

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни
“Програмна обробка в САМ системах”

для здобувачів освіти
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти,

спеціальності G11 Машинобудування,
усіх освітніх програм та форм навчання

Конспект лекцій з дисципліни «Програмна обробка в САМ системах» для здобувачів освіти за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти, спеціальності G11 Машинобудування усіх освітніх програм та форм навчання / Укл.: С. В. Танченко, М. В. Фролов – НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 87 с.

Укладач: С.В. Танченко, ст. викладач
М.В. Фролов, доцент, к.т.н.

Рецензент: В.В. Солоха, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: В.П. Загородній зав. лаб.

Затверджено на засіданні кафедри
“Металорізальні верстати та інструмент”

Протокол № 5.
від “19” 11 2025

Рекомендовано
до видання НМК
Машинобудівного факультету
Протокол № 4.
від “09” 12 2025

ЗМІСТ

ТЕМА 1. Вступ.....	4
ТЕМА 2. Структура комплексу ЧПК.....	5
ТЕМА 3. Системи координат верстата з ЧПК.....	11
ТЕМА 4. Напрями руху виконавчих органів верстатів з ЧПК	17
ТЕМА 5. Відлік переміщень у верстатах з ЧПК.....	22
ТЕМА 6. Нульові і початкові точки верстатів з ЧПК.....	25
ТЕМА 7. Траєкторія рухів інструментів.....	40
ТЕМА 8. Програмування обробки на верстатах з ЧПК.....	42
ТЕМА 9. Основи ефективного програмування.....	64
ТЕМА 10. Управління верстатом з ЧПК.....	73
ТЕМА 11. Особливості організації підготовки керуючих програм для верстатів ЧПК.....	78
ТЕМА 12. ТЕМА 12. Основи роботи в сам-системах на прикладі PowerMILL.....	81
ТЕМА13. Створення, симуляція та оптимізація траєкторій обробки в PowerMILL.....	84
Список літератури.....	87

ТЕМА 1. ВСТУП

Верстат з числовим програмним керуванням – це верстат, який керується автоматично за допомогою комп'ютера (він знаходиться всередині верстата) і програмою обробки (що управляє програмами), розробленою на основі робочого креслення деталі. До винаходу ЧПК управління верстатом здійснювалося вручну або механічно. Верстати з ЧПК здатні виконувати найрізноманітніші технологічні операції механічної, електрофізичної та інших видів обробки і не поступаються за цією ознакою універсальним і широкоуніверсальним верстатам з ручним управлінням. При виконанні технологічних операцій виконавчі (робочі) органи цих верстатів управляються електронікою, а не робочі - верстатником.

Переваги верстатів с ЧПК:

- Першим, очевидною перевагою від використання верстатів з ЧПУ є більш високий рівень автоматизації виробництва. Випадки втручання оператора верстата в процес виготовлення деталі зведені до мінімуму. Верстати з ЧПУ можуть працювати практично автономно, без перерв, випускаючи продукцію з незмінно високою якістю. При цьому головною турботою верстатника-оператора є підготовчо-заклучні операції: установка і зняття деталі, налагодження інструменту тощо. В результаті один працівник може обслуговувати одночасно кілька верстатів.

- Другою перевагою є виробнича гнучкість. Це означає, що для обробки різних деталей потрібно всього лише замінити програму. А вже перевірена і відпрацьована програма може бути використана в будь-який момент і скільки завгодно раз.

- Третьою перевагою є висока точність і повторюваність обробки. За однією і тією ж програмою можна виготовити з необхідною якістю тисячі практично ідентичних деталей. Числове програмне керування також дозволяє обробляти такі деталі, які неможливо виготовити на звичайному обладнанні. Це деталі зі складною просторовою формою, наприклад штампи і прес-форми.

Варто відзначити, що сама методика роботи за програмою дозволяє більш точно прогнозувати час обробки деякої партії деталей і відповідно більш повно завантажувати обладнання.

Верстати з ЧПК коштують досить дорого і вимагають великих витрат на установку і обслуговування, ніж звичайні верстати. Проте їх висока продуктивність легко може переkritи всі витрати при грамотному використанні і відповідних обсягах виробництва.

Осьовими переміщеннями верстата з ЧПК керує комп'ютер, який читає керуючу програму (КП) і видає команди відповідним двигунам. Двигуни змушують переміщатися виконавчі органи верстата - робочий стіл або колону зі шпинделем. В результаті відбувається механічна обробка деталі. Датчики, встановлені на напрямних, посилають інформацію про фактичну позицію виконавчого органу назад в комп'ютер. Це називається зворотним зв'язком. Як тільки до комп'ютера доходить сигнал про те що виконавчий орган верстата знаходиться в необхідній позиції, він виконує наступне переміщення. Такий процес триває, поки читання керуючої програми не підійде до кінця.

За своєю конструкцією і зовнішнім виглядом верстати з ЧПК схожі на звичайні універсальні верстати. Єдина зовнішня відмінність цих двох типів верстатів полягає в наявності у верстата з ЧПК пристрою числового програмного керування (ПЧПК), який часто називають стійкою ЧПК.

ТЕМА 2. СТРУКТУРА КОМПЛЕКСУ ЧПК

2.1. Класифікація систем числового програмного керування

Система числового програмного керування (СЧПК) - сукупність функціонально взаємопов'язаних та взаємодіючих технічних та програмних засобів, які забезпечують ЧПК верстатом.

Програмне забезпечення СЧПК - сукупність програм та документацій для реалізації цілей та задач СЧПК.

Класифікація СЧПК:

1. За рівнем технічних можливостей:

NC (numerical control) – системи засновані на читанні перфострічки, CNC (computer numerical control) - системи із вбудованою процесорною машиною, DNC - системи прямого ЧПК групами верстатів від однієї електронно обчислювальної машиною, слугує для організації роботи обладнання у складі гнучких виробничих систем, HNC- оперативні системи з ручним набором

програм на пульті керування, PCNC (Personal computer numerical control) - системи побудовані на основі ПК у промисловому виконанні. Зараз розробляються та втілюються системи STEP NC CNC - система побудована на основі PCNC призначена для автоматичного програмування, для цього вона повинна включати CAD, CAPP, CAM. CAPP - модулі, що дозволяють розробляти технологію. VNC (Voice computer numerical control) - система дозволяє персоналу, використовуючи звичайні англійські слова, вимовляти команди, необхідні для програмування деталей, що виключає необхідність перетворення інформації в формат, сумісний з комп'ютером. При використанні VNC, людина усно викликає кожну основну операцію. Система є інтерактивною в тому сенсі, що кожна команда відображається послідовно для позитивної перевірки, після чого відображається наступний необхідний запис.

Всі сучасні СЧПК мають клас не нижче CNC тобто мають в основі ПК з відповідними можливостями. СЧПК класів CNC, DNC, HNC і вище відносяться до пристроїв із перемінною структурою. Тобто алгоритми роботи цих пристроїв задаються програмно і можуть змінюватись для різноманітних умов - це дозволяє знизити номенклатуру пристроїв ЧПК і прискорити їх опанування.

2. За технологічним призначенням:

Позиційні - є найпростішим видом керуючої системи. По кожній координатній осі програмується тільки величина переміщення виконавчого органу до заданої позиції, а траєкторія переміщення може бути довільною. Переміщення між позиціями виконується на максимальній швидкості (холостому ході). Переміщення в процесі обробки після досягнення заданої позиції допускається виключно по прямій лінії і з робочою подачею.

Позиційні системи ЧПК використовуються, коли обробка відбувається тільки в певних позиціях на площині, наприклад, в свердильних і координатно-розточувальних верстатах.

Контурні - реалізують рух виконавчого органу верстата одночасно за двома і більше осями координат, за рахунок чого з'являється можливість виконувати обробку контурів і поверхонь складної форми. Контурні системи ЧПК забезпечують автоматичне переміщення виконавчих органів верстата за управляючою програмою, яка задає траєкторію переміщення і контурну швидкість, з якою воно виконується

У даних системах використовують багатокоординатний (як мінімум двох координатний) інтерполятор, що видає управляючі сигнали відразу на відповідну кількість приводів подач.

Комбіновані (універсальні) - відповідають у повному обсязі вимогам позиційних і контурних систем.

Багатоцільові верстати з ЧПК оснащуються, як правило, комбінованими системами керування, що дозволяє оптимізувати керування верстата залежно від виду обробки.

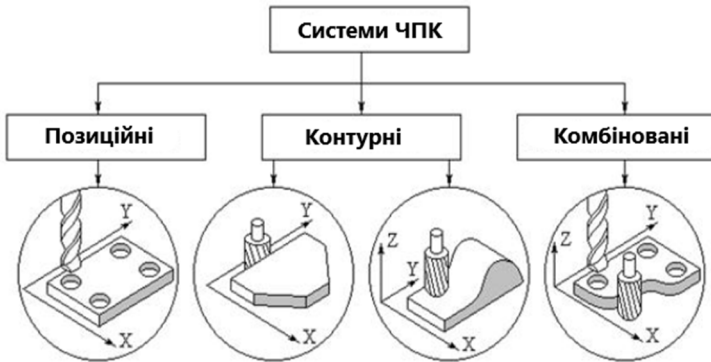


Рис. 1.1-Класифікація систем ЧПК за технічним призначенням

3. За числом потоків інформації:

- Розімкнуті системи (імпульсно-крокові) мають тільки один потік інформації від керуючої машини до виконавчого механізму верстата. Передбачається, що усі вузли машини й агрегати верстата мають 100% надійність при передачі інформації.

Для забезпечення такої високої надійності передачі інформації ці верстати і системи передбачають ряд конструктивних змін у приводах переміщення виконавчих механізмів. Так, ходові гвинти тертя ковзання замінюються на кулькові гвинтові пари, що не мають ні кінематичних, ні пружних люфтів. Редуктори в таких приводах при реверсі руху не повинні мати люфтів, що досягається рядом конструктивних прийомів (бічне підтискання косозубого зачеплення за рахунок зсуву одного з валів за допомогою гідравліки, різні зубчасті колеса розперті в різні боки за допомогою пружин тощо).

- Замкнута система керування має два потоки інформації: один від керуючої машини до верстата, інший від верстата через датчик

зворотного зв'язку (ДЗЗ) до машини. Наявність датчика зворотного зв'язку знижує вимоги до приводів верстатів, однак така система складніша і дорожча. У той самий час це не вирішує проблеми підвищення точності обробки деталей, тому що датчик не охоплює головну ланку системи - деталь.

- Адаптивна система, що здатна пристосовуватися до реальних умов обробки. Наприклад: система контролює величину кутового моменту на шпинделі. У випадку збільшення кутового моменту, відбувається зменшення подачі, при зміні припуску на будь - яку поверхню відбувається зміна глибини різання і т.д. Для цього верстат обладнується цілим комплексом датчиків, кожен з яких має свій зворотний зв'язок. Таким чином, ці системи можуть мати більше двох потоків інформації.

4. За числом керованих координат/одночасно керованих координат: 2/2...3/3...5/3...5/5...

5. За типом приводу:

- Кроковий привід;

В таких приводах найважливішими системами є кроковий електродвигун і гідравлічний підсилювач. У такому приводі імпульси програми подаються на вхід електронного комутатора 1 (рис. 2.1). Комутатор змінює свій стан при подачі кожного імпульсу, а ця зміна спричинює (через підсилювач потужності 2) переключення фаз крокового електродвигуна 3 і поворот його на кутовий крок, який становить $1,5...3^\circ$. Кроковий двигун приводить у рух вхідний вал гідропідсилювача 4, який підсилює обертовий момент і передає його гідродвигуну 5, що зв'язаний з вхідним валом гідропідсилювача 4 ланкою механічного зворотного зв'язку 6. Кількість імпульсів, підведених до привода, визначає величину переміщень, а їх частота - швидкість руху.

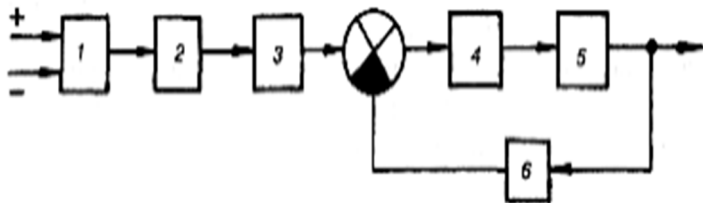


Рис.2.1-Структурна схема крокового приводу

- Слідкуючий привід.

Управління слідкуючим приводом (рис. 2.2) здійснюється на підставі визначення різниці Δ значень абсолютних координат у блоці неузгодженості, перетворення цього кодового значення в аналоговий сигнал Δu , який і буде відпрацьований приводом подачі виконавчого органу до тих пір, поки неузгодженість Δ не стане нульовою. В результаті слідкуючий привід буде приведений у рух і після пересування виконавчого органу на величину Δx датчик зворотного зв'язку по положенню зафіксує це у відповідному сигналі, і слідкуючий привід зупиниться.

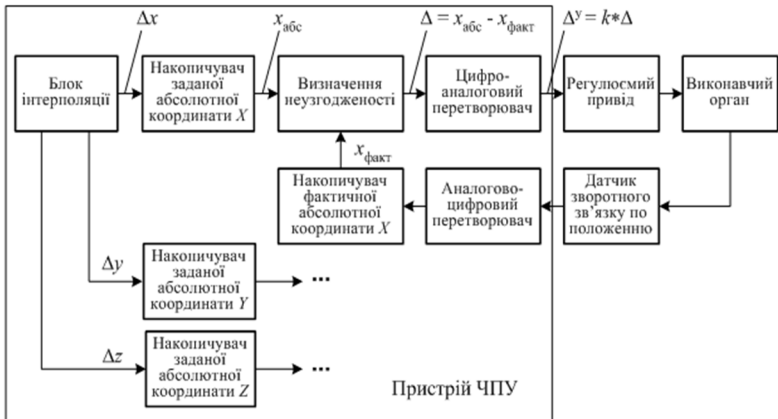


Рис.2.2-Структурна схема слідкуючого приводу

6. За способом підготовки і введення керуючих програм:

- Оперативні системи

В таких системах керуюча програма готується та редагується безпосередньо на верстаті у процесі обробки першої деталі в партії або імітації її обробки на стійці.

- Системи незалежні від місця обробки деталі

Підготовка керуючої програми може виконуватися з використанням обчислювальної техніки, що входить у склад системи ЧПК даного верстата, або без неї (вручну або за допомогою системи автоматизації програмування).

Основні функції СЧПК:

1. Введення та зберігання програмного забезпечення; керуючих програм.
2. Здійснення різних видів інтерполяцій.
3. Керування приводу головного руху, подач, допоміжного.
4. Вирішення логічних задач керувань.
5. Реалізація циклів обробки; керування.
6. Реалізація корекції лінійних та кутових розмірів; похибок механічних та лінійних пристроїв.
7. Адаптивне керування обробкою.
8. Діагностичні функції що до верстата то і до самої системи ЧПК.
9. Діалог з оператором, або комп'ютером більш високого рівня.
10. Накопичення статистичної інформації.
11. Керування змінну інструменту та іншими допоміжними функціями.

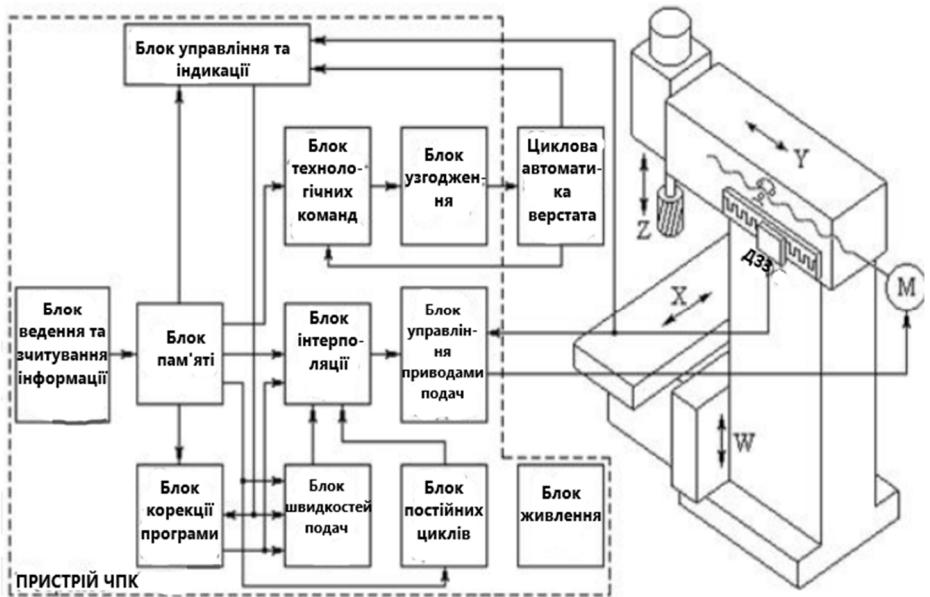


Рис.2.3- Загальна структурна схема СЧПК

2.2 Пристрій числового програмного керування (ПЧПК)

Це пристрій, що видає керуючі впливи на виконавчі органи верстата у відповідності з керуючою програмою та інформацією про стан об'єкта, що керується.

ПЧПК верстата - частина СЧПК пов'язана конструктивною єдністю, яка здійснює видачу керуючих дій згідно заданої програми.

Апаратний ПЧПК - пристрій ЧПК алгоритми роботи якого реалізуються схемним шляхом і не можуть бути змінені після виготовлення пристрою.

Програмні ПЧПК - пристрій ЧПК алгоритми роботи якого реалізуються за допомогою програм, що вводяться до його пам'яті та можуть бути змінені після виготовлення пристрою.

Мікропроцесор - універсальний цифровий електронний блок, реалізований з великою ступінню інтеграції в якому функція, що виконується визначається після зчитування шляху програмування.

Основні функції ПЧПК:

1. Геометрична задача - керування формоутворенням при обробці.
2. Термінальна задача: взаємодія з оператором, взаємодія з ЕОМ високого рівня.
3. Технологічна задача - керування робочим процесом.
4. Керування автоматикою.

ТЕМА 3. СИСТЕМИ КООРДИНАТ ВЕРСТАТА З ЧПК

Обробка заготовки на верстаті з ЧПК виконується за командами керуючої програми, які в числовій формі задають величини окремих переміщень виконавчих органів. Тому для коректного функціонування верстата з ЧПК використовуються певні системи координат, за допомогою яких встановлюються просторові координати будь-якої точки в межах робочої зони верстата.

У верстатах з ЧПК найчастіше використовуються системи координат двох видів:

- прямокутна.
- полярна.

3.1 Прямокутна система координат

Прямокутна система координат є найпоширенішою системою координат для верстатів з ЧПК. Вона містить дві осі координат (двовірна система) - для визначення положення точок на площині, або три осі (тривимірна система) - для визначення положення точок в просторі.

Для прямокутної системи координат характерні наступні ознаки:

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

У прямокутній системі координат на площині положення всіх крапок, що лежать на даній площині, описується двома координатами. На (рис. 3.1) зображена така система координат з осями координат X і Y . Можливі і інші комбінації осей, залежно від компоновки верстата. Відстань до осі Y визначається як координата X , а відстань до осі X як координата Y . Значення координат точок на площині можуть мати як додатні, так і від'ємні значення. Дана система координат широко застосовується в токарних верстатах з ЧПК і при обробці листових матеріалів.

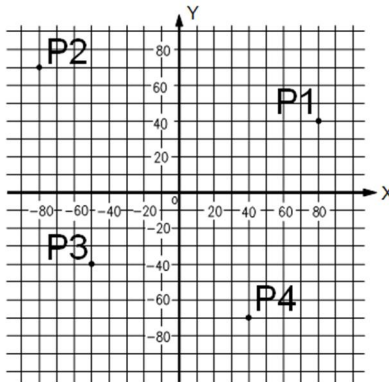


Рис.3.1- Прямокутна система координат

За допомогою просторової прямокутної системи координат описується положення будь-яких точок в геометричному просторі.

Для визначення положення будь-якої точки в просторі необхідно знати її координати за трьома осями - X, Y і Z (рис. 3.2). Як і у випадку з плоскою системою координат, значення координат точок в просторі можуть мати як додатні, так і від'ємні значення. Дана система координат дозволяє описувати всі точки робочого простору верстата незалежно від розташування заготовки і застосовується у фрезерних, свердлувальних і розточувальних верстатах з ЧПК.

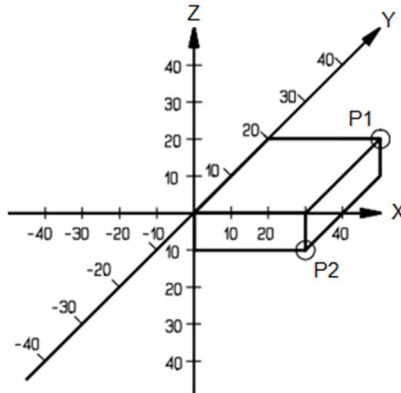


Рис.3.2- Просторова прямокутна система координат

Прийнята для верстатів з ЧПК просторова прямокутна система координат має певну орієнтацію координатних осей. Орієнтацію визначають за правилом правої руки (рис. 3.3), при якій пальці правої руки указують додатній напрям кожної осі. Тому дана система координат одержала назву правої системи.

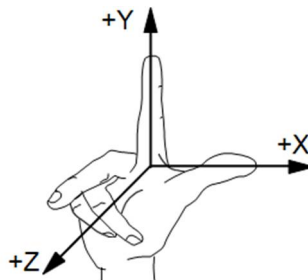


Рис.3.3 - Правило правої руки

3.2 Полярна система координат

Якщо оброблюваний контур є ламаною лінією, то за допомогою прямокутної системи координат можна легко задати всі характерні точки його профілю. Проте ситуація змінюється, якщо необхідно, наприклад, виконати на площині свердлення групи отворів, розташованих по колу (рис. 3.4). Якщо для отвору 1 координати розташування його осі в прямокутній системі координат можна розрахувати достатньо просто, то розрахунок розташування осей для всіх інших отворів буде набагато більш трудомістким.

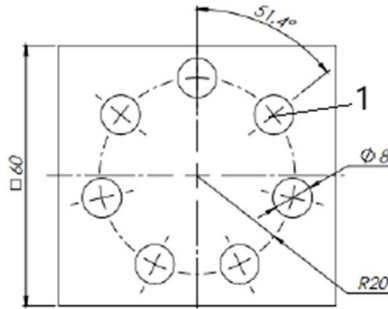


Рис.3.4- Деталь з групою отворів, розташованих по колу

В цьому випадку обчислення зручніше виконувати в полярній системі координат (рис. 3.5). У полярній системі координат положення точки на площині визначається відстанню (радіусом) r від точки до початку координат і кутом α між певною віссю координат і радіусом, проведеним в точки з початку координат. Як правило, в полярній системі координат на площині XY кут α визначається від осі X . Кут α може мати як додатне, так і від'ємне значення. Додатне значення – якщо він відкладений в напрямі протилежному руху годинникової стрілки від області додатних значень координат по осі X (рис 3.5А); від'ємне значення – якщо він відкладений в напрямі по ходу руху годинникової стрілки від області додатних значень координат по осі X (рис 3.5Б).

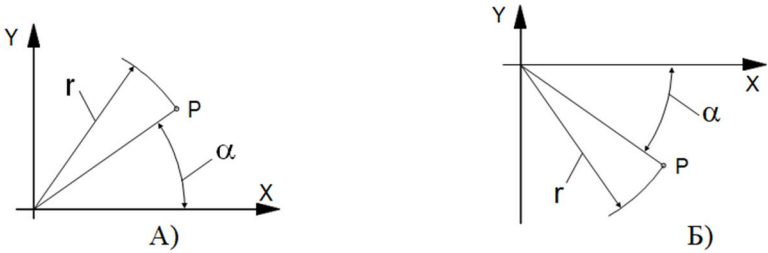


Рис.3.5.- Додатне (А) і від'ємне (Б) значення кута у полярній системі координат.

3.3 Додаткові поворотні осі координат

Не дивлячись на те що за допомогою 3-х координатної прямокутної системи координат описується положення будь-яких точок в геометричному просторі, в сучасній механообробці часто виникає необхідність у виготовленні таких складних поверхонь, що недостатньо використовувати переміщення виконавчих органів тільки за трьома осями координат.

У таких ситуаціях використовують просторову прямокутну систему координат з додатковими осями координат. Додаткові осі координат є поворотними осями, які розташовуються навколо основних лінійних осей X , Y і Z (рис. 3.6). Вісь обертання навколо осі X позначається як вісь A , вісь обертання навколо осі Y – як вісь B , вісь обертання навколо осі Z – як вісь C . Якщо верстат має декілька виконавчих органів які рухаються вздовж однієї лінійної вісі, то для зручності використовують додаткові вторинні та третинні осі.

Вторинні осі: U , V , W що відповідають переміщенням вздовж осей X , Y , Z відповідно.

Третинні осі: P , Q , R що відповідають переміщенням вздовж осей X , Y , Z відповідно.

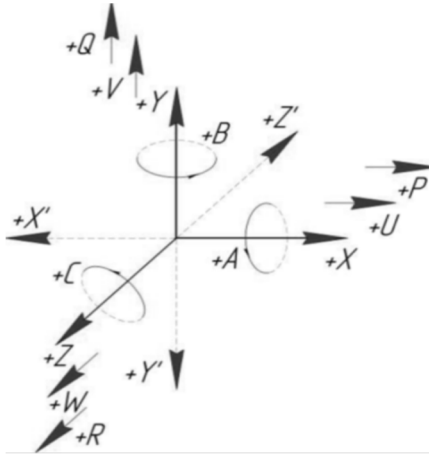


Рис.3.6- Прямокутна система координат з додатковими осями

Координати по поворотних осях також можуть мати як додатні, так і від'ємні значення. За додатній напрям (від «мінуса» до «плюса») поворотної координатної осі приймається напрям за годинниковою стрілкою, якщо дивитися на вісь обертання в додатному напрямі відповідної їй лінійної осі.

Прямокутну систему координат з додатковими поворотними осями можна також представити також як просторову полярну систему координат (рис. 3.7).

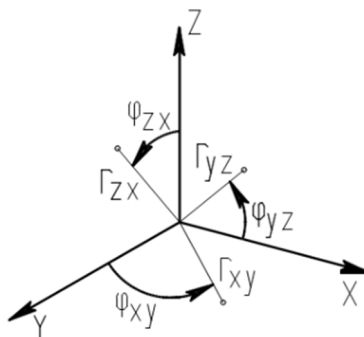


Рис.3.7-. Просторова полярна система координат

ТЕМА 4. НАПРЯМИ РУХУ ВИКОНАВЧИХ ОРГАНІВ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Для верстатів з ЧПК прийнята єдина система координат, рекомендована Міжнародною організацією по стандартизації (ISO), – прямокутна система координат. Число координатних осей, їх розташування в просторі і початок відліку (нульова точка верстата) встановлюються виробником верстата і не підлягає зміні користувачем. Система координат верстата є основною розрахунковою системою для ЧПК, в якій визначаються граничні переміщення, початкові і поточні положення виконавчих органів верстата.

Для зручності програмування процесу обробки у верстатах з ЧПК прийнято координатні осі завжди орієнтувати паралельно напрямним верстата. Залежно від типу верстата розташування осей координат в просторі може бути різним, але існують наступні загальні правила.

1. Вісь Z завжди суміщена з віссю обертання шпинделя. Її додатній напрям завжди співпадає з напрямом переміщення від пристрою для кріплення заготовки до ріжучого інструменту.

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

3. Якщо вісь Z розташована горизонтально, то додатним напрямом осі X вважається напрям переміщення праворуч, якщо встати лицем до лівого – щодо передньої площини – торцю верстата. (Передня площина верстата – сторона, з якою розташовуються пульт і основні органи керування верстатом).

4. Якщо вісь Z розташована вертикально, то додатним напрямом осі X вважається напрям переміщення праворуч, якщо встати лицем до передньої площини верстата.

5. Додатний напрям осі Y визначається по одному з наступних правил:

– Дивлячись уздовж осі Z в додатному напрямі, подумки повернути вісь X на 90° за годинниковою стрілкою навколо осі Z .

– Правило правої руки: якщо подумки помістити долоню правої руки в початок координат так, щоб вісь Z виходила з долоні

перпендикулярно до нею, а відігнутий під кутом 90° до долоні великий палець показував додатний напрям осі X , то вказівний палець показуватиме додатний напрям осі Y .

4.1 Координатна система заготовки

Система координат заготовки задається технологом або програмістом при розробці технології виготовлення деталі на верстаті з ЧПК (рис 4.1). Початкова точка, від якої система ЧПК починає відлік переміщення виконавчих органів верстата при обробці заготовки за керуючою програмою, називається нульовою точкою заготовки. Нульова точка заготовки не має постійних координат. Кожного разу при зміні конфігурації і розмірів деталі нульова точка заготовки призначається наново – залежно від конфігурації деталі, технології обробки і зручності наладки верстата.

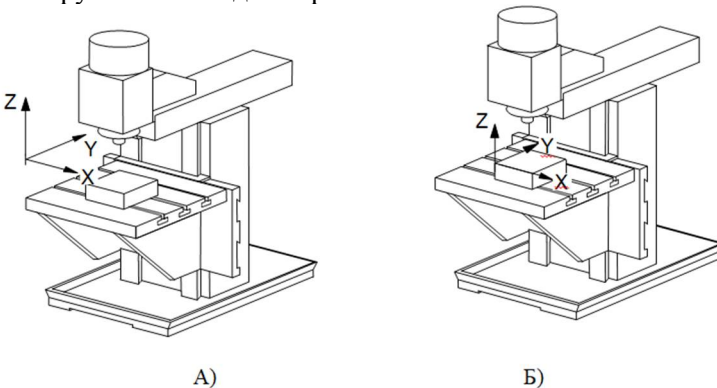


Рис.4.1- Системи координат верстата (А) і заготовки (Б)

4.2 Рекомендації щодо визначення систем координат заготовки при фрезерній обробці

Широкі можливості фрезерної обробки на верстатах з ЧПК дозволяють використовувати різні системи координат заготовки. Виходячи з особливостей конструкції фрезерних верстатів і власне процесу фрезерування, звичайно рекомендується наступна координатна система, в рівній мірі зручна для програмування і обробки.

Ця система координат заготовки є прямокутною координатною системою з осями XYZ (рис. 4.2). Вісь Z даної системи співпадає з віссю головного робочого шпинделя фрезерного верстата, при цьому додатним напрямом осі є напрям від заготовки до місця затиску інструменту в шпинделі.

Якщо заготовка має в плані прямокутну форму, то осі X і Y співпадають із сторонами заготовки. Якщо заготовка має в плані форму, відмінну від прямокутної, то або вісь X, або вісь Y розташовують по одній із сторін заготовки. При цьому якщо дивитися з боку передньої площини верстата, додатний напрям осі X йде зліва направо, а осі Y – від передньої площини верстата.

Як початок відліку системи координат заготовки (нульової точки заготовки) для полегшення розрахунку координат при складанні програми звичайно обирається точка на одному із зовнішніх кутів контура заготовки.

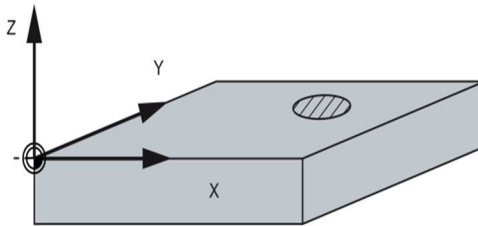


Рис.4.2- Рекомендована система координат заготовки при фрезерній обробці

4.3 Рекомендації щодо визначення систем координат заготовки при токарній обробці

Для токарної обробки на верстаті з ЧПК найпоширенішою є плоска прямокутна система координат заготовки, осі якої звичайно називаються X і Z. У цій системі віссю Z є вісь головного шпинделя верстата, при цьому додатним напрямом осі Z є напрям від місця кріплення заготовки в шпинделі до ріжучого інструменту. Вісь X розташована перпендикулярно осі Z, а її додатний напрям залежить від положення інструменту щодо осі Z (рис. 4.3). Але у будь-якому випадку додатним напрямом осі X є переміщення, при якому інструмент віддаляється від заготовки.

Як початок відліку системи координат заготовки (нульової точки заготовки) для полегшення розрахунку координат при складанні програми звичайно обирається точка яка є точкою перетину вільного торця заготовки та осі заготовки (осі Z).

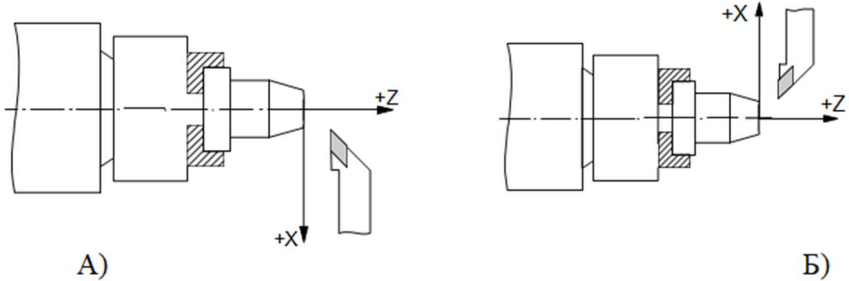


Рис.4.3- Система координат заготовки при токарній обробці, в якій інструмент направлений до осі обертання від передньої площини верстата (А), і в якій інструмент направлений до осі обертання у бік передньої площини верстата (Б).

4.4 Положення і позначення координатних осей у верстатах з ЧПК

За технологічними ознаками і можливостями верстата з ЧПК класифікуються за групами так само, як і універсальні верстати. При цьому залежно від компоновки верстата з ЧПК міняється вигляд і просторове розташування його системи координат.

Для фрезерних верстатів з ЧПК використовується просторова координатна система, як правило, прямокутна (рис 4.4). Визначальним чинником для просторового розташування осей координатної системи є орієнтація в просторі осі робочого шпинделя. Вісь шпинделя фрезерного верстата завжди співпадає з віссю Z. Додатним напрямом осі Z є напрям від місця кріплення заготовки на робочому столі до місця кріплення ріжучого інструменту в шпинделі. Якщо вісь Z (вісь шпинделя) розташована вертикально, то такий верстат є вертикально-фрезерним верстатом, якщо вісь Z розташована горизонтально, то - горизонтально-фрезерним верстатом.

Просторове розташування і додатний напрям двох інших основних осей координат X і Y визначається відповідно до «правила правої руки».

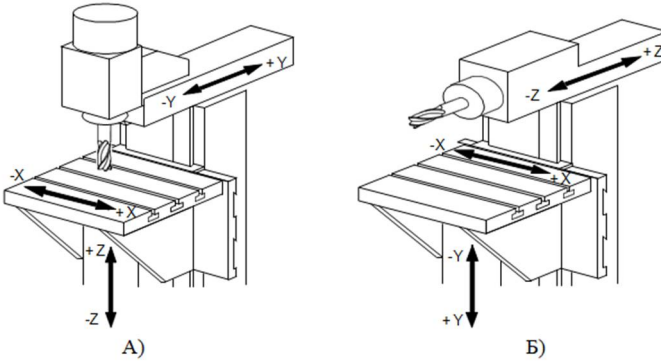


Рис.4.4-Система координат вертикально-фрезерного верстата (А) і горизонтально-фрезерного верстата (Б)

Для токарних верстатів з ЧПК найпоширенішою є плоска прямокутна система координат з осями Z і X . Як і у випадку з фрезерними верстатами визначальним чинником для просторового розташування осей координатної системи є орієнтація в просторі осі робочого шпинделя, яка завжди співпадає з віссю Z . Вісь X розташована перпендикулярно осі Z (рис. 4.5).

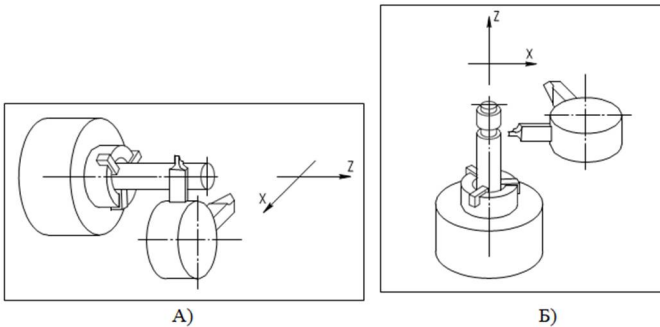


Рис.4.5- Система координат токарного верстата з горизонтальним (А) і вертикальним (Б) розташуванням шпинделя

Якщо робочий шпиндель токарного верстата з ЧПК має можливість здійснювати додаткові переміщення, то до двох лінійних осей координат Z і X додається ще одна координатна вісь – вісь обертання C навколо осі Z (рис. 4.6).

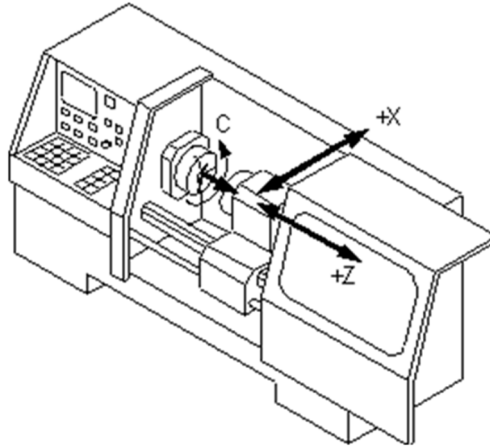


Рис.4.6- Система координат токарного верстата з можливістю додаткового обертання шпинделя навколо осі Z

ТЕМА 5. ВІДЛІК ПЕРЕМІЩЕНЬ У ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Обробка різанням на верстаті здійснюється в процесі взаємного переміщення ріжучого інструменту і заготовки. Кількість та величина переміщень, що здійснюються інструментом і заготовкою, та їх напрями в просторі у кожному конкретному випадку залежать від типу обробки і конструкції верстата. Наприклад, при обробці на вертикально-фрезерному верстаті заготовка виконує переміщення по горизонтальній осі X і вертикальній осі Z, а інструмент – по горизонтальній осі Y. При обробці на горизонтально-фрезерному верстаті заготовка виконує переміщення по горизонтальній осі X і вертикальній осі Y, а інструмент - по горизонтальній осі Z. В результаті, опис переміщень виконавчих органів для верстатів різної конструкції при обробці однієї і тієї ж заготовки має різний вигляд.

Щоб опис напрямку і виду переміщень виконавчих органів верстата мав однаковий вигляд для верстатів різних конструкцій, прийняте універсальне правило для верстатів з ЧПК: вважається, що в процесі обробки всі переміщення здійснює тільки інструмент, а заготовка залишається нерухомою.

Також існує ще одне універсальне правило, що стосується напрямку переміщень виконавчих органів. Це правило, на відміну від

першого носить не обов'язковий, а рекомендаційний характер: бажано погоджувати координатні системи верстата і заготовки між собою таким чином, щоб як можна більша кількість осей координат заготовки співпадала або була паралельно координатним осям верстата. Звичайно в цьому випадку трудомісткість створення керуючої програми є мінімальною, оскільки використовуються координати точок заготовки які вказані на креслені. У свою чергу мінімізація і спрощення керуючої програми веде до зменшення вірогідності появи помилки, допущеної при створенні програми.

5.1 Способи відліку переміщень у верстатах з ЧПК

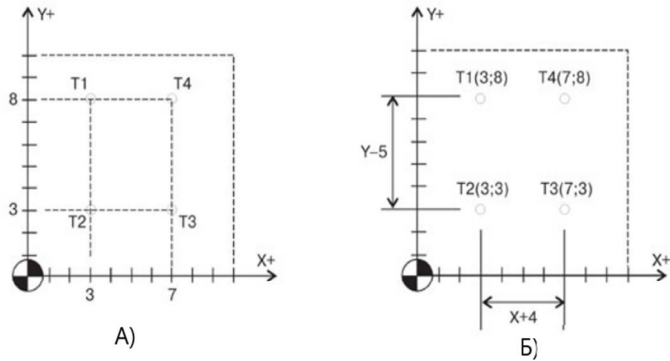
У сучасних верстатах з ЧПК застосовуються два способи відліку переміщень виконавчих органів верстата – в абсолютній і відносній системах координат.

У абсолютній системі координат всі переміщення, що виконуються верстатом, задаються в такій системі координат, початок відліку якої залишається незмінним при всіх переміщеннях (див. мал.). Як незмінний (фіксованого) початок координат обирається деяка точка в просторі, що лежить в області переміщень виконавчих органів верстата. Як правило, в якості цієї точки обирається нульова точка заготовки.

У відносній системі координат кожне переміщення виконавських органів верстата задається щодо кінцевої точки останнього переміщення, тобто задається в приращеннях (рис.5.1).

Поширенішим є спосіб відліку переміщень в абсолютній системі координат. Це обумовлено тим, що в загальному випадку він має ряд переваг, а саме:

- розрахунки в абсолютній системі координат менш складні і вимагають більш низької кваліфікації оператора;
- вказування координат шляху інструмента від одного і того ж початку координат, дозволяє простіше відстежувати етапи реалізації керуючої програми;



Точка	Абсолютні координати		Відносні координати	
	Координата осі X	Координата осі Y	Координата осі X	Координата осі Y
T1	3	8	3	8
T2	3	3	0	-5
T3	7	3	4	0
T4	7	8	0	5

Рис.5.1- Відлік переміщень в абсолютній (А) і відносній Б) системі координат.
Координати переміщень.

- помилка при програмуванні в абсолютній системі координат приводить до неправильного призначення координат тільки однієї точки, тоді як в результаті помилки при призначенні відносних координат помилковим буде не тільки конкретне неправильно задане переміщення, але і всі подальші за ним переміщення;

- зміни в переміщеннях, що вносяться при доробці виробу або редагуванні програми, не впливають на подальші переміщення;

- похибка виготовлення і вимірювання не накопичуються (не підсумовуються).

Проте призначення переміщень у відносній системі координат у ряді випадків може виявитися зручнішим для програмування, наприклад у разі виконання цілого ряду переміщень, кожне з яких задане на кресленні в приростах щодо попереднього.

ТЕМА 6. НУЛЬОВІ І ПОЧАТКОВІ ТОЧКИ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

6.1 Типи систем координат за призначенням з ЧПК

При роботі на універсальних верстатах з ручним керуванням необхідні розміри деталей досягаються, як правило, шляхом обробки заготовки щодо її базових поверхонь. На верстатах з ЧПК необхідні розміри деталей досягаються шляхом обробки заготовки щодо початку відліку вибраної системи координат.

Фактично, при роботі на верстаті з ЧПК доводиться мати справу не з однією, а одночасно з декількома системами координат, найважливішими з яких є наступні три:

1. Координатна система верстата. Система координат верстата є головною розрахунковою системою, в рамках якої визначаються граничні переміщення виконавчих органів верстата, а також їх початкові і поточні положення.

2. Координатна система деталі. Система координат деталі є головною системою для програмування обробки і призначається кресленням або ескізом технологічної документації. Вона має свої осі координат і свій початок відліку, щодо якого визначені всі розміри деталі і задаються координати всіх опорних точок контура деталі. Опорними точками в цьому випадку вважаються точки початку, кінця і перетину або торкання геометричних елементів деталі, які утворюють її контур і впливають на траєкторію інструменту на технологічних переходах.

3. Координатна система інструменту. Система координат інструменту призначена для завдання положення його ріжучої частини щодо державки у момент обробки. Початком відліку координатної системи інструменту є точка, від якої починається запрограмоване переміщення робочого інструменту. Ця точка називається нулем інструменту або нулем обробки. Як правило, координати нуля обробки задаються в координатній системі деталі, але при цьому координати нуля обробки можуть не співпадати з нулем деталі.

6.2 Призначення нульових и початкових точок верстата з ЧПК

При розробці технологічного процесу обробки деталі на верстаті з ЧПК необхідно визначити початкову точку переміщень, з якою починається виконання команд керуючої програми. Найкращим буде таке розташування початкової точки переміщень, при якому вона співпадає з нулем інструменту, а координатні осі деталі і верстата паралельні одна одній. В цьому випадку процес програмування траєкторій переміщення виконавчих органів верстата значно спрощується, отже, знижується вірогідність появи помилок в керуючій програмі.



Нульові і початкові точки основних систем координат, що використовуються при роботі на верстатах з ЧПК, як правило, мають спеціальні позначення, за допомогою яких вказується їх розташування на пульті верстата або на ескізах технологічної документації. Ці позначення звичайно складаються з піктограми і прописної букви латинського алфавіту.

У зв'язку з тим, що немає загальноприйнятої системи умовних позначень та їх тлумачення, в таблиці 6.1 приведенні найпоширеніший вид спеціальних позначень.

Нульова точка верстата M є початковою точкою системи координат, що відноситься до даного верстата. Положення цієї точки на верстаті встановлюється виробником і не підлягає зміні. Зазвичай точку M суміщають з базовою точкою виконавчого органу, що несе заготовку, при його положенні, коли всі переміщення виконавчих органів знаходяться у області додатних значень координат.

Таблиця 6.1 Умовні позначення точок нульових а початкових точок верстата з ЧПК

Піктограма	Позначення латинською буквою	Значення
	M	Нульова точка верстата (нуль верстата, машинна нульова точка)
	R	Початкова точка верстата (відносна нульова точка)

	W	Нульова точка заготовки (нульова точка деталі)
	E	Нульова точка інструмента (нуль обробки)

Як правило, у токарних верстатів точка *M* розташовується на перетині осі заготовки та її базового торця; у вертикально-фрезерних верстатах – у лівому верхньому куті робочого столу в передній площині верстата (рис. 6.2).

Початкова точка верстата *R* використовується для контролю переміщень виконавчих органів верстата при відліку переміщень в прирощеннях (у відносній системі координат). Координати точки *R* мають постійне значення щодо точки *M*, при цьому положення точки *R* за кожною віссю координат фіксується датчиком і враховується керуючою програмою (рис. 6.2). За допомогою точки *R* встановлюється зв'язок між нульовою точкою верстата *M* і точкою автоматичного виходу в нуль слідкуючих приводів подач після кожного включення і виключення живлення на верстаті. Після включення живлення на верстаті для калібрування системи відліку відносних переміщень необхідно по кожній осі координат вивести виконавчі органи в точку *R*.

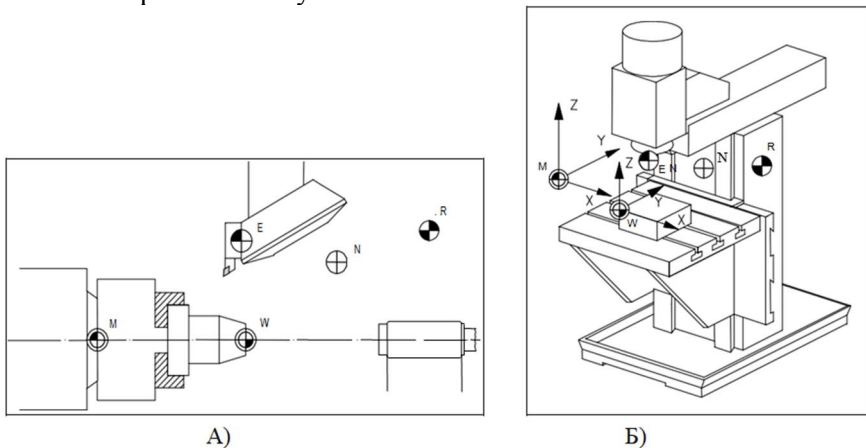


Рис.6.2- Розташування нульових точок на токарному (А) і на вертикально-фрезерному (Б) верстаті з ЧПК

Нульова точка заготовки W є початком системи координат заготовки. Її розташування в системі координат верстата призначається вільно, виходячи з особливостей процесу обробки даної заготовки (рис. 6.2). З практичних міркувань звичайно прагнуть до поєднання точки W з початком відліку розмірів на кресленні. В цьому випадку при створенні керуючої програми можна використовувати розмірні дані безпосередньо з креслення.

Наприклад, при токарній обробці точка W , як правило, призначають по осі обертання шпинделя по лівому або правому торцю заготовки (залежно від відносного розташування інструменту). Розташування точки W в процесі обробки однієї заготовки може мінятися, якщо, наприклад, заготовка обробляється з двох сторін (рис. 6.3).

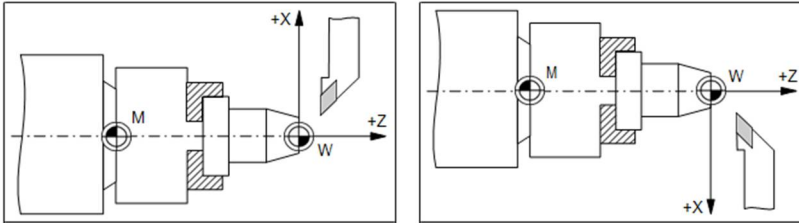


Рис.6.3- Розташування нульової точки заготовки при роботі на токарному верстаті з ЧПК

На кресленнях фрезерних деталей за базу при вказуванні розмірів зазвичай приймається один з кутів її зовнішнього контура. Цей же кут рекомендується вибирати для призначення нульової точки заготовки W при створенні керуючої програми для фрезерної обробки (Рис.6.4)

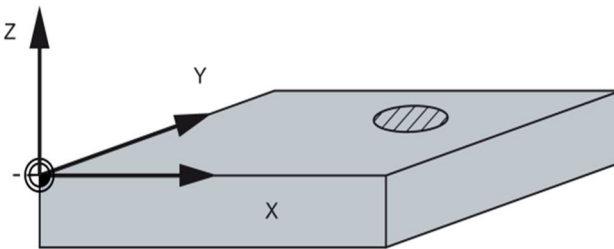


Рис.6.4 - Розташування нульової точки заготовки при роботі на фрезерному верстаті з ЧПК

Нульова точка інструменту E є базовою точкою елементу верстата, що несе державку з інструментом. Положення цієї точки на верстаті встановлюється виробником і не підлягає зміні (рис. 5.2) Зазвичай нульова точка інструменту розташовується:

- у токарних верстатів – на перетині осі державки револьверної головки і торця револьверної головки;
- у фрезерних верстатів – на перетині осі шпинделя і його торця.

При проведенні налаштування верстата розташування вершини ріжучої частини закріпленого в державці інструмента повинне бути точно заміряне або виставлене щодо нульової точки інструменту. Вершина ріжучої частини інструменту характеризується радіусом закруглення R і координатами розташування теоретичної вершини P в координатній системі інструменту. Налаштування інструменту проходить або на самому верстаті – зазвичай за допомогою оптичної вимірювальної системи, або поза верстатом – за допомогою спеціального пристосування для установки інструментів. При цьому якщо налаштування проходить на самому верстаті, то дані вимірювань координат вершини ріжучої частини інструменту заносяться автоматично в систему ЧПК верстата за допомогою клавіш пульта керування.

Спеціальне пристосування для установки інструментів має таке ж посадкове місце для державки з інструментом і таку ж базову точку для інструмента, що і верстат. Інструмент в зборі з державкою встановлюється в даному пристосуванні, після чого проводиться вимірювання координат вершини ріжучої частини інструменту. Потім дані вимірювань заносяться вручну в систему ЧПК верстата.

При налаштуванні інструменту поза верстатом використовуються ще одна початкова точка, що відноситься до координатної системи інструменту. Це точка установки інструменту B (рис 6.5 та 6.6). Точка установки інструменту B є базовою точкою для інструменту в зборі з державкою. При установці державки з інструментом на верстаті точка B , як правило, поєднується з нульовою точкою інструменту E .

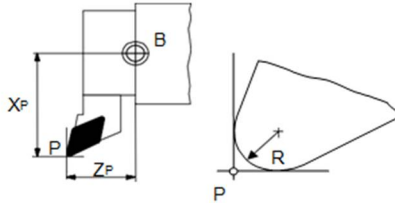


Рис.6.5- Розташування точки установки інструменту на токарному верстаті з ЧПК

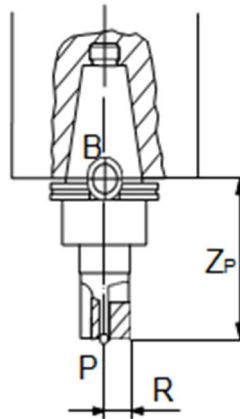


Рис.6.6- Розташування точки установки інструменту на фрезерному верстаті з ЧПК

Точка зміни інструменту N є координатною точкою в робочому просторі верстата, в якій відбувається зміна одного інструменту на інший. У більшості систем ЧПК положення точки заміни інструменту є змінною величиною і призначається при створенні керуючої програми.

6.3 Установка нульової точки заготовки на токарному верстаті з ЧПК

Нульова точка заготовки W при роботі на токарному верстаті з ЧПК розташовується на осі шпинделя на деякому віддаленні від нульової точки верстата M , тобто в системі координат токарного верстата, як правило, $X_w = 0$ (рис. 6.7). Величина зсуву точки W щодо точки M по осі Z є в значній мірі довільною і залежить багато в чому

від кваліфікації розробника програми. Бажано, щоб нульова точка заготовки була суміщена з нульовою точкою деталі на кресленні. В цьому випадку можна безпосередньо використовувати вказані на кресленні розмірні ланцюги при складанні керуючої програми.

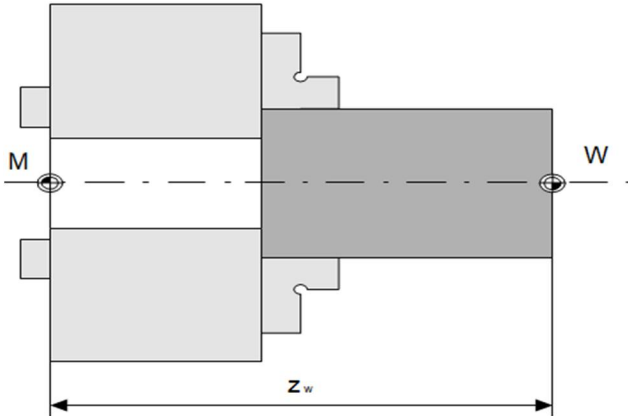


Рис.6.7- Встановлення нульової точки заготовки на токарному верстаті з ЧПК

Нуль токарного верстата в стандартній системі координат розташовується на осі обертання шпинделя на його базовому торці.

Відстань між нулем верстата M і нулем заготовки W називається зсувом нуля відліку і позначається як Z_w (рис. 6.7). Чисельне значення зсуву нуля відліку повинне бути обов'язково враховане в керуючій програмі.

Попередні умови для установки нуля заготовки:

- геометричні розміри ріжучої частини необхідних для обробки ріжучих інструментів заміряні і враховані в керуючій програмі;
- обрані інструменти закріплені в затискних пристроях револьверної головки і виставлені в поперечному напрямі;
- вильоти інструментів щодо револьверної головки зміряні і враховані в керуючій програмі;
- заготовка належним чином закріплена в шпинделі.

Послідовність дій при установці нульової точки заготовки на токарному верстаті з ЧПК:

1. Переконатися, що при повороті револьверної головки виключене зіткнення інструментів із закріпленою заготовкою і деталями верстата.

2. Включити обертання шпинделя, обравши напрям обертання, відповідно розташуванню ріжучих інструментів щодо закріпленої заготовки.

3. За допомогою відповідної команди з керуючого пульта перемістити один із закріплених в револьверній головці різців (наприклад, підрізний) в робоче положення.

4. Обережно підвести робочий інструмент до вільної від шпинделя зовнішньої торцевої поверхні заготовки або за допомогою ручного керування, або за допомогою відповідних клавіш на пульті верстата. Торкнутися вершиною ріжучої частини інструменту поверхні заготовки, що обертається, до появи помітного візуально сліду і зупинити переміщення інструменту.

5. Визначити за системою індикації ЧПК поточне значення положення супорта верстата по осі Z.

6. Ввести дане значення координати як зсув нуля відліку в систему ЧПК і натиснути клавішу обнулення системи відліку координат. Якщо необхідно врахувати припуск на обробку торцевої поверхні заготовки, то його рекомендується врахувати наперед перед введенням координати поточного положення супорта в систему ЧПК, вказавши відповідну корекцію в чисельне значення цієї координати.

6.4 Установка нульової точки заготовки на фрезерному верстаті з ЧПК

Нульова точка заготовки W при роботі на фрезерному верстаті з ЧПК може розташовуватися в будь-якому місці в межах робочої зони верстата (рис. 6.8). Бажано, щоб, як і у разі токарної обробки, нульова точка заготовки була суміщена з нульовою точкою деталі на кресленні.

Для спрощення розробки керуючої програми при виборі координат розташування нульової точки заготовки і орієнтації її координатної системи рекомендується керуватися наступними правилами:

- нуль заготовки призначати так, щоб всі або як можна більша частина опорних точок мали додатні значення координат;

- координатні осі заготовки суміщати з осями симетрії деталі або з виносними лініями, відносно яких проставлено найбільшу кількість розмірів;
- координатні площини заготовки суміщати з поверхнями технологічних баз або паралельно базам;
- напрям осей координат заготовки суміщати з напрямом осей координат верстата.

Як приклад розглянемо варіант призначення нульової точки заготовки, закріпленої на робочому столі вертикально фрезерного верстата, який відповідає вказаним вище правилам.

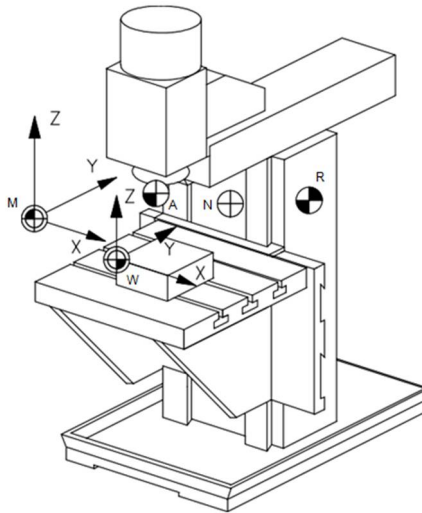


Рис.6.8- Встановлення нульової точки заготовки на вертикально фрезерному верстаті з ЧПК

Нуль вертикально фрезерного верстата з ЧПК в стандартній системі координат розташовується над лівим кутком робочого столу в передній площині верстата.

Відстань між нулем верстата M і нулем заготовки W називається зсувом нуля відліку, визначається як зсув по кожній з трьох осей координат і позначається як X_w , Y_w і Z_w . Чисельні значення зсуву нуля відліку повинні бути обов'язково враховані в керуючій програмі.

Попередні умови для установки нуля заготовки:

- геометричні розміри ріжучої частини необхідних для обробки ріжучих інструментів заміряні і враховані в керуючій програмі;
- обрані інструменти закріплені в пристрої автоматичної зміни інструменту;
- вильоти інструментів відносно пристрою автоматичної зміни інструменту враховані в керуючій програмі (якщо верстат не укомплектований пристроєм корекції вильоту інструменту);
- заготовка встановлена і надійно закріплена на робочому столі в положенні, при якому її осі координат паралелі осям координат верстата;
- перший по порядку застосування інструмент встановлений і закріплений в шпинделі;
- обертання шпинделя включене.

Послідовність дій при установці нульової точки заготовки на фрезерному верстаті з ЧПК:

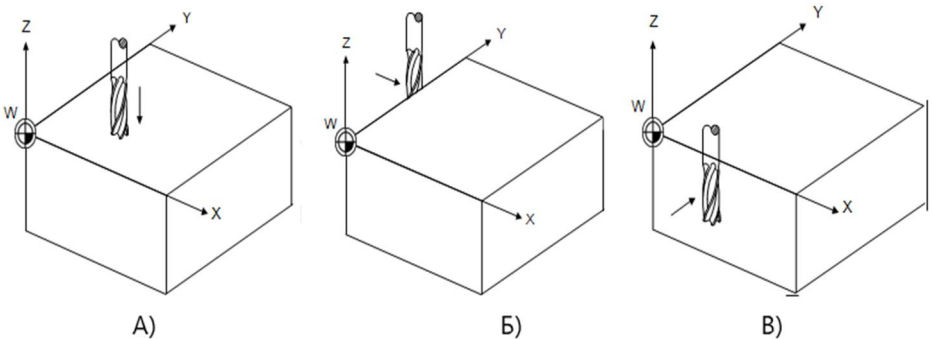


Рис.6.9- Установа нульової точки заготовки по осі Z (А), по осі X (Б) і по осі Y (В)

- Установа нульової точки заготовки по осі Z (рис 6.9А):

1. Переконайтеся, що нижній торець робочого інструменту розташований вище за верхню поверхню заготовки.

2. За допомогою ручного керування або відповідних клавіш на пульті верстата перемістити заготовку в площині XY під робочий інструмент.

3. Обережно підвести робочий інструмент до верхньої площини заготовки, торкнутися поверхні заготовки вершиною ріжучої частини

інструменту до появи помітного візуально сліду і зупинити переміщення інструменту.

4. Визначити за системою індикації ЧПК поточне значення положення шпинделя верстата по осі Z.

5. Ввести дане значення координати як зсув нуля відліку в систему ЧПК і натиснути клавішу обнулення системи відліку координат. Якщо необхідно врахувати припуск на обробку верхньої площини заготовки, то його рекомендується врахувати перед введенням координати поточного положення шпинделя в систему ЧПК, вказавши відповідну корекцію в чисельному значенні цієї координати.

- Установка нульової точки заготовки по осі X (рис 6.9Б):

6. За допомогою ручного керування або відповідних клавіш на пульті верстата перемістити робочий інструмент вгору по осі Z на висоту, що виключає його зіткнення із заготовкою.

7. Перемістити заготовку уздовж осі X у бік від'ємних значень координат в положення, при якому діаметральний габарит ріжучої частини робочого інструменту з гарантованим зазором виходить за габарит заготовки у вказаному напрямі.

8. Перемістити робочий інструмент по осі Z вниз до положення, при якому ріжуча частина інструменту буде розташована нижче за верхню площину заготовки.

9. Обережно підвести робочий інструмент по осі X до бічної поверхні заготовки, торкнутися поверхні заготовки вершиною ріжучої частини інструменту до появи помітного візуально сліду і зупинити переміщення інструменту.

10. Визначити за системою індикації ЧПК поточне значення положення шпинделя верстата по осі X.

11. Перерахувати дане значення координати з урахуванням радіусу ріжучої частини інструменту і внести отримане значення в систему ЧПК як зсув нуля відліку. Наприклад, якщо радіус фрези рівний 15 мм, то в систему ЧПК вноситься значення $X_w = - 15$.

12. Натиснути клавішу обнулення системи відліку координат на пульті керування верстата.

- Установка нульової точки заготовки по осі Y (рис. 6.9В):

Порядок установки нульової точки заготовки по осі Y повністю ідентичний порядку установки по осі X.

Примітка: якщо з яких-небудь причин контакт ріжучого інструменту із заготовкою при установці нульових точок неможливий, то налаштування проходить при вимкненому шпинделі за допомогою кінцевих мір довжини або вимірювальних індикаторів.

Розглянемо послідовність встановлення нульової точки заготовки за допомогою кінцевих мір та в центрі отвору.

Послідовність встановлення нульової точки деталі по осі Z за допомогою кінцевих мір довжини (рис 6.10):

1. Підготувати і тримати поблизу кінцеву міру довжини з визначеною товщиною;

2. Підвести торець шпинделя в кроковому режимі до поверхні деталі по осі Z на відстань більше товщини кінцевої міри довжини.

3. За допомогою ручного керування з пульта верстата підвести торець шпинделя ще ближче до деталі, так щоб ця відстань стала менше товщини кінцевої міри довжини.

4. Покласти кінцеву міру довжини на поверхню деталі поруч зі шпинделем.

5. Поступово переміщати шпиндель в додатному напрямку по осі Z (вгору), безперервно контролювати зазор між шпинделем і деталлю.

6. Як тільки кінцева міра довжини пройде між шпинделем і деталлю, зупинити рух шпинделя. Шпиндель встановлений правильно, якщо при зміщенні кінцевої міри відчувається невеликий опір.

7. Так як базовою позицією для шпинделя є точка перетину його торця і осі обертання, то необхідно врахувати товщину кінцевої міри довжини.

8. Ввести в реєстр робочого зміщення по Z значення, розраховане в п. 7.

Послідовність встановлення нульової точки деталі по осям X та Y за допомогою кінцевих мір довжини (рис. 6.11):

1. Вставити в шпиндель циліндричний калібр з відомим діаметром (діаметр відповідає діаметру обраного інструмента).

2. У кроковому режимі підвести калібр до поверхні деталі по осі X на відстань більше діаметру калібру.

3. Прикласти до поверхні деталі по осі X кінцеву міру довжини з визначеною товщиною.

4. В ручному режимі переміщати шпindel з калібром до деталі уздовж осі X до торкання з кінцевою мірою довжини. Шпindel встановлений правильно, якщо при зміщенні кінцевої міри відчувається невеликий опір.

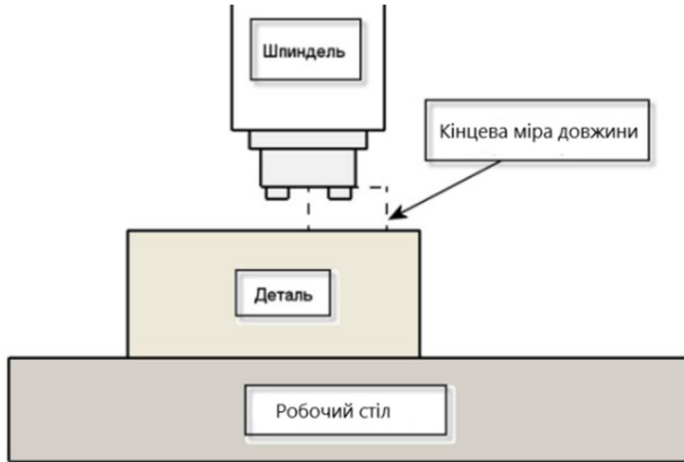


Рис.6.10- Установка нульової точки заготовки по осі Z за допомогою кінцевих мір довжини

5. Відзначити машинну позицію шпинделя, враховуючи радіус циліндричного калібру і товщину кінцевої міри, обчислити значення для введення в реєстр робочого зміщення по осі X.

6. Ввести в реєстр робочого зміщення по X значення, розраховане в п. 5.

7. Провести аналогічні дії для встановлення нуля по осі Y. Ввести в реєстр робочого зміщення по Y розраховане значення.

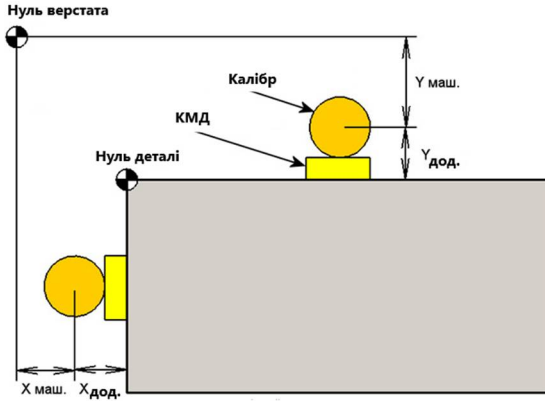


Рис.6.11- Встановлення нульової точки деталі по осям X та Y за допомогою кінцевих мір довжини

Послідовність знаходження нульової точки заготовки в центрі отвору (рис.6.12):

1. Встановити в шпindel стрілочний індикатор (центрошукач).
2. У кроковому режимі підвести індикатор якомога ближче до центру отвору над деталлю.
3. В ручному режимі обережно вставити щуп індикатора в отвір.
4. Притулити щуп до стінки отвори.
5. Використовуючи обертальний рух, юстувати положення осей X і Y шпинделя до тих пір, поки показаний на індикаторі дисбаланс не опиниться в допустимих межах.
6. Записати машинні координати по X і Y в відповідні реєстри робочих зсувів.

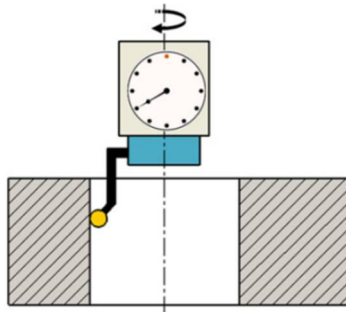


Рис.6.12- Знаходження нульової точки заготовки в центрі отвору

Для полегшення процесу створення керуючої програми існують загальні рекомендації для встановлення нульової точки заготовки при деяких типах кріплення заготовки, розглянемо деякі з них:

Якщо заготовка встановлюється в лещата, то необхідно враховувати кілька моментів. У лещат є рухома і нерухома губки. Припустимо, що ми встановили нульову точку на поверхні, що примикає до рухомої губки лещат (рис. 6.13А). Розміри заготовок можуть трохи відрізнятись, і, відповідно, оператор верстата для отримання правильних розмірів повинен кожен раз «переприв'язувати», тобто заново знаходити координати нульової точки. Якщо ж нульова точка встановлена на поверхні, що примикає до нерухомої губки лещат (рис. 6.13Б), то координати нульової точки не зміняться при будь-яких відхиленнях розмірів заготовки.

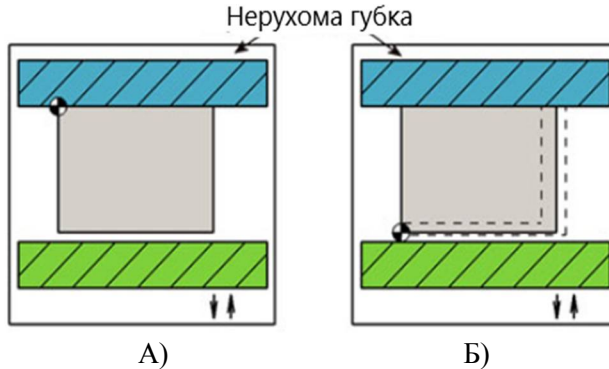


Рис.6.13- Знаходження нульової точки при встановленні заготовки в лещата

У більшості випадків нульова точка встановлюється відносно задалегідь підготовлених поверхонь. Це дозволяє точно і надійно її закріпити і гарантувати постійність координат нульової точки.

Часто для обробки деталі потрібно кілька переустановлень. Наприклад, спочатку потрібно фрезерувати паз з одного боку деталі, а потім, після переустановлення, - з іншого боку. В цьому випадку необхідно переконатися, що базування здійснюється по одній і тій же поверхні, інакше існує ймовірність помилитись в розрахунках і не забезпечити необхідних розмірів і точності.

ТЕМА 7. ТРАЄКТОРІЯ РУХІВ ІНСТРУМЕНТІВ

Будь-яку траєкторію переміщення, яку повинен пройти ріжучий інструмент при обробці, можна розкласти на елементарні переміщення з відрізків прямих ліній і дуг кола. Такі переміщення в ЧПК називаються інтерполяціями (від латинського слова *interpolatio* – «оновлення», «зміна»). Всі сучасні системи ЧПК оснащуються спеціальним електронним блоком – інтерполятором, завдяки якому вони мають здатність управляти взаємним переміщенням інструменту і заготовки по прямій лінії або по колу шляхом автоматичного розрахунку проміжних точок траєкторії переміщення.

Сучасні вироби, що виготовляються на верстатах з ЧПК, відрізняються різноманітною і складною формою, що часто складається з параболічних, гвинтових або сплайнових поверхонь (сплайн – це гладка крива, яка проходить через заданий набір точок в прямокутній системі координат). Кожну таку поверхню також можна представити у вигляді поєднання елементарних відрізків прямих ліній і кругових дуг. Але при цьому кількість елементарних переміщень стає невиправдано великою, а керуюча програма громіздкою і складною (об'єм такої керуючої програми може скласти більше 100 мегабайт і більш). Для того, зменшити і спростити програму по обробці поверхонь складної форми, системи ЧПК більшості сучасних верстатів оснащуються не тільки лінійними і круговими інтерполяторами, але і гвинтовими, параболічними, сплайновими і т.п.

Якщо на верстаті з ЧПК необхідно виконати прямолінійне переміщення інструменту (лінійну інтерполяцію) уздовж однієї з осей координат верстата, то таке переміщення система ЧПК виконує включенням приводу подач по даній осі, а по інших осях привід подач не включається. Якщо ж необхідно виконати кругову інтерполяцію або лінійну інтерполяцію в напрямі, непаралельному якій-небудь осі координат, то механізм роботи системи ЧПК істотно ускладнюється.

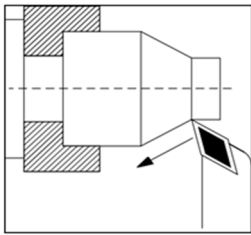
В цьому випадку система ЧПК реалізує переміщення інструменту за допомогою апроксимації. Під апроксимацією в теорії ЧПК розуміється заміна однієї функціональної залежності на іншу простішу функцію з певним ступенем точності. В даному випадку апроксимація зводиться до того, що замість одного прямолінійного переміщення або переміщення по дузі від початкової точки до точки із

заданими координатами система ЧПК задає інструменту переміщення по ламаній лінії, елементарні відрізки якої паралелі координатним осям.

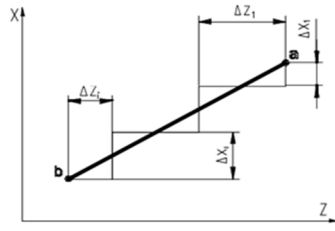
На рис.7.1А показаний випадок прямолінійного переміщення ріжучого інструменту (лінійна інтерполяція), на рис.7.1Б – апроксимація даного переміщення системою ЧПК верстата.

На рис.7.2А Показаний випадок переміщення ріжучого інструменту по дузі кола (кругова інтерполяція), на рис 7.2Б – його апроксимація.

На рис. 7.1 та рис. 7.2 лініями від точки а до точки б показані траєкторії переміщення інструменту, задані керуючою програмою. Відрізками від $X1$ до Xi і від $Z1$ до Zi показані заміни заданого переміщення на елементарні переміщення відповідно уздовж координатних осей X і Z . Як видно із зображень елементарні переміщення не завжди однакові по своїй величині в процесі одного заданого переміщення. Система ЧПК сама визначає величину кожного елементарного переміщення, виходячи з двох умов:

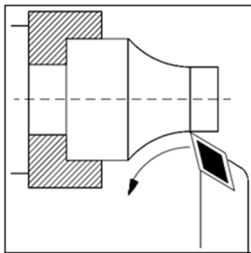


А)

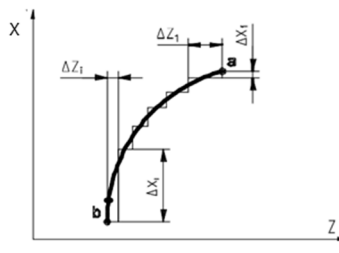


Б)

Рис 7.1- Лінійна інтерполяція (А) та апроксимація лінійного переміщення (Б)



А)



Б)

Рис 7.1- Кругова інтерполяція (А) та апроксимація кругового переміщення (Б)

- відхилення траєкторії елементарного переміщення від траєкторії заданого переміщення не повинне перевищувати встановлену програмою величину апроксимації (загальноприйнятою вважається похибка апроксимації рівна 15-25% всього поля допуску на неточність обробки даного розміру);
- елементарні переміщення уздовж різних координатних осей повинні бути такі узгоджені між собою, щоб вони одночасно почалися в початковій точці і припинилися так само одночасно, досягши кінцевої точки заданого переміщення.

ТЕМА 8. ПРОГРАМУВАННЯ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

8.1 Основи програмування

Для виконання обробки на верстаті з ЧПК необхідно мати керуючу програму створену за умовами обробки.

Керуюча програма за стандартом визначена як «сукупність команд на мові програмування, відповідна заданому алгоритму функціонування верстата по обробці конкретної заготовки». Іншими словами, керуюча програма для верстата з ЧПК є сукупністю елементарних команд, що визначає послідовність і характер переміщень і дій виконавчих органів верстата при обробці конкретної заготовки. При цьому вигляд і склад елементарних команд залежить від типу системи ЧПК верстата і мови програмування, прийнятого для даної системи.

У міру розвитку верстатів з ЧПК було розроблено декілька мов програмування для складання програм. В даний час найбільше поширення набула універсальна міжнародна мова програмування ISO-7Bit, яку іноді ще називають CNC-кодом або G- кодом.

Код мови програмування ISO-7Bit відноситься до буквено-цифрових кодів, в якому команди керуючої програми записуються у вигляді спеціальних слів, кожне з яких є комбінацією букви і числа.

Однак виробники систем ЧПУ хоч і дотримуються цих стандартів для опису основних функцій, але допускають вільності і відступу від правил, коли нова розроблена система має спеціальні можливості.

Системи ЧПК Fanuc (Японія) були одними з перших, адаптованих під роботу з G- і M-кодами ISO і використовують цей стандарт найбільш повно. В даний час стійки Fanuc є дуже популярними і найбільш поширеними як за кордоном, так і в нашій країні. Тому основою для опису програмування в G- і M-кодах будемо далі розглядати на прикладі саме СЧПК Fanuc.

Стойки ЧПК інших відомих виробників, наприклад Heidenhain і Sinumerik (Siemens), також мають можливості по роботі з G- і M-кодами, однак деякі коди все ж можуть відрізнятися. Однак це не означає, що потрібно знати всі коди всіх систем ЧПК. Досить знати набір основних G- і M-кодів, а про різницю в програмуванні специфічних функцій можна дізнатися з документації до конкретної системи.

Деякі виробники систем ЧПК пропонують діалогову мову програмування. Ця мова спрощує використання системи, особливо для нових операторів, так як основою для неї служать англомовні скорочення, питання і графічні елементи, які вводяться оператором верстата в інтерактивному режимі.

8.2 Складові елементи керуючої програми

Слово є базовим елементом тексту керуючої програми. Слово є комбінацією прописної букви латинського алфавіту і деякого числового значення. Числове значення як може бути: ціле двозначне або тризначне число; десятковий дріб, ціла і дробова частини якого можуть відділятися як комою, так і крапкою (залежно від системи). В деяких випадках в слові окрім букви і числа можуть використовуватися і інші текстові символи; наприклад, між буквою і числом при необхідності може знаходитися математичний знак «+» або «-».

Буквена складова слова в теорії ЧПК називається *адресою*, тому що вона визначає «призначення наступних за ним даних, що містяться в цьому слові»

Приклади запису слів:

G01 (G-адреса; 01-число)

X136.728 (X-адреса; 136.728-число)

Z-4.87 (Z -адреса; -4.87-число)

Не обов'язково, щоб число, що відноситься до G- коду, мало провідні нулі (нуль перед числом), наприклад G01, G02, G03 і т.п. можна записати просто G1, G2, G3. Проте багато програмістів в силу звички віддають перевагу варіанту з провідними нулями.

Системи ЧПК різних виробників мають свої індивідуальні особливості відносно буквених символів при складанні керуючих програм. Вони багато в чому розрізняються як по переліку букв, так і по призначенню команд. Розглянемо найпоширеніші значення буквених символів (табл. 8.1).

Таблиця 8.1 Значення буквених символів в системах ЧПК

Символ	Призначення	Застосування
N	Номер кадру	Порядковий номер кадру.
G	Підготовчі функції і технологічні цикли	Команди на вигляд і умови переміщення виконавчих органів
M	Допоміжні функції	Команди, що визначають умови роботи механізмів верстата.
X	Функція прямолінійного переміщення по осі X	Завдання координати кінцевої точки або величини переміщення виконавського органу верстата уздовж осі X
Y	Функція прямолінійного переміщення по осі Y	Завдання координати кінцевої точки або величини переміщення виконавчого органу верстата уздовж осі Y
Z	Функція прямолінійного переміщення по осі Z	Завдання координати кінцевої точки або величини переміщення виконавчого органу верстата уздовж осі Z

A	Функція кругового переміщення навколо осі X	Завдання координати кінцевої точки або величини переміщення виконавчого органу верстата навколо осі X
B	Функція кругового переміщення навколо осі Y	Завдання координати кінцевої точки або величини переміщення виконавчого органу верстата навколо осі Y
C	Функція кругового переміщення навколо осі Z	Завдання координати кінцевої точки або величини переміщення виконавчого органу верстата навколо осі Z
U	Функція прямолінійного переміщення паралельно осі X	Завдання кінцевої точки, що визначає переміщення виконавчого органу верстата паралельно осі X. Символ застосовується тільки за наявності у верстата другого незалежно переміщуваного виконавчого органу
V	Функція прямолінійного переміщення паралельно осі Y	Завдання кінцевої точки, що визначає переміщення виконавчого органу верстата паралельно осі Y. Символ застосовується тільки за наявності у верстата другого незалежно переміщуваного виконавчого органу
W	Функція прямолінійного переміщення	Завдання кінцевої точки, що визначає переміщення виконавчого органу верстата паралельно осі Z.

	паралельно осі Z	Символ застосовується тільки за наявності у верстата другого незалежно переміщуваного уздовж осі Z виконавчого органу
P	Функція прямолінійного переміщення паралельно осі X	Завдання кінцевої точки, що визначає переміщення виконавчого органу верстата паралельно осі X. Символ застосовується тільки за наявності у верстата третього незалежно переміщуваного уздовж осі X виконавчого органу
Q	Функція прямолінійного переміщення паралельно осі Y	Завдання кінцевої точки, що визначає переміщення виконавчого органу верстата паралельно осі Y. Тільки за наявності у верстата третього незалежно переміщуваного уздовж осі Y виконавчого органу
R	Функція прямолінійного переміщення паралельно осі Z	Завдання кінцевої точки, що визначає переміщення виконавчого органу верстата паралельно осі Z. За наявності у верстата третього незалежно переміщуваного уздовж осі Z виконавчого органу
F	Функція подачі	Завдання швидкості результуючого прямолінійного переміщення інструменту щодо заготовки.
E	Функція подачі	Завдання швидкості результуючого прямолінійного переміщення інструменту щодо заготовки. Тільки за наявності у верстата другої автономної головки шпинделя

I	Функція інтерполяції по осі X	Завдання інтерполяції переміщення виконавчого органу верстата або кроку різьблення уздовж осі X.
J	Функція інтерполяції по осі Y	Завдання інтерполяції переміщення виконавчого органу верстата або кроку різьблення уздовж осі Y.
K	Функція інтерполяції по осі Z	Завдання інтерполяції переміщення виконавського органу верстата або кроку різьблення уздовж осі Z.
T	Функція зміни інструменту	Завдання команди на автоматичну установку в робочу позицію змінного інструменту під певним номером. Застосовується тільки за наявності у верстата пристрою автоматичної зміни інструменту.
D	Функція зміни інструменту	Завдання команди на автоматичну установку в робочу позицію змінного інструменту під певним номером. Застосовується тільки за наявності у верстата другого пристрою автоматичної зміни інструменту.
S	Функція головного руху	Завдання швидкості обертання валу шпинделя.

Букви, використовувані як символи керуючих програмах, вибрані не випадковим чином. Більшість з них є початковими буквами відповідних термінів на англійській мові. Наприклад, як символ величини контурної швидкості подачі вибрана буква «F» – перша буква англійського слова feed («подача»), як символ швидкості обертання шпинделя - буква «S» - перша буква англійського слова

speed («швидкість»), як символ номера інструменту – буква «Г» - перша буква англійського слова tool («інструмент»).

Як числова складова слів з буквеними символами G і M може використовуватися тільки ціле двозначне або тризначне число. Десятковий дріб в словах з символами G і M використовуватися не може, на відміну від слів з іншими буквеними символами.

Якщо числова складова слова є десятковим дробом, в кінці дробової частини якої містяться нулі, для спрощення записи і читання програм незначущі нулі дробової частини в більшості систем ЧПК відкидаються. Іншими словами, в керуючій програмі не прийнято записувати, наприклад, числа 4,100 або 3,120, а прийнято писати 4,1 або 3,12.

Приведені в таблиці буквені символи є не обов'язковими, а тільки рекомендованими для мов програмування. Якщо символи A, B, C, D, E, P, Q, R, U, V і W не використовуються для керування верстатом за прямим призначенням, то вони можуть застосовуватися для програмування спеціальних функцій, властивих даній системі ЧПК.

Кадр є наступним в ієрархії після слова елемент тексту програми. Кожен кадр складається з одного або декількох слів, розташованих в певному порядку, які сприймаються системою ЧПК як єдине ціле і містять як мінімум одну команду. Особливою ознакою кадрів як сукупності слів є те, що в них міститься вся геометрична, технологічна і допоміжна інформація, необхідна для виконання робочих або підготовчих дій виконавчих органів верстата. Робоча дія в даному випадку означає обробку заготовки за рахунок переміщення інструменту по одній елементарній траєкторії (прямолінійне переміщення, переміщення по дузі і т.п.), а підготовча дія – дія виконавчих органів верстата для виконання або завершення робочої дії.

Приклад запису кадру: **N125 G01 Z-2.7 F30.**

Даний кадр складається з чотирьох слів: порядкового номера кадру «N125» і трьох слів «G01», «Z-2.7» і «F30», якими задається прямолінійне переміщення інструменту по осі Z до точки з координатою $Z=-2,7$ мм із швидкістю подачі 30 мм/хв.

Текст керуючої програми для верстата з ЧПК є не що інше, як сформована за певними правилами сукупність кадрів. У загальному випадку система ЧПК верстата виконує команди програми суворо у

порядку проходження кадрів, при цьому перехід до кожного чергового кадру здійснюється тільки після закінчення виконання попереднього кадру.

Щоб окремі кадри можна було зв'язати в єдину систему, окрім буквених символів, приведених в табл. , при створенні керуючих програм для систем ЧПК застосовують і багато інших символів. У табл. 8.2 приведені деякі додаткові символи, які рекомендовані до застосування.

Таблиця 8.2 Додаткові символи в системах ЧПК

Символ	Значення	Застосування
%	Початок програми	Символ позначення початку програми.
F	Кінець кадру	Символ позначення кінця кадру і переходу на наступний рядок тексту програми. У сучасних системах ЧПК використовується відносно рідко.
:	Головний кадр	Символ позначення кадру, в якому повинна бути записана вся інформація, необхідна спершу або відновлення обробки. У головному кадрі даний символ записується замість символу «N» в слові «Номер кадру».
/	Пропуск кадру	Символ означає, що інформація, що міститься після нього до кінця кадру в якому він розташований, або відпрацюється, або пропускатиметься залежно від налаштувань системи.

Слова, довільно розташовані в тексті програми, сприймаються системою ЧПК всього лише як деякий набір слів і не будуть прийняті до виконання. Щоб дані слова були командою, зрозумілою для системи ЧПК, вони повинні бути записані в кадрі програми в певному вигляді і порядку відповідно прийнятого для конкретної системи ЧПК форматі кадру.

Міжнародний стандарт містить наступні загальні рекомендації, що відносяться до формату кадру при ручному програмуванні:

- Слова кадру повинні відділятися один від одного інтервалами (пропусками). (Необхідно відзначити, що дана вимога не дотримується в багатьох сучасних системах ЧПК).

- Кожен кадр починається словом, що позначає номер кадру. Дане слово – «номер кадру» – містить буквений символ N і число, відповідне порядковому номеру кадру.

- Кожен кадр закінчується словом, що позначає кінець кадру. Рекомендований варіант написання даного слова для більшості імпортованих систем ЧПК – LF.

- Командні і розмірні слова, а також слова, що задають величини технологічних параметрів обробки деталей, розташовуються в тексті кадру між словами «номер кадру» і «кінець кадру» в порядку, визначеному виробником системи ЧПК. У одних системах ЧПК порядок слів може бути строго визначеною, в інших – довільним.

Для зручності роботи міжнародний стандарт рекомендує наступний порядок розташування слів в кадрі:

N..., G..., X..., Y..., Z..., U..., V..., W..., P..., Q..., R..., A..., B..., C..., I..., J..., K..., E..., F..., S..., LF.

Якщо задається швидкість подачі по одній певній осі координат, то слово, що позначає швидкість подачі, повинне розташовуватись одразу за словом, що вказує переміщення по даній осі. Якщо задається швидкість подачі одночасно по двох і більш осям координат, то слово, що позначає швидкість подачі, повинне слідувати одразу за словом за останнім словом, вказує переміщення за даними осями.

Як приклад проведемо аналіз структури наступного кадру

N75 G01 Z-10.75 F0.3 S1800 T03 M08 LF

8.3 Структура керуючої програми

Відповідно до міжнародних стандартів структура програми в загальному випадку підкоряється наступним правилам:

- У тексті програми повинна міститися геометрична, технологічна і допоміжна інформація, яка необхідна для проведення заданої обробки. У кожному кадрі програми записується тільки та інформація, яка змінюється по відношенню до попереднього кадру. При цьому виконання системою ЧПК незмінної інформації, що

<p>N10 G54 X80 Y100 ...</p> <p>(Podrezka torca)</p> <p>N75 G01 Z-10 F0.3 S1800 T03 M08...</p> <p>N435 M30</p>	<p>кадрів, що містять інформацію по обробці деталі</p> <p>Інформація для програміста, не сприймана системою ЧПК</p> <p>Відновлення послідовності кадрів, що містять інформацію по обробці деталі</p> <p>Команда на закінчення виконання програми</p>
---	--

8.4 Модальні та немодальні коди

Всі G-коди можна умовно розділити на два класи в залежності від їх здатності зберігатися в пам'яті СЧПК.

Немодальні коди діють тільки в тому кадрі, в якому вони знаходяться.

Модальні коди, можуть діяти до тих пір поки їх не скасують іншим кодом.

Виділяють кілька груп кодів залежно від функції, яку вони виконують (табл. 8.3). Два модальних коду з однієї групи не можуть бути активними в один і той же час. Наприклад, G02 і G03 знаходяться в групі кодів осьових переміщень, і не можна застосовувати обидва ці коди відразу. Один з цих кодів обов'язково скасує дію іншого. Однак ви можете одночасно використовувати коди з різних функціональних груп. Наприклад, в одному кадрі можна написати G02 і G90.

Таблиця 8.3 Групи кодів залежно від їх функції

Функціональні групи	Коди
Переміщення	G00, G01, G02, G03
Тип координатної системи	G90, G91

Одиниці вводу даних	G20, G21
Постійні цикли	G80, G81, G82, G83, G84, G85...
Робоча система координат	G54, G55, G56, G57, G58...
Компенсація довжини інструмента	G43, G44, G49
Корекція на радіус інструмента	G40, G41, G42
Повернення в постійних циклах	G98, G99
Активна площина обробки	G17, G18, G19

Особливістю модальних кодів є те, що не потрібно вводити активний код в наступні кадри. Наприклад, код G01 використовується для переміщення інструменту по прямій лінії. Якщо необхідно зробити безліч прямих переміщень, то не обов'язково в кожному наступному кадрі писати G01. Для скасування коду G01 слід застосувати один з кодів тієї ж самої функціональної групи (G00, G02 або G03). Більшість з G-кодів є модальними. Програміст повинен знати, до якої групи і до якого класу належить той чи інший код.

Хоча M-коди зазвичай не ділять на модальні і немодальні, однак цей термін все ж можна застосувати і до них. Наприклад, можна виділити групу M-кодів, що відповідають за подачу охолоджуючої рідини (M07, M08, M09) або за обертання шпинделя (M03, M04, M05). Проте більшість M-кодів потрібно розглядати як немодальні. Деякі системи ЧПУ допускають програмування тільки одного M-коду в кадрі.

8.5 Базові G-коди та M-коди

Сучасні системи ЧПК можуть виконувати більше сотні різних команд, проте в своїй повсякденній роботі програміст використовує лише обмежений, досить вузький набір G- і M-кодів. Основне завдання керуючої програми полягає в переміщенні інструменту за

заданими координатами. Для реалізації таких переміщень потрібно скористатися лише кількома кодами, які можна назвати базовими. Далі детально ознайомимося з базовими G-кодами та M-кодами, які виконують практично всі верстати з ЧПК.

8.5.1 Базові G-коди

- Прискорене переміщення - G00

Код G00 використовується для прискореного переміщення. Прискорене переміщення, або позиціонування, необхідно для швидкого переміщення інструменту до позиції обробки або безпечної позиції. Прискорене переміщення ніколи не використовується для виконання обробки, так як швидкість руху інструменту занадто висока і непостійна. Застосування коду G00 дозволяє істотно знизити загальний час обробки.

Для економії часу на виконання холостих ходів в програмі обробці ми повинні вказати координати точки на поверхні заготовки, в яку інструмент повинен переміститися максимально швидко. Безпосереднє вривання інструмента в матеріал заготовки здійснюється зі швидкістю робочої подачі і за допомогою іншого коду.

Для виконання прискореного переміщення досить вказати в кадрі код G00 і координати необхідної позиції. Умовно кадр прискореного переміщення виглядає так: **G00 Xn.n Yn.n Zn.n**

Завжди необхідно залишати невелику відстань між поверхнею заготовки та точкою, в яку буде переміщений інструмент за допомогою коду G00. Якщо ця відстань буде близькою до нуля, то виникає небезпека зіткнення інструменту з заготовкою так як розміри заготовки або інструменту можуть виявитися трохи більшими, ніж очікувалось. Зазвичай безпечну відстань знаходиться в межах від 0.5 до 5 мм.

При прискореному підводі інструмента до деталі за трьома осях спочатку краще виконати позиціонування по осях X і Y, а вже потім по Z. При відведенні інструменту - зворотний порядок переміщень. У будь-якому випадку, рекомендується розділяти прискорене переміщення на два кадри - на позиціонування по X, Y в одному кадрі і по осі Z в іншому. Справа в тому, що при позиціонуванні з кодом G00 трьома осями одночасно траєкторія руху інструмента може не

бути прямою лінією. СЧПК віддає команду приводам на переміщення колони або робочого столу на максимальній швидкості в зазначену координату. Як тільки досягається необхідна координата по одній з осей, то прискорене переміщення по цій осі припиняється, хоча переміщення по іншим осях все ще може відбуватися. Так як відстані переміщення за трьома осями різні, то траєкторія руху може виглядати як ламана лінія. Результатом такого переміщення може стати несподіване зіткнення інструменту з кріпильними елементами і пристроями.

При роботі з прискореними переміщеннями потрібно проявляти підвищену пильність. Сучасні верстати з ЧПК в цьому режимі можуть мати швидкість 30 м/хв. і більше. Швидше за все, оператор верстата просто не встигне зреагувати на неправильне переміщення на такій швидкості, і може статися серйозне зіткнення. Досвідчений програміст намагається не допускати прискорених переміщень інструменту нижче поверхні заготовки і завжди перевіряє кадри, що містять код G00.

- Лінійна інтерполяція - G01

Код G01 призначений для виконання лінійної інтерполяції, або іншими словами для переміщення інструменту по прямій лінії із заданою швидкістю. Умовно кадр для лінійної інтерполяції записується в такий спосіб: **G01 Xn.n Yn.n Zn.n Fn.n**

В цьому кадрі з'явилося слово даних F. Основна відмінність коду G01 від G00 полягає в тому, що при лінійній інтерполяції інструмент переміщається із заданою швидкістю (швидкістю робочої подачі), при якій можлива механічна обробка матеріалу. При цьому СЧПК підтримує прямолінійне переміщення навіть по трьох осях одночасно.

N10 G01 X10.0 Y30.0 F100

N20 X40.0 Y40.0 Z40.0

У кадрі N10 інструмент переміщається в точку (10; 30) зі швидкістю 100 мм/хв. Наступний кадр виконує лінійне переміщення в точку (40; 40; 40). Так як код G01 є модальним, то його не потрібно вказувати ще раз в кадрі N20. Те ж саме відноситься і до швидкості подачі F. Якщо в кадрі N10 вказана швидкість F100, то вона залишається незмінною, поки не буде запрограмоване нове значення F. Лінійна інтерполяція використовується не тільки для обробки в площині XY, але і для вертикального врізання в матеріал заготовки.

- Кругова інтерполяція - G02 і G03

Якщо обробку по прямій лінії нескладно проводити і на простому верстаті з ручним керуванням, то переміщення інструменту по дузі точніше і простіше виконувати на верстаті з ЧПК.

Коди G02 і G03 призначені для виконання кругової інтерполяції. Код G02 використовується для переміщення по дузі за годинниковою стрілкою, а G03 - проти годинникової стрілки. Напрямок переміщення визначається, коли ми дивимося на інструмент з боку шпинделя, в від'ємному напрямку осі Z. Як і при виконанні лінійної інтерполяції, в кадрі кругової інтерполяції необхідно вказати швидкість робочої подачі F.

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.

G02 Xn.n Yn.n Zn.n Rn.n Fn.n.

У першому варіанті для виконання кругового переміщення вказують: код G02 (G03); координати кінцевої точки дуги; I, J, K - слова даних і швидкість робочої подачі. А в другому варіанті замість I, J, K вказують R. Вибір варіанту запису кадру кругового переміщення залежить від можливостей СЧПК і звички програміста. Більшість сучасних верстатів з ЧПК підтримують обидва варіанти запису.

В кадрі з кодом кругової інтерполяції необхідно вказати координати кінцевої точки переміщення (дуги). Якщо, крім X і Y, в кадрі знаходиться Z-слово даних, то це означає, що виробляється гвинтова інтерполяція. Гвинтові інтерполяція, яка підтримується не всіма системами ЧПК, дозволяє виконувати фрезерування різьб і забезпечує плавне гвинтове врізання інструменту в матеріал заготовки.

- Дуга з I, J, K (рис. 8.1)

Для повного опису дуги недостатньо задати тільки координати її кінцевої точки. Необхідно також вказати радіус і координати центру.

За допомогою I, J і K вказуються відносні (інкрементальні) відстані від початкової точки дуги до її центру. Слово даних з I відноситься до осі X, слово даних з J - до осі Y, а слово даних з K - до осі Z. При цьому в залежності від розташування дуги значення можуть бути додатними або від'ємними.

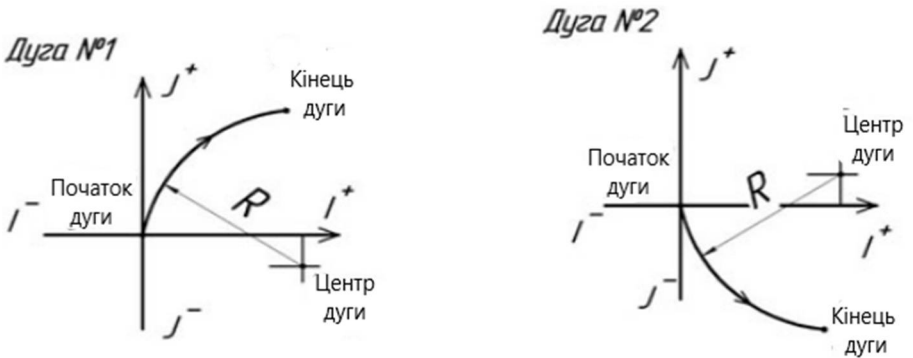


Рис 8.1- Спосіб вказування дуг з використанням I, J і K

• Дуга з R (рис. 8.2)

Ще простіший спосіб вказати центр дуги заснований на застосуванні адреси R (радіусу). Якщо ваша система підтримує такий формат для кругової інтерполяції, то СЧПК самостійно робить необхідні розрахунки для визначення координат центру дуги. Багато СЧПК при роботі з R вимагають, щоб коло було розділене на кілька сегментів.

Для однозначного визначення форми дуги потрібно вказувати відповідний знак перед числовим значенням радіуса R. Для дуги, яка більше 180° , значення R буде від'ємним. Для дуги, яка менше 180° , значення R буде додатнім.



Рис 8.1- Спосіб вказування дуг з використанням радіуса R

8.5.2 Базові М-коди

Коди, що позначаються літерою М (Miscellaneous), називаються допоміжними і призначені для управління режимами роботи верстата. М-код може стояти як окремо, так і перебувати в кадрі з G-кодами. Деякі М-коди працюють спільно з іншими адресами. Наприклад, М-код, який відповідає за напрямок обертання шпинделя, зазвичай вказується з адресою S, який необхідний для завдання числа його оборотів при обертанні: **N10 S1000 M03**

У табл. поміщені базові М-коди. Коли М-код знаходиться в кадрі з G-кодом, то порядок виконання залежить від моделі СЧПК. Візьмемо, наприклад, наступний кадр:

N10 G01 X100.0 Y100.0 Z100.0 F50.0 M08

Цей кадр виконує лінійне переміщення і включає подачу охолоджуючої рідини (M08). Одні верстати включають подачу MOP відразу, інші - тільки після переміщення в зазначену позицію. Тому рекомендується вказувати код M08 перед виконанням переміщення на робочій подачі:

N05 M08

N10 G01 X100.0 Y100.0 Z100.0 F50.0

Потрібно врахувати, що деякі системи ЧПК дозволяють задавати в кадрі тільки один М-код. В цьому випадку якщо в кадрі знаходяться кілька М-кодів, то СЧПК видасть повідомлення про помилку. Для уникнення помилок необхідно уважно прочитати розділ документації верстата і системи ЧПК про роботу з М-кодами.

Таблиця 8.4-Базові М-коди

Код	Значення
M00	Запрограмований останов
M01	Останов за вибором
M02	Кінець програми
M03	Прямий напрямок обертання шпинделя
M04	Зворотній напрямок обертання шпинделя
M05	Останов шпинделя
M06	Автоматична зміна інструменту
M08	Включення MOP
M09	Виключення MOP

M30	Кінець інформації, курсор повертається на початок програми
-----	--

- Зупинка виконання керуючої програми - M00 і M01:

Дуже часто виникають ситуації, коли необхідно тимчасово перервати виконання програми. Наприклад, для того щоб видалити стружку, перевірити розміри оброблюваної деталі або переставити елементи кріплення в інше положення.

Коди M00 і M01 тимчасово припиняють виконання програми обробки (роблять паузу в виробничому циклі верстата). Коли СЧПК читає код M00, то відбувається так званий запрограмований останов. Всі осьові переміщення зупиняються і поновлюються лише після того, як оператор верстата натисне клавішу «Старт циклу» на панелі ПЧПК. При цьому шпиндель продовжує обертатися, і інші функції залишаються активними. Якщо оператор верстата натискає кнопку «Старт циклу», то виконання програми буде продовжено з кадру, наступного за M00.

N200 G01 X200

N210 G00 Z100

N220 M00

N230 G00 Z5

N240 G01 Z-1 F50

Для того щоб безпечно видалити стружку із зони обробки або зняти її з свердла, необхідно зупинити шпиндель. Тобто перед командою M00 потрібно вказати код виключення обертання шпинделя M05. Однак потрібно знову включити шпиндель, інакше інструмент буде переміщатися без обертання, що призведе до його поломки.

N200 G01 X200

N210 G00 Z100

N215 M05

N220 M00

N225 M03 S1000

N230 G00 Z5

N240 G01 Z-1 F50

Код M01 призначений для зупинки за вибором. Діє він аналогічно коду M00, проте надає вибір оператору - треба чи не треба переривати виконання керуючої програми. На панелі ПЧПК

практично будь-якого верстата є клавіша (або перемикач) «M01». Якщо ця клавіша натиснута, то при читанні кадру з M01 відбувається зупинка. Якщо ж не натискати жодної клавіші, то команда M01 пропускається і виконання програми не переривається.

- Управління обертанням шпинделя - M03, M04, M05:

Допоміжні коди M03 і M04 призначені для управління обертанням шпинделя. Єдина різниця між двома цими M-кодами полягає в напрямку обертання. Код M03 відповідає за пряме (за годинниковою стрілкою), а M04 - за зворотнє обертання шпинделя (проти годинникової стрілки). Напрямок обертання визначається, якщо дивитися в від'ємному напрямку осі Z (з боку шпинделя в сторону заготовки). При фрезеруванні ріжучі інструменти повинні мати пряме обертання (M03). При виведенні мітчика з отвору, при нарізанні лівої різьби, в циклах автоматичного вимірювання діаметра інструмента може знадобитися зворотнє обертання шпинделя (M04).

В кінці програми обробки і перед зміною інструменту потрібно зупинити обертання шпинделя за допомогою команди M05.

N40 Z5.0

N45 G00 Z100.0

N50 M05

M55 M30

%

Для завдання частоти обертання шпинделя використовується S-адреса. Після адреси S вказується числове значення, що виражає швидкість обертання шпинделя в об/хв. Більшість СЧПУ сприймають тільки цілочисельне значення S. Зазвичай код M03 і S знаходяться в одному кадрі. Наприклад, кадр N20 змушує обертатися шпиндель в прямому напрямку зі швидкістю 1000 об/хв:

%

O0002

N05 G21 G40 G49 G54 G80 G90 G98 G00

N10 T1 M06

N15 G43 H1 Z100.0

N20 M03 S1000

N25 X100.0 Y150.0 Z5

N30 G01 Z-0.5

N35 X200.0 Y250.0

N40 Z5.0

N45 G00 Z100.0**N50 M05****M55 M30**

%

Деякі верстати (переважно старих моделей) оснащені спеціальною коробкою швидкостей. Потрібна програма для відповідного діапазону швидкостей обертання шпинделя вибирається автоматично або за допомогою M-кодів. Зазвичай для включення низької передачі використовується код M41, а для включення більш високих передач - M42, M43 і т.д. Перемикання передач в цьому випадку необхідне, щоб двигун, що обертає шпиндель не піддавався надмірним навантаженням.

- Управління подачею MOP - M07, M08, M09:

В процесі фрезерування охолоджуюча рідина подається в зону обробки для підвищення стійкості інструменту, поліпшення якості оброблюваної поверхні і видалення стружки. Верстати з ЧПК оснащуються системою автоматичної подачі MOP. Управління цією системою здійснюється за допомогою декількох M-кодів. Зазвичай код M08 використовується для включення подачі охолоджуючої рідини, а код M09 - для виключення. Деякі верстати дозволяють подавати MOP в зону обробки в різному вигляді. Наприклад, код M08 може викликати подачу охолоджуючої рідини у вигляді струменя, а код M07 - в розпиленому вигляді.

Подачу MOP прийнято відключати перед зміною інструменту і в кінці програми обробки. Сучасні верстати роблять це автоматично при читанні коду M06 (зміна інструменту), кодів M30 і M02 (кінець програми). Крім програмного управління системою автоматичної подачі MOP, існує і ручне управління, що дозволяє оператору верстата за допомогою певних клавіш на панелі ПЧПК включати або вимикати подачу охолоджуючої рідини в разі потреби.

Для того щоб струмінь охолоджувальної рідини точно потрапляла в потрібне місце зони обробки і на ріжучий інструмент, використовують гнучкі шланги.

- Автоматична зміна інструменту - M06:

Код M06 призначений для автоматичної зміни інструменту. Деякі верстати з ЧПК минулих поколінь або недорогі настільні верстати не мають пристрою автоматичної зміни інструменту. У

цьому випадку оператор верстата змушений зупиняти програму і вручну змінювати один інструмент на інший.

Сучасні верстати з ЧПК мають пристрій зміни інструменту, що звільняє оператора від зайвого втручання в виробничий цикл верстата. Інструменти знаходяться в гніздах спеціального барабана, який зазвичай називають *магазином інструментів*. У більшості верстатів кожне з гнізд магазину інструментів має власний номер. Спеціальні датчики і пристрої зворотного зв'язку допомагають системі ЧПК визначити положення магазину інструментів та наявність інструменту в гніздах.

Зазвичай для виконання автоматичної зміни інструменту програміст безпосередньо вказує номер інструменту, який необхідно взяти (номер інструменту в більшості випадків збігається з номером гнізда інструментального магазину). Такий спосіб зміни інструменту називається абсолютним. Деякі старі верстати використовували відносний спосіб зміни інструменту. У цьому випадку номер інструменту відраховується від номера поточного інструменту, що менш зручно.

Виробники верстатів постійно вдосконалюють конструкцію пристроїв автоматичної зміни інструменту. Сьогодні найбільш популярними є такі конфігурації:

- магазин інструментів переміщається при зміні інструменту, тип «парасольку»;
- магазин інструментів не переміщається при зміні інструменту, тип «рука».

Спочатку розглянемо алгоритм роботи пристрою автоматичної зміни інструменту з переміщається магазином. Коли керуюча програма доходить до кадру зміни інструменту, шпindel переміщується в певну точку, що знаходиться поруч з магазином інструментів. Магазин інструментів переміщається в цю ж точку до «зчеплення» інструменту з порожнім гніздом. Шпindel трохи піднімається вгору, звільняючи відпрацьований інструмент. Магазин інструментів повертається таким чином, щоб обраний інструмент знаходився під шпindelем. Шпindel опускається, затискає новий інструмент і відводиться вгору. Магазин інструментів переміщається назад на своє місце.

Якщо магазин інструментів не переміщається, то можливий наступний алгоритм роботи. Спочатку шпindel ь переміщується в певну точку, що знаходиться поруч з магазином інструментів. Потім магазин інструментів повертається таким чином, щоб обраний інструмент знаходився навпроти шпindel ь. Механічна «рука», що знаходиться між магазином і шпindel ь, захоплює відпрацьований інструмент в шпindel ь і новий інструмент в магазині. Рука опускається вниз, звільняє інструмент і змінює їх місцями. Рука піднімається вгору, при цьому новий інструмент затискається в шпindel ь, а старий залишається в магазині інструментів.

Потрібно уважно ознайомитись з відповідним розділом документації верстата, для того щоб запобігти помилок при зміні інструменту.

Зазвичай верстати з ЧПК проводять зміну інструменту при зчитуванні в програмі наступної команди: **M06 T1**

Адреса T позначає номер інструменту, що викликається, а M06 забезпечує зміну. Більшість СЧПК допускають будь-який порядок слів даних в кадрі зміни інструменту: **T1M06** теж буде вірно.

Деякі СЧПК вимагають, щоб адреса T і команда M06 перебували в різних кадрах, інакше автоматична зміна інструменту може бути виконана неправильно:

N10 T1

N20 M06

Відразу після зміни необхідно виконати компенсацію довжини нового інструменту.

Компенсація довжини інструменту здійснюється за допомогою коду G43 і наступного за ним H-слова даних. Для зручності номер коректора на довжину збігається з номером інструмента. Наприклад, для виконання компенсації довжини інструменту № 1 в УП необхідно вказати: **G43 H1**.

Деякі верстати старих моделей вимагали вказувати напрямок компенсації довжини інструменту. При цьому код G43 визначає доданий напрямок, а G44 – від'ємний напрямок компенсації.

Перед тим як викликати новий інструмент, прийнято скасовувати компенсацію довжини активного інструменту. Ця дія проводиться за допомогою коду G49, хоча багато сучасних СЧПК скасовують компенсацію довжини автоматично при вказівці команди M06. Якщо проведена зміна інструменту, а компенсація його довжини

не виконано, то можливо зіткнення інструменту з заготовкою або частинами верстата.

Для забезпечення безпеки перед зміною інструменту рекомендується виконувати повернення в вихідну позицію по осі Z:

G91 G28 Z0

T3 M06

G43 H3

Щоб уникнути серйозних помилок, при зміні інструменту оператору верстата необхідно бути особливо уважним.

- Завершення програми - M30 і M02:

В кінці будь-якої керуючої програми повинен знаходитися код її завершення - M30 або M02. При виконанні будь-якого з цих кодів верстат зупиняється незалежно від того, яку функцію він виконував. Різниця між M30 і M02 полягає в тому, що код M30, крім завершення програми «скидає» її на початок, а код M02 не робить цього. Тобто при закінченні програми обробки з M30 курсор поточного становища переводиться в самий початок програми, а з M02 залишається в кінці.

Зазвичай при завершенні програми обробки проводиться переміщення робочого столу або інструменту в позицію, яка полегшує оператору зняття готової деталі з верстата. Таке переміщення відбувається за допомогою коду повернення в вихідну позицію G28:

N120 G91 G28 X0 Y0 Z0

N130 M05

N140 M30

%

ТЕМА 9. ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

9.1 Використання підпрограм

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 виконати її певне число раз. Якщо програма 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 кодї головної програми. У цьому випадку головна програма і підпрограма знаходяться в різних файлах.

Внутрішня підпрограма виконується, коли СЧПК зчитує код M97. При цьому адреса Р 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.



Рис. 9.1- Код керуючої програми з використанням підпрограм

Зовнішні підпрограми працюють схожим чином. Коли в головній програмі зустрічається кадр з кодом M98, то викликається підпрограма з номером, встановленим за допомогою Р-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.

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 при використанні підпрограм є можливість зручної і ефективної роботи з програмними масивами і шаблонами.

9.2 Робота з віссю обертання (4-ою координатою)

Часом виникають випадки, коли 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 при виконанні певної команди. Зазвичай 4-а вісь управляється за допомогою адрес А чи В, а числове значення визначає кут повороту в градусах.

Існують два варіанти роботи з керованим поворотним столом:

Перший варіант - необхідно повернути його на певний кут і потім виконати будь-яку технологічну операцію (індексація).

Другий варіант - потрібно виконати фрезерування одночасно з поворотом столу. У цьому випадку необхідне 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 в кадр з лінійною інтерполяцією, позиціонуванням або постійним циклом необхідно 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:

G81 X0 Y0 Z-5 A0 F45 R0.5

A15

A30

G80

Потрібно врахувати кілька технічних особливостей при роботі з керованим поворотним столом. По-перше, поворотний стіл може обертатися як в додатному, так і в від'ємному 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 потрібно повернути стіл на 400° , а СЧПК дозволяє вказувати кут не більше 360° . Доведеться запрограмувати додатковий кадр з кутом в 40° щодо попереднього положення столу. Також потрібно враховувати, що чим далі від центру обертання їде переміщення, тим більшою буде помилка лінійного переміщення.

9.3 Параметричне програмування

Одним з найцікавіших і ефективних методів програмування обробки є параметричне програмування. Більшість технологів-програмістів хоч і чули про цей метод, але зовсім не вміють його використовувати. Далі ми ознайомимося з теорією параметричного програмування і основ макромови системи ЧПК сучасного верстата.

Більшість верстатних систем ЧПК мають в своєму розпорядженні спеціальну мову для параметричного програмування (макропрограмування). Наприклад, в СЧПК Fanuc цю мову називається MacroB. За своїм принципом вона дуже схожа на мову програмування Бейсік (Basic).

У звичайній керуючій програмі вказуються різні G-коди, а також напрямки і величини переміщень за допомогою числових значень. Наприклад, G10 або X100. Однак СЧПУ верстата може робити те ж саме за допомогою змінних.

Символом змінної в MacroB є знак #. Наприклад, в програмі можна вказати наступні вирази:

#1 = 100

#2 = 200

#3 = #1 + #2

Це означає, що змінній #1 присвоюється значення 100, а змінній #2 - значення 200. Змінна #3 буде результатом суми змінної #1 і змінної #2. Таким способом можна записати і G-код:

25 = 1

G #25

Зі змінними можна проводити різні арифметичні і логічні операції, що дозволяє створювати «розумні» програми обробки або різні верстатні цикли.

У пам'яті системи ЧПК існує область, в якій зберігаються значення змінних. Ці значення можна знайти якщо знайти розділ пам'яті СЧПК, який зазвичай називається MACRO або VARIABLES. Присвоювати значення змінним можна не тільки всередині програми, а й безпосередньо - вводячи значення в реєстри цієї пам'яті. Можна скласти таку програму:

#1 = 25

#2 = 30

#3 = #2 + #1

У цьому випадку значення присвоюються змінним всередині програми. Щоб в майбутньому змінити числові значення змінних #1 і #2, доведеться відредагувати програму.

Можна реалізувати більш зручний варіант, який дозволить змінювати значення змінних в будь-який момент, не вдаючись до зміни самої програми:

#3 = #2 + #1

В даному випадку змінним #1 і #2 в програмі не присвоєно ніяких значень. Оператор верстата може увійти в область змінних MACRO і ввести будь-числове значення для будь-якої змінної.

Таблиця 9.1 Приклад запису змінних

№ змінної	Значення
0	0
1	10
2	12
3	0
4	0
...	
700	0
701	0

Після того як оператор верстата присвоїть змінній #1 значення 10, а змінній #2 значення 12 і виконає програму, значення змінної #3 стане рівним 22.

Всі змінні системи ЧПУ можна умовно розділити на 4 типи: нульові; локальні; загальні; системні.

Локальні змінні можуть бути використані всередині макросів для зберігання даних. При виключенні електроживлення локальні змінні обнуляються. У більшості верстатів з СЧПК Fanuc нульової серії локальними є змінні з номерами від 1 до 33.

Загальні змінні можуть працювати всередині різних параметричних програм і макросів. При виключенні електроживлення деякі загальні змінні обнуляються, а деякі зберігають свої значення. У більшості верстатів з СЧПУ Fanuc нульової серії загальними є змінні з номерами від 100 до 999.

Системні змінні використовуються для читання і запису різної системної інформації - даних про позицію інструменту, величинах компенсації, часу та ін. Номери системних змінних для Fanuc нульової серії починаються з 1000.

Нульові змінні завжди дорівнюють нулю.

Для виконання арифметичних і логічних операцій мова MacroB надає набір команд і операторів.

Таблиця 9.2 Основні логічні і арифметичні операції

Фунція	Формат
Рівність	#a=#b
Додавання	#c=#a+#b
Віднімання	#c=#a-#b
Множення	#c=#a*#b
Ділення	#c=#a/#b
Сінус	#c=SIN[#b]
Косинус	#c=COS[#b]
Тангенс	#c=TAN[#b]
Арктангенс	#c=ATAN[#b]
Квадратний корінь	#c=SQRT[#b]
Абсолютне значення	#c=ABS[#b]
Округлення	#c=ROUND[#b]
АБО (OR)	#c=#a OR #b
ТА (AND)	#c=#a AND #b

Для керування змінними і для виконання різних логічних операцій використовують макроси. Дії мови MacroB схожі на команди Бейсика.

Команда безумовного переходу GOTO призначена для передачі управління певному кадру програми. Формат команди наступний:

GOTO N - безумовний перехід до кадру N;

GOTO #A - безумовний перехід до кадру, встановленому змінною #A.

Приклад:

N10 G01 X100

N20 G01 X-100

N30 GOTO 10

Після виконання кадру N30 система ЧПК переходить до кадру N10. Потім знову працює з кадрами N20 і N30 - виходить нескінченний цикл.

Команда умови IF дозволяє виконувати різні дії з умовою. Після IF вказується деякий вираз. Якщо цей вираз виявляється справедливим, то виконується команда (наприклад, команда безумовного переходу), що знаходиться в кадрі з IF. Якщо вираз виявляється несправедливим, то команда, яка перебуває в кадрі з IF, не виконується, а управління передається наступному кадру.

Формат команди наступний:

IF [#a GT #b] GOTO N

приклад:

1 = 100

2 = 80

N10 G01 X200

N20 IF [# 1 GT # 2] GOTO 40

N30 G01 X300

N40 M30

На початку програмного прикладу змінним #1 і #2 присвоюються значення 100 і 80 відповідно. У кадрі N20 відбувається перевірка умови. Якщо значення змінної #1 більше значення змінної #2, то виконується команда переходу GOTO до кадру закінчення програми N40. У прикладі вираз вважається справедливим, так як 100 більше, ніж 80. В результаті після виконання кадру N10 відбувається перехід до кадру N40, тобто кадр N30 не виконується.

У цій же програмі можна змінити значення змінних:

1 = 100

2 = 120

N10 G01 X200

N20 IF [# 1 GT # 2] GOTO 40

N30 G01 X300

N40M30

У другому випадку умова в кадрі N20 не буде справедливою, так як 100 не більш, ніж 120. У результаті після виконання кадру N10 не відбувається перехід до кадру N40, тобто кадр N30 виконується як звичайно.

У вираженні [#1 GT #2] використовуються оператори порівняння. У табл.9.3 зведені оператори для порівняння змінних мови MacroB.

Таблиця 9.3.-Оператори порівня

Оператор	Зміст
EQ	Дорівнює (=)
NE	Не дорівнює
GT	Більше (>)
GE	Більше або дорівнює
LT	Менше (<)
LE	Менше або дорівнює

Команда WHILE дозволяє повторювати різні дії з умовою. Поки вказаний вираз вважається справедливим, відбувається виконання частини програми, обмеженою командами **DO** і **END**. Якщо вираз не справедливо, то управління передається кадру, наступного за **END**.

%

O1000

#1=0

#2=1

WHILE [#2 LE 10] DO 1;

#1=#1+#2

#2=#2+1

END 1**M30**

%

Макропрограмою називається програма, яка знаходиться в пам'яті СЧПК і містить різні дії. Макропрограми можна викликати із звичайної програми за допомогою G-коду, аналогічно постійним циклам. При виклику макропрограми існує можливість прямої передачі значень для змінних макропрограми.

Команда G65 призначена для немодального виклику макропрограми. Формат для цієї команди наступний:

G65 P_L_A_V_

де G65 - команда виклику макропрограми; P - номер мікропрограми, що викликається; L - число повторень макропрограми; A і V - адреси і значення локальних змінних.

Приклад:

G65 P9010 L2 A121 V303 - макропрограма 9010 викликається 2 рази, відповідним локальним змінним присвоюються значення 121 і 303.

Необхідно знати, який локальній змінній присвоюється значення за допомогою того чи іншого адресу. Наприклад, для СЧПК Fanuc 0-MD будуть справедливі такі залежності наведенні в табл..

Таблиця 9.4 Адреси локальних змінних

Адреса	Змінна
A	#1
B	#2
C	#3
D	#7
E	#8
F	#9
H	#11
I	#4
J	#5
K	#6
M	#13
Q	#17
R	#18

S	#19
T	#20
U	#21
V	#22
W	#23
X	#24
Y	#25
Z	#26

ТЕМА 10. УПРАВЛІННЯ ВЕРСТАТОМ З ЧПК

10.1 Органи управління верстатом з ЧПК

Більшість органів управління сучасного верстата з ЧПК зосереджені на передній панелі стійки ЧПК. До органів управління відносяться різні перемикачі та клавіші, а також дисплей, що дозволяє оператору «спілкуватися» з верстатом. Як правило, системи ЧПК мають монохромний або кольоровий електронно-променевої дисплей, хоча найсучасніші верстати можуть бути оснащені рідкокристалічним дисплеєм. Будь-яка стійка ЧПУ має клавіатуру: або повнорозмірну, аналогову клавіатуру звичайного персонального комп'ютера, або обмежену, яка дозволяє вводити тільки основні символи і знаки програмування.

Всі клавіші, перемикачі та рукоятки верстата можна умовно розділити на кілька функціональних груп:

- **Клавіші для введення різних символів, букв і цифр.**

За допомогою клавіатури ПЧПК оператор верстата може скласти програму обробки прямо на екрані, вводючи G-коди, різні слова даних і спеціальні символи програмування (наприклад, знак кінця кадру). У разі обмеженою клавіатури одна клавіша може відповідати за кілька символів (адрес).

Багато верстатів мають можливість прямого (без програмування G- і M-кодів) включення / вимикання шпинделя і управління швидкістю його обертання. Система ЧПК надає оператору верстата можливість коригування запрограмованої швидкості подачі і частоти обертання шпинделя в певних діапазонах.

• Клавiші та перемикачі для роботи зі спеціальними функціями верстата.

За включення і вимикання освітлення робочої зони верстата, управління системою видалення стружки і інші допоміжні дії відповідають клавiші і перемикачі для роботи зі спеціальними функціями.

• Клавiші циклу програмування.

За пуск керуючої програми відповідає кнопка Старт циклу, а за її останов - кнопки Зупинка подачі або Скидання. До цієї ж групи належать клавiші для активації функцій вибіркової зупинки M01, пропуску кадру /, покадрового виконання програми, пробного прогону і блокування осьових переміщень.

• Інші органи управління.

Частина органів управління може бути розташована не на самому пульті ПЧПК. Наприклад, вимикач електроживлення часто розташований на тильній стороні корпусу верстата, а клавiші управління інструментальним магазином - прямо поруч з віконцем для завантаження інструментів. Велика червона кнопка екстреного останова знаходиться на самому видному і доступному місці.

Практично всі верстатів з ЧПК мають маховики, які дають можливість оператору переміщати виконавчі органи вручну. Як правило, цими маховиками оператор користується для виконання точних операцій, таких як пошук нульової точки або вимірювання довжини інструменту.

Крім різних органів управління, верстат з ЧПК має набір індикаторів. Ці індикатори (світлодіоди або лампочки) можуть показувати, прийшли або не прийшли виконавчі органи верстата в нульову точку, чи включена подача МОР, і сигналізують про аварійну ситуацію.

10.2 Основні режими роботи

1. **Режим автоматичного управління.** Цей режим є основним для верстата з ЧПУ. Саме в цьому режимі проводиться обробка деталі за програмою. Для запуску КП на виконання необхідно спочатку вибрати активну програму і потім натиснути кнопку Старт циклу.

У режимі автоматичного управління оператор може впливати на запрограмовану швидкість подачі і частоту обертання шпинделя. Рукоятка корекції прискореного ходу дозволяє змінювати швидкість холостих переміщень виконавчих органів верстата зазвичай в діапазоні від 0 до 150%.

2. **Режим редагування.** В цьому режимі оператор верстата може вводити нову або редагувати існуючу програму обробки вручну, використовуючи клавіатуру ПЧПК.

Можливості по редагуванню КП у різних стійок ЧПК можуть значно відрізнятись. Найпростіші системи дозволяють вставляти, видаляти і копіювати слова даних. Найсучасніші СЧПК мають функції пошуку і заміни даних (аналогічно текстовим редакторам на ПК), копіювання, видалення і перенесення певного програмного діапазону, здатні редагувати КП у фоновому режимі.

Функція фонового редагування даних дозволяє оператору верстата створювати або редагувати одну програму при одночасному виконанні іншої програми. Для фонового редагування систему управління необхідно переключити в автоматичний режим.

Зазвичай в режимі редагування здійснюється завантаження КП з персонального комп'ютера або іншого зовнішнього пристрою. Тут же можна перевірити розмір вільної пам'яті СЧПК і кількість зареєстрованих програм.

3. **Режим ручного введення даних MDI.** Режим ручного введення даних MDI дозволяє оператору ввести і виконати один або кілька кадрів, які не записаних в пам'яті СЧПК. Зазвичай цей режим використовується для введення окремих G- і M-кодів, наприклад для зміни інструменту або включення оборотів шпинделя. Введені команди і слова даних після виконання або скидання видаляються.

4. **Кроковий режим.** Кроковий (старт-стоп) режим забезпечує ручне переміщення виконавчих органів верстата при натисканні на відповідні кнопки на панелі ПЧПК.

5. Режим управління ручним генератором імпульсів або маховиками. В цьому режимі здійснюється переміщення виконавчих органів верстата за допомогою ручного генератора імпульсів, який схожий на пульт дистанційного керування або за допомогою спеціальних маховиків на панелі ПЧПК. Оператор верстата може задавати крок і напрямок переміщення за допомогою спеціальних перемикачів.



Рис.10.2- Ручний генератор імпульсів

6. Режим повернення в нульову точку. Повернення виконавчих органів в нульову точку є стандартною процедурою при включенні верстата. В цьому випадку відбувається синхронізація верстата і системи управління.

7. Режим прямого числового керування DNC. Режим DNC дозволяє виконувати програму обробки прямо з комп'ютера або іншого зовнішнього пристрою, не записуючи її в пам'ять системи. Зазвичай в цьому режимі виконуються КП великого розміру, які не можуть поміститися в пам'яті СЧПУ.

8.Режим редагування параметрів. В цьому режимі проводять редагування параметрів системи ЧПК. Параметри користувача відповідають за налаштування поточної дати і часу, роботу в різних режимах і т.д. Системні параметри впливають на функціонування верстата в цілому. Не рекомендується самостійно змінювати значення системних параметрів. Іноді вхід в область параметрів заблокований і для редагування потрібно ввести спеціальний код, встановлений виробником верстата.

9. **Тестові режими.** У будь-якого верстата з ЧПК є певна кількість тестових функцій. До них, наприклад, відносяться пробний прогін і покадрове відпрацювання КП. Деякі системи ЧПК дозволяють здійснювати графічну перевірку траєкторії.

ТЕМА 11. ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДГОТОВКИ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ ЧПК

Технологічний процес обробки деталі і створення керуючої програми для верстатів з ЧПК розробляються на основі різноманітної інформації, яка готується різними підрозділами підприємства. Сучасний рівень розвитку техніки дозволяє здійснювати так званий наскрізний процес, при якому автоматизовані і комп'ютеризовані всі етапи роботи із створення виробу – від розробки до виготовлення.

В умовах сучасного виробництва підготовка керуючих програм здійснюється різними способами за допомогою різних технічних засобів. Вибір визначається конкретними умовами виробництва, в першу чергу моделями верстатів і систем ЧПК, фінансовими можливостями підприємства, рівнем кваліфікації фахівців і т.п.

Залежно від перерахованих чинників можливі три різні організаційні рівні, на яких здійснюється розробка керуючих програм:

- рівень виробничого цеху;
- рівень спеціалізованого підрозділу по програмуванню;
- рівень конструкторсько-технологічного підрозділу.

11.1 Складання керуючих програм в цеху

Складання програм в цеху відбувається, як правило, вручну для конкретної моделі верстата, оснащеного конкретною системою ЧПК. При ручному способі підготовки всі необхідні обчислення для складання програми виконуються в основному вручну або за допомогою калькуляторів. Потім на основі виконаних обчислень вручну або на текстовому редакторі ПК складається програма в спеціальних кодах на мові системи ЧПК верстата. Після чого текст програми за допомогою спеціальної техніки переноситься на програмоносій, а з нього - в систему ЧПК верстата.

Останнім часом, завдяки швидкому розвитку техніки з ЧПК, при ручному способі програмування в цеху широко використовується

введення програми в систему ЧПК безпосередньо з пульта верстата. Можливості сучасних пультів з ЧПК дозволяють виконувати на них не тільки ручне введення тексту програми, але і попередню графічну імітацію обробки за складеною програмою, а також корекцію введеної програми.

Введення програми з пульта верстата має один принциповий недолік – при введенні тексту нової програми неминуче відбувається значний простій дорогого верстата.

Як правило, програмування в цеху використовується у відносно невеликих фірмах, що мають декілька верстатів з ЧПК, в яких фахівець з технології і програмування не може мати постійного, повноцінного завантаження. В цьому випадку доцільно привертати оператора верстата для виконання всього різноманіття задач, пов'язаних з обслуговуванням верстатів з ЧПК: не тільки знімати і встановлювати заготовки і стежити за обробкою, але і вводити програму в ЧПК, перевіряти і оптимізувати її.

Програмування в цеху має певні позитивні і негативні сторони. Воно не вимагає великих витрат на організацію роботи і дозволяє оперативно вносити зміни в уже існуючі програми. Проте щоб воно було ефективним, необхідно виконати ряд умов:

- програма повинна мати невеликий об'єм і не вимагати при її складанні громіздких і складних обчислень;
- асортимент оброблюваних на верстатах з ЧПК виробів не повинен бути великим і не повинен часто мінятися;
- оператор верстатів з ЧПК не повинен одночасно обслуговувати багато верстатів;
- оператор верстатів з ЧПК повинен мати високу кваліфікацію, що дозволяє виконувати не тільки прості операції по обслуговуванню верстата, але і функції технолога-програміста.

11.2 Складання керуючих програм у спеціалізованому підрозділі по програмуванню

Підготовка програм силами спеціалізованих підрозділів характерна для відносно крупних виробничих фірм, що оснащених різноманітним устаткуванням з ЧПК і мають стабільні замовлення. В цьому випадку для фірми економічно недоцільно створювати програми в цеху безпосередньо у верстатів, оскільки це приводить до

значних втрат машинного часу. Набагато вигіднішим є організація окремого підрозділу, що виконує винятково розрахунки і складання програм, завдяки чому постійно створюються умови для максимального завантаження верстатів з ЧПК і безперебійного виготовлення на них виробів.

Якщо підрозділ має в своєму розпорядженні програмістів високої кваліфікації, виробы, що виготовляються, не відрізняються високою складністю, і зміна номенклатури виробів відбувається рідко, то для складання ефективних програм, як правило, цілком досить ручного способу програмування. Якщо одна з перерахованих умов не дотримується, то для успішної роботи в сучасних умовах необхідно використовувати автоматизовані способи підготовки програм.

Існує декілька рівнів автоматизації програмування для ЧПК:

- перший рівень – розрахунок на комп'ютерах геометричних координат характерних точок траєкторії, по яких ріжучий інструмент переміщається в процесі обробки;
- другий рівень – розрахунок на комп'ютерах керуючої програми по виконанню одним інструментом окремого переходу технологічної операції і складання тексту програми на цей перехід в кодах конкретної системи ЧПК;
- третій рівень - розрахунок на комп'ютерах керуючої програми на операційний технологічний процес і складання тексту програми в кодах конкретної системи ЧПК.

11.3 Складання керуючої програм у конструкторсько-технологічному підрозділі

Завдяки інтенсивній комп'ютеризації виробництва з'явилася можливість проводити підготовку програм силами співробітників конструкторсько-технологічних підрозділів. Ця робота виконується за допомогою CAD/CAM-систем, які дозволяють організувати на одному комп'ютері універсальне робоче місце і виконувати на ньому весь комплекс робіт: від розробки виробу до розробки програм для його виготовлення на верстатах з ЧПК.

Використовування CAD/CAM-систем при складанні програм в роботі конструкторів і технологів:

- дозволяє використовувати геометричну модель виробу, що виготовляється, для складання в інтерактивному діалоговому режимі операційного технологічного процесу її обробки;

- позбавляє від необхідності виконувати математичні обчислення траєкторій перемішень ріжучого інструменту при обробці на верстатах з ЧПК;

- дозволяє скласти управляючу програму в спеціальних кодах для різних систем ЧПК, задаючи початкові технологічні параметри в словесній формі з використанням загальнотехнічних термінів;

- дозволяє виконати графічну імітацію обробки виробу за складеною управляючою програмою і внести, при необхідності, коректування в програму;

- дозволяє одержати велику частину необхідної для документообігу технологічної документації.

ТЕМА 12. ОСНОВИ РОБОТИ В САМ-СИСТЕМАХ НА ПРИКЛАДІ PowerMILL

12.1 Призначення та загальна структура САМ-систем

Системи автоматизованої підготовки керуючих програм (САМ-системи) призначені для автоматизації процесів технологічної підготовки виробництва шляхом створення, аналізу та оптимізації траєкторій руху ріжучого інструменту на основі геометричної моделі деталі.

САМ-система PowerMILL відноситься до класу професійних систем автоматизованого програмування обробки на верстатах з ЧПК та широко використовується при виготовленні деталей зі складною просторовою формою, таких як штампи, прес-форми, лопатки, корпусні та тонкостінні елементи.

Основними функціональними модулями САМ-системи є:

- імпорт та аналіз геометричної 3D-моделі деталі;
- задання заготовки та технологічних баз;
- вибір ріжучого інструменту та режимів різання;
- формування траєкторій інструмента;
- симуляція процесу обробки;
- постпроцесування та генерація керуючої програми.

12.2 Підготовка геометричної моделі та заготовки

Робота в САМ-системі починається з імпорту геометричної моделі деталі, створеної в САД-системі. Модель може бути подана у вигляді поверхонь або твердого тіла. Перед початком програмування обробки необхідно виконати аналіз моделі на наявність розривів, накладених поверхонь, некоректних нормалей та інших геометричних помилок.

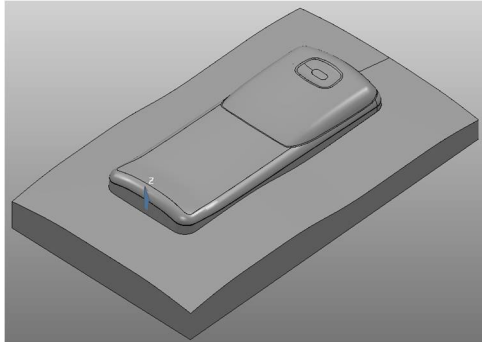


Рис.12.1- Імпортована модель

Заготовка в САМ-системі задається у вигляді простого геометричного тіла або шляхом копіювання геометрії деталі з урахуванням припусків на обробку. Коректне задання заготовки є важливим етапом, оскільки воно впливає на коректність розрахунку траєкторій, перевірку зіткнень та оцінку обсягу знімання матеріалу.

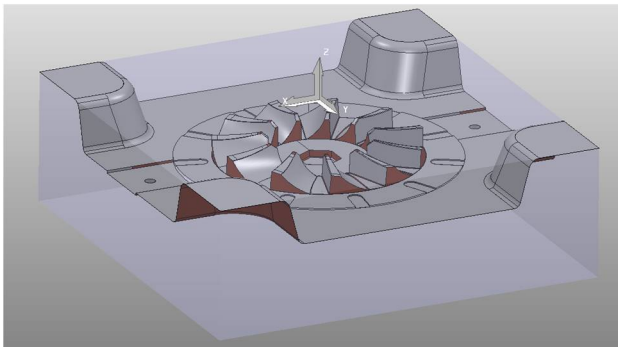


Рис.12.2- Заготовка моделі

Система координат заготовки в САМ-системі повинна відповідати системі координат, що буде використана на верстаті з ЧПК. Початок координат, як правило, співпадає з нульовою точкою заготовки, визначеною в технологічній документації.

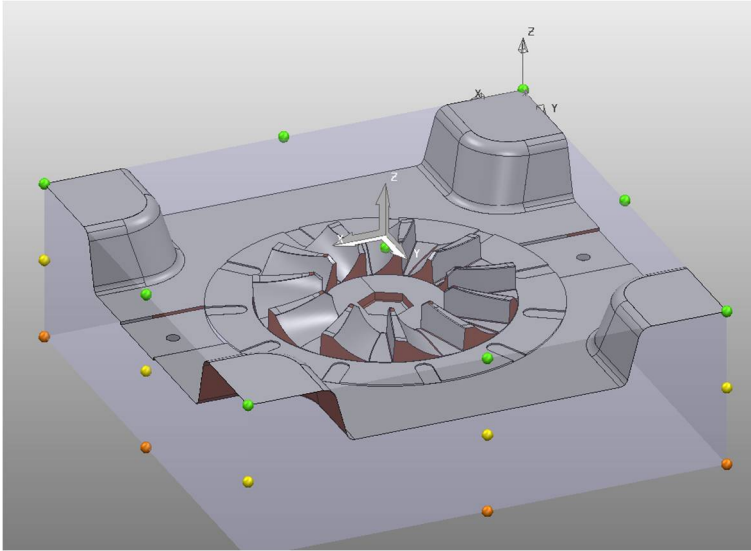


Рис.12.3- Можливі місця розташування системи координат

12.3 - Інструментальна база та параметри обробки

Для кожної технологічної операції в САМ-системі задається відповідний ріжучий інструмент. Інструмент описується геометричними параметрами (діаметр, довжина, радіус при вершині, форма), а також технологічними параметрами, що впливають на режим обробки.

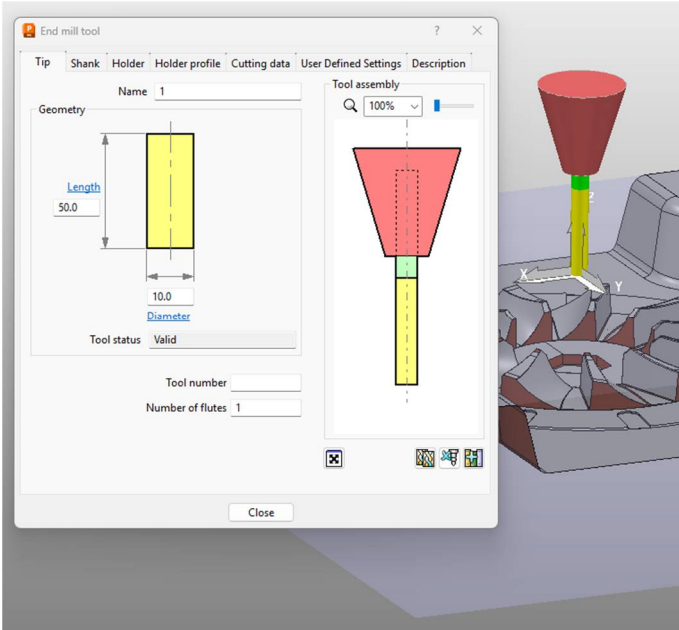


Рис.12.4 – Вікно створення інструменту та його відображення в робочій зоні

Параметри різання, такі як швидкість різання, подача та глибина різання, можуть задаватися як вручну, так і автоматично на основі вбудованих бібліотек матеріалів та інструментів. Коректний вибір цих параметрів безпосередньо впливає на якість поверхні, знос інструменту та тривалість обробки.

ТЕМА 13. СТВОРЕННЯ, СИМУЛЯЦІЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАЄКТОРІЙ ОБРОБКИ В PowerMILL

13.1 Формування траєкторій руху інструмента

Траєкторія інструмента є послідовністю переміщень, що визначають шлях ріжучої частини інструмента відносно поверхні заготовки в процесі обробки. У САМ-системі PowerMILL траєкторії формуються автоматично на основі вибраної стратегії обробки та заданих параметрів.

Основні типи стратегій обробки включають:

- чорнову обробку;
- напівчистову обробку;
- чистову обробку;
- локальну обробку окремих елементів поверхні.

При виборі стратегії обробки враховується форма деталі, жорсткість системи «верстат–інструмент–заготовка», а також вимоги до точності та шорсткості оброблюваної поверхні.

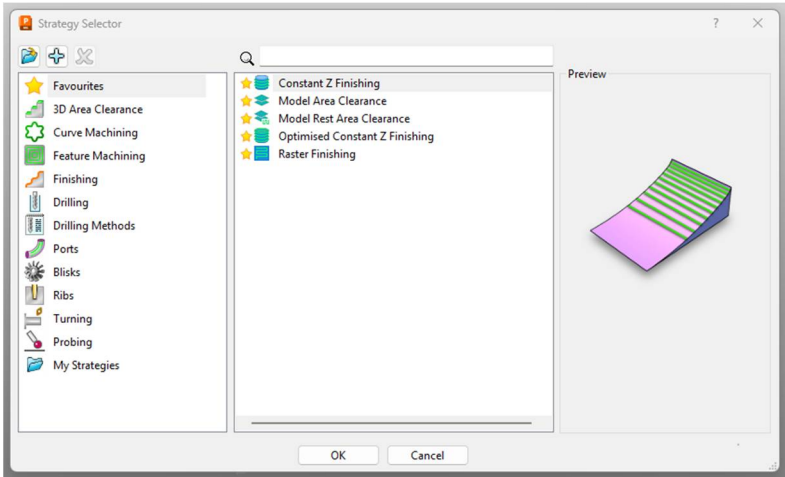


Рис. 12.5 – Вікно вибору стратегії обробки

13.2 Симуляція процесу обробки

Після створення траєкторії обов'язковим етапом є симуляція процесу обробки. Симуляція дозволяє візуально оцінити рух інструмента, перевірити коректність знімання матеріалу, а також виявити можливі зіткнення інструмента, державки або елементів верстата із заготовкою.

В процесі симуляції відтворюється зміна форми заготовки після кожної операції, що дає змогу аналізувати залишкові припуски та рівномірність навантаження на інструмент. У разі виявлення помилок параметри траєкторії коригуються з подальшим повторним моделюванням.

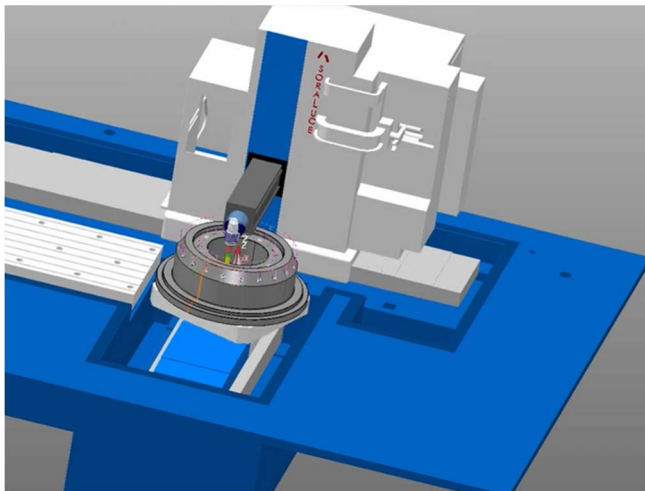


Рис.12.6 – Проведення симуляції обробки

13.3 Оптимізація обробки та постпроцесування

Оптимізація траєкторій в САМ-системі спрямована на зменшення часу обробки, зниження динамічних навантажень на верстат та підвищення ресурсу інструменту. Для цього використовуються методи зміни порядку проходів, адаптивного регулювання подачі, зменшення холостих переміщень та згладжування траєкторій.

Після завершення оптимізації траєкторій виконується постпроцесування, в результаті якого траєкторія перетворюється у керуючу програму у форматі G- та M-кодів, сумісну з конкретною системою ЧПК верстата. Постпроцесор враховує кінематичні особливості верстата, кількість координатних осей та специфіку керуючої системи.

Згенерована керуюча програма підлягає додатковій перевірці перед передачею на верстат, що є завершальним етапом підготовки процесу обробки в САМ-системі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Groover M.P. CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing / M. P. Groover. — 2nd ed. — Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 1999. — 624 p. — (Електронний ресурс). URL: <https://www.pearson.com/>
2. Autodesk. PowerMill — Training Manual / Autodesk. — [Електронний ресурс]. — Autodesk, 2019. — (PDF). URL: https://www.autodesk.com/sites/default/files/file_downloads/PowerMill-Robot-Training-Manual.pdf
3. Haas Automation. Mill Operator's Manual / Haas Automation. — [Електронний ресурс]. — Oxnard, CA: Haas Automation, 2023. — (PDF). URL: https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/en/service/manual/operator/english_mill_interactive_manual_print_version_2023.pdf
4. Посібник для практичного програмування верстатів з ЧПК (Heidenhain TNC640) / За ред. (навч. посібник). — Київ : Міністерство освіти і науки України; Нац. техн. ун-т України «КПІ», — (Електронний ресурс). URL: <https://static.scribd.com/>
5. Доля В. М. Програмування, введення та відпрацювання управляючих програм для верстатів з ЧПУ та РТК : Навч. посібник / В. М. Доля. — Харків : НТУ «ХПІ», 2003. — 169 с. — (Електронний ресурс). URL: <https://web.kpi.kharkov.ua/cutting/wp-content/uploads/sites/143/2018/04/KLPRTK.pdf>
6. Смід П. *CNC Programming Handbook* / P. Smid. — 3rd ed. — New York : Industrial Press, 2007. — 600 p. — (Електронний ресурс). URL: <https://books.industrialpress.com/9780831133474/cnc-programming-handbook/>