Програма, написана з використанням GКоду, має тверду структуру. Усі команди керування поєднуються в кадри - групи, що складаються із однієї або більше команд. Кадр завершується символом переведення рядка (CR/LF) і має номер, за винятком першого кадра програми й коментарів. Перший (а в деяких випадках ще й останній) кадр містить тільки один символ «%». Завершується програма командою M02 або M30. Коментарі до програми розміщуються в круглих дужках, як після програмних кодів, так і в окремому кадрі.

Порядок команд у кадрі строго не обумовлений, але традиційно передбачається, що першими вказуються підготовчі команди, (наприклад, вибір робочої площини), потім команди переміщення, потім вибору режимів обробки й технологічні команди.

Підпрограми можуть бути описані після команди M02, але до M30. Починається підпрограма з кадру виду Lxx, де xx — номер підпрограми, закінчується командою M17.

##### 1.2.2 Зведена таблиця кодів

Основні (що називаються в стандарті підготовчими) команди мови починаються з літери G:

## Методичні рекомендації до лабораторних робіт

- Переміщення робочих органів устаткування із заданою швидкістю (лінійне й кругове);
- Виконання типових послідовностей (таких, як обробка отворів і різей);
- Керування параметрами інструмента, системами координат, і робочих площин.

### Підготовчі (основні) команди

- G00-G03 Позиціювання інструмента;
- G17-G19 Перемикання робочих площин (XY, ZX, YZ);
- G20-G21 Не стандартизоване;
- G40-G44 Компенсація розміру різних частин інструмента (довжина, діаметр);
- G53-G59 Перемикання систем координат;
- G80-G85 Цикли свердління, розточування, нарізування різі;
- G90-G91 Перемикання систем координат (абсолютна, відносна).

### Таблиця основних команд

- G00 Прискорене переміщення інструмента ( холостий хід) G0 X0 Y0 Z100;
- G01 Лінійна інтерполяція G01 X0 Y0 Z100 F200;
- G02 Кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою G02 X15 Y15 R5 F200;
- G03 Кругова інтерполяція проти годинникової стрілки G03 X15 Y15 R5 F200;
- G04 Затримка виконання програми, спосіб завдання величини затримки залежить від реалізації системи керування G04;
- G15 Скасування полярної системи координат G15 X15 Y22.5; G15;
- G16 Полярна система координат (X радіус Y кут) G16 X15 Y22.54
- G17 Вибір робочої площини X-Y;
- G18 Вибір робочої площини Z-X;
- G19 Вибір робочої площини Y-Z;
- G40 Скасування компенсації радіуса інструмента G1 G40 X0 Y0 F200;
- G41 Компенсувати радіус інструмента ліворуч від траєкторії G41 X15 Y15 D1 F1004
- G42 Компенсувати радіус інструмента праворуч від траєкторії G42 X15 Y15 D1 F100;
- G43 Компенсувати довжину інструмента в «+» G43 X15 Y15 Z100 H1 S1000 M3;
- G44 Компенсувати довжину інструмента в «-» G44 X15 Y15 Z4 H1 S1000 M3;
- G49 Скасування компенсації довжини інструмента G49 Z100;

G53 Вимкнути зміщення початку системи координат верстата G53 G0 X0 Y0 Z0;

G54-G59 Перемикання на задану оператором систему координат G54 G0 X0 Y0 Z100;

G70 Цикл поздовжнього чистового точіння G70 P10 Q15;

G71 Цикл багатопрохідного поздовжнього чорнового точіння G71 P10 Q15 D0.5 U0.2 W0.5;

G80 Скасування циклів свердління, розточування, нарізування різі мітчиком і т.д. G80;

G81 Цикл свердління G81 X0 Y0 Z-10 R3 F100;

G82 Цикл свердління із затримкою G82 X0 Y0 Z-10 R3 P100 F100;

G83 Цикл переривчастого свердління (з повним виведенням свердла) G83 X0 Y0 Z-10 R3 Q8 F100;

G84 Цикл нарізування різі G95 G84 M29 X0 Y0 Z-10 R3 F1.411;

G90 Завдання абсолютних координат опорних точок траєкторії G90 G1 X0.5 Y0.5 F10;

G91 Завдання координат відносно останньої введеної опорної точки G91 G1 X4 Y5 F100;

G94 F (подача) — у форматі мм/хв. G94 G80 Z100;

G95 F (подача) — у форматі мм/ об. G95 G84 X0 Y0 Z-10 R3 F1.411 максимум 4 команди в кадрі.

### 1.2.3 Таблиця технологічних кодів

Технологічні команди мови починаються з літери M. Включають такі дії, як:

- Зміна інструменту;
- Вмикання/вимикання шпинделя;
- Вмикання/вимикання охолодження;
- Робота з підпрограмами;
- Допоміжні (технологічні) команди.

M00 Призупинити роботу верстата до натискання кнопки «старт» на пульті керування, так званий «безумовна технологічна зупинка» G0 X0 Y0 Z100 M0;

M01 Призупинити роботу верстата до натискання кнопки «старт», якщо ввімкнено режим підтвердження зупинки G0 X0 Y0 Z100 M1;

M02 Кінець програми, без скидання модальних функцій M02;

M03 Почати обертання шпинделя за годинниковою стрілкою M3 S2000;

M04 Почати обертання шпинделя проти годинникової стрілки M4 S2000;

M05 Зупинити обертання шпинделя M5;

M06 Змінити інструмент T15 M6;

M07 Ввімкнути додаткове охолодження M3 S2000 M7;

## Методичні рекомендації до лабораторних робіт

M08 Ввімкнути основне охолодження. Іноді використання більш одного MКоду в одному рядку (як у прикладі) неприпустимо, для цього використовуються M13 і M14 M3 S2000 M8;

M09 Вимкнути охолодження G0 X0 Y0 Z100 M5 M9;

M13 Ввімкунти охолодження й обертання шпинделя за годинниковою стрілкою S2000 M13;

M14 Ввімкнути охолодження й обертання шпинделя проти годинникової стрілки S2000 M14;

M17 Кінець підпрограми M17;

M25 Заміна інструмента вручну M25;

M97 Запуск підпрограми, що перебуває в тій же програмі (де P - номер кадра, в даному прикладі перехід здійсниться до рядка N25), діє не скрізь, приблизно - тільки на верстатах HAAS M97 P25;

M98 Запуск підпрограми, що перебуває окремо від основної програми (де P - номер підпрограми, в даному прикладі перехід здійсниться до програми O1015) M98 P1015;

M99 Кінець підпрограми M99;

M30 Кінець програми, зі скиданням модальних функцій M30.

### 1.2.4 Параметри команд

Параметри команд задаються літерами латинського алфавіту:

X Координата точки траєкторії по осі X G0 X100 Y0 Z0;

Y Координата точки траєкторії по осі Y G0 X0 Y100 Z0;

Z Координата точки траєкторії по осі Z G0 X0 Y0 Z100;

P Параметр команди G04 P101;

F Швидкість робочої подачі G1 G91 X10 F100;

S Швидкість обертання шпинделя S3000 M3;

R Параметр стандартного циклу або радіус дуги (розширення стандарту) G81 R1 0 R2 -10 F50 або G1 G91 X12.5 R12.5;

D Параметр корекції обраного інструмента G1 G41 D1 X10. F150;

P Число викликів підпрограми L82 P10;

I,J,K Параметри дуги при круговій інтерполяції G03 X10 Y10 I0 J0 F10;

L Виклик підпрограми з даної міткою L12.

### Приклад виконання завдання

Обробка літери W (вписаної в прямокутник 34x27 мм, див рис. 1.1) на умовному вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК, фрезою діаметром 4 мм, у заготовці з органічного скла:

Червоним кольором виділений результат обробки.

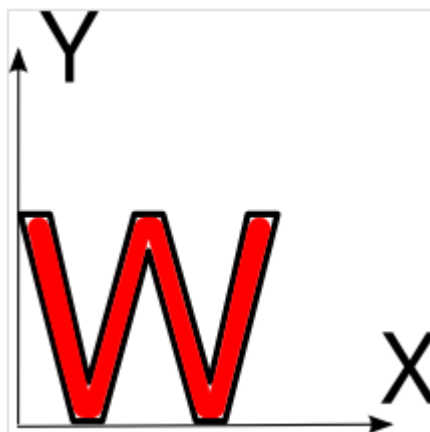


Рисунок 1.1 – Приклад обробки літери на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК

### Текст управляючої програми обробки:

```
% Початок програми
N1 G90 G40 G17 Система координат абсолютна, компенсація на
радіус інструмента вимкнена, площина інтерполяції XOY;
N2 S500 M3 Задати швидкість обертання шпинделя і ввімкнути
шпиндель;
N3 G0 X2.54 Y26.15 Перехід у точку початку обробки на холостому
ході;
N4 Z1.0 Підхід до заготовки по Z, не доходячи 1 мм, на холостому
ході;
N4 G1 Z-1.0 F100 Врізання в заготовку на подачі 100 мм/хв;
N5 X5.19 Y 2.0Перший штрих літери W;
N6 X7.76Продовження руху;
N7 X16.93 Y26.15 Другий штрих літери W;
N8 X18.06 Продовження руху;
N9 X25.4 Y2.0 Третій штрих літери W;
N10 X25.96 Продовження руху;
N11 X32.17 Y 26.15 Четвертий штрих літери W;
N12 G0 Z12 Відвід інструмента від заготовки на холостому ході;
N13 M5 Вимкнути шпиндель;
N14 M30 Кінець програми.
```

### 1.3 Методика виконання роботи:

1. Ознайомитись зі структурою керуючої програми.
2. Вивчити основні підготовчі і технологічні команди.
3. Згідно отриманого індивідуального завдання написати коментар до керуючої програми відповідно до прикладу.
4. Зробити ескіз траєкторії інструмента згідно завдання.

Методичні рекомендації до лабораторних робіт

5. Здійснити обробку заготовки згідно програми індивідуального завдання на фрезерному верстаті з ЧПК. Порівняти траєкторії і відповідність дій верстата вказаним коментарям.
6. Зробити висновки по роботі.

**1.4 Варіанти завдань:**

**1 варіант.**

```
%  
G90  
G49  
M3 S15000  
G0 X21.200 Y77.000 Z15.000  
G1 Z-2.000 F3000  
G1 Y22.000 F4560  
X81.600  
Y77.000  
G0 Z15.000  
G0 X0.000 Y0.000  
G0Z15.000  
X0.000Y0.000  
M05  
M02  
%
```

**2 варіант.**

```
%  
G90  
G49  
M3 S15000  
G0 X19.600 Y78.800 Z15.000  
G1 Z-3.000 F3000  
G1 X82.000 F4560  
X19.600 Y15.600  
X82.800  
G0 Z15.000  
G0 X0.000 Y0.000  
G0Z15.000  
X0.000Y0.000  
M05  
M02  
%
```

**3 варіант.**

```
%  
G90  
G49  
M3 S15000  
G0 X15.400 Y83.800 Z15.000  
G1 Z-2.500 F3000  
G1 Y16.000 F4560  
X80.400 Y83.800  
Y16.600  
G0 Z15.000  
G0 X0.000 Y0.000  
G0Z15.000  
X0.000Y0.000  
M05  
M02  
%
```



## Лабораторна робота №2

### СИСТЕМА КООРДИНАТ ВЕРСТАТУ І ДЕТАЛІ

#### 2.1 Мета роботи

Ознайомитись з методикою визначення нульової точки верстата і заготовки. Навчитись програмувати координати точок в абсолютній і відносній системах координат.

#### 2.2 Теоретична інформація

##### 2.2.1 Плоска система координат

**Прямокутна система координат** є найбільш поширеною системою координат для верстатів з ЧПК. Вона містить дві осі координат (двовимірна система) - для визначення положення точок на площині. Для прямокутної системи координат характерні такі ознаки:

- координатні осі розташовуються взаємно перпендикулярно;
- координатні осі мають спільну точку перетину (початок відліку координат);
- координатні осі мають однаковий геометричний масштаб.

**Полярна система координат** - двовимірна система координат, в якій кожна точка на площині визначається двома числами - полярним кутом і полярним радіусом. Полярна система координат особливо корисна у випадках, коли відносини між точками простіше зобразити у вигляді радіусів і кутів; в більш поширених, декартовій або прямокутній системі координат, такі відносини можна встановити тільки шляхом застосування тригонометричних рівнянь.

##### 2.2.2 Об'ємна система координат

**Декартова система координат** в просторі утворюється трьома взаємно перпендикулярними осями координат  $Ox$ ,  $Oy$  і  $Oz$ . Осі координат перетинаються в точці  $O$ , яка називається початком координат, на кожній осі вибрано позитивний напрям, вказаний стрілками, і одиниці виміру відрізків на осях. Одиниці виміру зазвичай (не обов'язково) однакові для всіх осей.  $Ox$  - вісь абсцис,  $Oy$  - вісь ординат,  $Oz$  - вісь аплікату.

Положення точки в просторі визначається трьома координатами  $X$ ,  $Y$  і  $Z$ .

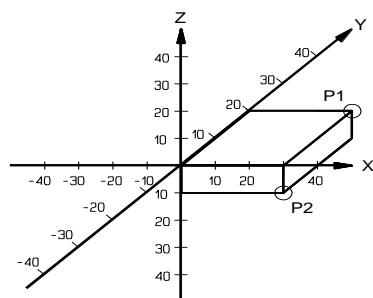


Рисунок 2.1 - Декартова система координат

**Циліндрична система координат**, розширює плоску полярну систему додаванням третьої лінійної координати, яка називається «висотою» і дорівнює висоті точки над нульовою площиною подібно до того, як Декартова система розширюється на випадок трьох вимірів.

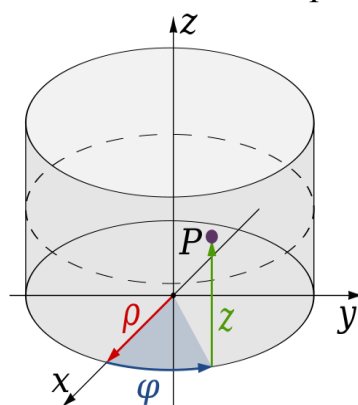


Рисунок 2.2 - Циліндрична система координат

**Сферичними координатами** називають систему координат для відображення геометричних властивостей фігури в трьох вимірах за допомогою задавання трьох координат.

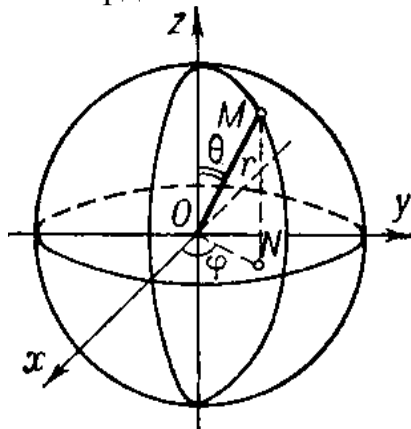


Рисунок 2.3 - Сферична система координат

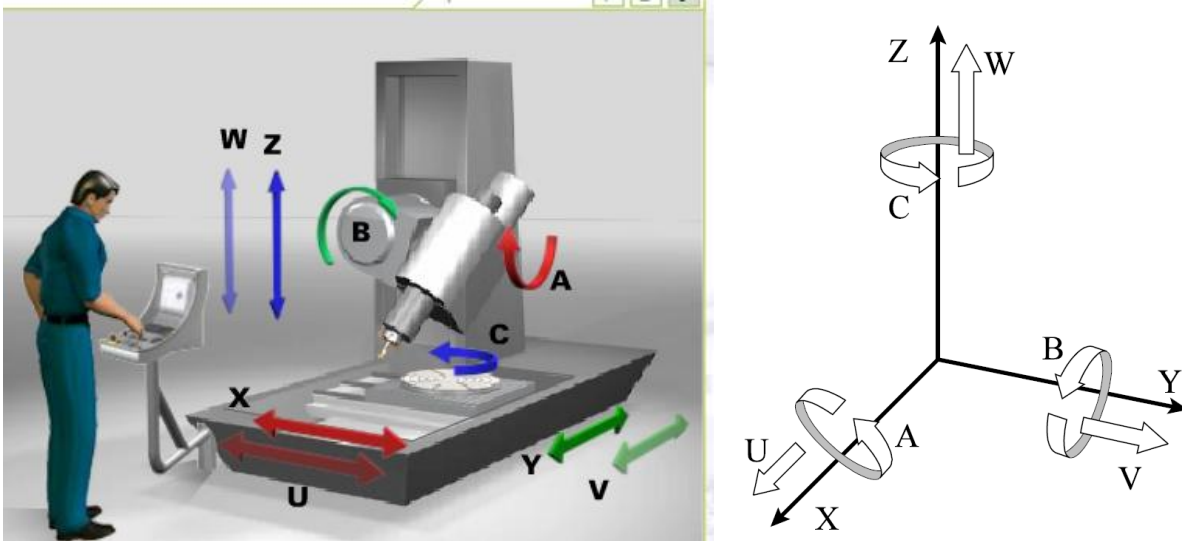


Рисунок 2.4 - Головні рухи верстата

Для зручності програмування процесу обробки в верстатах з ЧПК прийнято координатні вісі завжди орієнтувати паралельно напрямних верстата. Залежно від типу верстата розташування вісей координат в просторі може бути різним, але існують такі загальні правила:

1. Вісь  $Z$  завжди поєднана з віссю обертання шпинделя. Її позитивний напрямок завжди збігається з напрямком переміщення від пристрою для кріплення заготовки до ріжучого інструменту.

2. Якщо в системі координат верстата є хоча б одна вісь, розташована горизонтально і не збігається з віссю обертання шпинделя, то це буде обов'язково вісь  $X$ .

3. Якщо вісь  $Z$  розташована горизонтально, то позитивним напрямком вісі  $X$  вважається напрямок переміщення вправо, якщо стати обличчям до лівого - відносно передньої площини - торця верстата. (Передня площина верстата - сторона, з якої розташовуються пульт і основні органи управління верстатом).

4. Якщо вісь  $Z$  розташована вертикально, то позитивним напрямком осі  $X$  вважається напрямок переміщення вправо, якщо стати обличчям до передньої площини верстата.

5. Позитивний напрямок вісі  $Y$  визначається по одному з наступних правил:

- Дивлячись уздовж вісі  $Z$  в позитивному напрямку, подумки повернути вісь  $X$  на  $90^\circ$  за годинниковою стрілкою навколо вісі  $Z$ .

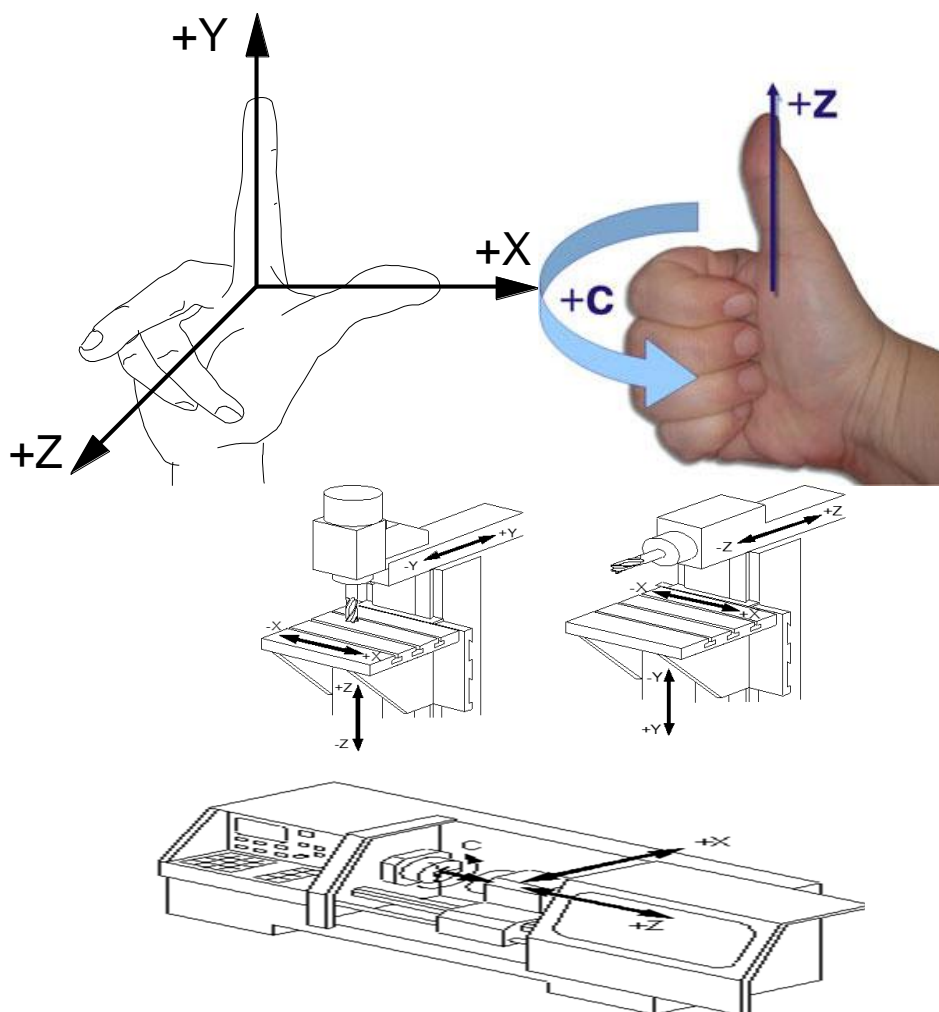


Рисунок 2.5 - Правило правої руки

Правило правої руки: якщо подумки помістити долоню правої руки в початок координат таким чином, щоб вісь  $Z$  виходила з долоні перпендикулярно їй, а відігнутий під кутом  $90^\circ$  до долоні великий палець показував позитивний напрямок вісі  $X$ , то вказівний палець буде показувати позитивний напрямок вісі  $Y$ .

За допомогою системи прив'язки однозначно задаються координати положення на площині або в робочому просторі верстата. Дані координати положення завжди прив'язані до певної точки, яка описана за допомогою координат.

Верстат має жорстку систему прив'язки - система прив'язки верстата, яка була задана верстатовиробником. Користувач може задати будь-яку систему прив'язки для заготовки: система ЧПК знає початок координат і положення цієї системи прив'язки щодо системи прив'язки верстата. Завдяки цьому система ЧПК може коректно переносити дані положення з NC-програми на заготовку.

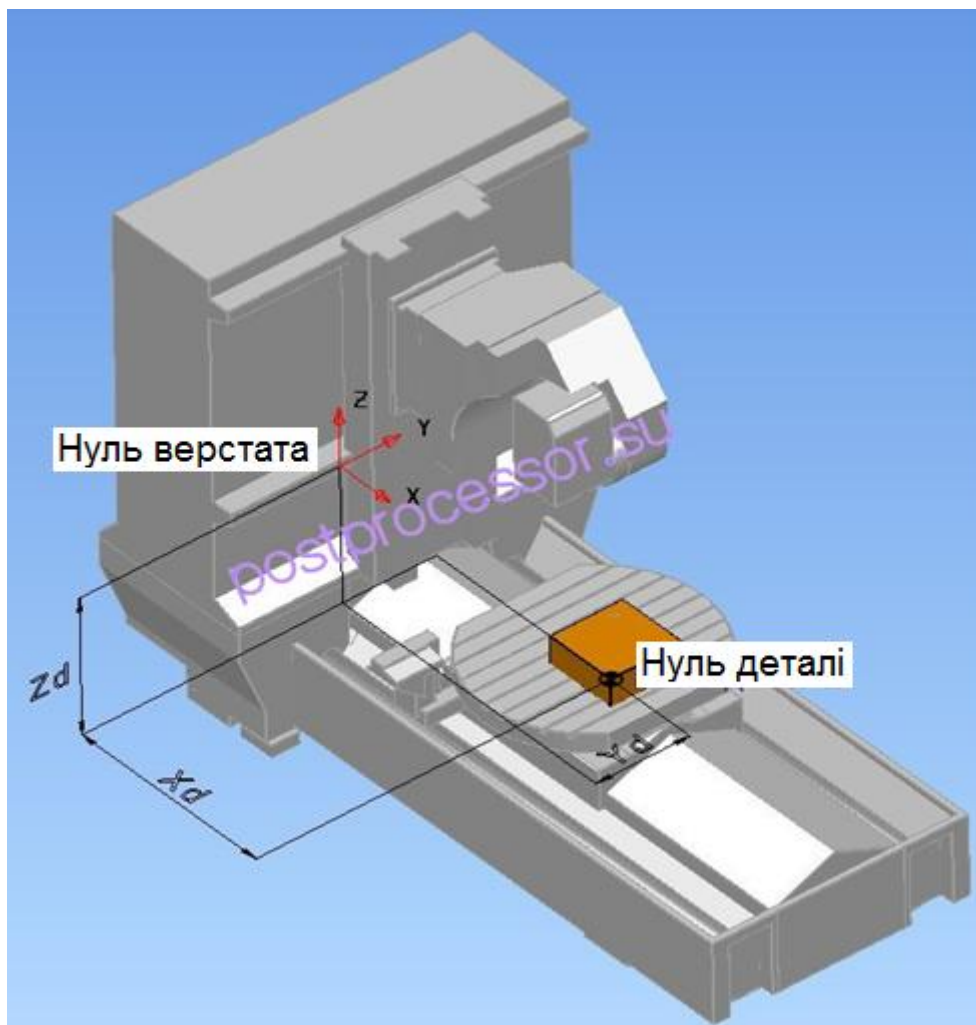


Рисунок 2.6 - Прив'язка координат

***Нульова точка верстата - це фізична позиція, встановлена виробником верстата за допомогою кінцевих вимикачів або датчиків.***

Завдання оператора - визначити координати  $X_{md}$ ,  $Y_{md}$ ,  $Z_{md}$  одного з кутів деталі в системі координат верстата і занести їх в реєстри робочих зсувів, наприклад в G54.

Після цього система ЧПК приймає цей кут за нульову точку для розрахунку всіх переміщень по програмі.

Таблиця 2.1 – Позначення нульових точок

Піктограма	Позначення	Значення
	M	Нульова точка верстата
	R	Вихідна точка верстата
	W	Нульова точка заготовки (деталі)
	E	Нульова точка інструменту
	B	Точка установки інструменту
	N	Точка зміни інструменту

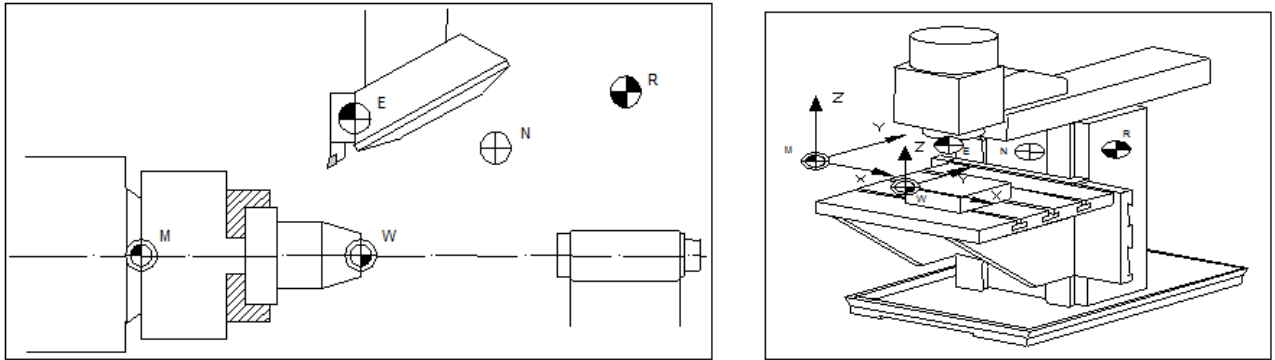


Рисунок 2.7 – Розташування нульових точок

*На відміну від фізичного нуля верстата, нульова точка програми (деталі) є логічною*

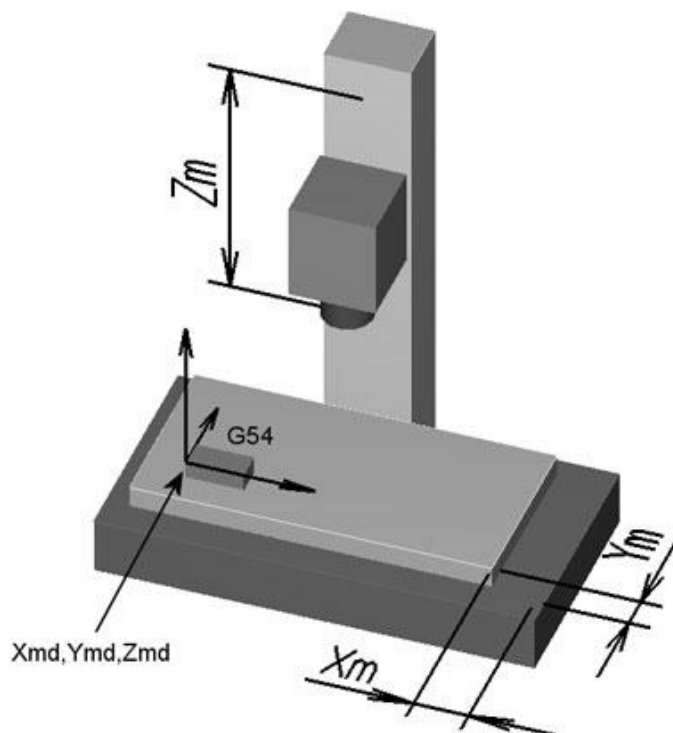


Рисунок 2.8 - Визначення нульової точки деталі

Для налаштування різних робочих систем координат використовуються відповідні G-коди. У більшості випадків G54 позначає першу робочу систему координат, G55 - другу, G56 - третю і т. д.

**Перше**, але не основне правило - зручність програмування. Наприклад, якщо розташувати деталь в першому квадраті прямокутної системи координат, то це трохи спростить процес розрахунку траєкторії через те, що всі опорні точки цієї деталі будуть описуватися позитивними координатами.

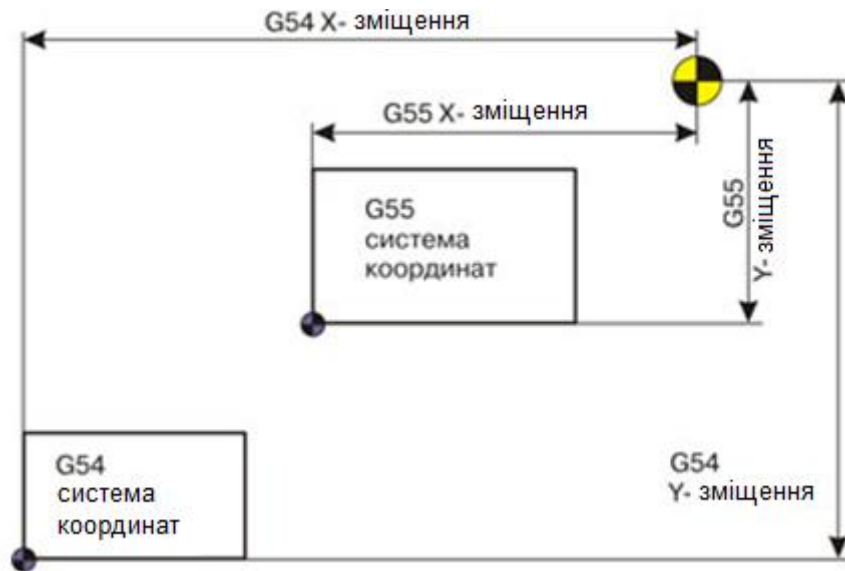


Рисунок 2.9 – Налаштування робочих систем координат

*Друге правило*, більш важливе - нульова точка програми повинна збігатися з конструкторською базою. Це означає, що якщо на кресленні розміри від лівого верхнього кута деталі, то краще, якщо саме в цьому кутку і буде перебувати нуль деталі. А якщо розміри вказуються від центрального отвору, то нулем деталі слід призначити центр цього отвору.

### 2.3 Методика виконання роботи:

1. Закріпити заготовку на столі верстата.
2. Визначити нуль верстата і заготовки, різницю між системами координат записати у звіті.
3. Визначити координати опорних точок паза в абсолютній і відносній системі координат (див. рисунок 2.10).

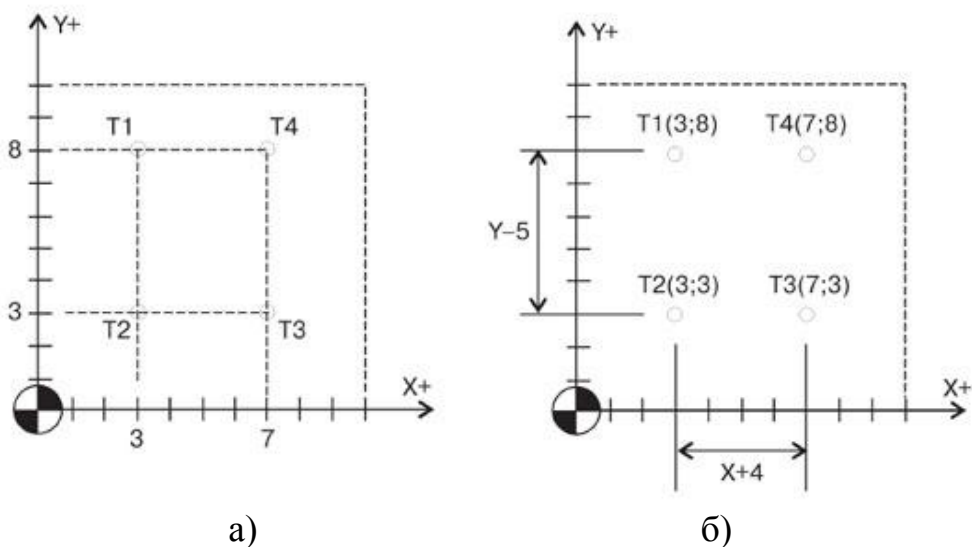


Рисунок 2.10 – Координати опорних точок оброблюваного паза:  
 а) – в абсолютній системі координат; б) – у відносній системі координат

При абсолютному способі програмування (G90) координати точок відраховуються від одного «нерухомого» нуля.

Відносний спосіб програмування (G91). Координати точки T2 відраховуються від точки T1, точки T3 - від T2, точки T4 - від T3.

4. Написати управляючу програму обробки пазу з використанням кодів G90 і G91.
5. Зробити висновки по роботі.



## Лабораторна робота №3

### КРУГОВА ІНТЕРПОЛЯЦІЯ - G02 і G03

#### 3.1 Мета роботи

Ознайомитись з особливостями програмування траєкторії з використанням кругової інтерполяції із врахуванням компенсації на радіус інструмента.

#### 3.2 Теоретична інформація

##### 3.2.1 Кругова інтерполяція

Існують два способи для формування кадру кругової інтерполяції. Порівняйте структуру наступних кадрів:

G02 Xn.n Yn.n Zn.n In.n Jn.n Kn.n Fn.n.      G03 Xn.n Yn.n Zn.n Rn.n Fn.n.

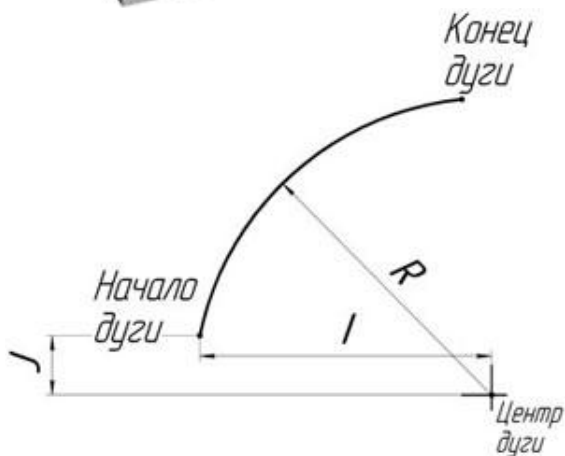
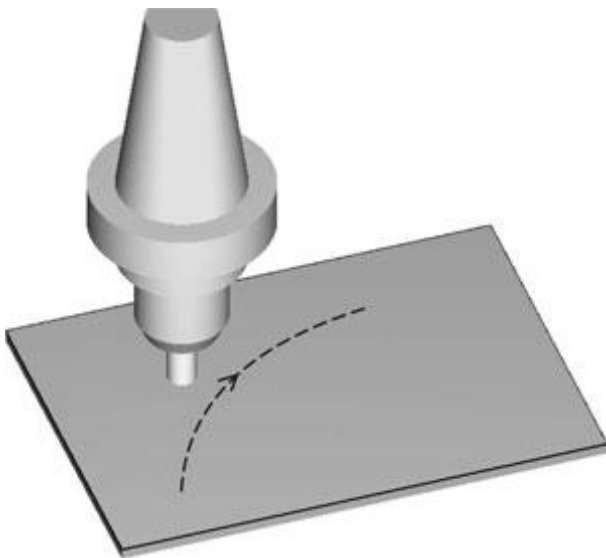
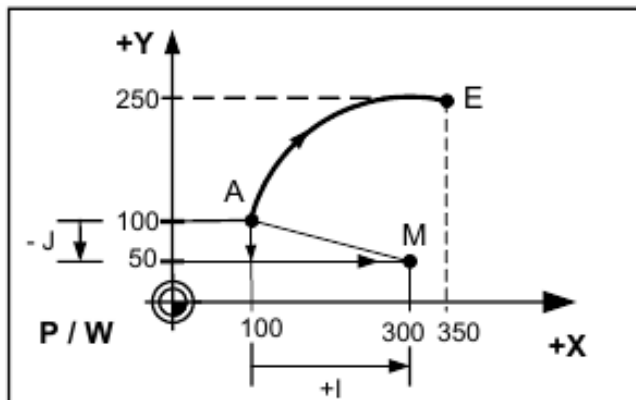


Рисунок 3.1 – Кругова інтерполяція і визначення центру дуги

За допомогою I, J і K ви вказуєте відносні (інкрементальні) відстані від початкової точки дуги до її центру. Слово даних з I відноситься до вісі X,

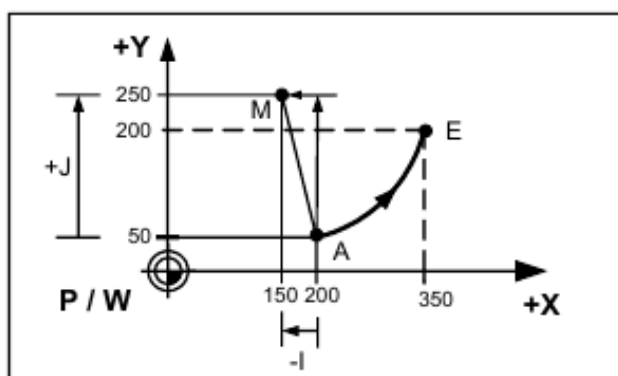
слово даних з J - до вісі Y, а слово даних з K - до вісі Z. При цьому в залежності від розташування дуги значення можуть бути позитивними або негативними.

N...G90 G17 G02 X350 Y250 I200 J-50 F...S...M...



а)

N...G90 G17 G03 X350 Y200 I-50 J200 F...S...M...



б)

Рисунок 3.2 – Приклади кадру управляючої програми

При використанні другого способу програмування:

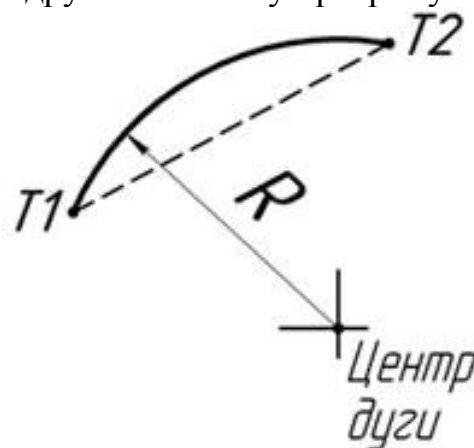


Рисунок 3.3 – Визначення знаку адреси R

Так як дуга менше  $180^\circ$  (її центр розташований зовні хорди), то  $R$  буде мати позитивне значення.

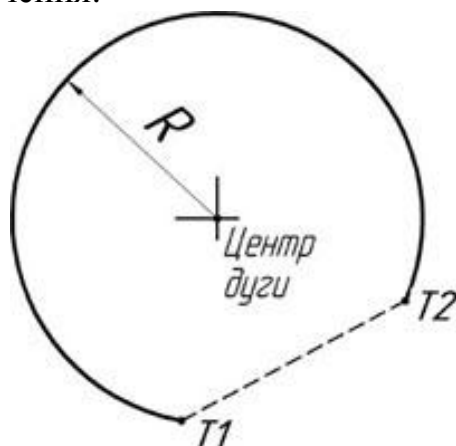


Рисунок 3.4 – Визначення знаку адреси  $R$

Так як дуга більше  $180^\circ$  (її центр розташований всередині хорди), то  $R$  матиме від'ємне значення.

### 3.2.2 Корекція радіусу інструменту

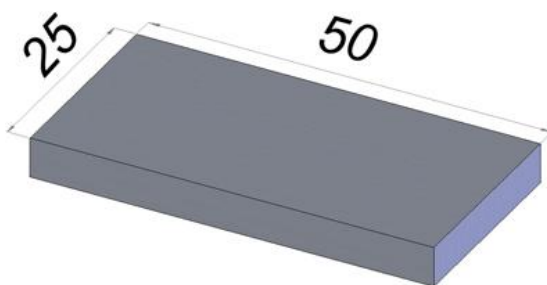


Рисунок 3.5 – Приклад заготовки

Необхідно фрезерувати зовнішній контур деталі кінцевою фрезою діаметром 10 мм. Так як різання відбувається бічною (циліндричною) частиною фрези, то центр фрези буде зміщений на відстань, рівну радіусу (5 мм), вліво щодо оброблюваного контуру.

Фреза переміщається послідовно через точки 1, 2, 3 і 4.

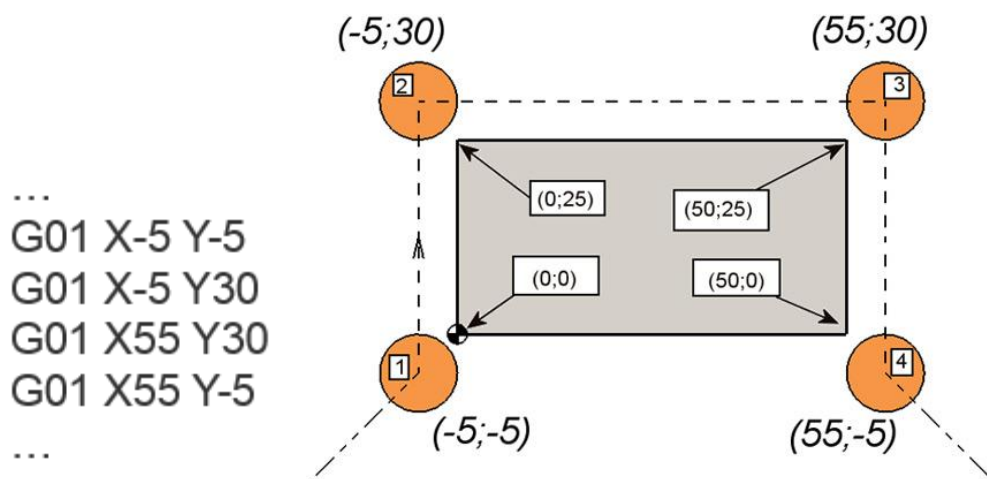


Рисунок 3.6 – Траєкторія обробки заготовки фрезою 10 мм

Припустимо, що з якихось причин такої фрези не виявилось в наявності. Зате знайшлася кінцева фреза діаметром 9 мм. При обробці контуру новою фрезою її центр буде зміщений вліво вже не на 5, а на 4.5 мм.

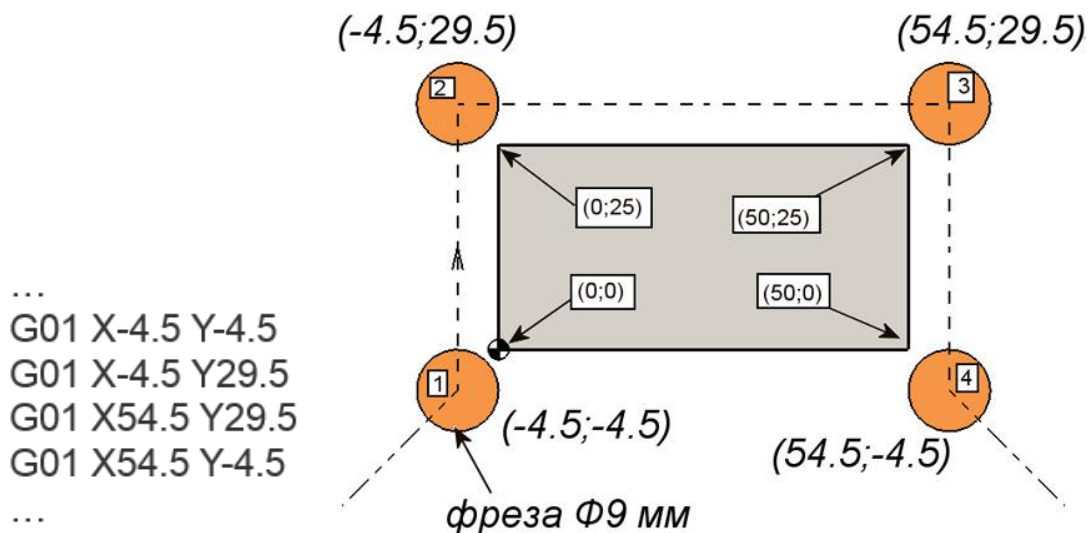
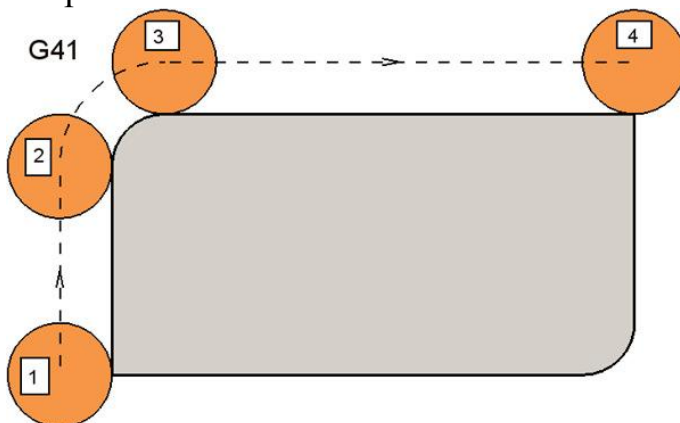
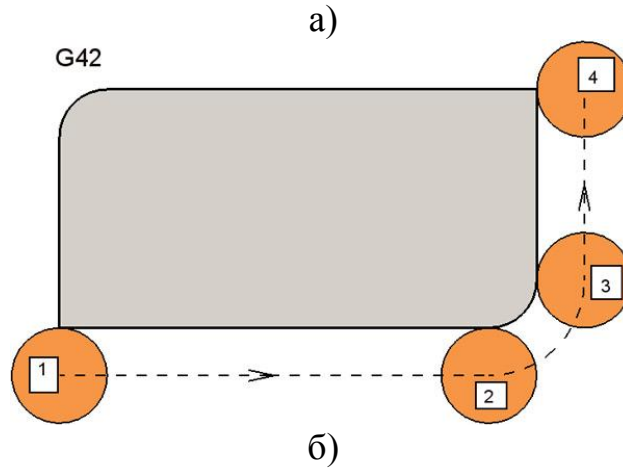


Рисунок 3.7 - Траєкторія обробки заготовки фрезою 9 мм

Автоматична корекція радіусу інструменту активується за допомогою G-коду, який викликає зміщення інструменту відносно початкової траєкторії вправо або вліво. Код G41 використовується для корекції інструменту зліва, а код G42 - для корекції справа.





б)

Рисунок 3.8 – Використання кодів корекції радіусу інструменту  
 Більшості систем для активації корекції потрібно пройти відстань, що не менша величині радіусу інструменту. Обов'язковою умовою для активації корекції є наявність саме прямолінійного переміщення на робочій подачі.

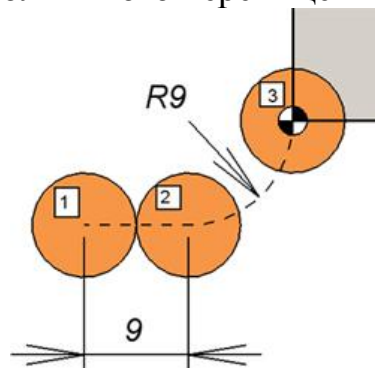


Рисунок 3.9 - Активація, підведення і відведення

**Приклад №1. Контурна обробка**

Необхідно створити КП для обробки зовнішнього контуру деталі (рис. 3.10) фрезою діаметром 5 мм без корекції на радіус інструменту. Глибина фрезерування - 4 мм. Підведення до контуру здійснюється по прямолінійній ділянці.

Управляюча програма	Пояснення
% O0001 (PROGRAM NAME – CONTOUR1) N100 G21 N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90 (FREZA D5) N104 T1 M6  N106 G0 G90 G54 X25. Y-27.5 S2000 M3  N108 G43 H1 Z100. N110 Z10.  N112 G1 Z-4. F100.	програма O0001 Коментар - ім'я програми Режим введення метричних даних рядок безпеки Коментар - фреза Ф5 мм Виклик інструменту № 1  Позиціонування в початкову точку траєкторії (1), включення оборотів шпинделя 2000 об / хв Компенсація довжини інструменту №1 Позиціонування в Z10 Фреза опускається до Z-4 на робочій подачі 100 мм / хв Лінійне переміщення в точку (2)

N116 X-27.5	Лінійне переміщення в точку (3)
N118 Y20.	Переміщення по дузі в точку (4)
N120 G2 X-20. Y27.5 R7.5	Лінійне переміщення в точку (5)
N122 G1 X1.036	Лінійне переміщення в точку (6)
N124 X27.5 Y1.036	Лінійне переміщення в точку (7)
N126 Y-20.	Переміщення по дузі в точку (8)
N128 G2 X20. Y-27.5 R7.5	Фреза піднімається до Z6
N130 G1 Z6.	Фреза піднімається на прискореній подачі до Z100
N132 G0 Z100.	зупинка шпинделя
N134 M5	Повернення в вихідну позицію по Z
N136 G91 G28 Z0.	Повернення в вихідну позицію по X і Y
N138 G28 X0. Y0.	кінець програми
N140 M30	
%	

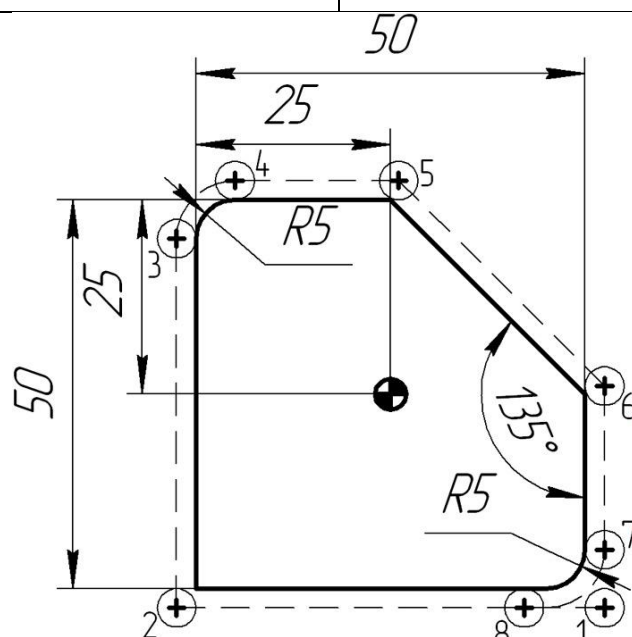


Рисунок 3.10 – Контурна обробка

**Приклад №2. Контурна обробка з корекцією на радіус інструменту**

Необхідно створити УП для обробки зовнішнього контуру деталі (рис. 3.11) фрезою діаметром 5 мм з корекцією на радіус інструменту. Глибина фрезерування - 4 мм. Підведення до контуру здійснюється по дотичній.

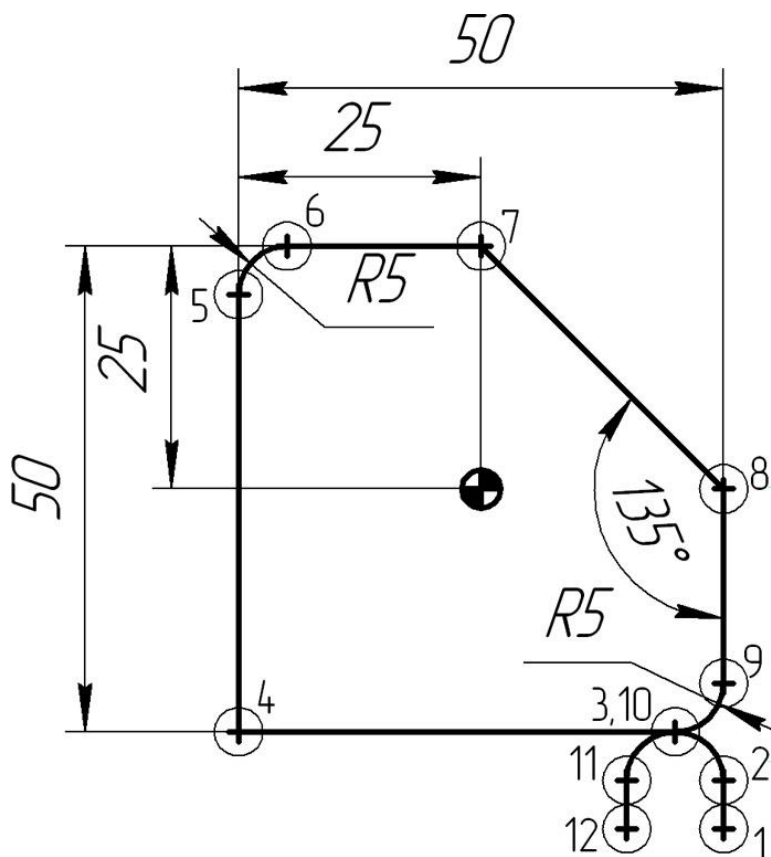


Рисунок 3.11 - Контурна обробка з корекцією

Управляюча програма	Коментар
% O0002 (PROGRAM NAME – CONTOUR2 ) N100 G21 N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90 ( FREZA D5 ) N104 T1 M6 N106 G0 G90 G54 X25. Y-35. S2000 M3	програма O0002 Коментар - ім'я програми Режим введення метричних даних рядок безпеки Коментар - фреза Ф5 мм Виклик інструменту №1 Позиціонування в початкову точку траєкторії (1), включення оборотів шпинделя 2000 об / хв
N108 G43 H1 Z100. N110 Z10.	Компенсація довжини інструменту № 1 Позиціонування в Z10
N112 G1 Z-4. F100.	Фреза опускається до Z-4 на робочій подачі 100 мм / хв
N114 G41 D1 Y-30.	Корекція зліва, переміщення в точку (2)
N116 G3 X20. Y-25. R5.	Підведення інструменту по дотичній до точки (3)
N118 G1 X-25. N120 Y20.	Лінійне переміщення в точку (4) Лінійне переміщення в точку (5)
N122 G2 X-20. Y25. R5.	Переміщення по дузі в точку (6)
N124 G1 X0. N126 X25. Y0.	Лінійне переміщення в точку (7) Лінійне переміщення в точку (8)
N128 Y-20. N130 G2 X20. Y-25. R5.	Лінійне переміщення в точку (9) Переміщення по дузі в точку (10)
N132 G3 X15. Y-30. R5.	Відведення інструменту від контуру

N134 G1 G40 Y-35.	по дотичній до точки (11)
N136 Z6.	Лінійне переміщення в точку (12)
N138 G0 Z100.	зі скасуванням корекції
N140 M5	Фреза піднімається до Z6
N142 G91 G28 Z0.	Фреза піднімається на прискореної
N144 G28 X0. Y0.	подачі до Z100
N146 M30	зупинка шпинделя
%	Повернення в вихідну позицію по Z
	Повернення в вихідну позицію по X і Y
	кінець програми

### 3.3 Методика виконання роботи

1. Ознайомитись з вищенаведеними теоретичними відомостями щодо особливостей програмування обробки з використанням кругової інтерполяції і корекції на радіус інструмента.

2. Згідно індивідуального завдання створити управляючу програму (УП). За допомогою САМ-системи відтворити симуляцію обробки.

### 3.4 Завдання на лабораторну роботу:

#### Завдання №1.

Необхідно створити КП для чистової обробки кишені (рис. 3.12) без корекції на радіус інструменту фрезою діаметром 5 мм. Глибина фрезерування - 2 мм. Підведення до контуру здійснюється по дотичній.

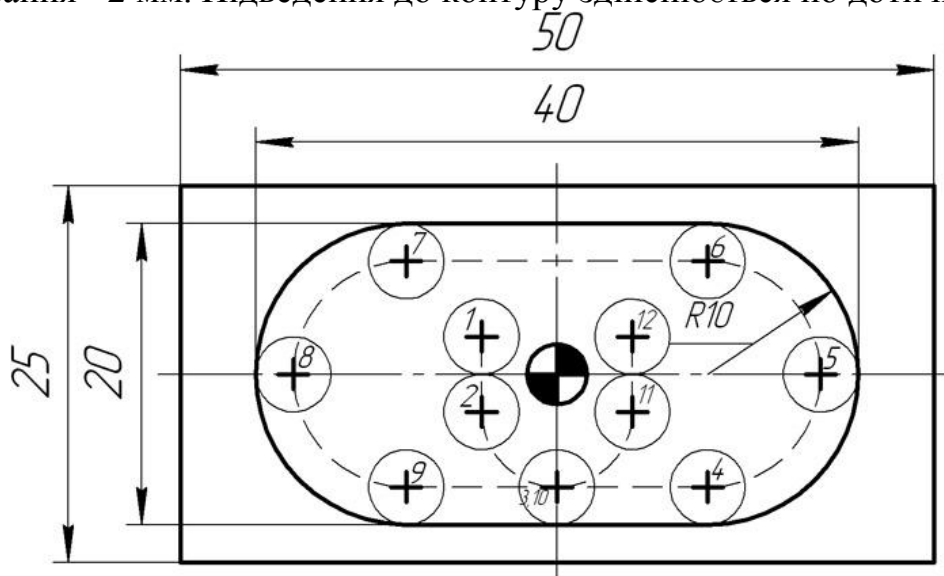


Рисунок 3.12 - Чистова обробка кишені



**Завдання №2.**

Необхідно створити КП для чистової обробки кишені з корекцією на радіус інструменту. Глибина фрезерування - 2 мм. Підведення до контуру здійснюється по дотичній.

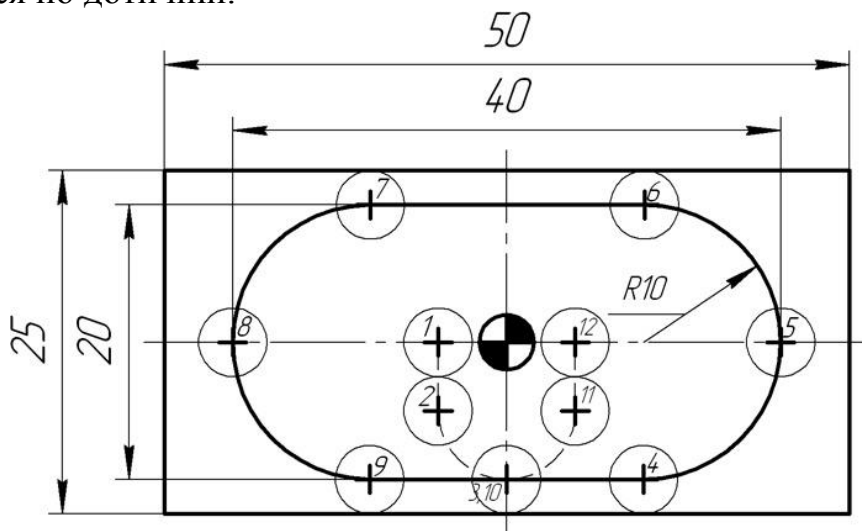


Рисунок 3.13 - Чистова обробка кишені з корекцією

**Завдання №3.**

Необхідно створити КП для обробки прямокутної кишені фрезою діаметром 10 мм. Глибина фрезерування - 1 мм.

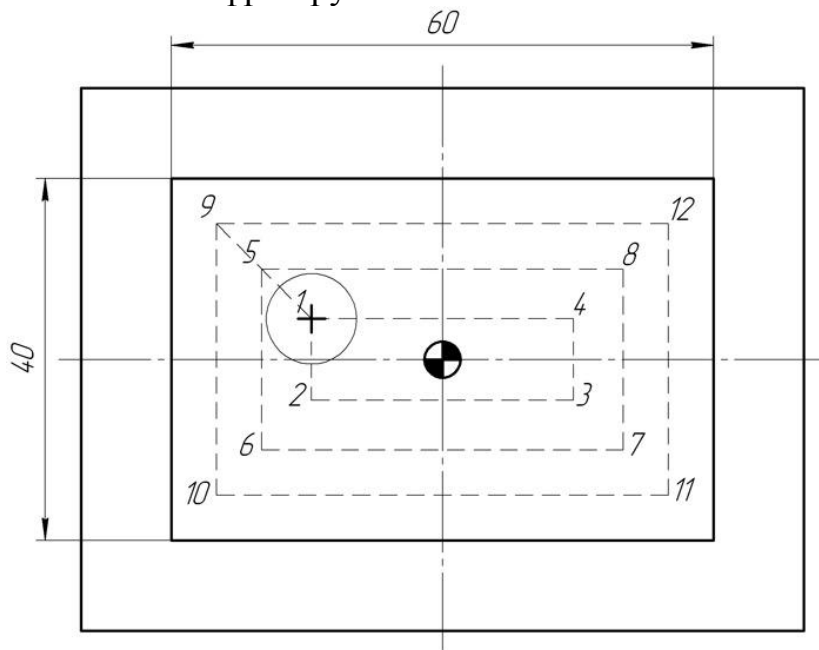


Рисунок 3.14 - Чорнове фрезерування прямокутної кишені

**Завдання №4.**

Необхідно створити КП для обробки круглої кишені фрезою діаметром 10 мм. Глибина - 0.5 мм.

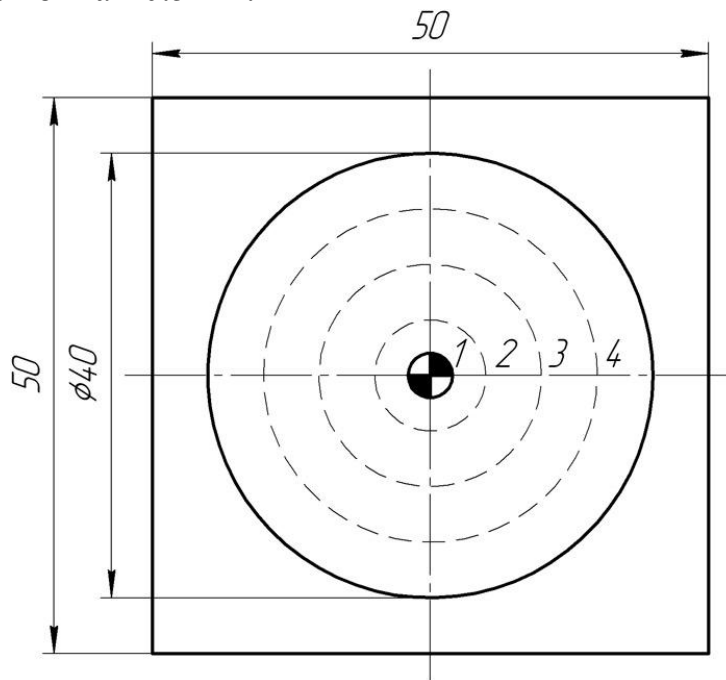


Рисунок 3.15 - Чорнове фрезерування круглої кишені

## Лабораторна робота №4

### ПОСТІЙНІ ЦИКЛИ ВЕРСТАТА З ЧПК

#### 4.1 Мета роботи

Здобути навички програмування верстатів з ЧПК з використанням постійних циклів для виконання стандартних операцій механічної обробки.

#### 4.2 Теоретична інформація

Постійними циклами називаються спеціальні макропрограми, закладені в ПЧПК для виконання стандартних операцій механічної обробки. Практично всі верстати з ЧПК мають набір циклів для обробки отворів – цикли свердління, розточування і нарізування різі. Ці цикли спрощують процес написання УП і економлять час, так як дозволяють за допомогою одного кадру виконати безліч переміщень.

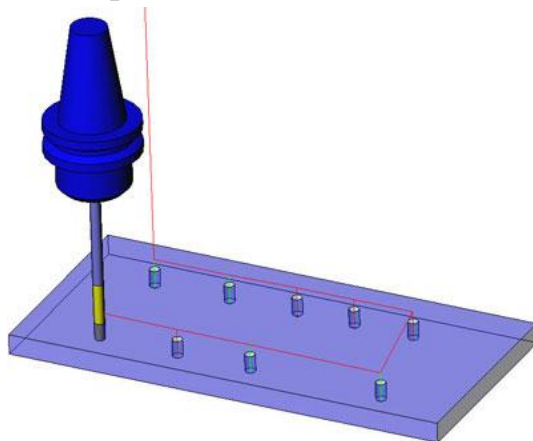


Рисунок 4.1 – Постійні цикли зазвичай використовуються для обробки отворів

Припустимо, що необхідно просвердлити декілька отворів в деталі. Щоб просвердлити один отвір, потрібно на робочій подачі опустити свердло на необхідну глибину, потім вивести його вгору на прискореній подачі і перемістити до наступного отвору. Наступна програма демонструє, як просвердлити кілька отворів без використання постійних циклів:

% O0005 N100 G21 N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90 N104 T1 M6 N106 G0 G90 G54 X5. Y5. S1000 M3 N108 G43 H1 Z100. N110 Z10.	початок програми  рядок безпеки виклик інструменту Переміщення до отвору № 1 Корекція на довжину інструменту
---	---

N112 G1Z-8. F70. N114 G0 Z10. N116 X15. N118 G1 Z-8. F70 N120 G0 Z10. N122 X-5. N124 G1 Z-8. F70 N126 G0 Z10. N128 X-15. N130 G1 Z-8. F70 N132 G0 Z10. N134 X5. Y-5. N136 G1 Z-8. F70 N138 G0 Z10. N140 X15. N142 G1 Z-8. F70 N144 G0 Z10. N146 X-5. N148 G1 Z-8. F70 N150 G0 Z10. N152 X-15. N154 G1 Z-8. F70 N156 G0 Z10. N158 Z100. N160 M5 N166 M30 %	Свердління отвору № 1 Вихід свердла на прискореній подачі Переміщення до отвору № 2 Свердління отвору № 2 Вихід свердла на прискореній подачі Переміщення до отвору № 3 Свердління отвору № 3 Вихід свердла на прискореній подачі Переміщення до отвору № 4 Свердління отвору № 4 Вихід свердла на прискореній подачі Переміщення до отвору № 5 Свердління отвору № 5 Вихід свердла на прискореній подачі Переміщення до отвору № 6 Свердління отвору № 6 Вихід свердла на прискореній подачі Переміщення до отвору № 7 Свердління отвору № 7 Вихід свердла на прискореній подачі Переміщення до отвору № 8 Свердління отвору № 8 Вихід свердла на прискореній подачі  кінець програми
---	--

Використання постійного циклу спрощує процес створення програми для обробки отворів, істотно зменшує в розмірі. Створимо нову КП для обробки цих же отворів з постійним циклом свердління:

% O0005 N100 G21 N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90 N104 T1 M6 N106 G0 G90 G54 X5. Y5. S1000 M3 N108 G43 H1 Z100. N110 Z10. N112 G99 G81 Z-8. R10. F70. N114 X15. N116 X-5. N118 X-15. N120 X5. Y-5. N122 X15. N124 X-5. N126 X-15.	початок програми  рядок безпеки виклик інструменту Переміщення до отвору № 1 Корекція на довжину інструменту  Виклик циклу свердління Координати отвори № 2 Координати отвори № 3 Координати отвори № 4 Координати отвори № 5 Координати отвори № 6 Координати отвори № 7 Координати отвори № 8
---	---

N128 G80 N130 Z100. N132 M5 N138 M30 %	Скасування циклу свердління  кінець програми
--	--

Очевидно, що нова програма має менший розмір. У кадрі N112 знаходиться код G81 для виклику циклу свердління. У цьому ж кадрі знаходяться адреси, що відповідають за налаштування параметрів циклу. Адреса Z позначає глибину свердління, а R визначає висоту відведення свердла з отвору щодо нульової площини. У наступних кадрах знаходяться координати оброблюваних отворів. У них не потрібно ставити коди виклику циклу свердління, так як G81 буде залишатися активним, поки його не скасують за допомогою коду G80.

Працювати з постійними циклами дуже зручно. Наприклад, ви вирішили змінити глибину свердління і висоту виведення свердла з отвору. При роботі з програмою без постійного циклу вам доведеться відредагувати її практично повністю. Якщо ж ви використовуєте постійний цикл свердління, то для досягнення потрібного ефекту достатньо змінити кілька параметрів.

Верстати з ЧПК можуть мати різноманітні цикли: від досить простих – для свердління, розточування і нарізування різі до більш складних – для обробки контурів і карманів. Деякі цикли стандартизовані, хоча більшість з них розробляються виробниками верстатів і систем ЧПК самостійно. Тому на різних верстатах однакові по суті цикли можуть записуватися по-різному, що звичайно ж ускладнює програмування.

Цикли для обробки отворів, які використовуються на переважній більшості сучасних верстатів з ЧПК:

**Таблиця 4.1. Постійні цикли для обробки отворів**

G код	Описание
G80	Скасування постійного циклу
G81	Стандартний цикл свердління
G82	Свердління з витримкою
G83	Цикл переривчастого свердління
G73	Високошвидкісний цикл переривчастого свердління
G84	Цикл нарізування різі
G74	Цикл нарізування лівої різі
G85	Стандартний цикл розточування

### **Стандартний цикл свердління і цикл свердління з витримкою**

Код G81 призначений для виклику стандартного циклу свердління. Наступний кадр демонструє типовий формат цього циклу:

```
G81 X10.0 Y15.3 Z-3.0 R0.5 F50.
```

Адреси X і Y визначають координати оброблюваних отворів. Адреса Z вказує кінцеву глибину свердління, а R застосовується для встановлення площини відведення. Площина відведення – це координата по осі Z, з якої починається свердління на робочій подачі. Площина відведення встановлюється трохи вище поверхні деталі, тому значення при R зазвичай позитивне. Не варто встановлювати площину відведення дуже високо, інакше свердло на робочій подачі буде переміщатися занадто довго. Робоча подача для циклу встановлюється за допомогою F-слова даних.

Постійні цикли і їх параметри є модальними. Викликавши цикл за допомогою відповідного G-коду, в наступних кадрах ви вказуєте координати отворів, які необхідно обробити, не програмуючи ніяких інших кодів і параметрів. Після кадру, що містить координати останнього отвору, необхідно запрограмувати G80 – код скасування (закінчення) постійного циклу. Якщо цього не зробити, то всі наступні координати переміщень будуть вважатися координатами оброблюваних отворів.

Цикл свердління з витримкою викликається за допомогою команди G82. Функціонує цей цикл аналогічно стандартному циклу свердління, з єдиною різницею в тому, що при G82 на дні отвору запрограмовано час очікування (витримка). Цикл свердління з витримкою часто застосовується для свердління глухих отворів, так як запрограмований час очікування забезпечує краще видалення стружки з дна отвору. Адреса P встановлює час очікування на дні отвору. Як правило, час витримки вказується в 1/1000 сек. без десяткового дробу. Наприклад, в наступному кадрі виконується цикл свердління з витримкою на дні отвору, що дорівнює 6.5 секунди:

```
G82 X10.0 Y15.3 Z-3.0 P6500 R0.5 F50.
```

При виконанні механічної обробки отворів за допомогою постійних циклів вам необхідно знати, що таке вихідна площина і площина відведення. Ці дві площини використовуються для управління переміщеннями по осі Z між отворами. Про площину відведення ми вже говорили. Площина відведення – це координата (рівень) по осі Z, що встановлюється R-адресою, з якої починається свердління на робочій подачі і в яку повертається інструмент після того, як він досяг дна оброблюваного отвору. Вихідна площина – це координата (рівень), по осі Z в якій розташовувався інструмент перед викликом постійного циклу. Код G98 використовується для роботи з вихідною площиною, а код G99 – з площиною відведення.

## Методичні рекомендації до лабораторних робіт

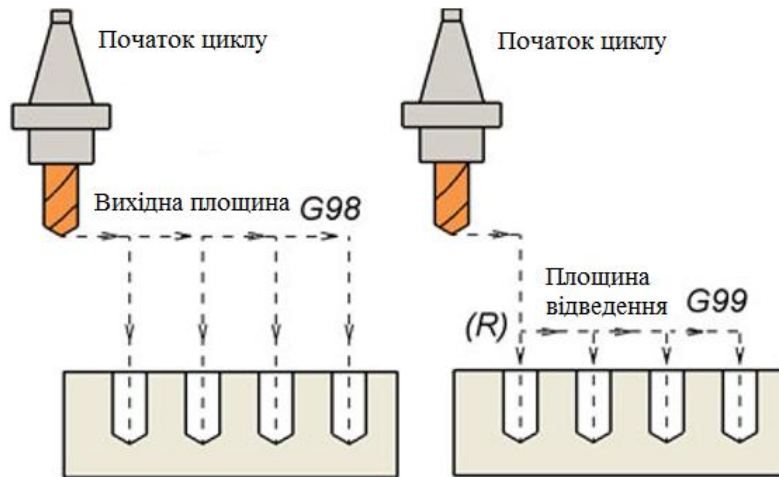


Рисунок 4.2 – При використанні коду G98 в постійному циклі інструмент кожен раз повертається у вихідну площину, а при використанні G99 – в площину відведення, встановлену R-адресою

Якщо цикл свердління працює спільно з кодом G98, то інструмент повертається до початкової площини в кінці кожного циклу і між усіма оброблюваними отворами. Код G98 застосовується, коли потрібна збільшена відстань відведення, для того щоб уникнути зіткнення інструмента з деталлю. Врахуйте, що якщо ви працюєте з G98 одразу після зміни інструменту, то вихідна площина, швидше за все, буде встановлена дуже високо, і інструмент буде переміщатися до отвору занадто довго.

Коли немає небезпеки зіткнення інструменту з деталлю, то зазвичай використовують код G99, який дозволяє скоротити час при обробці безлічі отворів. У цьому випадку інструмент переміщається між отворами і виводиться вгору в кінці циклу до координати по Z, встановленої R-словом даних.

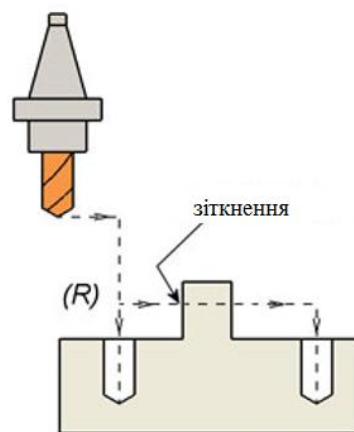


Рисунок 4.3 – Будьте особливо уважні при використанні постійного циклу з G99. Якщо площина відведення (R) встановлена неправильно, то може статися зіткнення інструмента з деталлю

Зазвичай системи ЧПК дозволяють перемикатися між G98 і G99 прямо всередині постійного циклу між оброблюваними отворами:

```

...
G99 G81 X10.0 Y15.3 Z-3.0 R0.5 F50.
X20 Y20
G98 X30 Y30
X40 Y40
...

```

### Цикли переривчастого свердління

Код G83 викликає цикл переривчастого свердління. Переривчасте свердління часто використовується при обробці глибоких отворів. Якщо при звичайному свердлінні інструмент на робочій подачі переміщується на дно отвору безперервно, то в циклі переривчастого свердління інструмент піднімається вгору через певні інтервали для видалення стружки. Якщо ви свердлисте глибокий отвір (глибина отвору більше трьох діаметрів свердла), то є ймовірність, що стружка не встигне вийти з отвору і інструмент зламається. При обробці отворів технолог-програміст повинен вирішити, який саме цикл йому необхідний в кожному конкретному випадку.

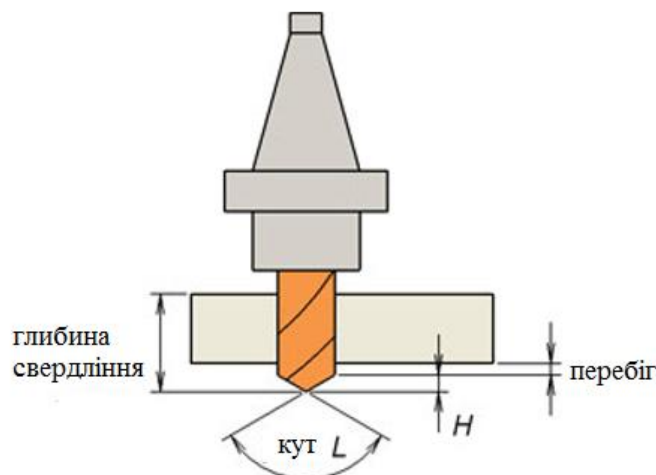


Рисунок 4.4 – Схема свердління глибокого отвору

На кресленнях довжину отвору вказують по прямій частині. Однак ріжуча кромка свердла заточена під певним кутом (зазвичай  $118^\circ$ ). Так як в програмі вказуються координати  $Z$  для кромки свердла, то інструменту необхідно пройти додаткову відстань  $H = R \cdot \tan(L/2)$ . При свердлінні наскрізних отворів потрібно задати невеликий перебіг (0.5-1 мм) для прямої частини свердла.

Формат кадру для циклу переривчастого свердління схожий на формат звичайного циклу свердління:

```
G83 X10.0 Y10.0 Z-25.0 Q2.0 R0.5 F45
```



Зверніть увагу на Q-адресу, яка визначає відносну глибину кожного робочого ходу свердла. В даному випадку свердління відбувається за таким алгоритмом:

1. Свердло від початкової площини переміщується до площини відведення (R0.5) на прискореній подачі.
2. Від площини відведення R свердло подається на глибину 2 мм (Q2.0) зі швидкістю подачі (F45).
3. Свердло прискореним ходом переміщається до площини відведення (R0.5).
4. Свердло прискореним ходом переміщається до раніше досягнутої позиції по глибині (або трохи не доходить до цієї глибини, щоб уникнути зіткнення свердла з матеріалом деталі).
5. Свердло подається на глибину 4 мм (2 + 2) зі швидкістю подачі (F45).
6. Кроки 3, 4 і 5 повторюються до тих пір, поки свердло не досягне координати Z-25. Потім свердло виводиться з отвору до площини відведення (G99) або початкової площини (G98).

Високошвидкісний цикл переривчастого свердління G73 працює аналогічно циклу G83. Єдина різниця полягає в тому, що при високошвидкісному циклі свердло для видалення стружки виводиться з отвору не в повному обсязі. Це дозволяє зменшити машинний час обробки. Формат кадру для високошвидкісного циклу переривчастого свердління:

G73 X10.0 Y10.0 Z-25.0 Q2.0 R0.5 F45

Багато СЧПК дозволяють вказувати додаткові адреси для більш гнучкої роботи з циклами свердління. Коли програміст задає глибину свердління в програмі обробки, він розраховує її щодо крайньої кромки свердла. Дуже часто на кресленнях глибина отвору вказується щодо прямої частини свердла. У цьому випадку необхідно провести нескладний розрахунок для знаходження глибини крайньої кромки.

Висота кромки свердла  $H = \text{радіус свердла } R / \tan(\text{кут}L/2)$ .

Якщо на кресленні вказана глибина до прямої частини 40 мм, діаметр свердла дорівнює 10 мм, а кут кромки дорівнює  $118^\circ$ , тоді висота кромки  $H = 5 / \tan 59 (\text{град.}) = 5 / 1.664 = 3.004$  мм. Отже, глибина свердління, яку необхідно вказати в керуючій програмі, дорівнює  $40 + 3.004 = 43.004$  мм (Z-43.004).

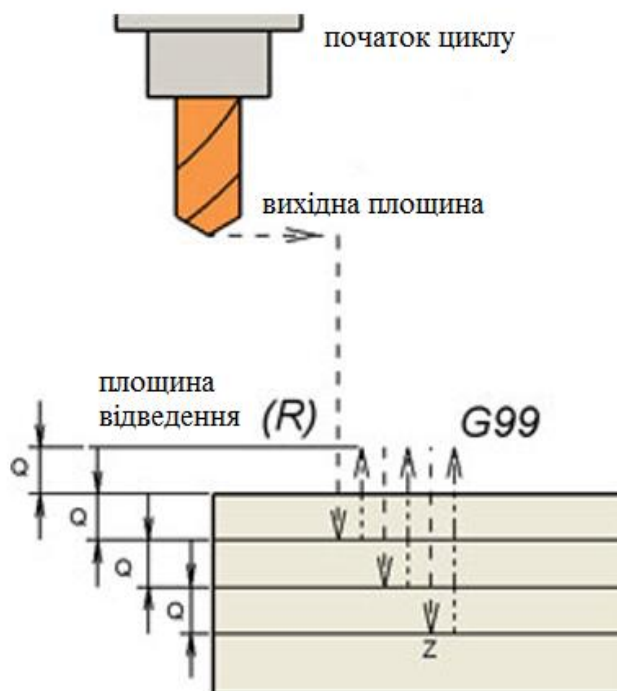


Рисунок 4.5 – Схема циклу переривчастого свердління

### Цикли нарізування різі

Код G84 використовується для виклику циклу нарізування різі. В цьому випадку при кожній подачі осі Z на значення кроку мітчика шпиндель повертається на один оберт. Коли мітчик досягає дна отвору, шпиндель, обертаючись в зворотну сторону, виводить мітчик з отвору. ПЧПК самостійно синхронізує подачу і швидкість обертання шпинделя щоб уникнути пошкодження різі і поломки інструменту. Завдяки цьому нарізування різі можна виконати без плаваючого патрона з високою швидкістю і точністю.

Формат кадру для циклу нарізування різі наступний:

G98 G84 X10.0. Y10.0 Z-6.0 R10.0 F10

Код G74 викликає цикл нарізування різі за допомогою мітчика лівої різі. Формат цього циклу аналогічний формату для G84. Єдина різниця між двома цими циклами полягає в напрямку обертання шпинделя.

G98 G74 X10.0. Y10.0 Z-6.0 R10.0 F10

Деякі СЧПК дозволяють програмувати цикли нарізання різі за кілька робочих операцій, аналогічно циклу переривчастого свердління. При нарізуванні різі за допомогою постійних циклів верстата програмісту слід проявляти особливу уважність, призначаючи режими різання і глибину обробки.

### Цикли розточування

Код G85 викликає стандартний цикл розточування. Операція розточування застосовується для отримання отворів високої точності з хорошою чистотою поверхні. Як інструмент використовується розточний патрон з налаштованим на певний радіус різцем. Формат для циклу G85 схожий на формат циклу свердління:

G98 G85 X10.0 Y10.0 Z-10.0 R10.0 F30

Цикл G85 виконує переміщення розточувального різця до дна отвору на робочій подачі з обертанням шпинделя. Коли різець досягає дна, інструмент виводиться з отвору також на робочій подачі.

**Таблиця 2 Розточувальні цикли**

Цикл розточування	Опис циклу
G76	При досягненні дна отвору розточний різець орієнтується певним чином, і зсувається від бічної поверхні (стілки) отвору і виводиться на прискореній подачі. Для правильної роботи з цим циклом необхідно правильно зорієнтувати інструмент при налаштуванні і установці, інакше можна зламати інструмент або зіпсувати деталь
G85	Стандартний розточний цикл. Інструмент вводиться в отвір на робочій подачі. При досягненні заданої координати інструмент виводиться з отвору на робочій подачі
G86	При досягненні дна отвору шпиндель припиняє обертатися і виводиться з отвору на прискореній подачі. На бічній поверхні (стінці) отвору, швидше за все, залишиться вертикальна риска
G87	Поведінка циклу може бути різною. У одних верстатів цей цикл виконує розточування за кілька робочих операцій, аналогічно циклу переривчастого свердління. У інших верстатів шпиндель зупиняється на дні отвору і виводиться з нього вручну. На більшості сучасних ОЦ є циклом зворотного розточування
G88	Аналогічно G87. На дні отвору можна задати час витримки
G89	Аналогічно G85. На дні отвору можна задати час витримки

### 4.3 Методика виконання роботи

1. Ознайомитись з вищенаведеними теоретичними відомостями щодо особливостей програмування обробки з використанням постійних циклів для виконання стандартних операцій механічної обробки.

2. Згідно індивідуального завдання створити управляючу програму (УП) з використанням постійних циклів.

3. Відтворити цикли переривчастого свердління на верстаті з ЧПК.

#### 4.4 Завдання на лабораторну роботу:

##### Варіант №1

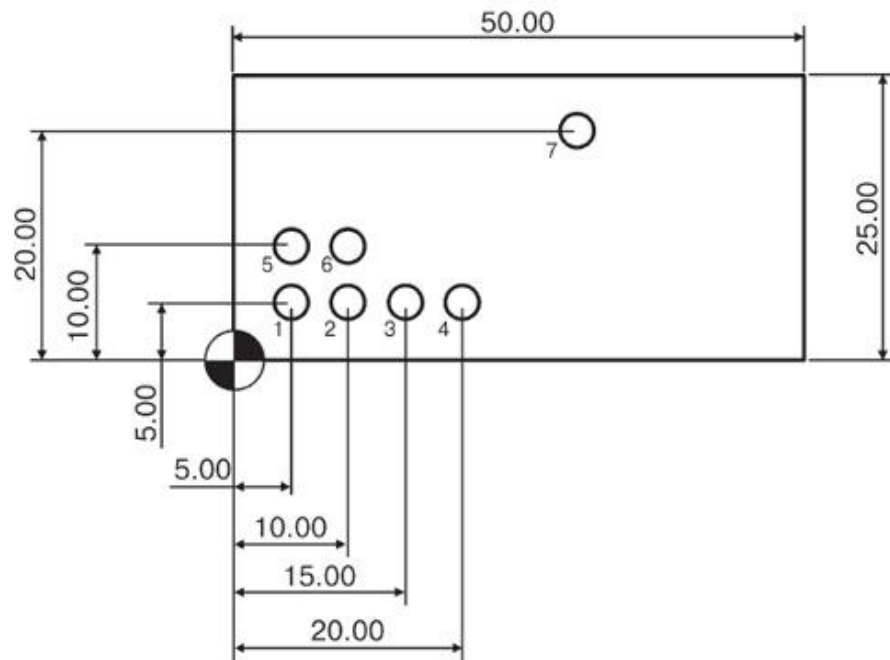


Рисунок 4.6 – Необхідно просвердлити 7 отворів діаметром 3 мм і глибиною 6,5 мм

##### Варіант №2

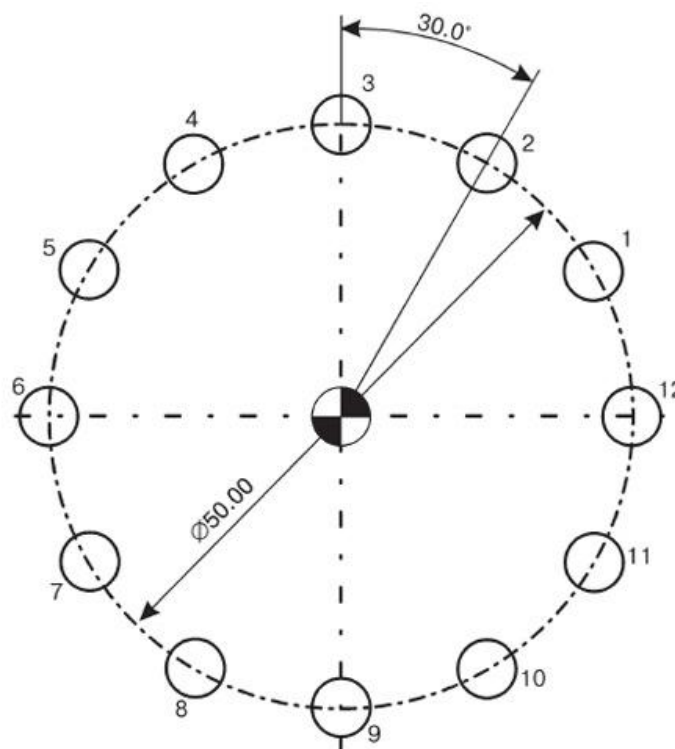


Рисунок 4.7 – Необхідно просвердлити 12 отворів діаметром 5 мм і глибиною 40 мм

## Лабораторна робота №5

### ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОГО ПРОГРАМУВАННЯ. ПІДПРОГРАМИ.

#### 5.1 Мета роботи

Здобути навички використання підпрограм для програмування обробки повторюваних елементів.

#### 5.2 Теоретична інформація

Мова G- і M-кодів, як і будь-яка інша мова програмування, дозволяє працювати з підпрограмами і здійснювати переходи. За допомогою функції підпрограми основна (головна) керуюча програма може викликати з пам'яті іншу програму (підпрограму) і виконувати її певне число разів. Якщо КП містить часто повторювану дію або працює за певним шаблоном, то використання підпрограм дозволяє спростити програму обробки і зробити її набагато меншою в розмірі.

Існують два види підпрограм – внутрішні і зовнішні. Внутрішні підпрограми викликаються за допомогою коду M97 і містяться всередині головної програми. Тобто вони знаходяться в одному файлі. Зовнішні підпрограми викликаються кодом M98 і не містяться в тілі головної програми. У цьому випадку головна програма і підпрограма знаходяться в різних файлах.

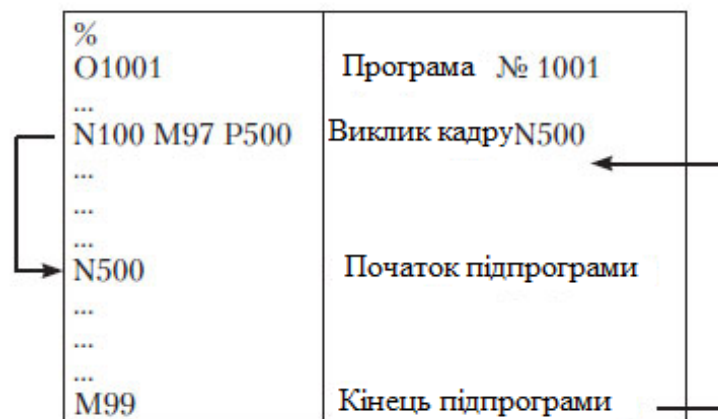


Рисунок 5.1 – Схема внутрішньої підпрограми

Внутрішня підпрограма виконується, коли СЧПК зустрічає код M97. При цьому адреса P вказує на номер кадру, до якого потрібно перейти, тобто туди, де починається внутрішня підпрограма. Коли СЧПК знаходить кадр з кодом закінчення підпрограми M99, то виконання внутрішньої підпрограми завершується і управління передається кадру головної програми, наступного за кадром, що викликав завершену підпрограму.

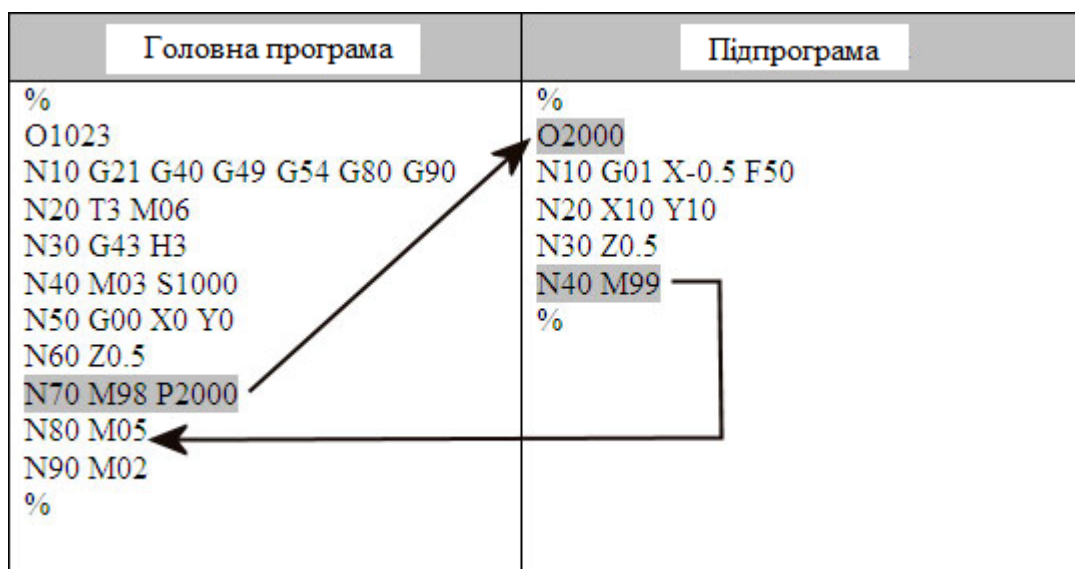


Рисунок 5.2 – Схема зовнішньої підпрограми

Зовнішні підпрограми працюють схожим чином. Коли в головній програмі зустрічається кадр з кодом M98, то викликається підпрограма з номером, встановленим за допомогою P-адреси. При знаходженні коду M99 управління повертається головній програмі, тобто виконується кадр головної програми, наступний за кадром з M98. Врахуйте, що зовнішня підпрограма знаходиться в окремому файлі. По суті, зовнішня підпрограма - це окрема програма з індивідуальним номером, яка при бажанні може бути виконана незалежно від головної програми. Для виклику підпрограми необхідно, щоб вона перебувала в пам'яті СЧПК.

Приклад КП з внутрішньою підпрограмою:

%	
O1023	Програма № 1023
N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90	рядок безпеки
N20 T3 M06	Виклик інструменту № 3
N30 G43 H3	Компенсація довжини інструменту
N40 M03 S1000	Включення оборотів шпинделя
N50 G00 X0 Y0	Позиціонування в X0 Y0
N60 Z0.5	Позиціонування в Z0.5
N70 M97 P200	Виклик внутрішньої підпрограми
N80 M05	Вимкнення оборотів шпинделя
N90 M02	закінчення програми
N200 G01 X-0.5 F50	Початок внутрішньої підпрограми
N210 X10 Y10	...
N220 Z0.5	...
M230 M99	Кінець внутрішньої підпрограми
%	

За допомогою L-адреси визначається, скільки разів потрібно викликати ту чи іншу підпрограму. Якщо підпрограму потрібно викликати всього один раз, то L в кадрі можна не вказувати.

M98 P1000 L4 - підпрограма буде викликана 4 рази.

Великою перевагою від використання підпрограм є можливість зручної і ефективної роботи з програмними масивами і шаблонами.

### 5.3 Методика виконання роботи

1. Ознайомитись з вищенаведеними теоретичними відомостями щодо особливостей використання підпрограм.
2. Згідно індивідуального завдання створити головну програму і підпрограму обробки деталі, зображеної на рис. 5.3.

### 5.4 Завдання до лабораторної роботи.

Отже, на рис. 5.3 зображена деталь з 4 групами отворів діаметром 3 мм. Нульовою точкою є верхній лівий кут деталі. Спочатку створіть головну програму, яка буде позиціонувати інструмент до кожної групи отворів. Потім напишіть підпрограму, необхідну для свердління 4 отворів в одній групі. Врахуйте, що в підпрограмі використовуються відносні координати, а зміна інструменту і основні команди знаходяться в головній програмі.

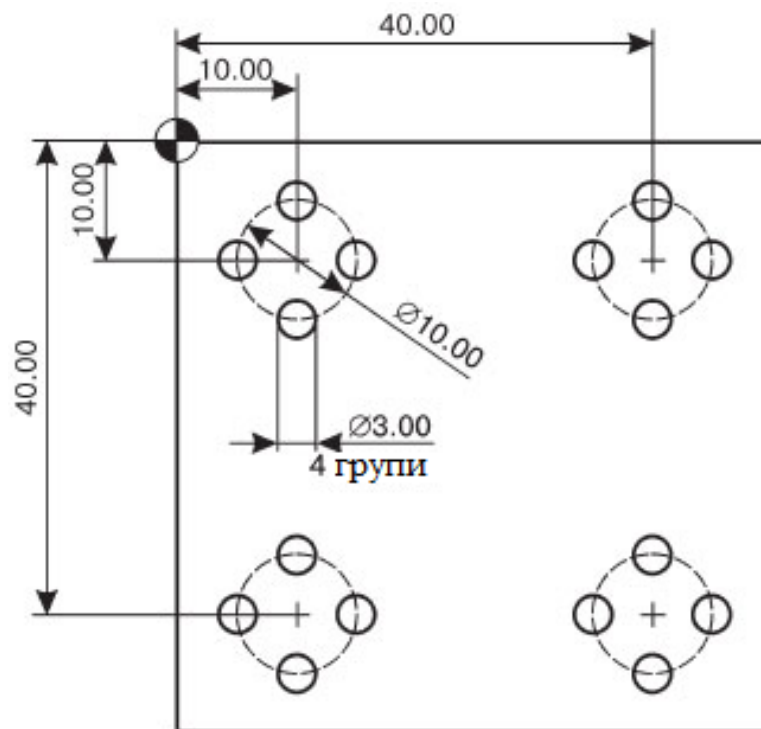


Рисунок 5.3 – Завдання до лабораторної роботи

## Лабораторна робота №6

### ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОГО ПРОГРАМУВАННЯ. РОБОТА З ВІССЮ ОБЕРТАННЯ (4-ОЮ КООРДИНАТОЮ).

#### 6.1 Мета роботи

Ознайомитись з методикою програмування обробки з використанням 4-ї координати. Навчитись створювати УП обробки для вісі обертання.

#### 6.2 Теоретична інформація

Досить часто на трьохкоординатний верстат з ЧПК додатково монтують керований поворотний стіл (ділильну головку). Керований поворотний стіл - це пристрій, який здатний повертати закріплену в ньому деталь на необхідний кут по певній команді. Зазвичай 4-а вісь управляється за допомогою адрес А чи В, а числове значення визначає кут повороту в градусах.



Рисунок 6.1 – Керовані поворотні столи HAAS

Існують два варіанти роботи з керованим поворотним столом. Перший варіант – нам просто необхідно повернути його на певний кут і потім виконати будь-яку технологічну операцію (індексація). Другий варіант - потрібно виконати фрезерування одночасно з поворотом столу (гвинтова канавка). У цьому випадку ми маємо синхронне лінійне переміщення виконавчого органу верстата за трьома (або менше) координатам з обертанням столу. При цьому СЧПК верстата повинна підтримувати даний вид інтерполяції.

Для управління поворотним столом досить в кадр з лінійною інтерполяцією, позиціонуванням або постійним циклом додати адресу А (В):

- G00 X\_Y\_Z\_A\_ - позиціонування;
- G01 X\_Y\_Z\_A\_F\_ - лінійна інтерполяція.

Типовий формат для роботи з постійним циклом:



## Методичні рекомендації до лабораторних робіт

G81 X0 Y0 Z-5 A0 F45 R0.5  
A15  
A30  
A45  
G80

Програмування 4-ої вісі не повинно викликати у вас особливих труднощів. Просто потрібно врахувати кілька технічних особливостей при роботі з керованим поворотним столом. **По-перше**, поворотний стіл може обертатися як в позитивному, так і в негативному напрямку. Напрямок обертання і відповідний знак визначаються за правилом правої руки. **По-друге**, поворот столу може бути запрограмований як в абсолютних, так і у відносних координатах. **По-третє**, у багатьох верстатів існує обмеження на числове значення кута повороту. Наприклад, вам потрібно повернути стіл на  $400^\circ$ , а СЧПУ дозволяє вказувати кут не більше  $360^\circ$ . Доведеться запрограмувати додатковий кадр з кутом в  $40^\circ$  щодо попереднього положення столу. Ну і наостанок врахуйте, що чим далі ми підемо від центру обертання, тим більшою буде помилка лінійного переміщення.

Наступні приклади допоможуть вам зрозуміти, як програмується додаткова вісь обертання. У першому випадку необхідно просвердлити отвори на периферії диска. У другому випадку потрібно отримати гвинтову канавку на поверхні вала, використовуючи одночасне лінійне переміщення фрези і обертання поворотного столу.

### Приклад №1

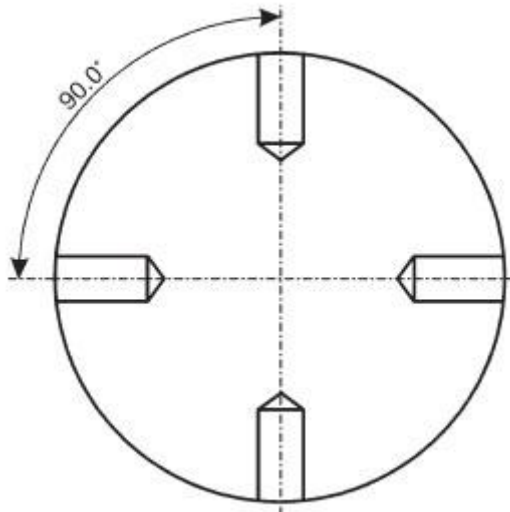


Рисунок 6.2 – Потрібно просвердлити 4 отвори на периферії диска, закріпленого в кулачках поворотного столу. Щоб просвердлити такі отвори, потрібно повертати стіл через  $90^\circ$

%	
O3000	програма O3000
N10 G21 G40 G49 G80 G90 G98	рядок безпеки
N20 G54	Робоча система координат
N30 T2 M06	Виклик інструменту № 2
N40 M03 S1000	Включення оборотів шпинделя
N50 G00 X0 Y0	Позиціонування в X0 Y0
N60 Z5	Позиціонування в Z5
N70 G81 X0 Y0 Z-10 A0 F45 R1	Цикл свердління, свердління 1-го отвору
N80 A90	Поворот столу на 90 °, свердління
N90 A180	Поворот столу на 180 °, свердління
N100 A270	Поворот столу на 270 °, свердління
N110 G80	Скасування циклу свердління
N120 G91 G00 A-270	Поворот столу в початкове положення
N130 M05	Вимкнення обертів шпинделя
N140 M30	кінець програми
%	

### Приклад №2

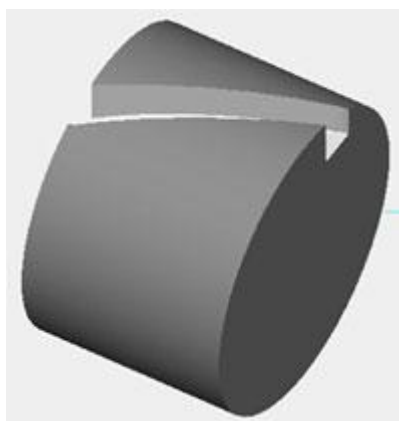


Рисунок 6.3 – Необхідно отримати гвинтову канавку на поверхні вала. Вал закріплений в кулачках керованого поворотного столу. Найпростіший спосіб обробки такої канавки – розрахунок за допомогою CAD / CAM-системи

%

## Методичні рекомендації до лабораторних робіт

O0001  
N100 G21  
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90  
N104 T1 M6  
N106 G0 G90 G54 X-16.612 Y0. A-2.993 S1000 M3  
N108 G43 H1 Z125.171 M8  
N110 Z35.605 A-10.578  
N112 G1 Z33.932 A13.459 F200.  
N234 G0 Z123.253 A3.674  
N236 M5  
N238 G91 G28 Z0. M9  
N240 G28 X0. Y0. A0.  
N242 M30  
%

### **6.3 Методика виконання роботи**

1. Ознайомитись з вищенаведеними теоретичними відомостями щодо особливостей програмування обробки з 4-ю координатою.
2. Згідно індивідуального завдання створити УП обробки деталі за допомогою поворотної вісі.
3. Виконати обробку заготовки на верстаті з ЧПК, обладнаного поворотною віссю, за принципом індексації і з поворотом заготовки з одночасною обробкою гвинтової поверхні.

### **6.4 Завдання до лабораторної роботи:**

Необхідно просвердлити  $n$  отворів на периферії диска, закріпленого в кулачках поворотного столу. Щоб просвердлити такі отвори, потрібно повертати стіл на кут  $A^\circ$ .

## Рекомендована література

1. Бочков В.М., Сілін Р.І. Обладнання автоматизованого виробництва. Навчальний посібник / За ред. Сіліна Р.І. Львів: Виробництво Державного університету “Львівська політехніка”, 2000. – 380 с.
2. Кузнецов Ю.Н. Станки с ЧПУ и станочные комплексы. Ч.2 – К.: ООО «ЗМОК» - ПП «Гнозис», 1999. – 343 с.
3. Ловыгин А.А., Васильев А.В., Кривцов С.Ю. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система. – М.: «Эльф ИПР», 2006, 286 с.
4. SINUMERIK 840D/810D/FM-NC. Руководство по программированию, Издание 03.96.
5. Морозов В.В. Программирование обработки деталей на современных многофункциональных токарных станках с ЧПУ: учеб. пособие / В.В.Морозов, В.Г.Гусев; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 236 с.
6. Руководство оператора фрезерного станка. Трансляция исходных инструкций. Haas Automation Inc. 2800 Sturgis Road, Oxnard, CA 93030-8933, U.S.A. | HaasCNC.com. 96-RU8210, Редакция А, 2016 г.
7. Руководство оператора токарного станка. Перевод оригиналов инструкций. Haas Automation Inc. 2800 Sturgis Road, Oxnard, CA 93030-8933, U.S.A. | HaasCNC.com. 96-RU8900, Редакция А, 2014 г.