

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

О. О. Богданов, В. А. Дербабя, О. Л. Войчишен

ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми
«Комп'ютерні технології машинобудівного виробництва»
спеціальності 131 Прикладна механіка

Дніпро
НТУ «ДП»
2025

Богданов О. О.

Програмування для верстатів з ЧПК [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Комп'ютерні технології машинобудівного виробництва» спеціальності 131 Прикладна механіка / О. О. Богданов, В. А. Дербаб, О. Л. Войчишен ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 83 с.

Автори:

О. О. Богданов, канд. техн. наук, доц.

В. А. Дербаб, канд. техн. наук, доц.

О. Л. Войчишен.

Затверджено науково-методичною комісією спеціальності 131 Прикладна механіка (протокол № 8 від 18.12.2024) за поданням кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства (протокол № 12 від 20.11.2024).

Подано методичні рекомендації до практичних робіт з дисципліни Програмування для верстатів з ЧПК для здобувачів ступеня бакалавра спеціальності 131 Прикладна механіка (освітньо-професійна програма «Комп'ютерні технології машинобудівного виробництва»).

Викладено основи програмування та особливості технології обробки на верстатах з ЧПК, методики та приклади складання керуючих програм для токарних, фрезерних, свердлильних верстатів з ЧПК.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства В. А. Дербаб, канд. техн. наук, доц.

ЗМІСТ

Практична робота № 1	4
Основи програмування на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК)	
Практична робота № 2	15
Будова та особливості керування фрезерного верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК)	
Практична робота № 3	22
Будова та особливості керування токарного верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК)	
Практична робота № 4.....	37
Інструменти та пристрої для фрезерних верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК)	
Практична робота № 5	45
Інструменти та пристрої для токарних верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК)	
Практична робота № 6	51
Визначення основних елементів технологічного процесу обробки деталей	
Практична робота № 7	59
Вивчення параметрів програмування кола та складання програми для фрезерування канавок на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК)	
Практична робота № 8	68
Складання програми для обробки зовнішнього контуру деталі на фрезерному верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК)	
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ	81
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	82

Практична робота № 1

ОСНОВИ ПРОГРАМУВАННЯ НА ВЕРСТАТАХ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (ЧПК)

Мета роботи: вивчити основні функції та параметри програмування, навчитися складати кадри керуючої програми для обробки поверхонь деталей на верстатах з ЧПК.

Короткі теоретичні відомості

Системи ЧПК – це сукупність спеціалізованих пристроїв методів і засобів, необхідних для роботи верстата, яка призначена для видачі керуючих дій виконуючим органом верстата у відповідності з керуючою програмою. Стандартна система керування верстатом з ЧПК представлена на рис. 1.

Дизайнер деталей використовує головним чином CAD/CAM програми 1. Отриманий цими програмами результат – підпрограму 2, яка представлена у вигляді G – коду, передається у контролер верстата 3. Контролер верстата переводить підпрограму у вид, який підходить для керування ріжучим інструментом. Вісі верстата приводяться в рух від серво- або шагових двигунів. Драйвери перевіряють чи достатньо потужні і допустимі в часі сигнали, які поступають від контролера верстата (рис. 1).

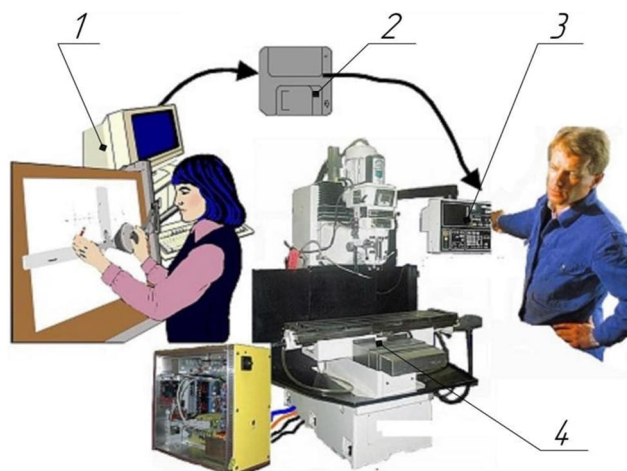


Рисунок 1 – Стандартна система керування верстатом з ЧПК: 1 – CAD/CAM програма; 2 – підпрограма; 3 – контролер; 4 – верстат.

Розробка керуючої програми

Керуюча програма (КП) має координати точок траєкторії інструмента, значення швидкості різання V або частоти обертання шпинделя S , подачі F , а також технологічні команди (змінна інструмента, включення, охолодження та інш.).

При запису кадрів під словом програми мають на увазі послідовність символів, що розглядаються в певному зв'язку як єдине ціле. Воно складається з адреси, позначеного літерою, і числа, що відображає або величину переміщення, або швидкість подачі, або код якоїсь іншої функції. Наприклад, слово $Y + 013345$ означає наступне, переміщення супорта верстата в позитивному напрямку осі Y на величину 13 345 імпульсів, що при дискретності 0,01 мм/імп означає переміщення на 133,45 мм.

Частина слова керуючої програми, яка визначає призначення наступних за ним даних, що містяться в цьому слові, називають адресою.

Фразу складають кілька слів, що описують обробку певної ділянки заготовки. Вона містить інформацію про геометричні та технологічні параметри, необхідних для обробки певної ділянки або для виконання допоміжних функцій (початок програми, підвід інструменту та ін.).

У програмі послідовність фраз визначає послідовність обробки окремих ділянок заготовки (деталі). Програма може бути записана двома способами: за фразами постійної і змінної довжини. Фрази постійної довжини називають кадрами.

Послідовність слів, розташованих у певному порядку і несуть інформацію про технологічну операції називають кадром програми. Кожному слову при записі програми кадрами відведено певне число рядків.

Записи фразами зі змінною довжиною можуть виконуватися трьома способами: адресним, табуляційним і універсальним. При записі адресним способом кожне слово починається з букви, яка вказує призначення подальшої числової інформації. При цьому довжина фраз виявляється змінною; одну фразу від іншої відокремлюють буквою H (знак закінчення фрази).

Якщо застосовують табуляційний спосіб запису, то всі слова фрази слідує один за одним в певній послідовності, їх поділяють буквою J (знак табуляції, умовно позначається TAB).

В універсальному способі записи використовують окремі елементи адресного і табуляційного способів.

Тому основними етапами підготовки КП являється:

- Розробка технологічної операції (схеми установки і закріплення деталі, схеми обробки, інструмент, режими різання – 20...30% трудовитрат);
- Розрахунок керуючої інформації (геометричної і технологічної (40...45%));
- Кодування, контроль і налагодження – 20...25%.

Для програмування руху інструменту необхідно провести розрахунок координат характерних точок траєкторії – так названих опорних точок, в яких змінюється напрямлення або/і швидкість руху інструмента або видаються технологічні команди. Розрахунок виконується на основі відомої геометрії оброблюваної поверхні з урахуванням форми інструмента – як правило, програмується вершини фрези або центра скруглення, тобто еквідистанти до перерізу деталі (рис. 2).

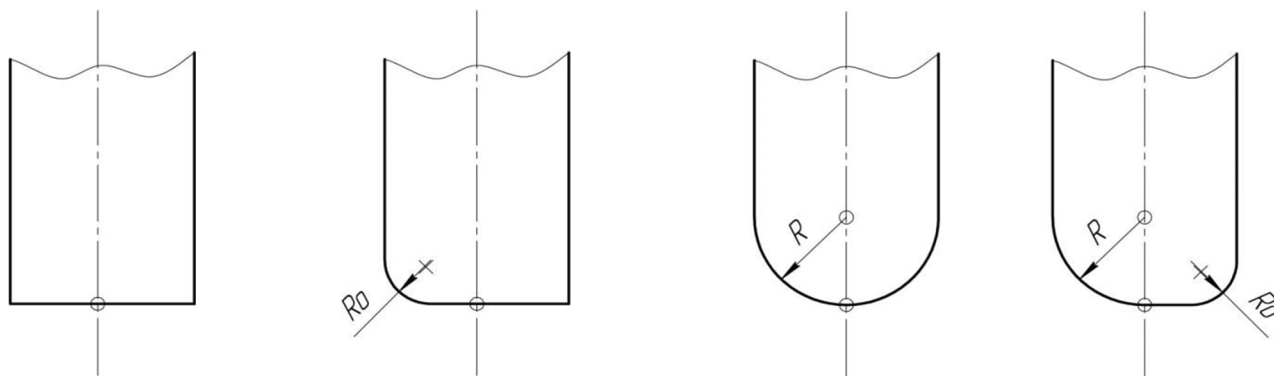


Рисунок 2 – Геометрія оброблюваної поверхні

Для верстатів з ЧПК запис програми здійснюють на програмоносій (перфострічках, перфокартах, магнітних стрічках). Єдині для всіх видів верстатів правила кодування інформації КП на носії даних здійснюється у відповідності з ГОСТ 20999 – 83 та аналогічними регламентованими Міжнародними стандартами ISO.

Керуюча програма – представляє собою послідовність кадрів (кодів). Кожна стрічка програми називається кадром. Склад кадру – номер і одне або декілька інформаційних слів. Структура керуючої програми та кадру для будь-якої системи ЧПК представлена на рис. 3.

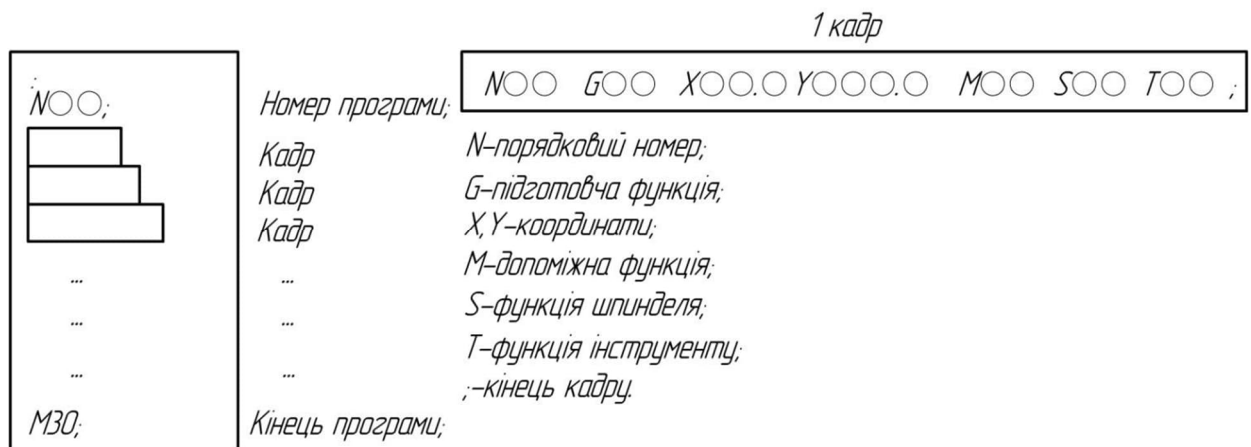


Рисунок 3 – Структура керуючої програми та кадру

На початку і в кінці програми ставиться знак «%». По цьому символі система визначає область, де знаходиться програма. Потім йде заголовок програми, який позначається буквою «O» або «:» з наступним номером (максимум 4 цифри). Кожний кадр завжди закінчується символом «;».

Закінчення програми є команди M2, M30 або M99. Умовно запис формату керуючої програми показує, як слід формувати його при конкретному програмуванні для даного верстата.

Перед кодуванням інформації виконують умовно запис кадру, використовуючи для цього літерні, графічні і цифрові символи наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Кодові символи, які використовуються в КП

Символ	Значення
A	Кут повороту навколо вісі X
B	Кут повороту навколо вісі Y
C	Кут повороту навколо вісі Z
D	Друга функція інструмента
E	Друга функція подачі
F	Перша функція подачі
G	Підготовча функція
H	Не визначено
I	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі X
J	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі Y
K	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі Z
L	Не визначено
M	Допоміжна функція
N	Номер кадру
O	Не визначено
P	Третинна довжина переміщення, паралельного вісі X
Q	Третинна довжина переміщення, паралельного вісі Y
R	Переміщення на швидкому ході по осі Z або третинна довжина переміщення, паралельного вісі Z
S	Функція головного руху
T	Перша функція інструменту
U	Вторинна довжина переміщення, паралельного вісі X
V	Вторинна довжина переміщення, паралельного вісі Y
W	Вторинна довжина переміщення, паралельного вісі Z
X	Первинна довжина переміщення, паралельного вісі X
Y	Первинна довжина переміщення, паралельного вісі Y
Z	Первинна довжина переміщення, паралельного вісі Z
ГТ	Табуляція
ПС	Кінець кадру
%	Початок програми
(	Кругла дужка ліва
)	Кругла дужка права
+	Плюс
-	Мінус
.	Крапка
;	Пропуск кадру
:	Головний кадр

Розмірні переміщення задаються в послідовності:

X,Y,Z (U,V,W,P,Q,R) – лінійні;

I,J,K – кругові;

A,B,C(D,E) – кутові .

Числа після адресів задають або абсолютні розміри, або приріст в залежності від установок підготовчих функцій. Значення I, J, K залежать від способу задання дуги.

Описи містять прототипи команд написані іншим шрифтом. У прототипах команд, тильда (~) означає реальне значення. Як описано раніше, реальне значення може бути (1) явним числом, наприклад 4,4, (2) виразом, наприклад [2+2,4], (3) значенням параметра, наприклад # 88, або (4) значенням одиничної функції, наприклад ACOS [0].

У більшості випадків, якщо дано назву осі (будь-який з них X ~, Y ~, Z ~, B ~, C ~, U ~, V ~, W ~), то воно позначає точку призначення.

Номери осей по відношенню до активної в даний момент координатній системі, якщо тільки не описано використання абсолютної системи координат. Там де назви осей необов'язкові, будь-які припущення осі будуть мати їх поточні значення. Будь-які предмети в прототипах команд не явно описаних як необов'язкові потрібні. Якщо потрібний предмет пропущено, то це помилка.

U, V і W це синоніми, A, B і C. Використання з U, B з V і т.д. буде помилкою (як використання A двічі на рядку). У докладному описі кодів U, V і W не явно згадуються кожен раз, але використовуються як A, B або C.

У прототипах, значення наступні за літерами часто даються як явні числа.

Якщо не вказано інше, явні числа можуть бути дійсними значеннями. Наприклад G10 L2 може бути рівнозначно замінено G[2*5] L[1+1]. Якщо значення параметра 100 дорівнює 2, то G10 L # 100 буде означати те ж саме. Використання дійсних значень які не явний числа як тільки що було показано в прикладі рідко буває корисним.

Якщо в прототипі написано L ~, то найчастіше "~" буде сприйнято як "L число". Відповідно "~" в H ~ можна назвати "H числом" і так далі для будь-якої іншої літери.

Якщо фактор шкали застосований до будь-якої вісі то він буде застосований до значення відповідають X, Y, Z, A / U, B / V, C / W виразів і до належать I, J, K або R виразами коли вони використовуються.

Опис структури кадру

Порядковий номер кадру:: = Nxx, де xx – ціле десяткове число.

Підготовча функція:: Gxx.

Всі підготовчі функції (G-коди) розбиті на 9 груп:

Група I: G00 – позиціювання (швидкий хід в точку);

G01 – лінійна інтерполяція;

G02, G03 – кругова інтерполяція в прямому або зворотному напрямках;

Група II: G17... G19 – вибір площини кругової інтерполяції (XY, ZX, YZ);

Група III: G40... G52 – корекція на діаметр або радіус інструмента;

Група IV: G53... G59 – корекція на довжину або положення інструмента;

Група V: G560... G62 – точне та швидке позиціювання;

Група VI: G80... G89 – стандартні цикли обробки отворів;

Група VII: G90 – відрахунок в абсолютних розмірах; G91 – відрахунок в приращеннях; G92 – установка «плаваючого нуля»;

Група VIII: G94, G95 – одиниці вимірювання подачі (мм/хв, мм/об);

Група IX: G96, G97 – одиниці вимірювання швидкості різання (м/хв, об/хв).

В кадрі може бути декілька підготовчих функцій, але із різних груп. Функція діє до тих пір, поки не буде відмінена іншою функцією із тієї ж групи.

В табл. 2 наведені основні G-коди.

Таблиця 2 – Підготовчі функції (G-коди)

Позначення	Опис
G00	Лінійна інтерполяція при прискореному переміщені
G01	Лінійна інтерполяція з швидкістю подачі
G02	Кругова інтерполяція по годинниковій стрілці
G03	Кругова інтерполяція проти годинникової стрілки
G04	Зупинка з витримкою часу (свердління). Точна зупинка
G05	Кругова інтерполяція з виходом на кругову траєкторію по дотичній
G06	Зменшення допустимого рівня прискорення
G07	Відміна зменшення допустимого рівня прискорення
G08	Керування швидкістю подачі в точках перегину
G09	Відміна керування швидкістю подачі в точках перегину
G10	Введення таблиць даних інструменту координатної системи і робочих відступів
G11	Лінійна інтерполяція в полярних координатах
G12	Кругова інтерполяція по годинниковій стрілці в полярних координатах
G13	Кругова інтерполяція проти годинниковій стрілці в полярних координатах
G14	Можливість програмувати коефіцієнта підсилення по швидкості
G15	Вихід в полярний режим
G16	Вхід в полярний режим
G17	Вибір площини X_Y
G18	Вибір площини Z_X
G19	Вибір площини Y_Z
G20, 70	Використання дюймів
G21, 71	Використання міліметрів
G22	Активація осей
G23	Програмування умовного переходу
G24	Програмування безумовного переходу
G28	Повернення в початкове положення
G28.1	Калібровка осей
G30	Повернення в початкове положення
G31	Пряме дослідження
G32	Нарізання різьби без компенсуючого патрона
G34	Округлення двох лінійних ділянок
G35	Відміна округлення двох лінійних ділянок
G36	Відновлення параметрів відхилення, які установлені в машинних параметрах
G37	Програмування координат полюса дзеркального відображення
G38	Активація дзеркального відображення, повороту, масштабування
G39	Відміна функції дзеркального відображення
G40	Компенсація радіуса інструмента
G41	Компенсація радіуса інструмента
G42	Компенсація радіуса інструмента

G43	Відступ довжини інструмента
G44	Відступ довжини інструмента
G49	Відступ довжини інструмента
G50, 51	Фактори шкали
G52	Часові відступи системи координат
G53	Відміна зміщення нуля (рух в абсолютних координатах)
G54...G59	Імітація зміщення нуля (вибір робочих відступів координатної системи)
G60	Зміщення контуру в межах координатної системи керуючої програми
G61	Введення режиму керування
G62	Відміна точного позиціонування
G63	Увімкнення 100% від запрограмованого значення швидкості
G64	Введення режиму керування
G65	Прив'язка швидкості подачі до центру фрези
G66	Активация значення швидкості, яка задана потенціометром
G67	Відміна зміщення контуру в координатній системі керуючої програми
G68, 69	Обертання координатної системи
G73	Свердління з високою швидкістю
G74	Вихід в початок координат
G75	Робота з датчиком дотику
G76	Переміщення в точку з абсолютними координатами в системі координат станка
G78	Активация свердлильної осі
G79	Деактивация однієї свердлильної осі або всіх відразу
G80	Відміна роботи стандартних циклів (відміна модального руху)
G81	Цикл свердління і чистового розточування центра отвору
G82	Цикл свердління і чистового розточування
G83	Стандартний цикл глибокого свердління з періодичним виводом свердла із отвору
G84	Цикл нарізання різьби (з компенсуючим патроном (для правого обертання)) мітчиком
G85	Цикл свердління та розсвердлення
G86	Цикл свердління (розточування)
G87	Цикл для оберненого (реверсного) свердління
G88, 89	Цикл свердління (розточування)
G90	Програмування в абсолютних координатах
G91	Програмування в відносних координатах
G92	Зміщення даної системи координат або обмеження максимальної частоти обертання шпинделя
G93	Програмування часу обробки кадру
G94	Програмування подачі в мм/хв
G95	Програмування подачі в мм/об
G96	Функція постійної швидкості різання
G97	Функція постійної частоти обертання шпинделя
G98	Повернення до початкової точки в постійному циклі
G99	Повернення до точки R в постійному циклі

Подача:: = Fxxx може задаватися числовим значенням або кодом, розмірність у відповідності з установкою G94 або G95. Можливе задання як результуючої швидкості подачі, так і її складових по вісям координат (в останньому випадку використовуються адреса F,E,D).

Швидкість головного робочого руху:: = Sxxx також може бути задана числовим значенням або кодом, розмірність у відповідності G96, G97.

Функція інструмента:: = Txxx служить для вказівки номера інструмента і його коректора.

Звичайно перші 2 знака – № інструмента, другі 2 – № коректора.

Допоміжна функція:: = Mxx визначає команди для виконуючих органів верстата (табл. 3).

Таблиця 3 – Допоміжні функції (М-коди)

Позначення	Опис
M0	Програмуюча зупинка
M1	Зупинка за вимогою програми
M2	Зупинка КП, повернення робочих органів в вихідне положення
M3/4	Контроль шпинделя (рух шпинделя за годин. стрілкою/проти годин. стрілки)
M5	Зупинка шпинделя
M6	Зміна інструменту
M7	Увімкнення охолодження (рідина)
M8	Увімкнення охолодження (повітря)
M9	Вимкнення охолодження
M10, M11	Затиснення /розтиснення стола або шпинделя
M30	Закінчення програми
M36, M38	Вибір діапазону подачі або швидкості та ін.
M47	Запущений повторно від першої лінії
M48	Відкинути контроль подачі та швидкості
M49	Перевизначити або відкинути контроль подачі та швидкості
M98	Введення підпрограми
M99	Вихід із підпрограми

Запитання

1. Які складові стандартної системи керування обладнанням з ЧПК?
2. Які основні етапи підготовки керуючої програми?
3. Які складові кадра керуючої програми?

Зміст звіту

Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі теоретичні відомості, опис кадру керуючої програми, згідно варіанту завдання, які приведені в додатку №1.

Додаток №1

№ вар.	Завдання
1	N01G94G21G01X40Y20F100
2	N02G94G20G01X1Y2Z-1F300S1200
3	N03G95G21G01X55Y15Z-10F0.1
4	N04G95G20G01X4Y3Z-2F0.05S1000
5	N05G95G71G02X10Y15R20Z5F200
6	N06G95G70G02X1Y2R3Z1 F0.05
7	N07G90G21G00X0Y20Z-30S800
8	N08G90G20G17G03X2Y3R2Z-1.5 F0.2
9	N09G94G21G01X50Y60M7
10	N10G95G70G01X3Z-3 F0.05
11	N11G94G21G00X15Y45T2
12	N12G94G90G21G17G02X100Y80I50J-15F100
13	N13G94G90G21G17G03X100Y80I-15J50S600
14	N14G21G17G02X50Y50J-50S1100
15	N15G21G17G03X40I20M6
16	N16G20G17G02I3F0.1
17	N17G91G20G17G03X1Y0Z-0.2I-1J0F0.05
18	N18G94G21G01X0Y50Z-40F100S900
19	N19G95G70G01X3Z-3 F0.05
20	N20G21G17G03X40I20M6
21	N21G90G21G00X0Y20Z-30S800
22	N22G94G20G01X1Y2Z-1F300S1200
23	N23G95G71G02X10Y19R20Z5F200

Практична робота № 2

БУДОВА ТА ОСОБЛИВОСТІ КЕРУВАННЯ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (ЧПК)

Мета роботи: вивчити основні вузли і принципи керування фрезерного верстата з ЧПК.

Короткі теоретичні відомості

Призначені для обробки плоских і фасонних поверхонь заготовок складної форми. Конструкції верстатів з ЧПК подібні до конструкції традиційних фрезерних верстатів, а відрізняються від останніх автоматизацією переміщення за допомогою керуючої програми при формоутворенні.

Фрезерні верстати по розміщенню шпинделя – вертикальні і горизонтальні, по кількості керуючих осей 1...5 (керуючі координати); по типу стола з нерухомим і рухомим столом. Програмно керуючий привід головного руху може мати пристрої для автоматизованого закріплення заготовок, а мініфрезерні верстати пристрої для сканування. Роботи мають три або чотири ступені переміщення і можуть функціонувати автономно або в системі ГВС і збірних стендів, а також оснащуватись системами технічного зору.

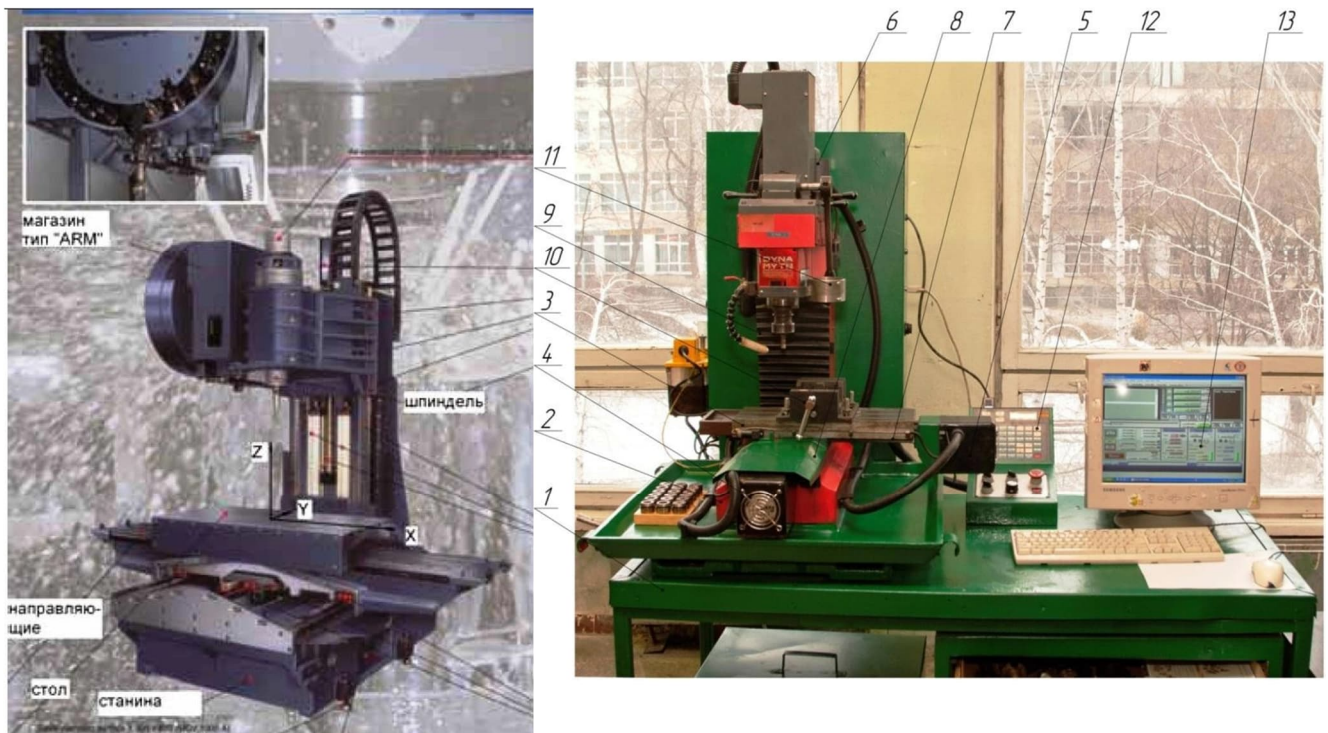


Рисунок 1 – Основні вузли вертикально - фрезерного верстата з ЧПК: 1 – стіл; 2 – станина; 3 – робочий стіл; 4,5,6 – крокові електродвигуни; 7,8,9 – полозки для повздовжнього, поперечного і вертикального переміщення; 10 – лещата; 11 – спеціальний пристрій; 12 – пульт керування; 13 – ЕОМ

Фрезерний верстат з ЧПК має наступні вузли (рис. 1):

1. Станина. Буває 2-х видів – лита та зварна. Перший вид має переваги із за великої жорсткості і кращої демпферуєчої здатності. В той же час зварюванням можливо отримати більш складні конфігурації, що подекуди необхідно.

2. Направляючі. Існують лінійні направляючі (рис. 2) і направляючі ковзання. Другий вид використовується завжди в універсальному обладнанні. Має велику жорсткість, що обумовлює їх використання на верстатах для чорнової обробки, але даний тип направляючих має тертя ковзання, яке являється причиною низької швидкості переміщення робочих вузлів верстата (до 10 м/хв.) і меншу точність інтерполяції. Лінійні направляючі працюють в умовах тертя кочення і забезпечують високі швидкості переміщення (до 100 м/хв.) і більш високу точність, чим направляючі ковзання. Недоліком даного типу є низька жорсткість, але їх можна нівелювати, збільшуючи кількість установлених направляючих.



Рисунок 2 – Лінійні направляючі

3. Шпиндель – це один із самих головних вузлів верстата, що забезпечує головний рух різання. Перший вид – шпиндель установлено окремо від приводу і обертання передається за допомогою пасової передачі або напряму через муфту. Шпиндель може мати як підшипники кочення, так і аеродинамічні або гідростатичні підшипники. Другий вид – шпиндель представляє собою електродвигун до якого закріплюється інструмент. Перша різновидність найбільш розповсюджена і значно дешевша у виготовленні. Її головним недоліком являється невисока частота обертання (до 15000 об/хв.). Для багатьох операцій цей недолік не являється суттєвим, проте при обробці складних поверхонь штампів або прес-форм необхідна висока частота обертання. Другий тип шпинделів може розвивати більше 100000 об/хв.

4. Приводи подач. Високомоментні електродвигуни, обертальний рух ротора яких перетворюється в лінійні переміщення робочих вузлів верстата за допомогою кульково-гвинтових пар (КВГ) (рис. 3). Плинне положення визначається або за допомогою кругових датчиків на приводі, або за допомогою лінійних датчиків (лінійок), розміщених повздовж направляючих. Лінійні двигуни – особливий вид двигунів, у яких ротор і статор розміщені повздовж направляючих, а плинне положення визначається тільки за допомогою лінійок. Останні мають значно більш високу точність, за рахунок виключення ШВГ – ланцюга, який вносить похибки особливо при змінні напрямку руху. Проте лінійні двигуни ще досить дорогі і складні в виготовленні. Але майбутнє за ними.

5. Система ЧПК. Існує велика кількість різних систем ЧПК, які мають свої переваги і недоліки. Самими розповсюдженими – це Fanuc (рис. 4) і Siemens, для високоточних малогабаритних деталей Mach3.



Рисунок 3 – Кульково-гвинтовий механізм



Рисунок 4 – система ЧПК Fanuc

6. Магазин для інструментів. Тип «Зонтик» (рис. 5) – інструменти розміщені вертикально. За кожним карманом жорстко закріплено свій номер. Недорогий, але повільний (час зміни 8-15 с). Тип «Рука» (рис. 6) – інструменти розміщені горизонтально. Маніпулятор встановлює інструмент в найближчу чарунку. Можливий «попередній вибір», коли магазин обертається одночасно з роботою верстата. Це в декілька разів зменшує час зміни інструмента (2-5 с). Також існує цілий ряд інших систем зміни інструмента.



Рисунок 5 – Тип «Зонтик»

Рисунок 6 – Тип «Рука»

В верстатах з ЧПК управління здійснюється від програмоносія, на який в числовому виді занесена геометрична і технологічна інформація.

Системи ЧПК – це сукупність спеціалізованих пристроїв методів і засобів, необхідних для роботи верстата, яка призначена для видачі керуючих дій виконуючим органом верстата у відповідності з керуючою програмою. Структурна схема системи ЧПК представлена на рис. 7.

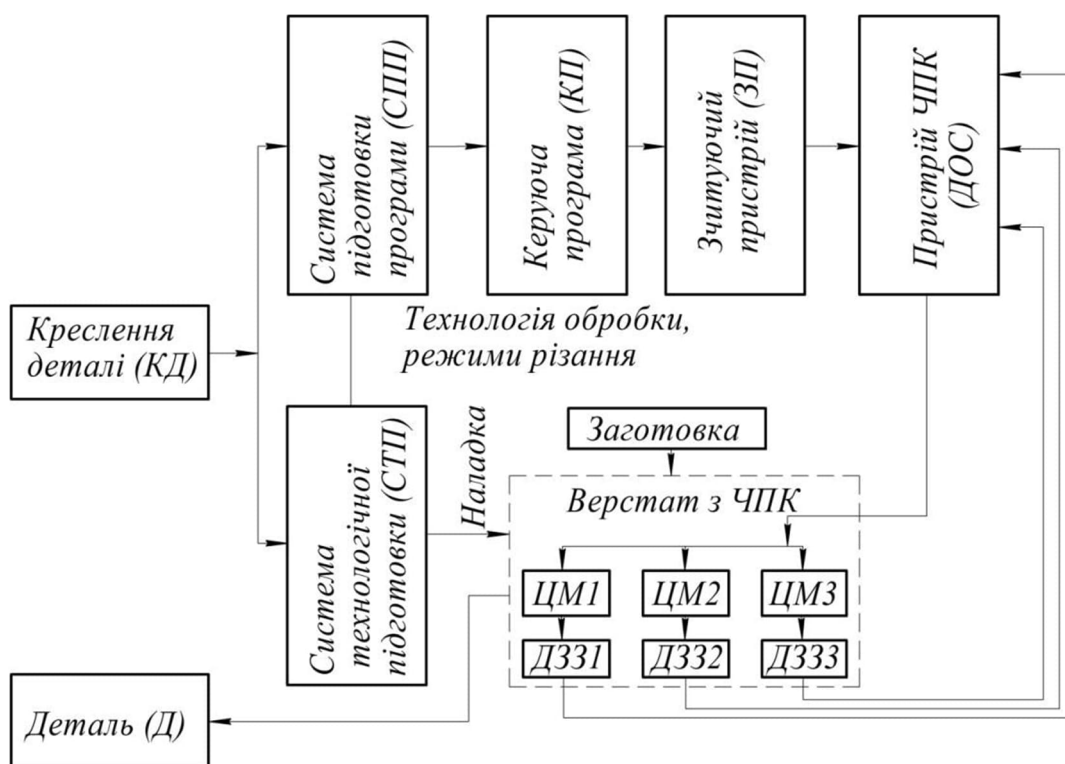


Рисунок 7 – Структурна схема системи ЧПК

Креслення деталі (КД) одночасно вводиться в систему підготовки програми (СПП) і систему технологічної підготовки (СТП). СТП забезпечує СПП даними про розроблюваний технологічний процес, режими різання та ін. На основі цих даних розробляється керуюча програма (КП). Наладчики встановлюють на верстат пристрої, ріжучі інструменти у відповідності з документацією СТП. А установку заготовки і зняття головної деталі здійснює оператор.

Пристрій (ЗП) зчитує інформацію з програмоносія. Інформація поступає в пристрій ЧПК, який видає управляючі команди на цільові механізми (ЦМ) верстата, здійснюючі основні і допоміжні рухи циклу обробки. ДОС на основі інформації (фактичне положення, швидкість переміщення виконуючих вузлів, фактичний розмір оброблюваної поверхні, теплові і силові параметри технологічної системи та ін.) контролюють величину переміщення цільових механізмів (ЦМ).

Верстат має декілька цільових механізмів, кожний з яких включає в себе двигун, який являється джерелом енергії, передача якого служить для перетворення енергії і її передачу від двигуна до виконуючого органа (стіл, салазки, супорт, шпиндель та ін.), а також координатні переміщення.

Система ЧПК може видозмінюватись в залежності від виду програмоносія, способу кодування інформації в керуючій програмі (КП) і метода її передачі в систему ЧПК. Пристрій ЧПК розміщують рядом з верстатом або безпосередньо на верстаті. Двигуни приводів подач верстатів з ЧПК мають спеціальну конструкцію, працюючи з конкретним пристроєм і являються складовою частиною ЧПК.

Всі дані необхідні для обробки заготовки на верстаті ЧПК отримує від КП, яка має два види інформації – геометричну і технологічну.

Геометрична інформація: координати опорних точок траєкторії руху інструмента.

Технологічні інформації: дані про швидкість, подачу, номер інструмента. КП записують на програмоносій.

Важливою технічною характеристикою систем ЧПК є її дозвільна властивість або дискретність, тобто мінімально можлива величина лінійного і кутового ходу виконуючого механізму верстата, яка відповідає одному управляючому імпульсу, тобто контрольована в процесі управління. Більшість сучасних систем ЧПК мають дискретність 0.01 мм/імпульс.

Впроваджується у виробництво системи з дискретністю 0.001 мм/імпульс.

Класифікація систем ЧПК

Системи ЧПК класифікуються по таким ознакам:

- по рівню технічних можливостей;
- по технологічному призначенню;
- по числу потоків інформації (незамкнуті, замкнуті, адаптивні);
- по принципу задання програм (в абсолютних координатах або в приращених від ЕОМ);
- по принципу привода (ступінчастий, корегуючий, відслідковуючий-кроковий);
- по числу одночасно керуючих координат;
- по способу підготовки і вводу керуючої програми.

Запитання

1. Які вузли фрезерного верстата з ЧПК?
2. Які типи магазинів використовуються на верстатах з ЧПК?
3. Які складові структурної схеми системи ЧПК?

Зміст звіту

Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі теоретичні відомості, описати структурну схему системи числового програмного керування фрезерного верстату.

Практична робота № 3

БУДОВА ТА ОСОБЛИВОСТІ КЕРУВАННЯ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (ЧПК)

Мета роботи: вивчити основні вузли і принципи керування токарного верстата з ЧПК.

Короткі теоретичні відомості

Токарні верстати з ЧПУ призначені для зовнішньої і внутрішньої обробки складних заготовок деталей типу тіл обертання. Токарні верстати складають найзначнішу групу по номенклатурі в парку верстатів з ЧПК. На токарних верстатах з ЧПК виконують традиційний комплекс технологічних операцій: точіння, відрізки, свердління, нарізування різьби і ін.

У дрібносерійному і середньосерійному виробництві з частою зміною виготовлених виробів найбільшого поширення набули автоматизовані верстати з ЧПК. Верстат з ЧПК дозволяє здійснювати взаємне переміщення деталі та інструменту по командам без застосування матеріального аналога оброблюваної деталі (кулачків, шаблонів, копіїв).

Основні переваги верстатів з ЧПК наступні: простота модифікації технологічного процесу шляхом внесення коригувальних програм у запам'ятовуючий мікропристрій ЕОМ; високі режими обробки з використанням максимальних можливостей верстата; виключення попередніх ручних розмічальних і пригонювальних робіт; підвищення продуктивності праці за рахунок скорочення допоміжного і машинного часу обробки; підвищення точності та ідентичності деталей; скорочення числа переустановлень деталей при обробці та термінів підготовки виробництва.

В основі класифікації токарних верстатів з ЧПК лежать такі ознаки:

- розташування осі шпинделя (горизонтальні і вертикальні верстати);
- число використовуваних в роботі інструментів (одно - і багатоінструментальні верстати);
- способи їх закріплення (на супорті, в револьверній головці, у магазині інструментів);

- вид виконуваних робіт (центрові, патронні, патроно-центрові, карусельні, пруткові верстати);
- ступінь автоматизації (напівавтомати і автомати).

Токарні верстати з ЧПК (рис. 1) представляють собою органічне сполучення технологічної машини для розмірної обробки з керуючою обчислювальною машиною. Заміна ручного керування виробничими процесами у дрібносерійному та одиничному виробництві може бути здійснена з використанням верстатів ЧПК, робота яких в автоматичному режимі здійснюється від керуючої системи на основі ЕОМ. Це дає можливість швидко здійснювати переналагодження на виготовлення різноманітними деталей.

Суть системи програмного керування металорізальними верстатами полягає в тому, що механічні системи керування рухомими вузлами верстата замінюють електромеханічними.

Керують цими системами дистанційно за допомогою команд у вигляді електричних сигналів. За конструкцією системи керування верстати з програмним керуванням поділяють на верстати з цикловим (ЦПК) та числовим (ЧПК) керуванням.

Програма ЦПК задається певним набором комутаційних елементів (штекерів, перемикачів на панелі упорів), які відключають подачу супорта, стола, повзунів. Вони прості й відносно дешеві, але налагодження верстата з ЧПК досить тривале.

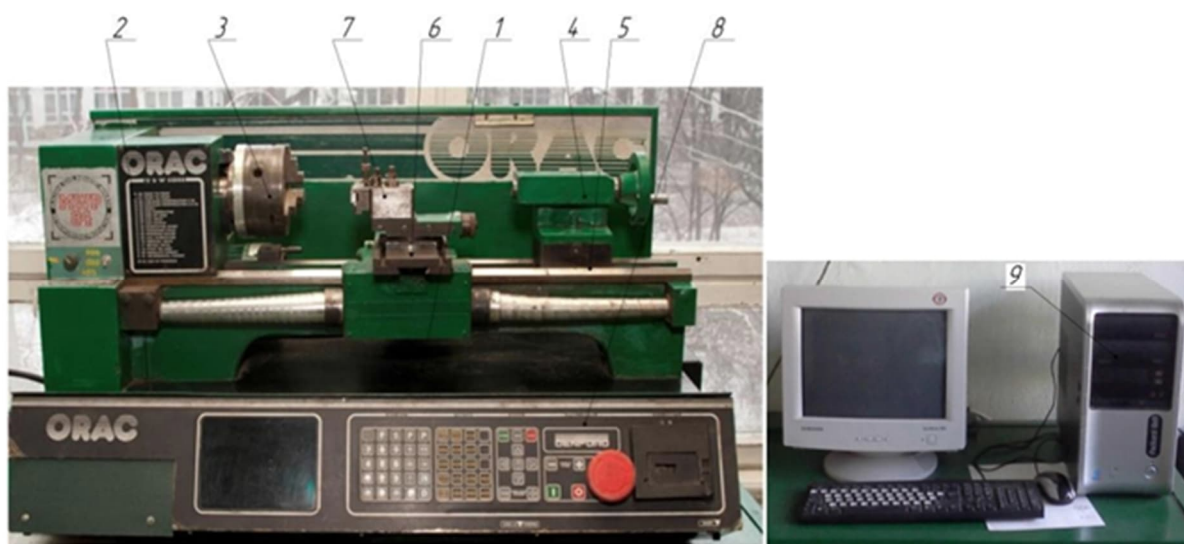


Рисунок 1 – Токарний верстат з ЧПК моделі ORAC MBC 84: 1 – станина; 2 – передня бабка; 3 – трьохкулачковий патрон; 4 – задня бабка; 5 – полозки повздовжні; 6 – полозки поперечні; 7 – різцетримач; 8 – панель керування; 9 – ЕОМ

Конструкції верстатів з ЧПК і їх різновиди визначають видом виробництва, типом оброблюваних деталей, точністю виготовлення. Токарні верстати з ЧПК призначені для обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь заготовок типу тіл обертання. Токарний верстат з ЧПК має такі вузли і механізми (рис. 1): станина 1, передня бабка 2, де розміщена коробка швидкостей з безступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя. На кінці шпинделя встановлюється пристрої для закріплення заготовок; задня бабка 4 – для підтримання другого кінця заготовки, якщо вона довга, а також для встановлення інструментів – свердла, зенкера, розвертки для обробки отворів; супорт (різцетримач) 7 для закріплення різців і надання їм поперечної подачі (вісь x) від окремого джерела енергії; ходовий гвинт – для надання ріжучим інструментом – різцям повздовжньої подачі (вісь z); система змащування, електроні пристрої для керування. Керування верстата здійснюється від електронно – обчислювальної машини (ЕОМ) 9, або від електронного пристрою розміщеного у верстаті.

В номенклатурі парку верстатів з ЧПК – одна із значних груп. На верстатах з ЧПК виконують традиційний комплекс операцій: точіння, відрізування, свердлування, нарізання різьби за допомогою різьбових різців та ін.

Ознаки згідно яких здійснюється класифікація токарних верстатів з ЧПК:

- розміщення вісі шпинделя (горизонтальні і вертикальні);
- число інструментів, що використовуються в роботі (одно – і багато інструментальні верстати);
- способи їх закріплення (на супорті, в револьверній головці, в магазині інструментів);
- вид виконуваних робіт (центрові, патронні, патроно – центрові, карусельні, пруткові верстати);
- ступень автоматизації (напівавтомати, автомати).

Центрові верстати з ЧПК – для обробки деталей типу валів з прямолінійними і криволінійними контурами, а також для нарізання різьби різцем по програмі.

Патронні – для обточування, свердлування, розгортування, зенкерування, цекування, нарізання різьби мітчиками у вістових отворах деталей типу фланець, зубчастих коліс, кришок. Можливе нарізання різцем внутрішньої і зовнішньої різьби різцем по програмі. Патронно-центрові верстати з ЧПК – для зовнішньої і

внутрішньої обробки різних складних деталей типу тіл обертання і мають технологічні можливості токарних центрових і патронних верстатів.

Карусельні – для обробки заготовок складних корпусів.

Токарні верстати з ЧПК мають револьверні головки або магазини інструментів. Револьверні головки бувають 4-х, 6-ти і 12-ти - позиційні, причому на кожній позиції можна встановлювати по 2 інструменти для зовнішньої і внутрішньої обробки. Вісь обертання головки може розміщуватися паралельно вісі шпинделя, перпендикулярно до неї або під кутом.

При установці та верстаті 2-х револьверних головок – в одній із них закріплюють інструменти для зовнішньої обробки, а в другій – для внутрішньої обробки. Такі головки можуть розміщуватися співвісно одна відносно іншої, або мати різне розміщення осей. Для індексування використовуються плоско зубчасті торцеві муфти, які забезпечують високу точність і жорсткість. В пази револьверних головок встановлюють взаємозамінні інструментальні блоки, які налагоджують на розмір поза верстатом.

Подача МОР в зону різання здійснюється через канал в корпусі різьбових блоків.

Для токарної обробки однієї заготовки необхідно не більше 10 інструментів. Для важко оброблювальних матеріалів інструменти мають малу стійкість, використовують менше 10 інструментів.

За кількістю потоків інформації системи ЧПК поділяють на розімкнуті, замкнуті і самонастроювальні (адаптивні). В розімкнених системах один потік інформації від програми до робочого органа, переміщення якого не контролюється, тобто немає зворотного зв'язку. У замкнених системах крім інформації від програми керування є ще потік інформації від давачів зворотного зв'язку, що забезпечує вищу точність обробки.

Одним із основних вузлів, які визначають продуктивність і точність верстатів є приводи подач, які поділяються на крокові та слідкуючі. Найпростішим варіантом привода в розімкнутих системах з ЧПК є кроковий привід. Особливість електродвигуна цього привода полягає в тому, що якщо на обмотку його статора попадає один імпульс електричного струму, то якір повернеться на невеликий кут визначеної величини. У такому приводі імпульси програми подаються на вхід електронного комутатора. Кількість імпульсів підведених до привода, визначає

величину переміщення, а їх частота швидкість руху. У верстатах з ЧПК привід приводить у рух робочі органи верстата через передачу гвинт-гайка кочення, пасова передача гвинт-гайка кочення. У цих передачах профіль ходового гвинта і гайки напівкруглий, кілька витків канавок гвинта і гайки щільно заповнені кульками. В процесі роботи такої пари здійснюється тертя кочення, а не ковзання, як у звичайних гвинтових парах.

Загальні відомості про систему керування верстатів з ЧПК

По технологічному призначенню і функціональним можливостям системи ЧПК поділяють на 4 групи:

- позиційні, в яких задають тільки координати кінцевих точок положення виконуючих органів після виконання ними визначених елементів робочого циклу;
- контурні або безперервні, керуючих рухами виконуючого органа по заданій криволінійній траєкторії;
- універсальні (комбіновані), в яких здійснюється програмування як переміщень при позиціюванні, так і рух виконуючих органів по траєкторії, а також зміни інструментів і завантаження – вивантаження заготовок;
- багатоконтурні системи, забезпечуючи одночасне або послідовне керування функціонуванням ряду вузлів і механізмів верстата.

Прикладом використання систем ЧПК першої групи являються свердлильні, розточні і координатно-розточні верстати. До другої групи слугують системи ЧПК різних токарних, фрезерних і круглошліфувальних верстатів. До третьої групи відносяться системи ЧПК різних багатоцільових токарних і свердлильно-розточних верстатів. До четвертої групи належать без центрові круглошліфувальні верстати, в яких від системи ЧПК керують різними механізми правки, подачі бабок та інш. Існують також позиційні, контурні, комбіновані і багатоконтурні цикли керування.

В моделях верстатів з ЧПК для призначення ступеня автоматизації додається буква Ф з цифрою:

- Ф1 – верстати з цифровою індексацією і попереднім набором координат;
- Ф2 – верстати з позиційними і прямокутними системами ЧПК;
- Ф3 – верстати з контурними системами ЧПК;
- Ф4 – верстати з універсальною системою ЧПК для позиційної і контурної обробки.

Для верстатів з цикловими системами ЧПК в позначені моделі введемо індекс «Ц», а з оперативними системами індекс – «Т».

Використання конкретного виду обладнання з ЧПК залежить від складності деталі, що виготовляється, і серійності виробництва. Чим менша серійність, тим більшу технологічну гнучкість повинен мати верстат.

В сучасних верстатах з ЧПК, як правило, необхідно застосовувати інструмент з змінними пластинами. Основні переваги:

- Суттєво скорочується час налаштування інструмента за рахунок виключення його прив'язки і виставлення по висоті центрів;
- Можливість швидкого підбору режимів різання шляхом заміни пластин з іншою геометрією;
- Стабільне отримання шорсткості і точності при інших умовах;
- Надійне дрібнення стружки;
- Відкидається необхідність в заточці інструмента.

Принцип розробки керуючої програми

Розробка керуючої програми зводиться до визначення технологічної послідовності стандартних блоків обробки. Блок обробки – це фрагмент керуючої програми, яка виконується одним інструментом на одній або декількох поверхнях.

Наприклад:

- Підрізка торця;
- Зовнішня чорнова обробка;
- Зовнішня чистова обробка;
- Центрування;
- Свердління;
- Нарізання різьби мітчиком;
- Нарізання зовнішньої різьби різцем;
- Відрізка та ін.

Кожний блок складається з:

- Координати точки зміни інструменту;
- Підхід до контрольної точки;
- Обробки;
- Обхід в точку зміни інструменту.

Всі блоки записані у вигляді окремих файлів і зберігаються в будь-якій зручній папці. Якщо важко розробити керуючу програму з листа креслення, то можна спочатку записати послідовність блоків обробки у вигляді таблиці з вказаним в ній режимів різання у відповідності з вибраним інструментом.

Конструктивні особливості верстатів з ЧПК:

- Мають розширені технологічні можливості при збереженні високої надійності в роботі.
- Висока точність обробки досягається за рахунок більш високої точності виготовлення і жорсткості порівняно з звичайною. Підвищенню точності сприяє – вилучення зазорів в передаточних механізмах приводів, зниження тертя в направляючих та теплових деформацій верстата.
- Цифрові приводи представляють собою електродвигуни, які працюють на постійному або змінному струмі. Конструктивно перетворювачі частоти, сервоприводи і пристрої головного пуску і реверса являється окремими електронними блоками керування.
- Шпинделі верстатів з ЧПК виготовляють точними, жорсткими з підвищеною зносостійкістю шийок, посадочних і базових поверхонь. Конструкція шпинделя ускладнюється із – за вбудованих в нього пристроїв автоматичного розтиснення і затиснення інструменту, датчиків.
- Розширенню технологічних можливостей токарних верстатів можливе при стиранні відмінностей між токарними і фрезерними верстатами, добавці відцентрового свердління, та фрезерування контура з рахунок програмованого повороту шпинделя, а в деяких випадках можливе різьба нарізання не співвісних елементів заготовок.

Приклад складання програми деталі на токарному верстаті з ЧПК з використанням системи Mach3 приведений в додатку №1.

Додаток №1

Деталь, яку необхідно отримати зображено на рис. 2, б.

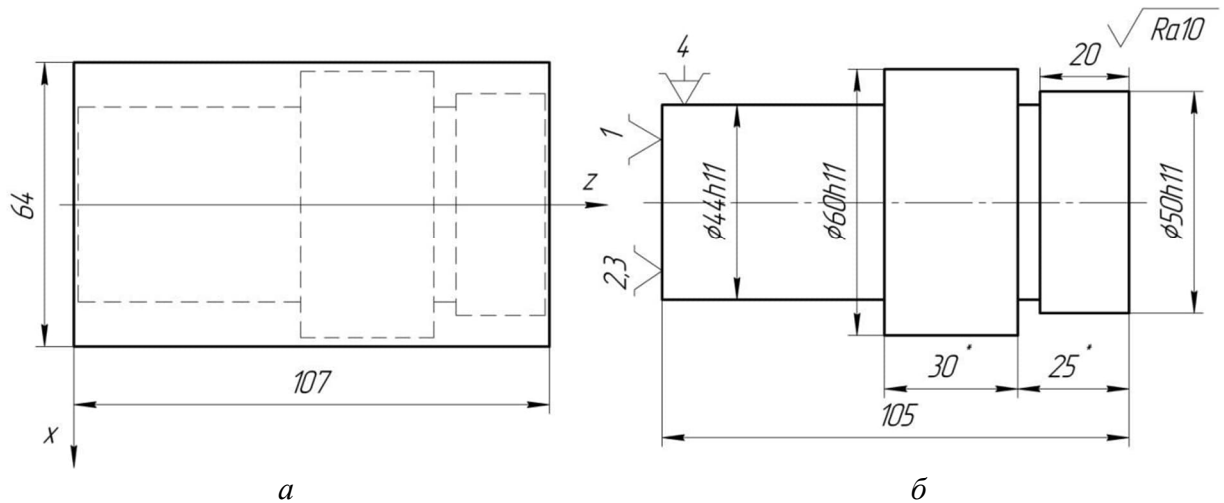


Рисунок 2 – Вихідна заготовка (а) та деталь (б)

Нами буде використовуватись наступний інструмент:

T1 – підрізний відігнутий різець для станка з ЧПУ;

T2 – прохідний відігнутий різець для станка з ЧПУ;

T3 – канавковий різець для станка з ЧПУ.

Обробку деталі здійснюємо: в абсолютних координатах станка (G90);

в одиницях довжини, мм (G21);

подачею переміщення інструменту в мм/об (G95);

з постійною швидкістю різання (G96);

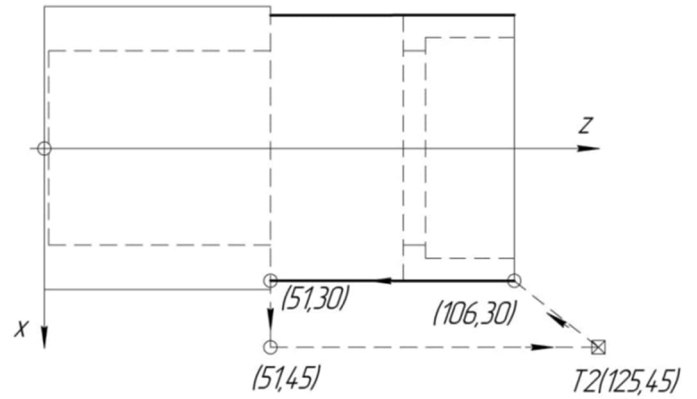
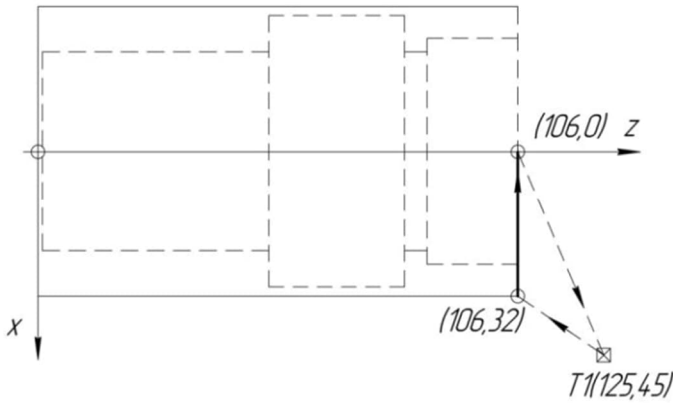
в площині Z_X (G18););

M1 – зупинка програми за вимогою,

M6 – автоматична зміна інструменту.

Програма точіння

Установ А



N1 G90 G21 X0 Z0 G95 G96 G18 T1 M6

N2 G0 X45 Z125 F0.45 S185

N3 G0 X32 Z106

N4 G1 X0 Z106

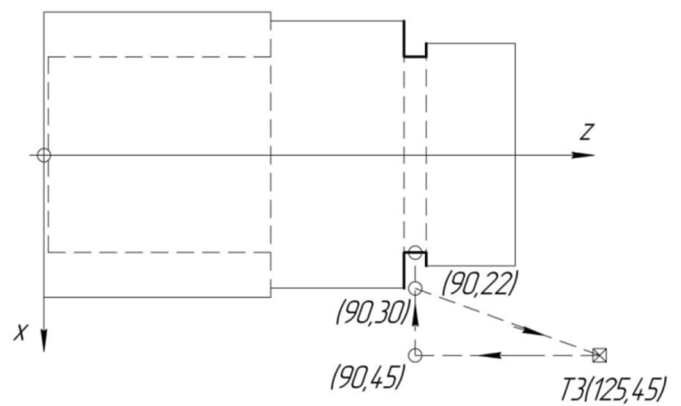
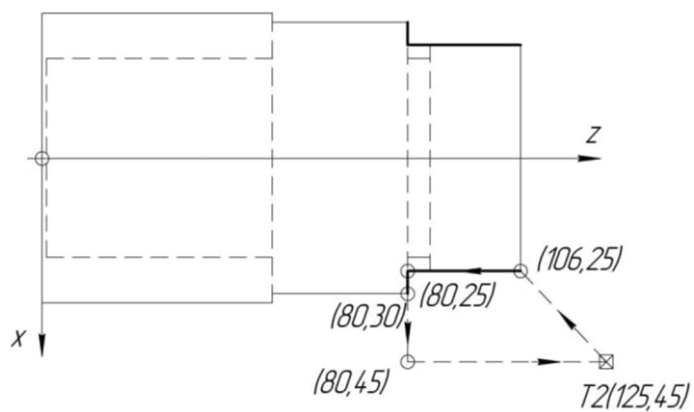
N5 G0 X45 Z125 M1 T2 M6

N6 G0 X30 Z106

N7 G1 X30 Z51

N8 G0 X45 Z51

N9 G0 X45 Z125



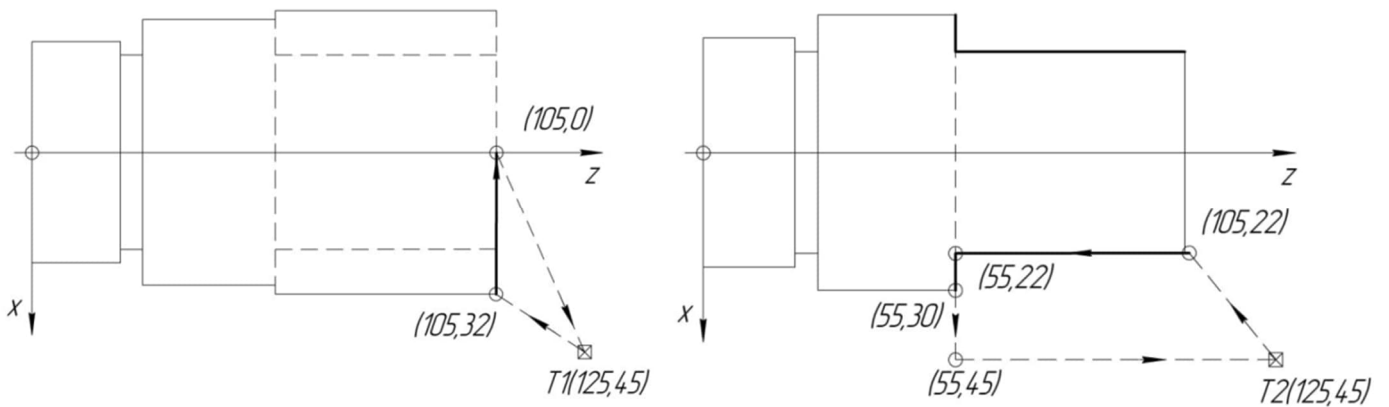
N10 G0 X25 Z106

N11 G1 X25 Z80

N12 G1 X30 Z80

N13 G0 X45 Z80
 N14 G0 X45 Z125 M1 T3 M6
 N15 G0 X45 Z90
 N16 G1 X22 Z90
 N17 G0 X30 Z90
 N18 G0 X45 Z125 M1 T1 M6

Установ Б



N19 G0 X32 Z105
 N20 G1 X0 Z105
 N21 G0 X45 Z125 M1 T2 M6
 N22 G0 X22 Z105
 N23 G1 X22 Z55
 N24 G1 X30 Z55
 N25 G0 X45 Z55
 N26 G0 X45 Z125
 N27 M30

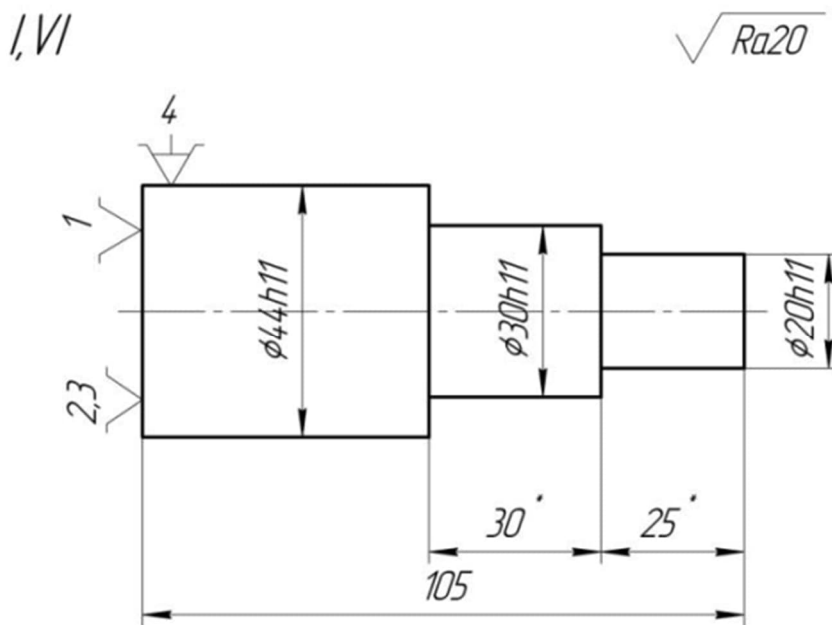
Запитання

1. Які основні вузли токарного верстата з ЧПК?
2. Що таке стандартизований блок обробки при розробці керуючої програми?
3. Як обмежити рухи за вісями X і Z на токарному верстаті з ЧПК?

Зміст звіту

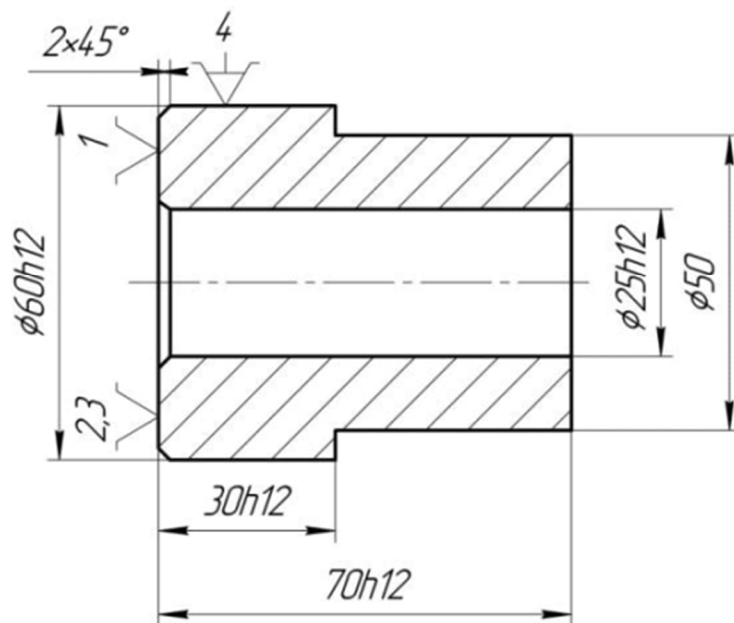
Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі теоретичні відомості, привести програму для 2-х переходів точіння на токарному верстаті з ЧПК згідно варіанту завдання, які приведені в додатку №2.

Додаток №2



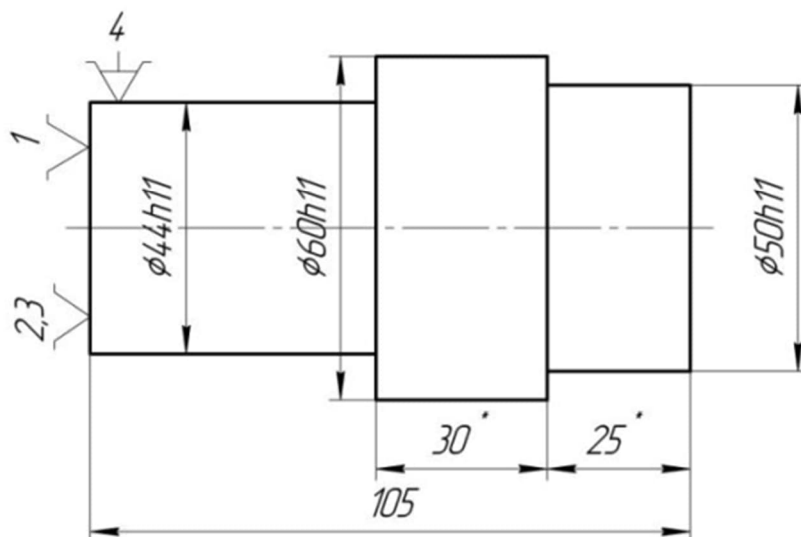
II, VII

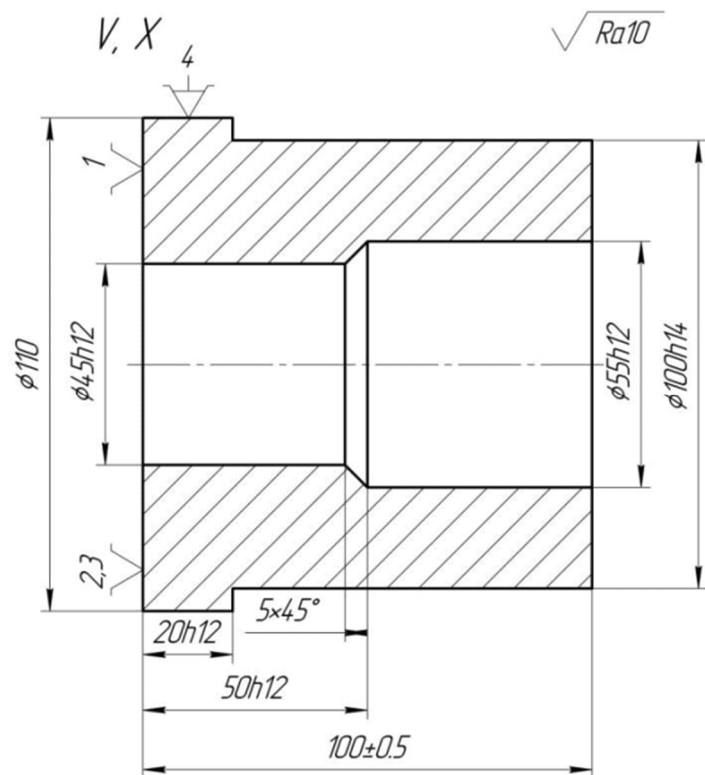
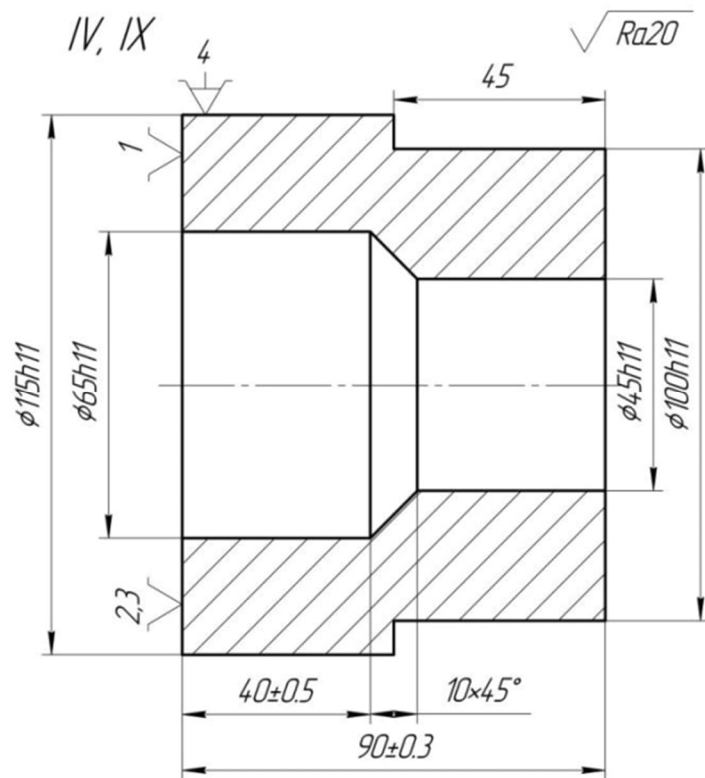
$\sqrt{Ra20}$



III, VIII

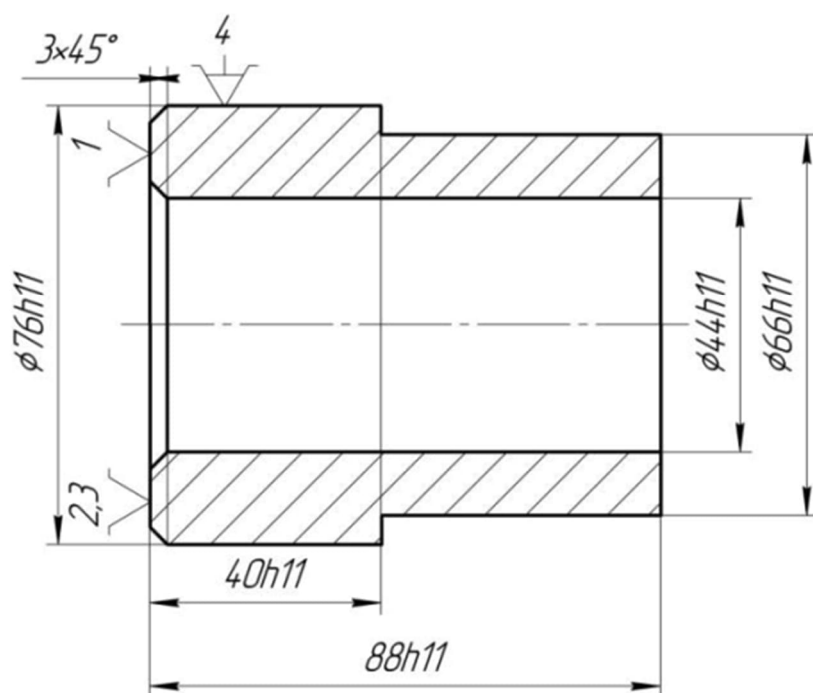
$\sqrt{Ra10}$





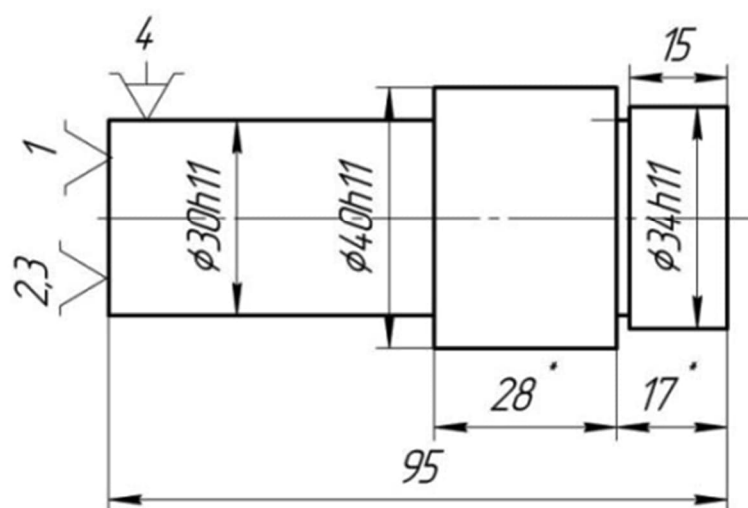
XI, XII

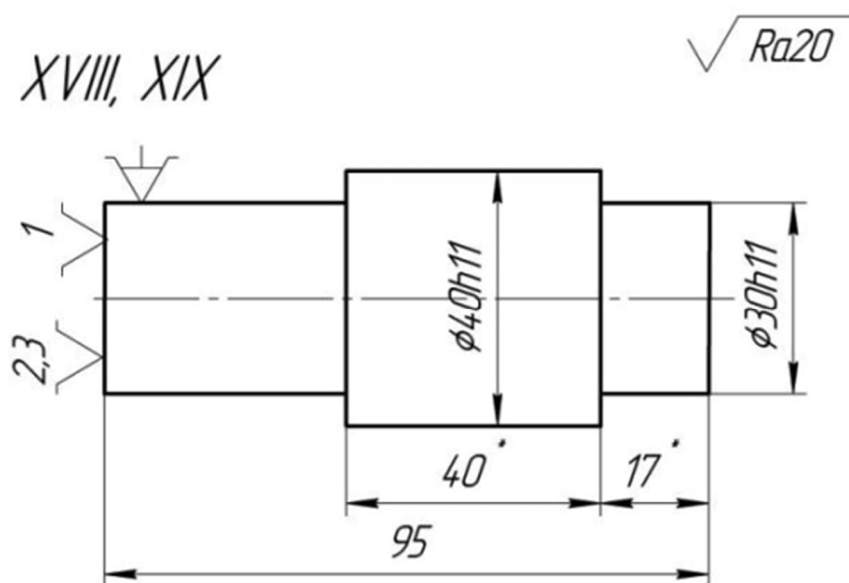
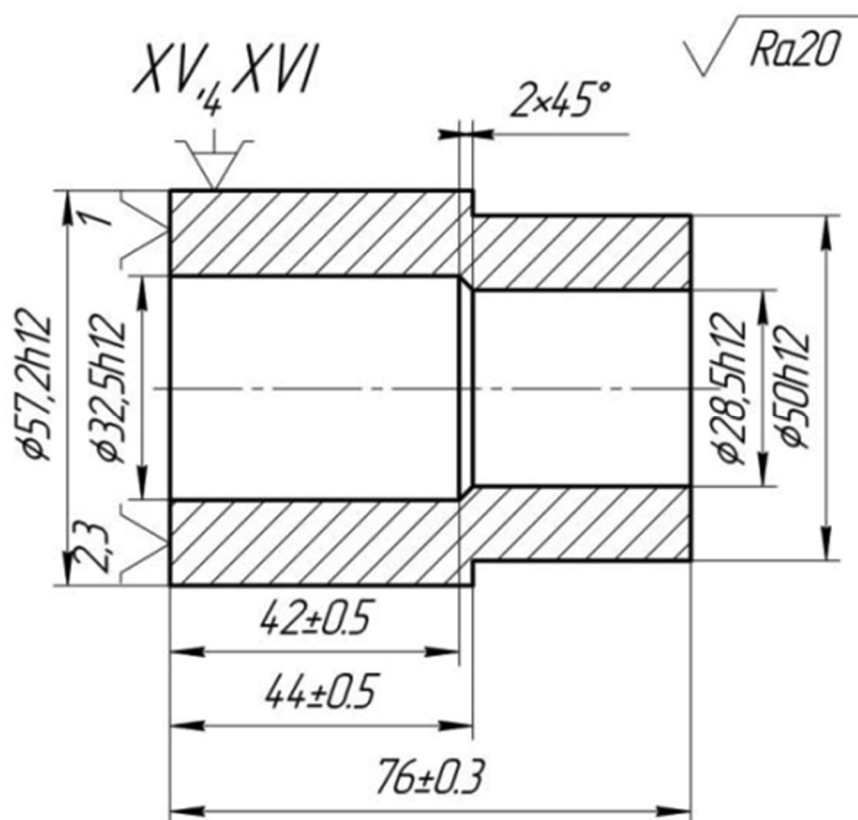
$\sqrt{Ra20}$



XIII, XIV

$\sqrt{Ra20}$





Практична робота №4

ІНСТРУМЕНТИ ТА ПРИСТРОЇ ДЛЯ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (ЧПК)

Мета роботи: розглянути основні інструменти та пристрої для фрезерних верстатів з ЧПК.

Короткі теоретичні відомості

1. Різальні інструменти

В цей час на світовому ринку працює велика кількість фірм, які виготовляють ріжучий інструмент. Лідерами являються: концерн Sandvik (до складу якого крім даної фірми, входять Walter, SEKO, Titex, Prototyp, Dorner та інш.); Kannametal, ISCAR, Mitsubishi.

Всю гаму ріжучого інструменту можна розділити на дві великі групи: інструмент із змінними пластинами (або вставками) і монолітний інструмент. В більшості випадків рекомендується використовувати інструмент з пластинами. Це є більш економічно ефективно, тому що відпадає необхідність в переточці. Крім цього, замінивши пластини, оператор завжди може бути упевнений в стабільності умов обробки, тобто немає потреби змінювати режими різання, а в деяких випадках регулювати інструмент.

Для обробки плоских поверхонь і уступів Sandvik випускає цілий ряд фрез з різними формами пластин і кутами в плані. Наприклад, фрези CoroMill 245 (рис. 1.1. а) і 290 (рис. 1.1. б) – кут в плані 45° і 90° , які призначені для зняття великого об'єму матеріалу по площині, для обробки фасок. Забезпечують високу чистоту поверхні.

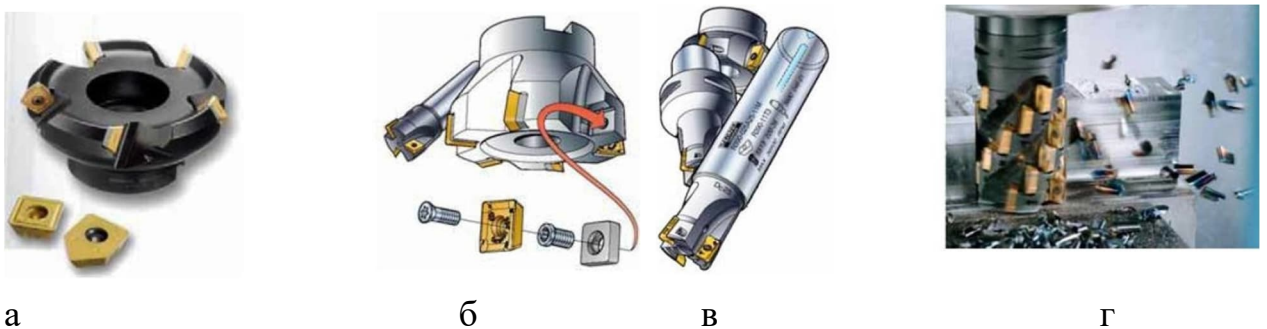


Рисунок 1.1 – Фрези CoroMill 245 (а); CoroMill 290 (б); CoroMill 390 (в) і двокромочні (г)

CoroMill 245 (рис. 1.1 в) – більш універсальна фреза. Пластини якої мають спіральну ріжучу кромку, що сприяє більш плавному різанню. Призначена для обробки плоских поверхонь, уступів, гвинтової інтерполяції. Існують «довголезові» виконання цих фрез (рис. 1.1 г), тобто інструменти з декількома рядами пластин по довжині. Вони використовуються для обробки глибоких уступів і стінок деталі за один прохід.

Для обробки складних поверхонь штампів і пресформ призначена гама фрез з круглими пластинами. CoroMill 200 (рис. 1.2 а) – фреза для чорнової обробки. CoroMill 300 – фрези невеликого діаметра для напівчистої обробки. CoroMill R216 і CoroMill R216F (рис. 1.2 б) – сферичні фрези для напівчистої та чистої обробки. Остання може оброблювати загартовані сталі з твердістю до HRC63.

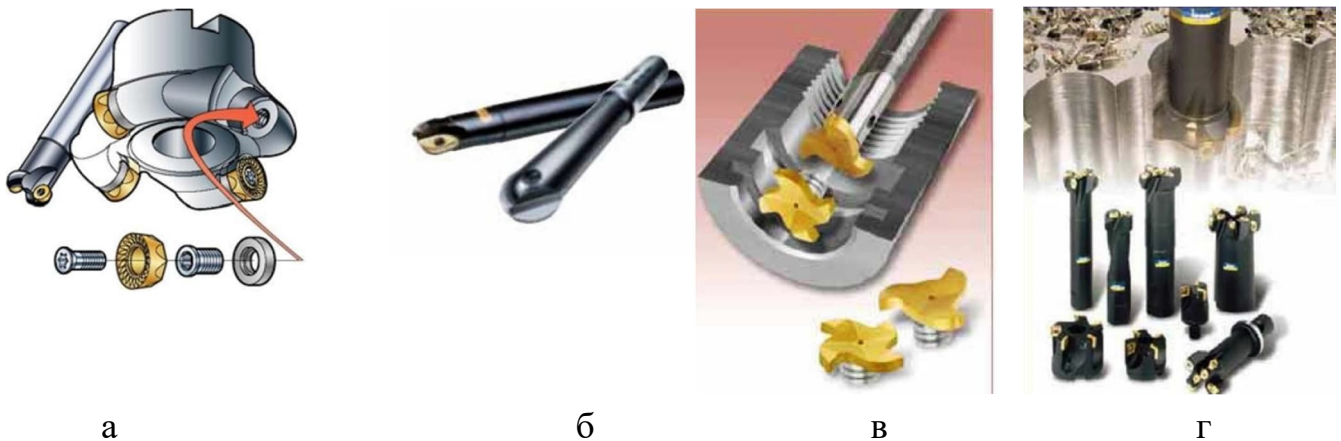


Рисунок 1.2 – Фрези CoroMill 200 (а); CoroMill R216 і CoroMill R216F (б);
закріплення інструментів невеликих діаметрів (в); плунжерні фрези (г)

Інструмент невеликих діаметрів, який не можливо оснастити пластинами із конструктивних можливостей виконуються з змінними вставками, які закріплені або на різьбі або за допомогою сил пружності (рис. 1.2 в).

Найбільш ефективним для зняття великого об'єму матеріалу можна досягти, використовуючи «плунжерні» фрези (рис. 1.2 г). Ці фрези працюють з осьовою силою, а не радіальною подачею. За рахунок цього вони менш піддаються вібраціям і можна більш повно використовувати всі можливості верстата на великих подачах.

Необхідно звернути увагу на модульний інструмент. Він з конструйований так, що в одному і тому ж корпусі можна закріпити вставки різної форми від сферичної і кінцевої, до дискової і грибкової. Це дозволяє зекономити на інструменті, отримати

більшу універсальність. Недолік: зниження жорсткості, яка негативно впливає на процес різання.

Тіла обертання і складні циліндричні поверхні типу кулачків можна отримати фрезеруванням. Дану обробку можна виконати, як на токарно – фрезерних обробляючих центрах, так і на фрезерних верстатах з 4-ю віссю. Інструментом може бути торцеві (рис. 1.3 а), кінцеві (рис. 1.3 б, в) і дискові фрези (рис. 1.3 г).

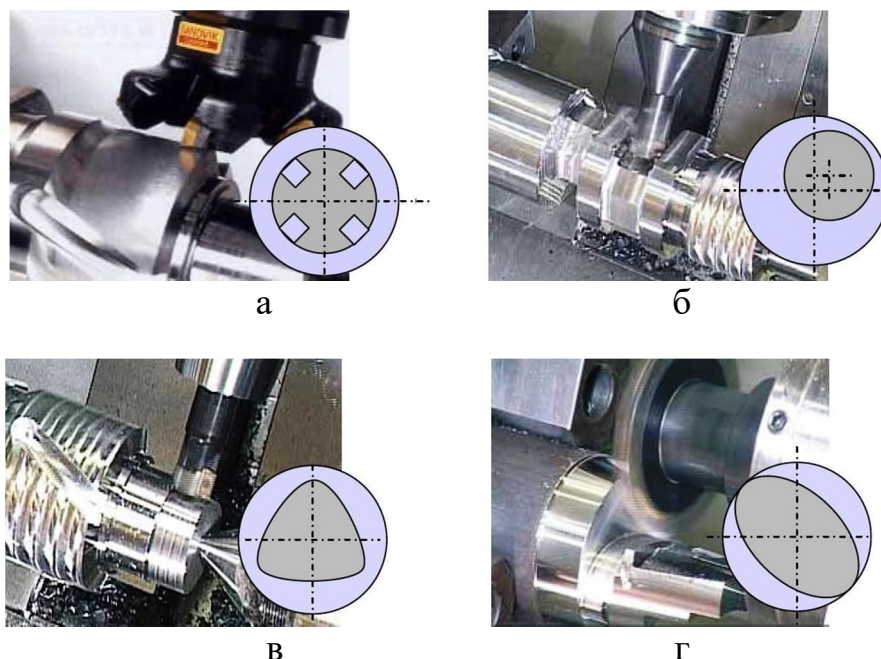


Рисунок 1.3 – Фрези торцеві (а); кінцеві (б і в) і дискові (д)

Фірма Sandvik Coromant запропонувала нові ріжучі пластини wірег для фрези CoroMill 365, яка забезпечила надійну роботу фрез з 8-у ефективними різальними лезами, які встановлюються за допомогою гвинта і клинового «зажиму» (діаметри фрез від 45 до 250 мм). Для торцевого фрезерування деталей із чавуну і сталей. Продуктивність до 67%, а стійкість до 100%.

Використання ріжучих пластин з кераміки при точінні

Використовують:

- Кераміку на основі оксиду алюмінію;
- Кераміку на основі нітриду кремнію.

Кераміка на основі Al_2O_3 використовується двох груп: 1) білий – чистий оксид алюмінію;

2) Чорнову – з добавками карбіду – SiC, карбіду – титану TiC – для підвищення міцності.

Ріжучі пластини з кераміки на основі Al_2O_3 використовують для напівчистої і чистової обробки загартованих сталей і сірого чавуну.

Кераміка на основі SiN (нітриду кремнію) з добавками оксиду спеціально підбраного металу. Використовується для напівчистової і чорнової обробки жароміцних сплавів, а також високоміцних чавунів.

Пластини із кераміки рекомендуються для використання при чистовому точінні на великих швидкостях різання. Для підвищення міцності рекомендується:

- а) використовувати ріжуче лезо виготовляти із захисною фаскою шириною 0.15...0.2 мм і кут нахилу $8...30^\circ$;
- б) захисним радіусом 0.05...0.15 мм.

Пластини із кераміки доцільно використовувати при виготовленні деталей невеликої партії. Для крупносерійного і масового виробництва доцільно використовувати пластини із BN – кубічного нітриду бору, але вони в 6 разів дорожчі, ніж пластини із кераміки. Нітрид кремнію має високу теплопровідність, а тому його пластини при переривистому різанні з МОР.

2. Інструментальні пристрої

Основними елементами будь-якої фрезерної оправки являється: конус, кільця, закріплююча частина (рис. 2.1).

Основні типи конусів – 7:24, конус Морзе, HSK. Частіше використовується перший варіант. В верстатах оснащених високою швидкісними шпинделями (більше 15000 об/хв), частіше використовується останній тип – HSK.

Кільця необхідні для захвату інструмента маніпулятором магазину. На рівних існує багато стандартів (MAS 403 BT, DIN 69871-1, Yamazaki).

Закріплююча частина призначена для закріплення інструмента і може мати сотні різних форм.

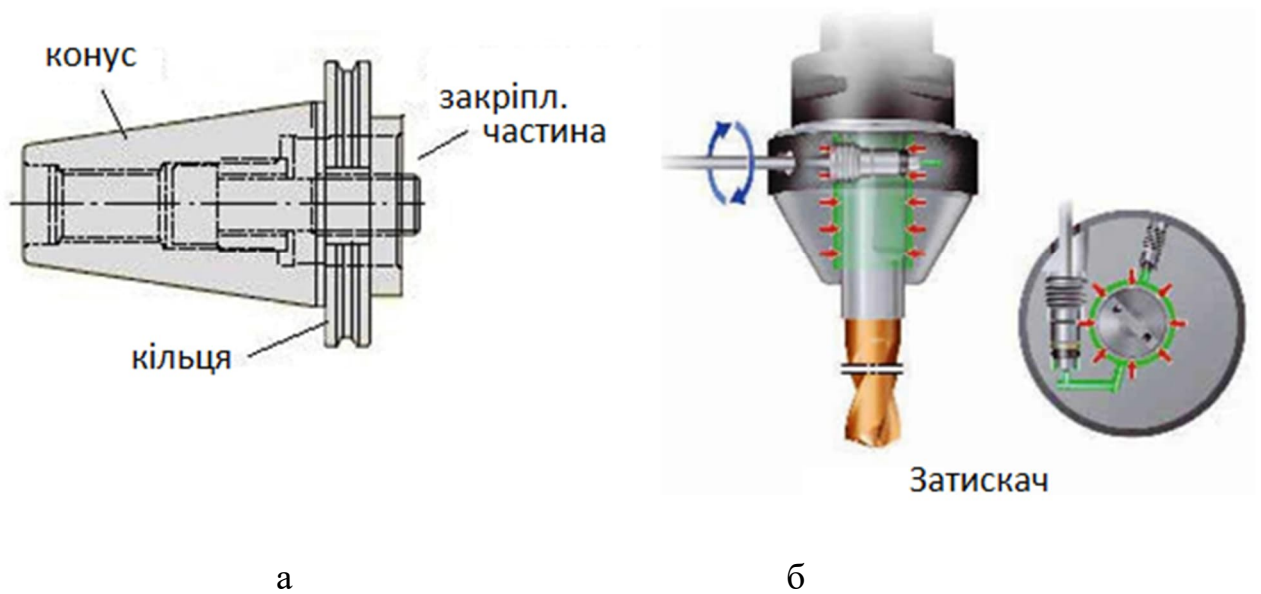


Рисунок 2.1 – Фрезерна оправка (а) та оправка з гідропластом (б)

Для закріплення кінцевого інструмента невеликого діаметра (до 200 мм) широко використовуються цангові патрони (рис. 2.2 а). Вони забезпечують достатньою шорсткістю закріплення для легких і середніх операцій. Биття установленного інструмента залежить в основному від точності цанги і складає 0.02...0.005 мм. Більш частіше зустрічаються цанги типу ER, які мають 2 конуса (рис. 2.2 б).

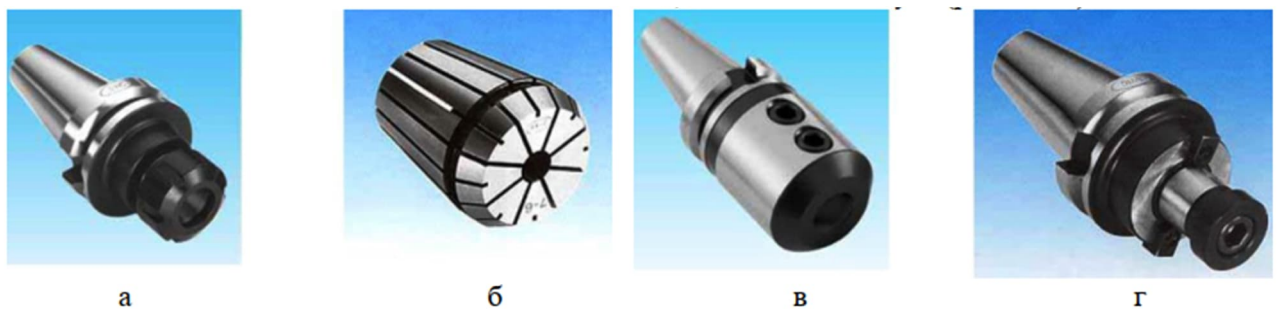


Рисунок 2.2 – Цанговий патрон (а), цанга типу ER (б) та цангові патрони з двома шпонками (в, г)

Інструменти з діаметром більше 20 мм або інструменти, які працюють на великих режимах різання, рекомендується використовувати з двома шпонками (рис. 2.2 в, г).

При роботі із значними частотами обертання шпинделя (більше 10000 об/хв), одним із основних вимог до оправки являється високі і стабільні зусилля закріплення

і мінімальне биття інструмента. Цим вимогам відповідають гідропластом (рис. 2.1 б), гідромеханічним затискачем (рис. 2.3 а) і термічним затискачем.

В оправках першого типу тиск затискача створює малостискаєму речовину гідропласт при загвинчуванні гвинта в корпус.

Принцип роботи гідромеханічних оправок подібний з попереднім, тільки тиск створюється не гвинтом, а спеціальним насосом (рис. 2.3 б). При цьому рідина, яка знаходиться в корпусі, діє на клиновий механізм, затискаючи інструмент.

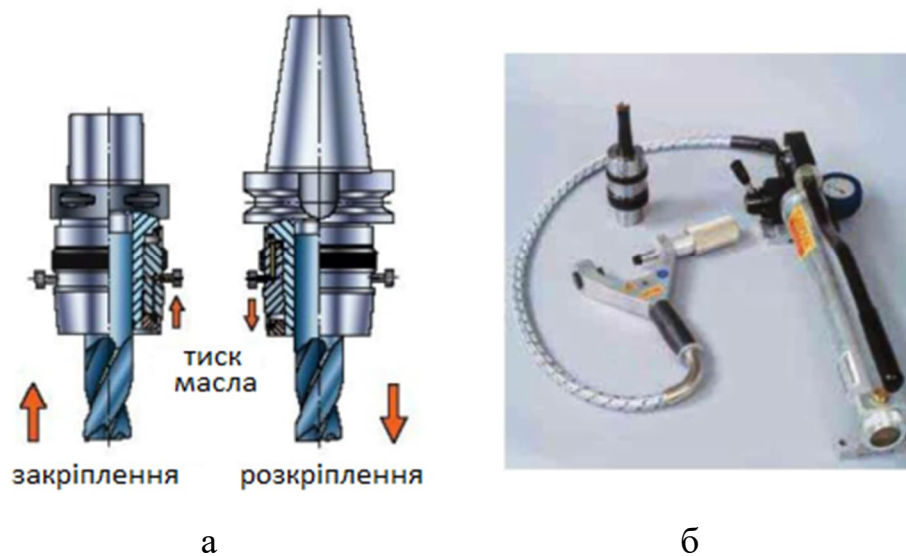


Рисунок 2.3 – Оправка гідромеханічним затискачем (а) та гідромеханічним затискачем із спеціальним насосом (б)

Останній тип оправок засновано на властивості металів розширюватись при нагріванні. Корпус розміщують в спеціальному пристрої індукційного нагріву, і в нього розміщується інструмент. Після охолодження посадочний діаметр зменшується і інструмент закріплюється силами пружності. Необхідно пам'ятати, що в ці оправки можна вставляти тільки твердосплавний інструмент, тому що його коефіцієнт теплового розширення нижчий, чим у сталі.

У вертикальному обробляючого центра VDL-1000 отвір конуса шпинделя (рис. 2.5)

№40(7:24) в оправку інструмента загвинчується хвостовик інструмент ВТ40-45°, який використовується для затиску інструмента за допомогою тарілчастих пружин. Інструмент може бути розжатым пневмо-гідравлічним циліндром. Під час зміни інструменту відбувається обдування конуса шпинделя сухим повітрям для

очистки. Шпиндель приводиться в дію за допомогою паса з високим обертальним моментом, тому не відбувається проковзування, зменшується інерційність і рівень шуму.

3. Приводний інструмент

Сучасний приводний інструмент для фрезерних верстатів (рис. 2.5) значно розширює можливості обладнання. Приводний інструмент включає: осьові, кутові і поворотні регульовані головки, багатошпиндельні головки, прискорювальні головки.

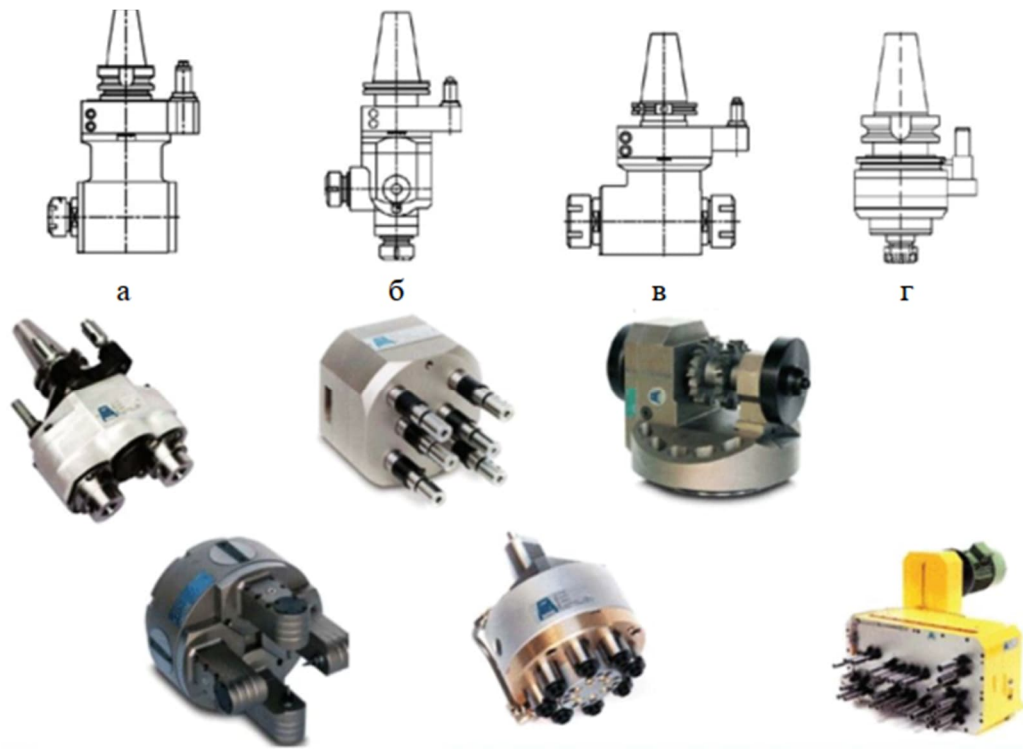


Рисунок 2.5 – Приводний інструмент для верстатів фрезерної групи з ЧПК: державний цанговий держак (а); поворотний цанговий держак (б); радіальний цанговий мультиплікаторний держак (в); прискорювальна головка (г)

Запитання

1. Які основні типи інструментів використовують на фрезерних верстатах з ЧПК?
2. Які основні види пристроїв використовують на фрезерних верстатах з ЧПК?
3. Які металокерамічні та керамічні матеріали використовують для фрез?

Зміст звіту

Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі теоретичні відомості, ескіз інструменту та пристрою.

Практична робота № 5

ІНСТРУМЕНТИ ТА ПРИСТРОЇ ДЛЯ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (ЧПК)

Мета роботи: розглянути основні інструменти та пристрої для токарних верстатів з ЧПК.

Короткі теоретичні відомості

1. Різальні інструменти

В результаті аналізу експлуатації токарних верстатів з ЧПК виявлені напрямлення підвищення продуктивності:

- скорочення основного та допоміжного часу за рахунок широкого застосування комбінованих ріжучих інструментів;
- використання складних траєкторій переміщення простих інструментів;
- обробка елементарних поверхонь декількома ріжучими елементами;
- широке використання заготовок, які отримані методами точного лиття і кування з використанням підкладних штампів.

Основу вибору номенклатури інструменту складають правила обробки основних та додаткових поверхонь заготовок (послідовність переходів, траєкторії переміщення інструменту, режимів та ін.). Номенклатуру ріжучого інструменту визначають на основі аналізу форм, розмірів, необхідної точності та шорсткості основних та додаткових поверхонь деталей з урахуванням виду вибраної обробки. Величезна кількість робіт, виконуваних на верстатах токарної групи, обумовлює різноманітність типів токарних різців (Рис. 1).



Рисунок 1 – Токарні різці

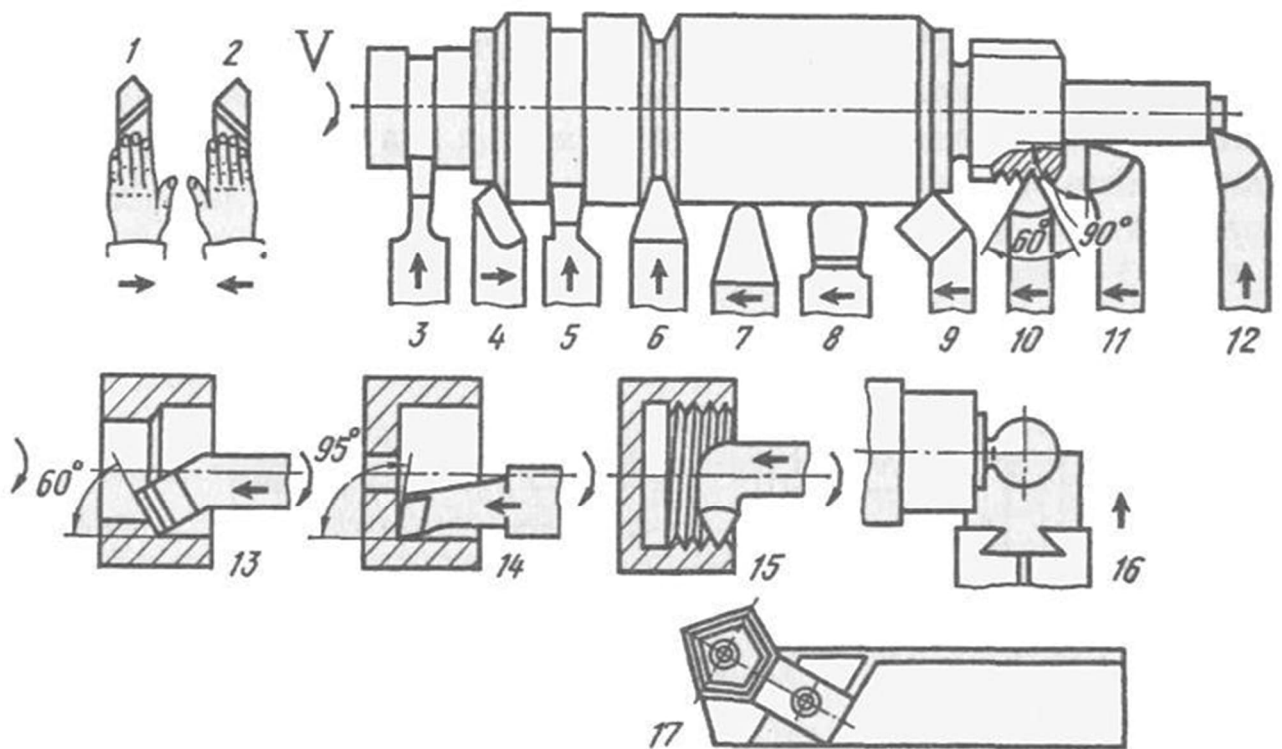


Рисунок 2 – Типи токарних різців: 1 і 2 - відповідно ліві і праві різці;
 4, 6, 7 - прямі різці; 9, 13 - відігнуті; 3, 5 - відрізні з витягнутою голівкою;
 4, 7, 8, 9 - прохідні; 11 - прохідний упорний; 12 - підрізний; 13, 14 - розточні;
 16 - фасонний; 10, 15 - для нарізання різьби, зовнішньої і внутрішньої
 відповідно

Будь-який різець складається з ріжучої частини і стрижня, за який здійснюється його закріплення у верстаті. Залежно від форми головки різця, її положення щодо стрижня і розташування головної ріжучої крайки, різці підрозділяються на праві і ліві, прямі, відігнуті і різці з відтягнутою головкою (Рис. 2).

За призначенням різці підрозділяються на прохідні і прохідні упорні, застосовувані при обробці зовнішніх поверхонь тіл обертання, підрізні, використовувані при обробці торцевих поверхонь, відрізні, призначені для розрізування заготовок або відрізання готової деталі від заготовки. Якщо відрізний різець при своєму переміщенні не доведений до осі, то на деталі буде утворена канавка. Розточувальні різці застосовуються для розточування в заготовці відповідно наскрізних і глухих отворів.

Фасонні різці мають спеціально спрофільовану ріжучу крайку, профіль якої копіюється на оброблюваній заготовці. У якості однієї з різновидів фасонних різців можна назвати різьбові різці для нарізування зовнішнього і внутрішнього різьб.

Залежно від необхідної шорсткості обробленої поверхні застосовують чорнові і чистові різці. Чистові різці можуть мати великий радіус закруглення вершини різця, чистову ріжучу крайку або широке ріжуче лезо.

В теперішній час 80-85% всіх різців оснащені пластинами із твердих сплавів. Конструктивно ці різці виконуються по-різному: із пластинами, напаяними на державку; з механічним кріпленням пластинок, з механічним кріпленням ріжучих вставок з напаяними пластинками і т. д.

Велике поширення одержали різці з багатограничними не переточувальними пластинами. Після затуплення чергової крайки пластина повертається наступною гранню, а після затуплення всіх крайок повертається в переробку.

Також в якості інструментів для обробки на верстатах токарної групи використовують осьовий різальний інструмент — свердла, зенкери, розгортки, якими проводять обробку внутрішніх циліндричних поверхонь і отворів.

На токарних верстатах застосовують різноманітний різальний інструмент. Кожен різальний інструмент працює в важчих умовах, ніж будь-яка деталь машини, тому до матеріалу інструмента пред'являються особливі вимоги:

- Перша вимога — висока твердість. Якщо твердість інструмента нижче твердості заготовки, то він буде м'яти, а не різати. Твердість інструмента HRC 60...65, а заготовки HRC 15...20. Меншу твердість мають свердла, зенкери і мітчики.

- Друга вимога — висока зносостійкість, тому що інструмент зазнає велике тертя і піддається зношуванню.

- Третя вимога — висока теплостійкість, тобто здатність зберігати ріжучі властивості при високій температурі. Твердість вуглецевої інструментальної і швидкорізальної сталі приблизно однакова, але теплостійкість вуглецевої сталі 200 °С, швидкорізальної 600 °С.

- Четверта вимога — висока механічна міцність, тому що інструмент при роботі сприймає значні сили різання. Матеріал інструмента повинен добре працювати на вигин і стиск. Крім цього матеріал інструмента повинен мати гарну теплопровідність, добре шліфуватися і прожарюватися.

Використають такі матеріали для виготовлення інструментів: вуглецеві інструментальні і леговані інструментальні сталі; швидкорізальні сталі; тверді сплави; мінералокераміку; надтверді матеріали і алмази.

2. Інструментальні пристрої

Пристрої для токарних верстатів за призначенням можна поділити на три групи:

- пристрої для закріплення оброблюваних заготовок;
- допоміжний інструмент для закріплення різального інструменту;
- пристрої, що розширюють технологічні можливості верстатів, тобто, дозволяють робити не властиві цим верстатам роботи (фрезування, одночасне свердління декількох отворів і т. д.).

Пристрої та різальний інструмент становлять технологічне оснащення верстата. За ступенем спеціалізації пристрої поділяються на універсальні, спеціалізовані і спеціальні.

Універсальні пристрої застосовують для закріплення заготовок, розміри яких значною мірою відрізняються між собою (наприклад, універсальний трикулачковий патрон (рис. 2)).

Спеціалізовані пристрої (цангові і мембранні патрони, оправки та ін.) застосовуються при обробці групи деталей, подібних за розмірами, конфігурацією і технологією виготовлення.

Спеціальні пристрої застосовуються при обробці певних деталей або при виконанні певної операції.

Універсальні пристрої використовуються в одиничному і малосерійному виробництві, а спеціалізовані і спеціальні — у великосерійному і масовому.

Для закріплення заготовок на токарних верстатах і надання їм обертального руху використовують: 3-х кулачкові, 4-х кулачкові, свердлильні патрони (рис. 2), планшайби, повідкові і цангові патрони.

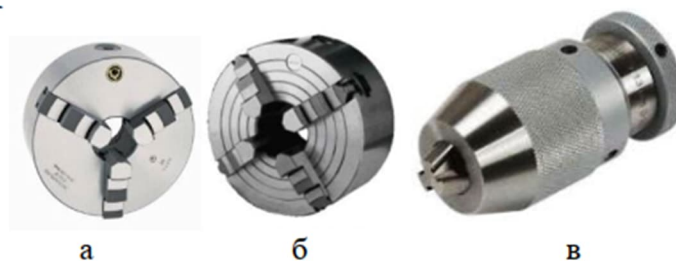


Рисунок 2 – Патрони 3-х кулачкові (а), 4-х кулачкові (б)
та свердлильні патрони (в)

Центри – для установки довгих заготовок. В торцях заготовки попередньо свердлять центрові заглиблення. Типи центрів: звичайні – використовують при обробці зовнішніх заготовок; зрізані – для підрізки торців заготовок; кулькові – для обробки конічних поверхонь методом зміцнення задньої бабки; зворотні – для обробки заготовок малого діаметра.

Люнети – допоміжні опори – для зменшення прогину і вібрацій при обробці. Довжини рахують заготовки, у яких $l > d > 12$ раз. Рухомі люнети закріплюють до супорта верстата. Нерухомі люнети закріплюють до станини.

Приводний інструмент

Сучасний приводний інструмент для токарних верстатів (рис. 3) значно розширює можливості обладнання. Приводний інструмент включає: осьові, кутові і поворотні регульовані головки, багатошпиндельні головки, прискорювальні головки.

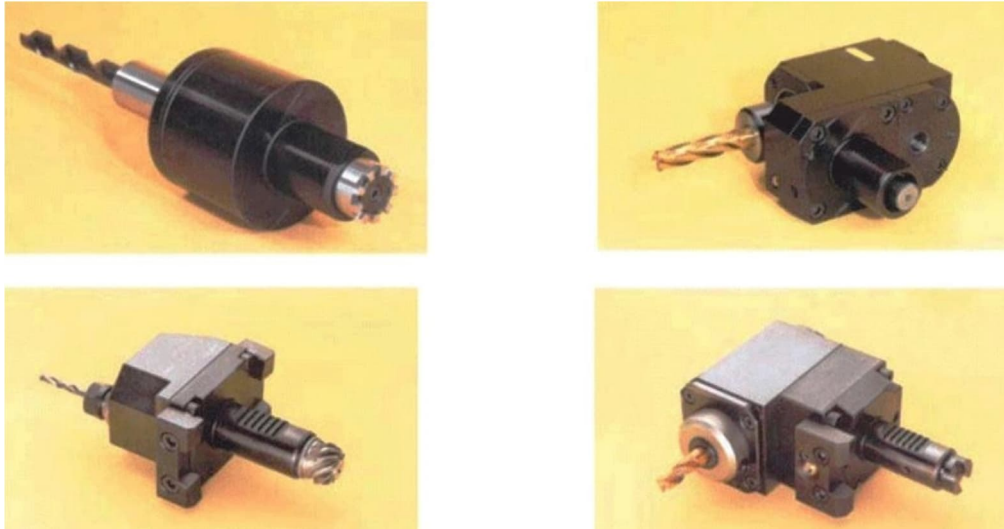


Рисунок 3 – Приводний інструмент для верстатів токарної групи з ЧПК

Запитання

1. Які основні типи різців та їх призначення, які використовуються на токарних верстатах з ЧПК?
2. Які основні види пристроїв, які використовуються на токарних верстатах з ЧПК?

Зміст звіту

Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі теоретичні відомості, ескіз інструменту та пристрою.

Практична робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Мета роботи: навчитися здійснювати аналіз токарних операційних ескізів та інших вихідних даних для обробки заготовки в даній операції, а також записувати зміст операції по переходах.

Короткі теоретичні відомості

Виробничий процес – сукупність всіх дій методів виготовлення і засобів праці на підприємстві для виробництва або ремонту виробів.

Виробничий процес передбачає:

- Технологічну підготовку виробництва;
- Отримання, зберігання і переміщення матеріалів і заготовок;
- Різні види обробки;
- Збирання виробів і контроль якості.

Технологічний процес – частина виробничого процесу, яка вміщує ціле направлені дії на зміну і наступне визначення стану засобів праці (заготовки і виробів).

Засобами виконання технологічного процесу являється технологічне обладнання і оснастка та наладка. Технологічний процес складається з технологічних і допоміжних операцій.

Технологічна операція – це закінчена частина технологічного процесу виконана на одному робочому місці. Технологічна операція зв'язана зі зміною форми, розмірів, властивостей матеріалу або поверхонь заготовки.

До допоміжних операцій відносять: контроль, транспортування і інші види робіт при яких розміри, форма та якість заготовок не змінюється.

Операція являється основою виробничого планування і обліку (визначають необхідне число робітників, обладнання, інструментів).

Технологічні операції механічної обробки ділять на: технологічні і допоміжні переходи робочі і допоміжні ходи.

Технологічний перехід – закінчена частина технологічної операції, яка характеризується сталістю інструмента, що використовується, і поверхонь, які утворюють обробкою. Обробку кожної поверхні заготовки здійснюють за один або декілька переходів.

Допоміжний перехід – закінчена частина технологічної операції, яка складається із дій людини і обладнання, яка не супроводжується зміною форми, розмірів, параметрів шорсткості поверхні, але необхідної для виконання технологічного переходу, наприклад, установка оброблюваної заготовки, її закріплення, зміна ріжучого інструменту.

Переходи можна виконувати послідовно – один за іншим, наприклад, на верстатах з ЧПК; паралельно оброблювати декілька поверхонь деталі декількома інструментами – на агрегатних багаторізцевих верстатах; і паралельно – послідовно – на багатопиндельних автоматах.

Робочим ходом називають закінчену частину технологічного переходу, який складається із одноразового переміщення інструмента відносно заготовки і супроводжується змінною форми, розмірів, якості поверхні або властивості заготовки. Робочий хід здійснюється при відносному переміщенні інструмента і заготовки по заданій траєкторії. Траєкторія робочого ходу включає:

- траєкторію підходу інструмента;
- траєкторію різання;
- траєкторію перебігу (виходу) інструмента.

Для розширення технологічних можливостей верстатів частіше використовувати системи з ЧПК, які здійснюють програмування циклу, режимів обробки і шляхів переміщення робочих органів верстата (рис. 1).

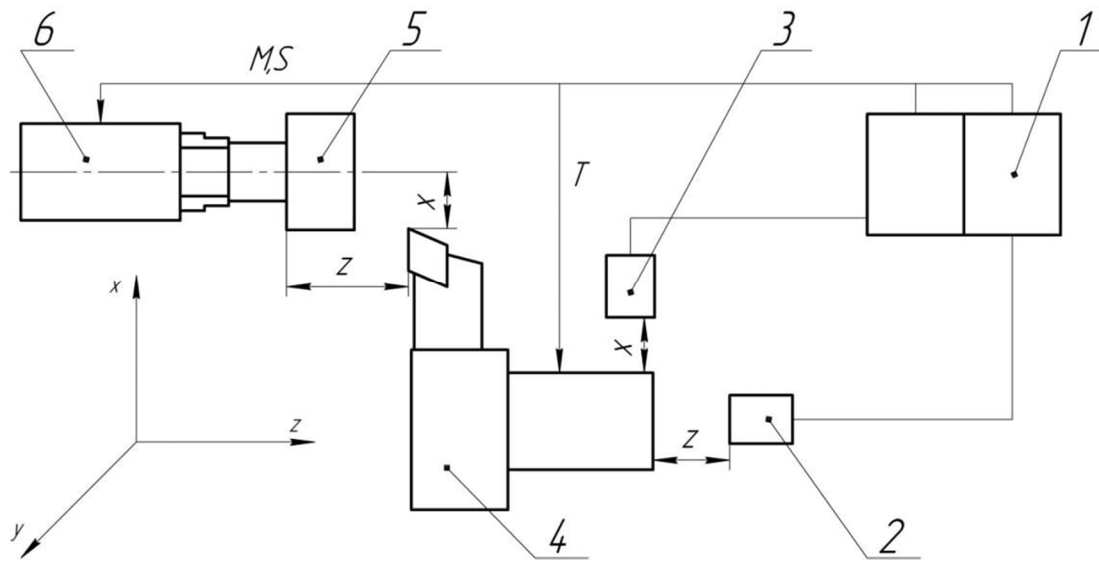


Рисунок 1 – Схема обробки деталі на верстаті з ЧПК (1 – блок керування ЧПК, 2, 3 – крокові приводи з повздовжньою «z» та поперечною «x» подачею, 4 – різцетримач, 5 – заготовка, 6 – безступінчаста коробка швидкостей, M, S – допоміжна функція та команда головного руху, T – команда на зміну інструмента)

Допоміжний хід – представляє собою закінчену частину технологічного переходу, яка складається із одноразового переміщення інструмента відносно заготовки і не супроводжується її змінами, але необхідного для підготовки робочого ходу.

При використанні верстатів з ЧПК виникає необхідність в подальшій деталізації складових технологічної операції і процесу обробки. Технологічні і допоміжні ходи розбивають на кроки (елементарні переміщення) і технологічні команди. Кожний крок представляє собою переміщення на ділянці траєкторії з невідомими параметрами (наприклад, значення швидкості подачі, частоти обертання шпинделя). Зокрема, окремим кроком являється переміщення по прямій або по колу з постійною швидкістю.

Технологічні команди – це вказівки, які реалізують виконуючими механізмами, наприклад, включення, подача МОВ та ін. Для обробки заготовку необхідно вставити і закріпити в пристрої або за допомогою механізмів верстата.

Установом називають частину технологічної операції, яка виконується при незмінному (одноразовому) закріпленні оброблюваної заготовки. Операція може використовуватись за один або декілька установів. Наприклад, для токарної обробки вала необхідно, як правило, два установи.

Порядок визначення складових операції:

- Деталь виготовляють із гарячекатаного прокату, розрізаного на штучні заготовки циліндричної форми в умовах дрібносерійного виробництва.
- Всі поверхні обробляються за один прохід.
- Токарна операція виконується згідно ескізів за дві установи (рис. 2).

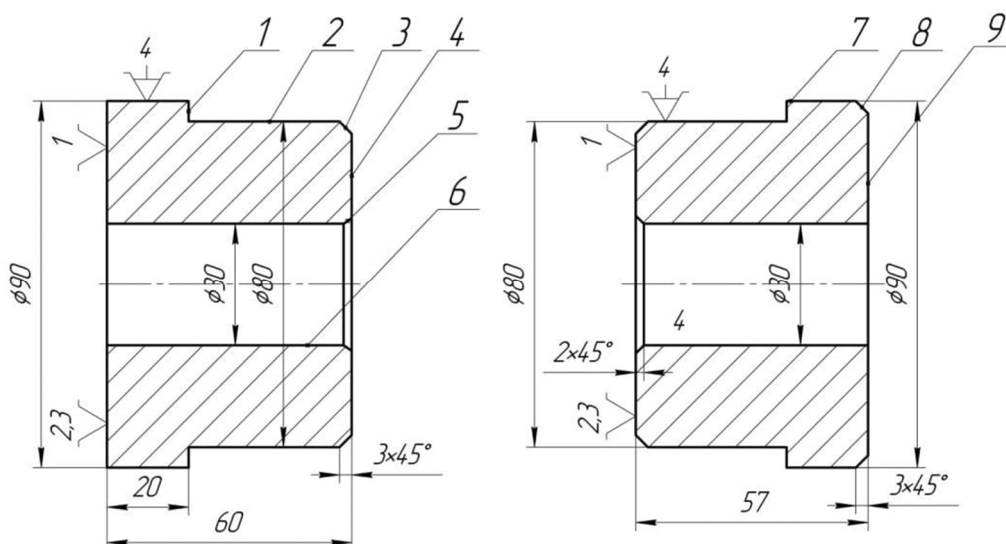


Рисунок 2 – Схема токарної операції

Необхідно провести аналіз операційних ескізів і інших вихідних даних, встановити склад операції та визначити її найменування і склад, визначити послідовність обробки заготовки в даній операції, описати склад операції по переходам.

Порядок розв'язання:

1. В даній операції, яка складається із двох установів А і Б, проводиться обробка 9 – ти поверхонь заготовки, для чого необхідно виконати послідовно дев'ять технологічних переходів.
2. Для виконання даної операції буде використаний токарний верстат з ЧПК.

Найменування операції – токарна.

3. Встановлюємо раціональну послідовність виконання технологічних переходів по установам, згідно операційних ескізів.

В першому установі (А): підрізати торець 4, точити поверхню 2 з утворенням торця 1, точити фаску 3, свердлити отвір 6 і розточити фаску 5.

В другому установі (Б) – підрізати торець 9, точити поверхню 7 і фаску 8.

4. Зміст операції в технологічній документації записується по технологічним – (ПТ) – та допоміжним (ПД) переходам (табл.1).

Таблиця 1 – Зміст операції по переходам

№-переходу	Вид переходу	Зміст операції
1	ПД	Встановити і закріпити заготовку
2	ПТ	Підрізати торець 4
3	ПТ	Точити поверхню 2 з утворенням торця 1 (при точінні поверхні 2 здійснюють 2 робочих хода)
4	ПТ	Точити фаску 3
5	ПТ	Свердлити отвір 6
6	ПТ	Розточити фаску 5
7	ПД	Переустановити заготовку
8	ПТ	Підрізати торець 9
9	ПТ	Точити поверхню 7
10	ПТ	Точити фаску 8
11	ПД	Контроль розмірів деталі
12	ПД	Зняти деталь і покласти в тару

Порядок проведення роботи:

- Вибрати інструмент та тип верстата;
- Згідно з варіантом індивідуального завдання визначити конфігурацію та розміри заготовки;
- Встановити схему базування;
- Проставити на ескізі всі оброблювальні поверхні;

- Записати в таблицю найменування та зміст операції з урахуванням переходів.

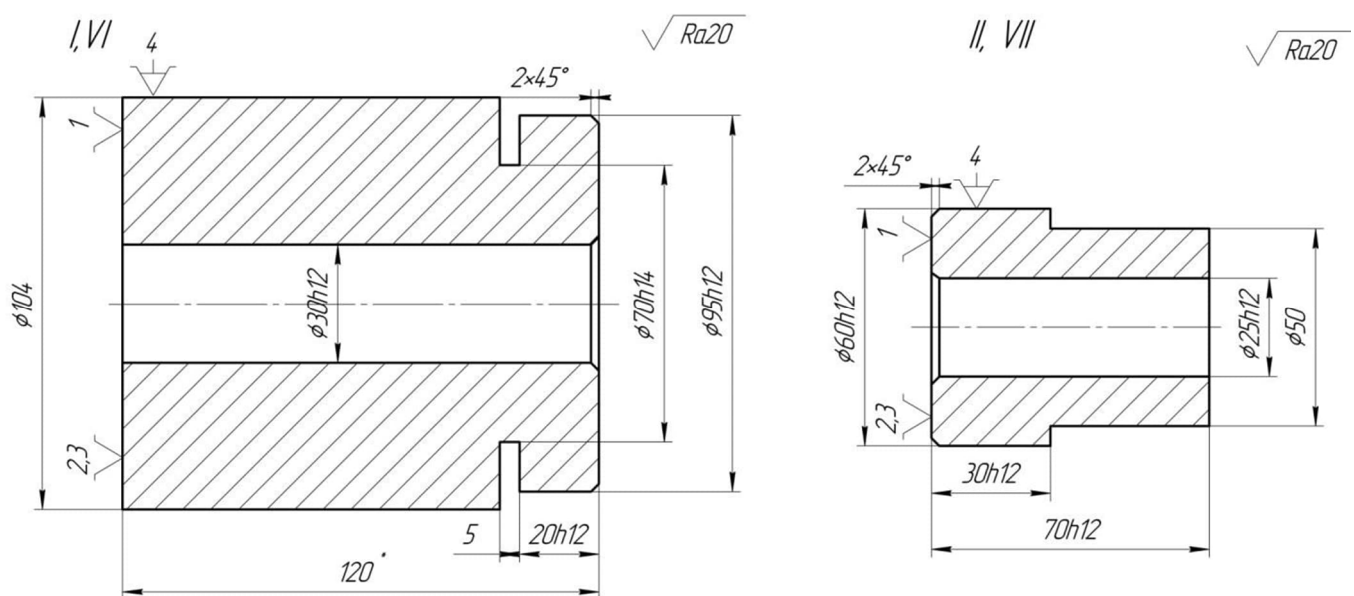
Запитання

1. Що таке технологічний процес, технологічна операція, технологічний перехід та робочий хід?
2. Деталізація складових технологічної операції і процесу обробки при використанні верстатів з ЧПК?
3. Який порядок визначення складових операції?

Зміст звіту

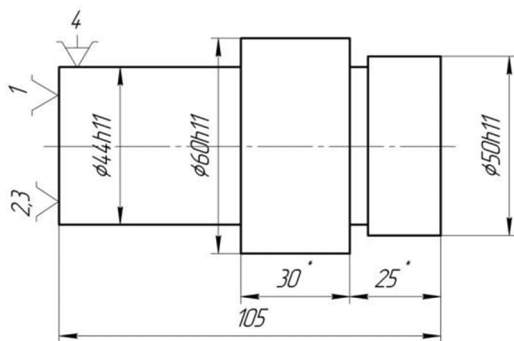
Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі теоретичні відомості, ескіз заготовки та таблицю №1, в якій провести аналіз операційних ескізів і інших вихідних даних, встановити склад операції та визначити її найменування, визначити послідовність обробки заготовки в даній операції, описати склад операції по переходам, згідно варіанту завдання, які приведені в додатку №1.

Додаток №1



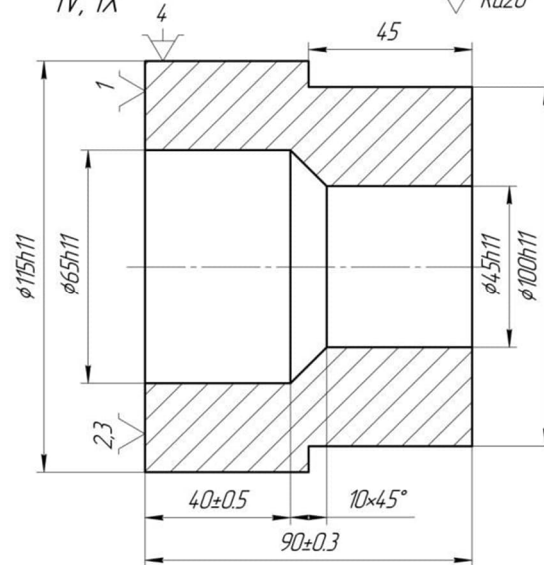
III, VIII

$\sqrt{Ra10}$



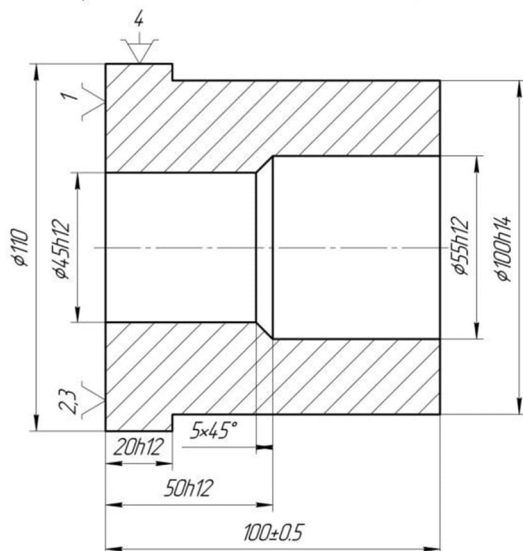
IV, IX

$\sqrt{Ra20}$



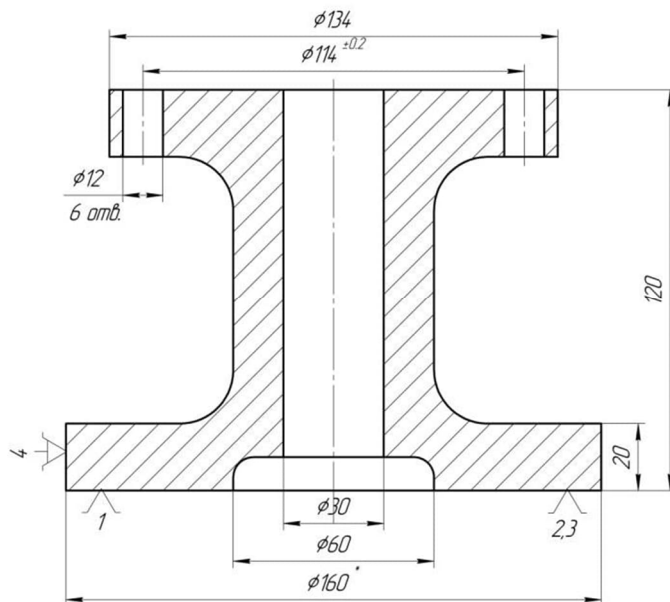
V, X

$\sqrt{Ra10}$



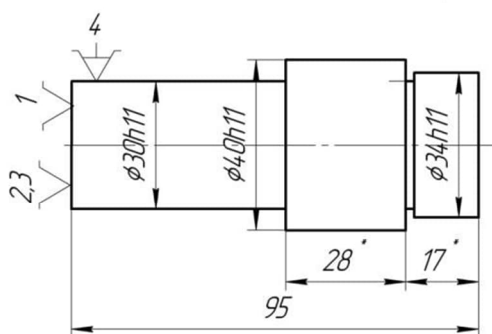
XI, XII

$\sqrt{Ra20}$



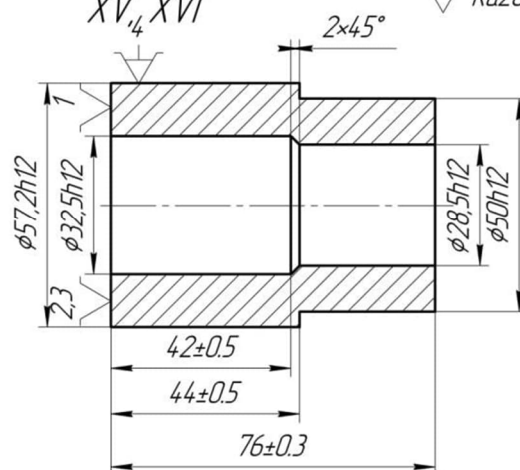
XIII, XIV

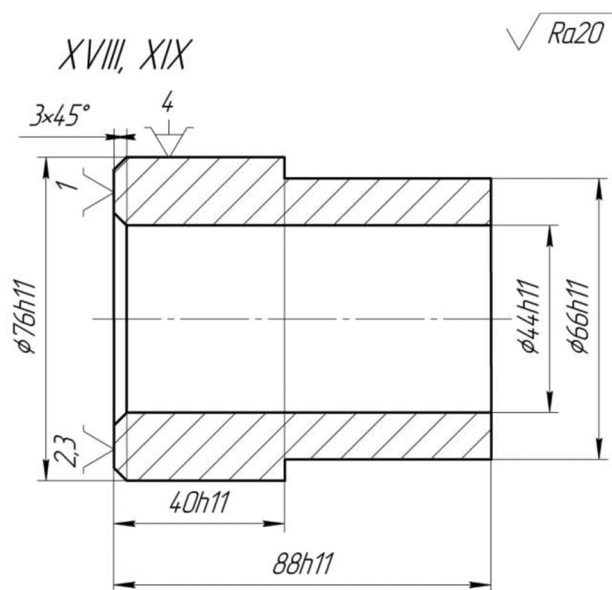
$\sqrt{Ra20}$



XV, XVI

$\sqrt{Ra20}$





Практична робота № 7

ВИВЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОГРАМУВАННЯ КОЛА ТА СКЛАДАННЯ ПРОГРАМИ ДЛЯ ФРЕЗЕРУВАННЯ КАНАВОК НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧИЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (ЧПК)

Мета роботи: вивчити параметри програмування кола, півкола, чверті кола та навчитися складати програми для фрезерування канавки.

Короткі теоретичні відомості

Коло, яке задане координатами центра, проходить через початкову A і кінцеву E його точку. Координатні вісі, які використовуються в процесі кругової інтерполяції, мають параметри I , J і K , що відповідають відповідним осям. Параметри встановлюють відстань між початковою точкою і центром M дуги кола в напрямку, який паралельний осям. Знак визначається в напрямку вектора від A до M (рис. 2). Стандартне визначення параметрів зображено на рис. 1.

На рис. 1:

$I = M(X) - A(X)$, $J = M(Y) - A(Y)$, $K = M(Z) - A(Z)$ - параметри інтерполяції; X , Y , Z – координатні вісі, яким задані відповідні параметри I , J , K ; M – центр кола, який заданий відносно початкової точки дуги кола.

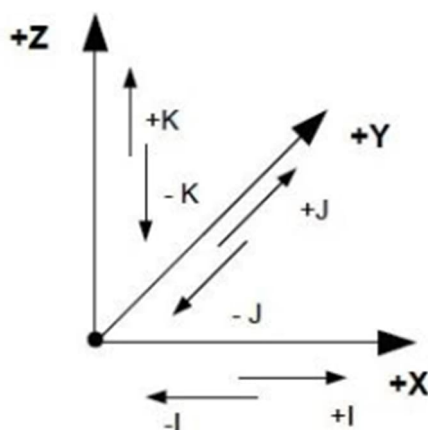


Рисунок 1 – Параметри для програмування

Розглянемо різні приклади програмування кола.

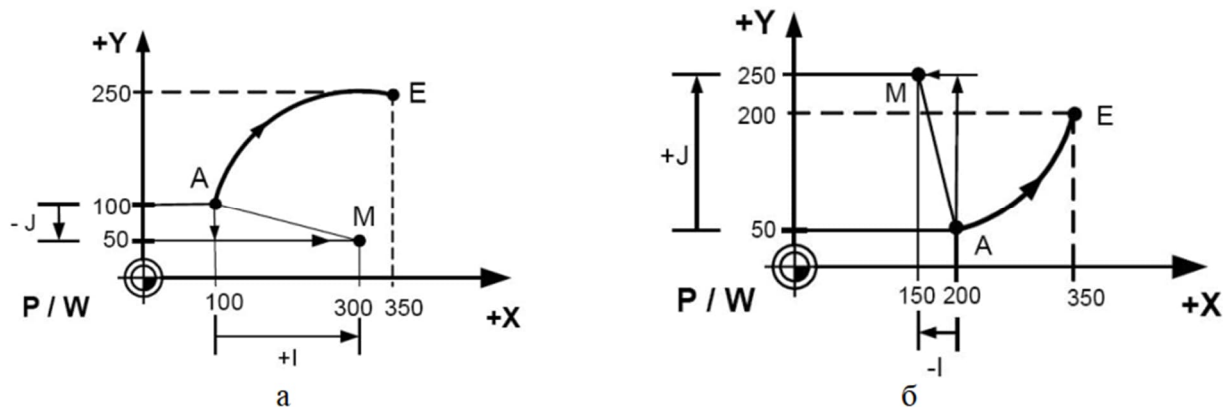


Рисунок 2 – Програмування дуги кола за годин. (а) і проти годин. стрілки (б)

Кадр для прикладу (рис. 2 а) N...G90G17G2X350Y250I200J-50F...S...M...; де, P – нульова точка координатної системи (PCS – координатна система керуючої програми); W – нульова точка координатної системи деталі (PCS – координатна система деталі); N – порядковий номер; G90 – програмування в абсолютних координатах; G17 – програмування в площині X_Y; G2 – кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою; X350Y250 – координати по вісі від 0 (P/ W) до 350 по вісі X і відповідно 250 по вісі Y; I200 – параметр, який відповідає вісі X і дорівнює 200 мм; J-50 – параметр, який відповідає вісі Y і дорівнює -50 мм; F...S...M... - відповідно функція подачі, шпинделя і допоміжна функція.

Кадр для прикладу (рис. 2 б) N...G90G17G3X350Y200I-50J200F...S...M...; G3 – кругова інтерполяція проти годинникової стрілки;

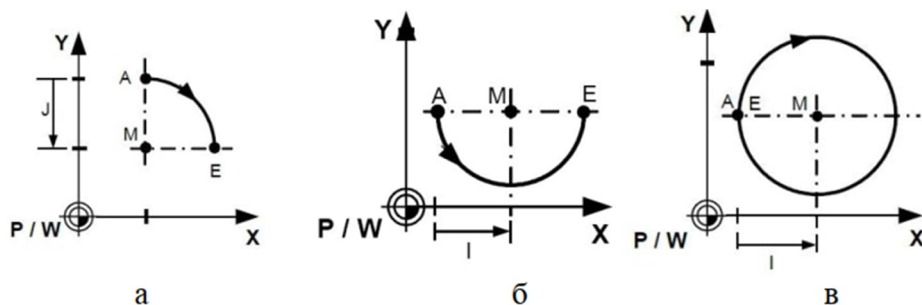


Рисунок 3 – Приклади програмування чверті кола (а), півкола (б) і повного кола (в)

Кадр для прикладу (рис. 3 а) N...G17G2X...Y...J-...F...S...M...;

Особливість: Один із параметрів інтерполяції завжди дорівнює нулю, і немає потреби записувати його в програмі. Тут цей параметр I.

Кадр для прикладу (рис. 3 б) N...G17G3X...I...F...S...M...;

Особливість: По вісі Y координати початкової і кінцевої точок співпадають. Переміщення по цій координаті в кадрі не вказують, як і параметр інтерполяції J.

Кадр для прикладу (рис. 3 в) N...G17G2I...F...S...M...;

Особливість: Координат початкової і кінцевої точок співпадають. Приріст по обом координатам вказувати в кадрі не потрібно. Якщо початкова і кінцева точки лежать на границі квадратів, то один із параметрів інтерполяції буде дорівнювати нулю, і його можна не вказувати. Так і в приведеному прикладі можуть бути опущені функції X, Y і J.

Приклади програмування фрезерування канавки

Для фрезерування канавки вибираємо абсолютну систему координат станка, а деталь розміщуємо в межах робочого поля фрези відносно цієї системи.

Для визначення координат позначаємо на деталі контактні точки фрези.

Деталь необхідно розмістити на робочому столі, так щоб координати бажано мали цілі числа. У вихідному положенні фреза знаходиться в точці O з координатами (0 – по вісі X, 0 – по вісі Y).

Потім фреза переміщається в точку A (40, 25) (рис. 4 а). Точка яка найближча до точки O і буде точкою A. Всі наступні точки позначаються з відповідністю геометрії канавки і напрямку руху фрези, яку необхідно нам отримати.

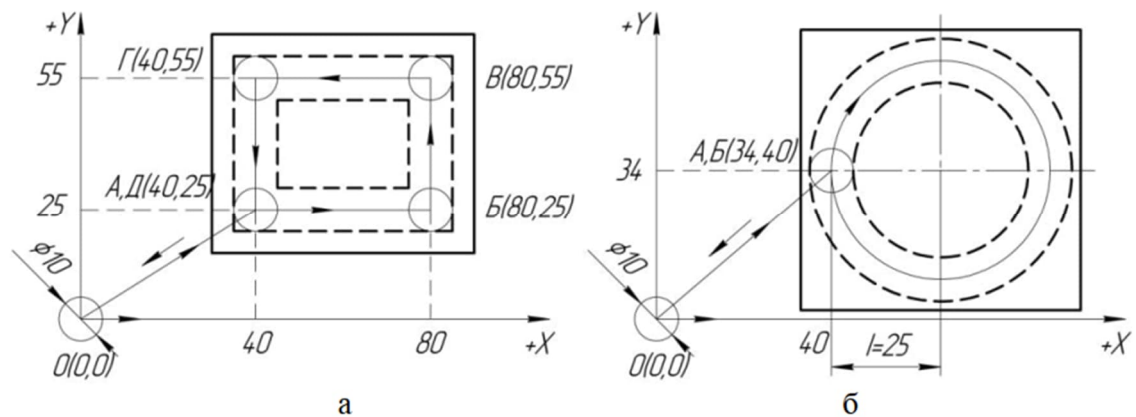


Рисунок 4 – Фрезерування канавки по прямій (а) і по колу (б)

Програма для фрезерування канавки (рис. 4 а):

N1G94G21G17F300S1200 (G21 – в мм, G94 – подача в мм/хв, G1 – лінійна інтерполяція, F300 – швидкість подачі 300 мм/хв., S1200 – швидкість шпинделя 1200 об/хв., в даний момент фреза знаходиться в точці O (0.0)).

N2G1X40Y25Z0 (Переміщення фрези із точки O(0.0) в точку A(40.25));
 N3G1X40Y25Z-5 (Заглиблення фрези по вісі Z = -5 мм в точці A(40.25));
 N4G1X80Y25Z-5 (Переміщення фрези із точки A(40.25) в точку B(80.25));
 N5G1X80Y55Z-5 (Переміщення фрези із точки B(80.25) в точку B(80.55));
 N6G1X40Y55Z-5 (Переміщення фрези із точки B(80.55) в точку Г(40.55));
 N7G1X40Y25Z-5 (Переміщення фрези із точки Г(40.55) в точку Д(40.25));
 N8G1X40Y25Z0 (Переміщення фрези по вісі Z = 0 мм в точці Д(40.25), тобто відведення фрези);
 N9G1X0Y0Z0 (Переміщення фрези із точки Д(40.25) в точку O(0.0));
 N10M30 (Закінчення програми і переміщення на початок програми).

Програма для фрезерування канавки по колу (рис. 3.4 б):

N1G94G21G17F300S1200 (Розшифровується, як і в попередніх програмах);
 N2G1X40Y34Z0 (Переміщення фрези із точки O(0.0) в точку A(34.40));
 N3G1X40Y34Z-5 (Заглиблення фрези по вісі Z = -5 мм в точці A(34.40));
 N4G2I25Z-5 (Переміщення фрези із точки A(34.40) в точку B(34.40) за годинниковою стрілкою, I – параметр інтерполяції по вісі X=25);

N5G1X40Y34Z0 (Переміщення фрези по вісі $Z = 0$ мм в точці Б(34.40), тобто відведення фрези);

N6G1X0Y0Z0 (Переміщення фрези із точки Б(34.40) в точку О(0.0));

N7M30 (Закінчення програми і переміщення на початок програми).

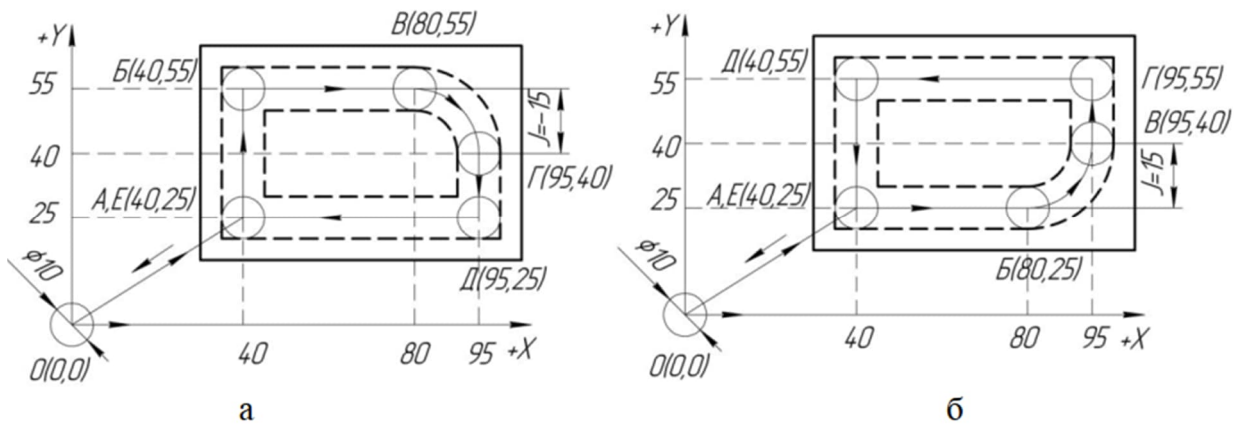


Рисунок 5 – Фрезерування канавки по прямій і чверті кола за годинниковою (а) і проти годинникової стрілки (б)

Програма для фрезерування канавки (рис. 5 а):

N1G94G21G17F300S1200 (Розшифровується, як і в попередніх програмах);

N2G1X40Y25Z0 (Переміщення фрези із точки О(0.0) в точку А(40.25));

N3G1X40Y55Z-5 (Заглиблення фрези по вісі $Z = -5$ мм в точці А(40.25));

N4G1X40Y55Z-5 (Переміщення фрези із точки А(40.25) в точку Б(40.55));

N5G1X80Y55Z-5 (Переміщення фрези із точки Б(40.55) в точку В(80.55));

N6G2X95Y40J-15Z-5 (Переміщення фрези із точки В(80.55) в точку Г(95.40) за годинниковою стрілкою, J – параметр інтерполяції по вісі $Y=-15$, бо рух від більшої до меншої точки координати);

N7G1X95Y25Z-5 (Переміщення фрези із точки Г(95.40) в точку Д(95.25));

N8G1X40Y25Z-5 (Переміщення фрези із точки Д(95.25) в точку Е(40.25));

N9G1X40Y25Z0 (Переміщення фрези по вісі $Z = 0$ мм в точці Е(40.25), тобто відведення фрези);

N10G1X0Y0Z0 (Переміщення фрези із точки Е(40.25) в точку О(0.0));

N11M30 (Закінчення програми і переміщення на початок програми).

Програма для фрезерування канавки (рис. 5 б):

N1G94G21G17F300S1200 (Розшифровується, як і в попередніх програмах);
N2G1X40Y25Z0 (Переміщення фрези із точки O(0.0) в точку A(40.25));
N3G1X40Y25Z-5 (Заглиблення фрези по вісі Z = -5 мм в точці A(40.25));
N4G1X80Y25Z-5 (Переміщення фрези із точки A(40.25) в точку Б(80.25));
N5G3X95Y40J15Z-5 (Переміщення фрези із точки Б(80.25) в точку В(95.40) проти годинникової стрілки, J – параметр інтерполяції по вісі Y=15, бо рух від меншої до більшої точки координати);
N6G1X95Y55Z-5 (Переміщення фрези із точки В(95.40) в точку Г(95.55));
N7G1X40Y55Z-5 (Переміщення фрези із точки Г(95.55) в точку Д(40.55));
N8G1X40Y25Z-5 (Переміщення фрези із точки Д(40.55) в точку Е(40.25));
N9G1X40Y25Z0 (Переміщення фрези по вісі Z = 0 мм в точці Е(40.25), тобто відведення фрези);
N10G1X0Y0Z0 (Переміщення фрези із точки Е(40.25) в точку O(0.0));
N11M30 (Закінчення програми і переміщення на початок програми).

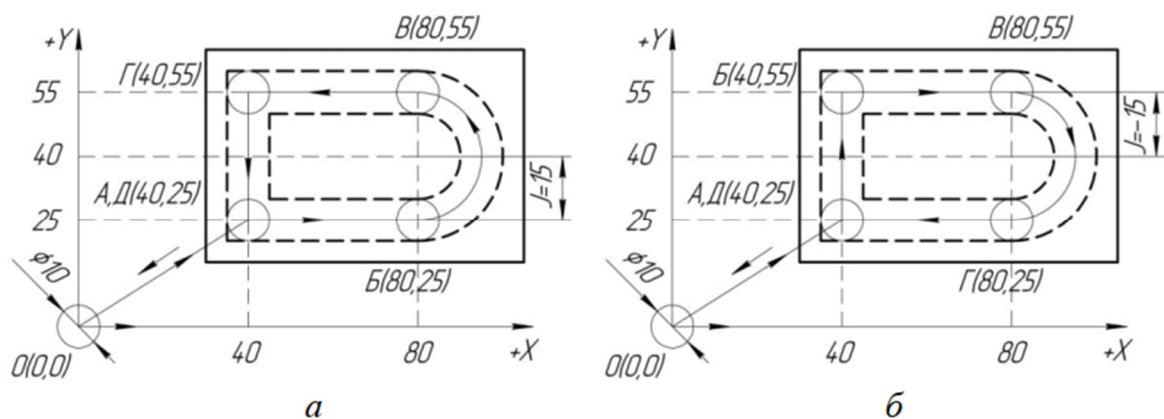


Рисунок 6 – Фрезерування канавки по прямій і півкола проти годинникової (а) і за годинниковою стрілкою (б)

Програма для фрезерування канавки (рис. 6 а):

N1G94G21G17F300S1200 (Розшифровується, як і в попередніх програмах);
N2G1X40Y25Z0 (Переміщення фрези із точки O(0.0) в точку A(40.25));

N3G1X40Y25Z-5 (Заглиблення фрези по вісі $Z = -5$ мм в точці A(40.25));
N4G1X80Y25Z-5(Переміщення фрези із точки A(40.25) в точку Б(80.25));
N5G3Y55J15Z-5(Переміщення фрези із точки Б(80.25) в точку В(80.55) проти
годинникової стрілки, J – параметр інтерполяції по вісі $Y=15$, бо рух від меншої до
більшої точки координати);
N6G1X40Y55Z-5 (Переміщення фрези із точки В(80.55) в точку Г(40.55));
N7G1X40Y25Z-5 (Переміщення фрези із точки Г(40.55) в точку Д(40.25));
N8G1X40Y25Z0 (Переміщення фрези по вісі $Z = 0$ мм в точці Д(40.25), тобто
відведення фрези);
N9G1X0Y0Z0 (Переміщення фрези із точки Д(40.25) в точку О(0.0));
N10M30 (Закінчення програми і переміщення на початок програми);

Програма для фрезерування канавки (рис. 6 б) складається подібно до рис. 6 а.
В цьому прикладі фреза переміщується за годинниковою стрілкою G2 і параметр
інтерполяції J – по вісі Y буде від’ємний ($Y=-15$), бо рух від більшої до меншої точки
координати.

Запитання

1. Які необхідні параметри для програмування кола?
2. Які особливості координат початкової і кінцевої точок якщо вони
співпадають?

Зміст звіту

Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі теоретичні
відомості, ескіз деталі, програму для фрезерування канавки згідно варіанту
завдання, які приведені в додатку №1.

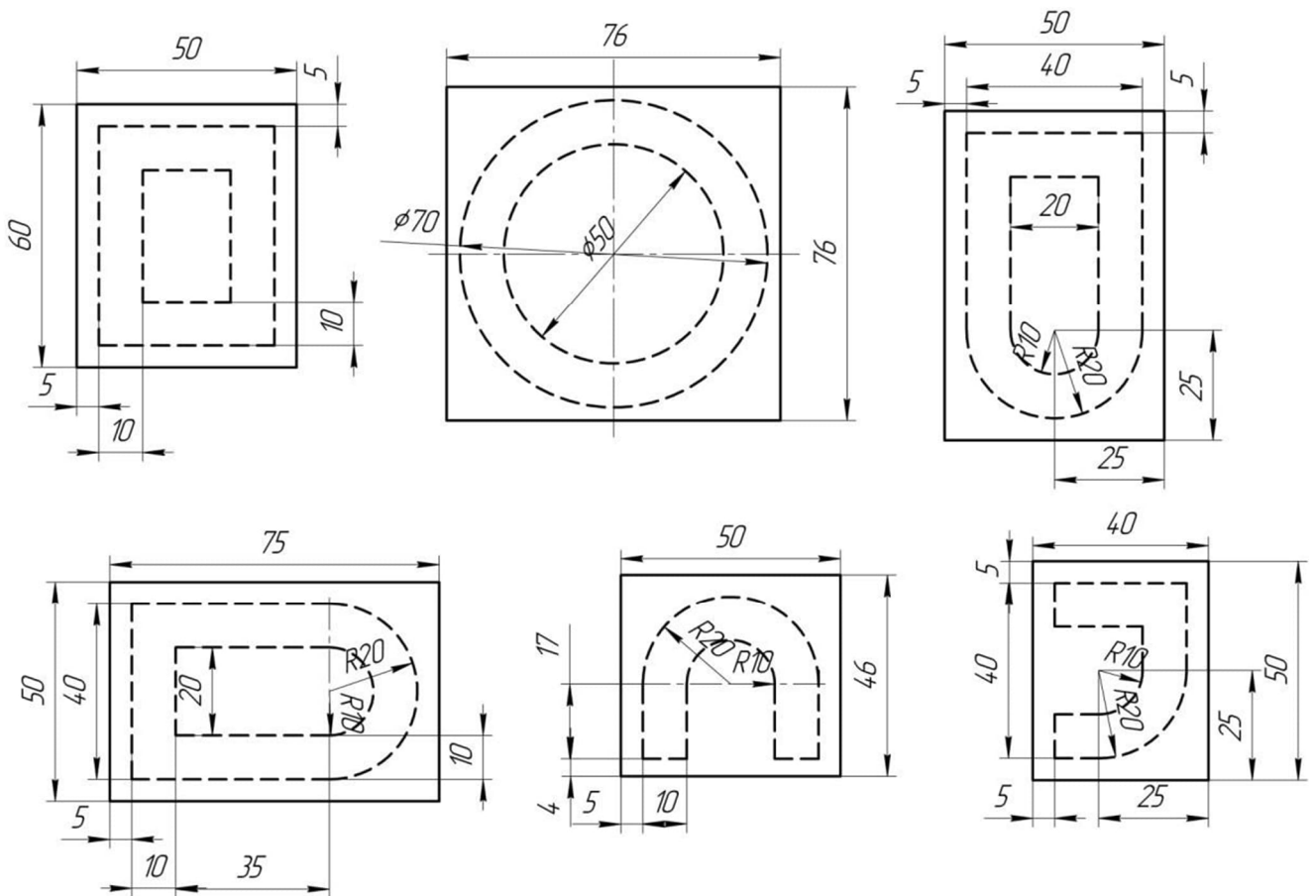
Завдання

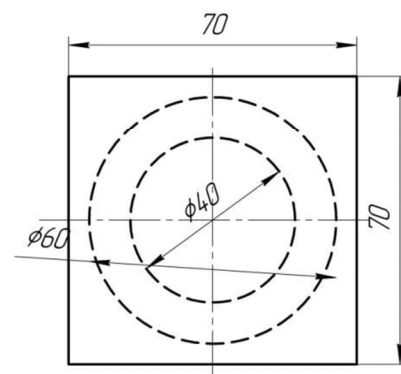
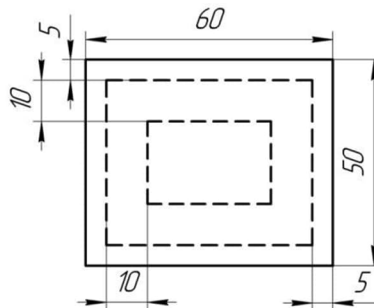
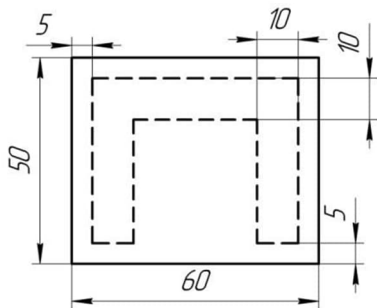
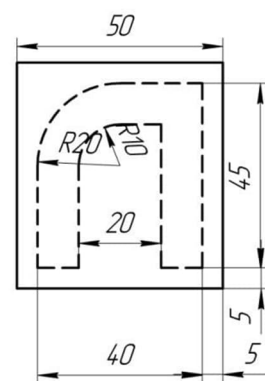
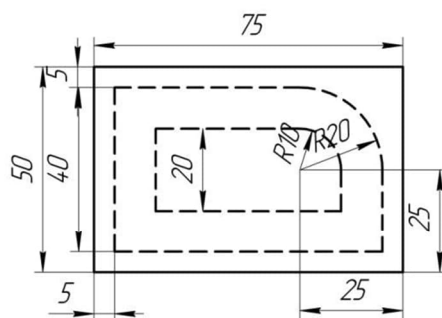
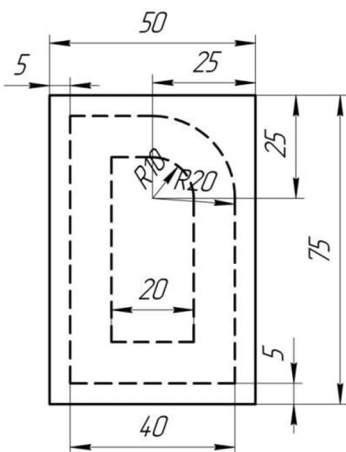
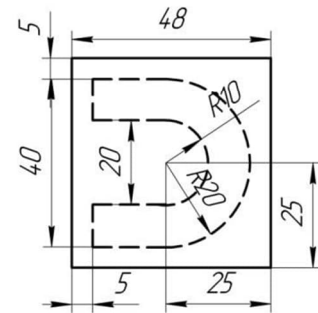
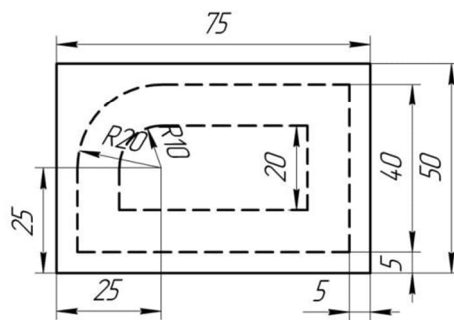
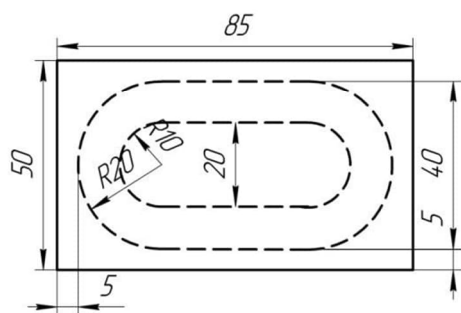
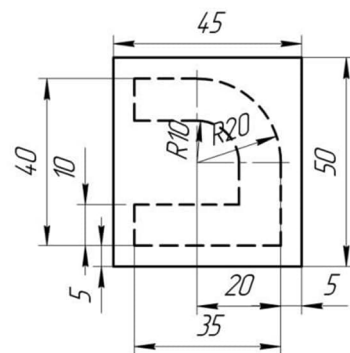
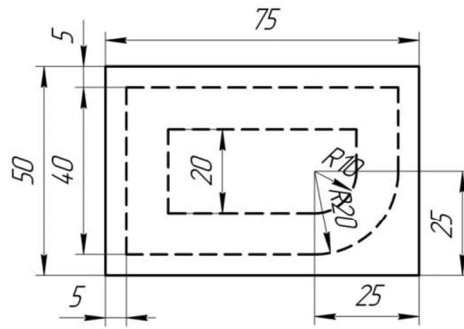
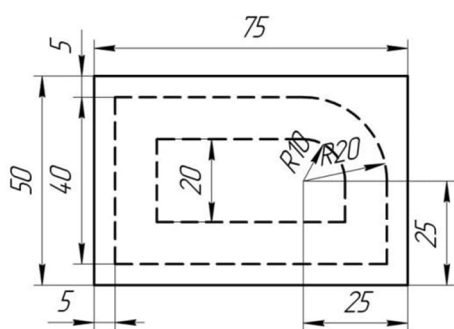
Фрезерувати канавку глибиною 5 мм. Діаметр фрези 10 мм.

Деталь доцільно розміщувати так, щоб точка $O(0.0)$ системи координат і початкова точка A (найближча крайня нижня точка зліва контакту фрези на деталі) мали цілі значення в системі координат.

Наприклад, координати точки A (по $X=40$, по $Y=25$; 40.30 ;...). Тобто нульова точка координатної системи і нульова точка деталі не співпадали.

Додаток 1





Практична робота № 8

СКЛАДАННЯ ПРОГРАМИ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗОВНІШНЬОГО КОНТУРУ ДЕТАЛІ НА ФРЕЗЕРНОМУ ВЕРАТАТІ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (ЧПК)

Мета роботи: вивчити основи програмування, навчитися складати програми для обробки заготовок на фрезерному верстаті.

Короткі теоретичні відомості

1. Складання програми для контурної обробки

Наприклад для обробки зовнішнього контуру деталі (рис. 1.1 а) використовуємо фрезу діаметром 10 мм. Так як різання відбувається боковою (циліндричною) поверхнею фрези, то центр фрези буде зміщений на відстань, яка дорівнює радіусу (5 мм) вліво відносно оброблюваного контуру. Фреза переміщується послідовно через точки 1, 2, 3 і 4 (рис. 1.1 б).

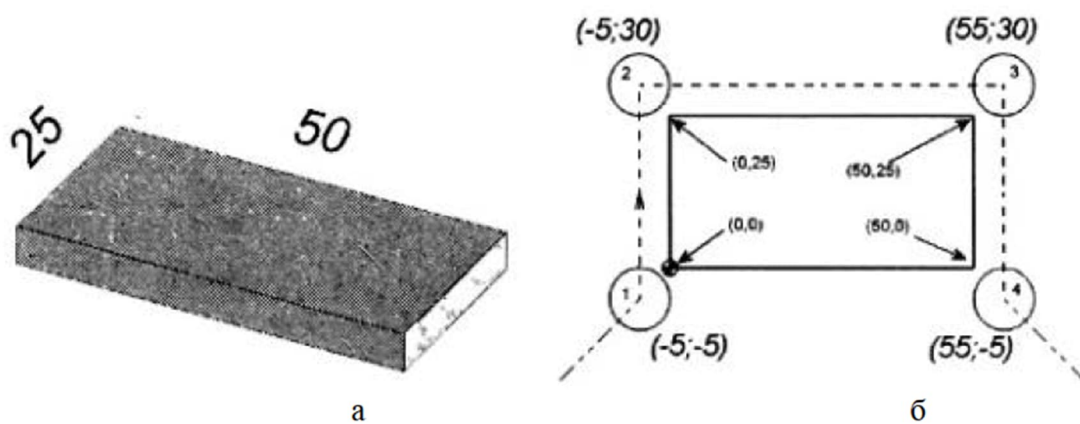


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд деталі (а) і схема обробки деталі за еквідистантною траєкторії (б)

Так як в програмі обробки вказується координати центра інструмента, то її можна представити в спрощеному вигляді:

```
...;  
G01X-5Y-5 (переміщення фрези в позицію 1);  
G01X-5Y30 (переміщення фрези в позицію 2);  
G01X55Y30 (переміщення фрези в позицію 3);  
G01X55Y-5 (переміщення фрези в позицію 4);  
...;
```

Тепер складемо програму обробки нашого контуру, де фреза переміщатиметься прямо по контуру (рис. 1.2) без будь – яких зміщень відносно деталі. Тоді керуюча програма буде виглядати так:

```
...;  
G01X0Y0 (переміщення фрези в позицію 1);  
G01Y0 (переміщення фрези в позицію 2);  
G01X50 (переміщення фрези в позицію 3);  
G01Y0 (переміщення фрези в позицію 4);  
...;
```

Очевидно, що така програма не забезпечить правильної обробки. Необхідно, щоб траєкторія руху центра інструмента була зміщена відносно контуру на величину радіуса. Система ЧПК здатна самостійно розраховувати і виконувати таке зміщення – корекцію на радіус інструмента.

Для здійснення автоматичної корекції на радіус інструмента потрібно повідомити системі величину радіуса інструмента і в керуючій програмі вказати відповідний G код.

Код G41 використовується для корекції інструмента зліва, а код G42 – для корекції справа. Відміна корекції – G40.

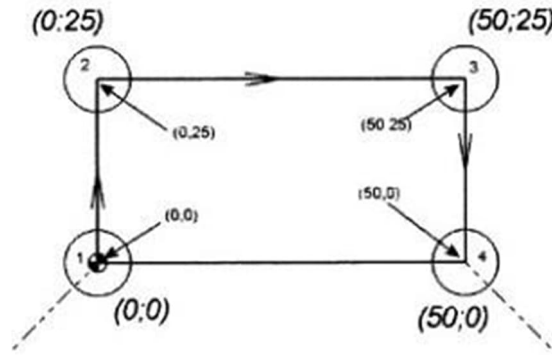


Рисунок 1.2 – Опорні точки траєкторії співпадають з опорними точками контуру деталі

2. Складання керуючої програми для свердління

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

G81X10Y15Z-3R0.5F50

Адреса X і Y визначає координати оброблюваних отворів. Адрес Z вказує кінцеву глибину свердління, а R використовується для установки площини відводу. Площина відводу – це координати по вісі Z, де розпочинаються свердління на робочій подачі і в яку повертається інструмент, після того, як він доставить дно оброблюваного отвору. Площина відводу встановлюється трохи вище поверхні деталі, тому значення R завжди позитивне. Не потрібно встановлювати площину відводу дуже високо, тому що свердло на робочій подачі буде переміщатися занадто довго. Робоча подача для циклу встановлюється за допомогою F слова даних.

При свердлінні отворів необхідно розрізнити площину відводу і вихідну площину. Ці дві площини використовуються для керування переміщеннями по вісі Z між отворами. Вихідна площина – це координата (рівень) по вісі Z в якій розміщується інструмент перед виводом постійного циклу. Код G98 використовується для роботи з вихідною площиною, а код G99 – з площиною відводу (рис. 2.1).

Наприклад, інструмент знаходиться в координаті Z20 в момент виклику циклу свердління. Тоді вихідна площина буде розміщуватися на відстані 20 мм і вище нульової точки по вісі Z. Тобто для встановлення вихідної площини не потрібно вказувати будь – які спеціальні адреса. Але для встановлення площини відводу

необхідно використовувати адрес R. Формат кадру для свердління виглядає наступним чином:

G98G81X10Y15Z-3R0.5F50 або G99G81X10Y15Z-3R0.5F50.

Якщо цикл свердління працює спільно з кодом G98, то інструмент повертається до вихідної площини в кінці кожного циклу і між всіма оброблюваними отворами. Код G98 використовується, коли потрібно збільшити відстань відводу для того, щоб уникнути зіткнення інструмента з деталлю. Коли немає небезпеки зіткнення інструмента з деталлю, то зазвичай використовують код G99, який дозволяє зменшити час при обробці багатьох отворів. В цьому випадку інструмент переміщається між отворами і виводиться вгору в кінці циклу до координати по Z, встановленою R словом даних.

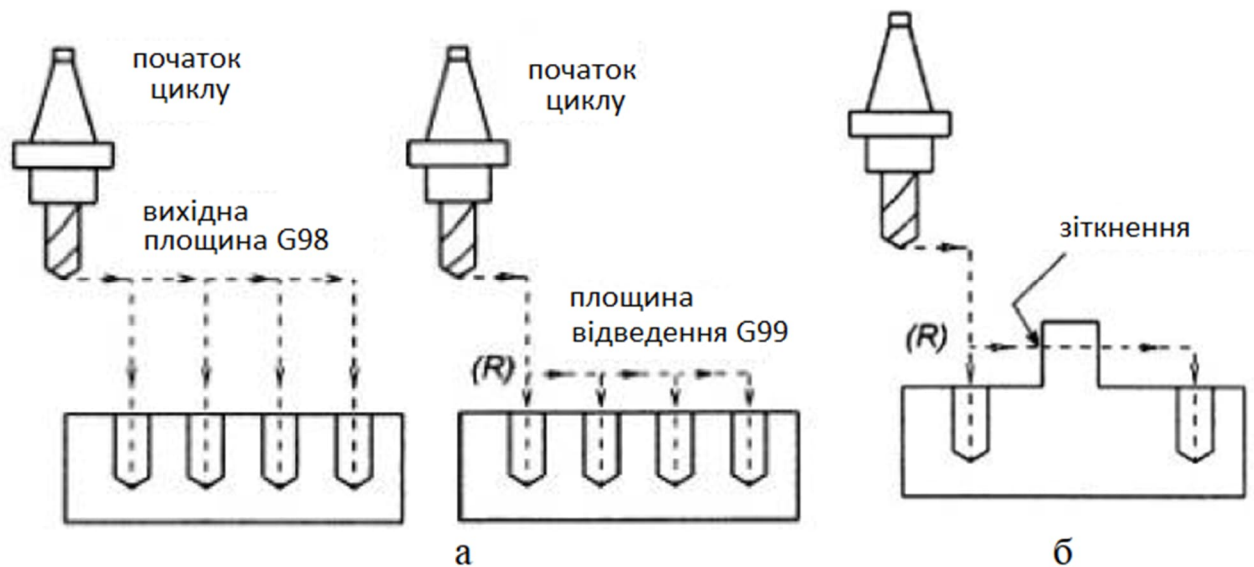


Рисунок 2.1 – Різниця використання G98 і G99 (а) і цикл з G99

Зазвичай системи ЧПК дозволяють переключатися між G98 і G99 прямо в постійному циклі між оброблюваними отворами:

...;

G99G81X10Y15Z-3R0.5F50; X20Y20;

G98X30Y30; X40Y40;

...;

3. Приклади керуючих програм

Приклад 1: Свердління отворів за допомогою постійних циклів.

Необхідно скласти програму для свердління 7 отворів діаметром 3 мм і глибиною 6.5 мм (рис. 3.1 а).

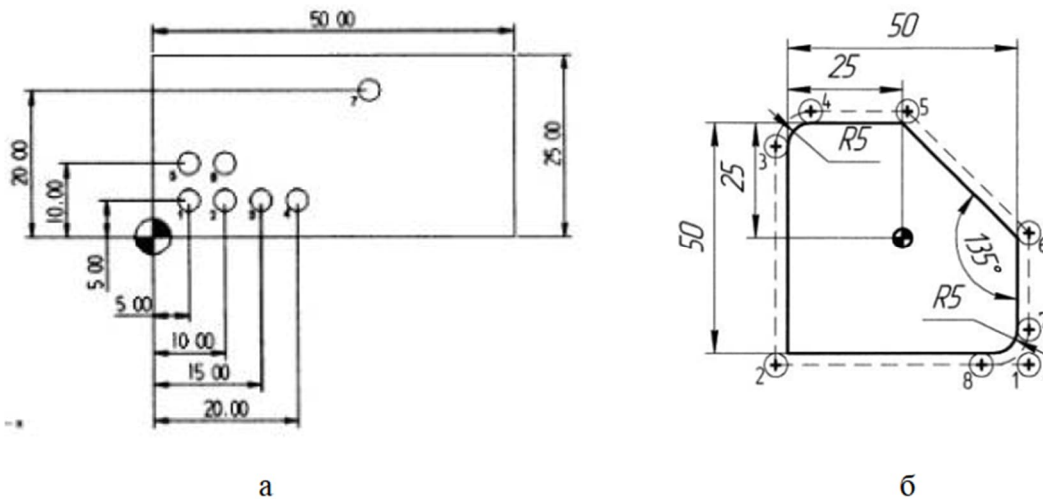


Рисунок 3.1 – Схема обробки свердління отворів (а) та контурна обробка (б)

N1G0G17G21G90 T1 (G90 – програмування в абсолютних координатах, T1 – виклик свердла діаметром 3 мм);
N2G0G54X5Y5S1000M3 (переміщення в початкову точку 1, G54 – зміщення нуля, M3 – увімкнення шпинделя);
N3G43H1Z100 (G43 – компенсація довжини інструменту, H1 – довжина інструменту);
N4Z10 (прискорене переміщення по координаті на Z на відстань 10 мм);
N5G99G81Z-6.5R1F45 (G81 – стандартний цикл свердління, G99 - повернення до точки R в постійному циклі);
N6X10 (свердління отвору 2);
N7X15 (свердління отвору 3);
N8X20 (свердління отвору 4);
N9X5Y10 (свердління отвору 5);
N10X10 (свердління отвору 6);
N11X30Y20 (свердління отвору 7);
N12G80 (G80 – відміна постійного циклу);

N13Z100 (переміщення к Z100);

N14M5 (зупинка шпинделя);

N15G91G28Z0 (повернення до вихідної позиції по Z, G91 – програмування у відносних координатах, G28 – повернення в початкове положення);

N16G28X0Y0 (повернення до вихідної позиції по X і Y); N17M30 (кінець програми).

Приклад 2: Контурна обробка.

Необхідно скласти програму для обробки зовнішнього контуру деталі (рис. 3.1 б) фрезою діаметром 5 мм. Глибина фрезерування – 4 мм. Підвід до контуру здійснюється по прямолінійній ділянці.

N1G0G17G21G90T1 (G90 – програмування в абсолютних координатах, T1 – виклик фрези діаметром 5 мм);

N2G0G54X25Y-27.5S2000M3 (переміщення в початкову точку 1, G54 – зміщення нуля, M3 – увімкнення шпинделя);

N3G43H1Z100 (G43 – компенсація довжини інструменту, H1 – довжина інструменту);

N4Z10 (прискорене переміщення по координаті на Z на відстань 10 мм);

N5G1Z-4F100 (фреза опускається на Z-4 мм при робочій подачі 100мм/хв);

N6G1X-27.5 (лінійне переміщення в точку 2);

N7G1Y20 (лінійне переміщення в точку 3);

N8G2X-20Y27.5R7.5 (переміщення по дузі за годин. стрілкою в точку 4);

N9G1X1.036 (лінійне переміщення в точку 5);

N10G10X27.5Y1.036 (лінійне переміщення в точку 6);

N11G1Y-20 (лінійне переміщення в точку 7);

N12G2X20Y-27.5R7.5 (переміщення по дузі за годин. стрілкою в точку 8);

N13G1Z6 (фреза підіймається до Z6);

N14G0Z100 (фреза підіймається на прискореній подачі до Z100)

N15M5 (зупинка шпинделя);

N16G91G28Z0 (повернення до вихідної позиції по Z, G91 – програмування у відносних координатах, G28 – повернення в початкове положення);

N17G28X0Y0 (повернення до вихідної позиції по X і Y);

N18M30 (кінець програми).

Приклад 3: Контурна обробка кармана.

Необхідно скласти програму для обробки кармана (рис. 3.2 а) фрезою діаметром 5 мм. Глибина фрезерування – 2 мм. Підвід до контуру здійснюється по дотичній.

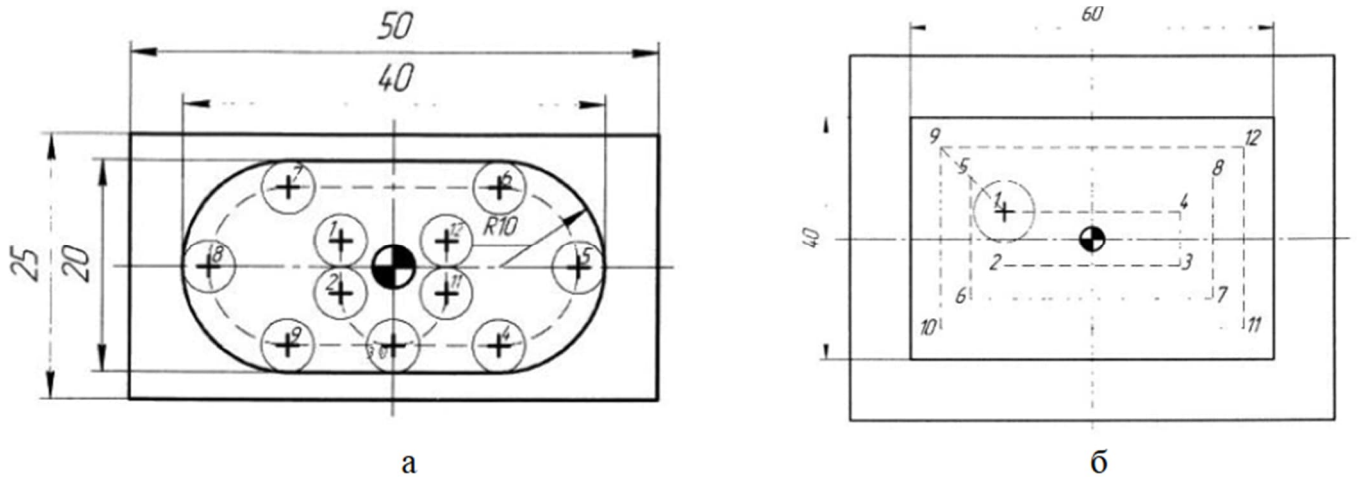


Рисунок 3.2 – Чистова обробка кармана (а) та чорнова обробка прямокутного кармана (б)

N1G0G17G21G90 T1 (G90 – програмування в абсолютних координатах, T1 – виклик фрези діаметром 5 мм);

N2G0G54X-2.5Y-2.5S1000M3 (переміщення в початкову точку 1, G54 – зміщення нуля, M3 – увімкнення шпинделя);

N3G43H1Z100 (G43 – компенсація довжини інструменту, H1 – довжина інструменту);

N4Z10 (прискорене переміщення по координаті на Z на відстань 10 мм);

N5G1Z-2F100 (фреза опускається на Z-2 мм при робочій подачі 100мм/хв);

N6G1Y-5 (лінійне переміщення в точку 2);

N7G3X17.5Y0R7.5 (переміщення по дузі в точку 3);

N8G1X10 (лінійне переміщення в точку 4);

N9G3X17.5Y0R7.5 (переміщення по дузі проти годин. стрілки в точку 5);

N10G3X10Y7.5R7.5 (переміщення дузі в точку 6);

N11G1X-10 (лінійне переміщення в точку 7);

N12G3X-17.5Y0R7.5 (переміщення по дузі в точку 8);

N13G3X-10Y-7.5R-7.5 (переміщення по дузі в точку 9);

N14G1X0 (лінійне переміщення в точку 10);
N15G3X2.5Y-5R2.5 (відвід інструмента по дотичній в точку 11);
N16G1Y-2.5 (лінійне переміщення в точку 12);
N17Z8 (фреза підіймається до Z8);
N18G0Z100 (фреза підіймається на прискореній подачі до Z100);
N19M5 (зупинка шпинделя);
N20M30 (кінець програми).

Приклад 4: Контурна обробка прямокутного кармана.

Необхідно скласти програму для обробки прямокутного кармана (рис. 3.2 б) фрезою діаметром 10 мм. Глибина фрезерування – 1 мм.

N1G0G17G21G90 T1 (G90 – програмування в абсолютних координатах, T1 – виклик фрези діаметром 10 мм);
N2G0G54X-13.75Y-3.75S1000M3 (переміщення в початкову точку 1, G54 – зміщення нуля, M3 – увімкнення шпинделя);
N3G43H1Z100 (G43 – компенсація довжини інструменту, H1 – довжина інструменту);
N4Z10 (прискорене переміщення по координаті на Z на відстань 10 мм);
N5G1Z-1F100 (фреза опускається на Z-1 мм при робочій подачі 100мм/хв);
N6G1Y-3.75 (лінійне переміщення в точку 2);
N7G1X13.75 (лінійне переміщення в точку 1);
N8G1Y3.75 (лінійне переміщення в точку 4);
N9G1X-13.75 (лінійне переміщення в точку 1);
N10G1X-17.5Y7.5 (лінійне переміщення в точку 5);
N11G1Y-7.5 (лінійне переміщення в точку 6);
N12G1X17.5 (лінійне переміщення в точку 7);
N13G1Y7.5 (лінійне переміщення в точку 8);
N14G1X-17.5 (лінійне переміщення в точку 5);
N15G1X-25Y15 (лінійне переміщення в точку 9);
N16G1Y-15 (лінійне переміщення в точку 10);
N17G1X25 (лінійне переміщення в точку 11);
N18G1Y15 (лінійне переміщення в точку 12);

N19G1X-25 (лінійне переміщення в точку 9);
N20Z9 (фреза підіймається до Z9);
N21G0Z100 (фреза підіймається на прискореній подачі до Z100);
N22M5 (зупинка шпинделя);
N23M30 (кінець програми).

Приклад 5: Фрезерування круглого кармана.

Необхідно скласти програму для обробки круглого кармана (рис. 3.3) фрезою діаметром 10 мм. Глибина фрезерування – 0.5 мм.

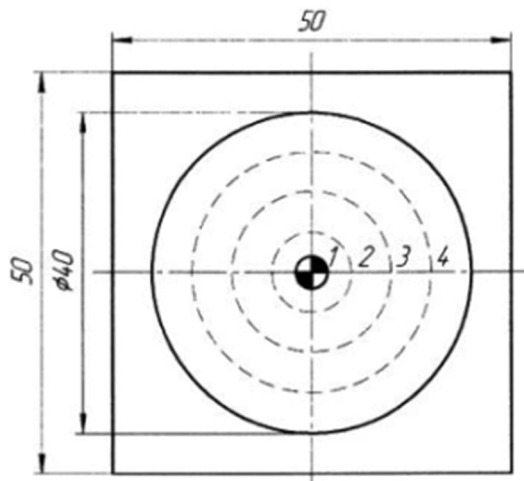


Рисунок 3.3 – Чорнове фрезерування круглого кармана

N1G0G17G21G90 T1 (G90 – програмування в абсолютних координатах, T1 – виклик фрези діаметром 10 мм);
N2G0G54X-13.75Y-3.75.5S1000M3 (переміщення в початкову точку 1, G54 – зміщення нуля, M3 – увімкнення шпинделя);
N3G43H1Z100 (G43 – компенсація довжини інструменту, H1 – довжина інструменту);
N4Z10 (прискорене переміщення по координаті на Z на відстань 10 мм);
N5G1Z-0.5F100 (фреза опускається на Z-0.5 мм при робочій подачі 100мм/хв);
N6G1X5F200 (лінійне переміщення в точку 1);
N7G3X-5R5 (кругове переміщення по 1 «орбіті»);
N8G3X5R5 (кругове переміщення по 1 «орбіті»);
N9G1X10F200 (лінійне переміщення в точку 2);
N10G3X-10R10 (кругове переміщення по 2 «орбіті»);

N11G3X10R10 (кругове переміщення по 2 «орбіті»);
 N12G1X15F200 (лінійне переміщення в точку Z);
 N13G3X-15R15 (кругове переміщення по 3 «орбіті»);
 N14G3X15R15 (кругове переміщення по 3 «орбіті»);
 N15G1Z10F300 (фреза підіймається до Z10);
 N21G0Z100 (фреза підіймається на прискореній подачі до Z100);
 N22M5 (зупинка шпинделя);
 N23M30 (кінець програми).

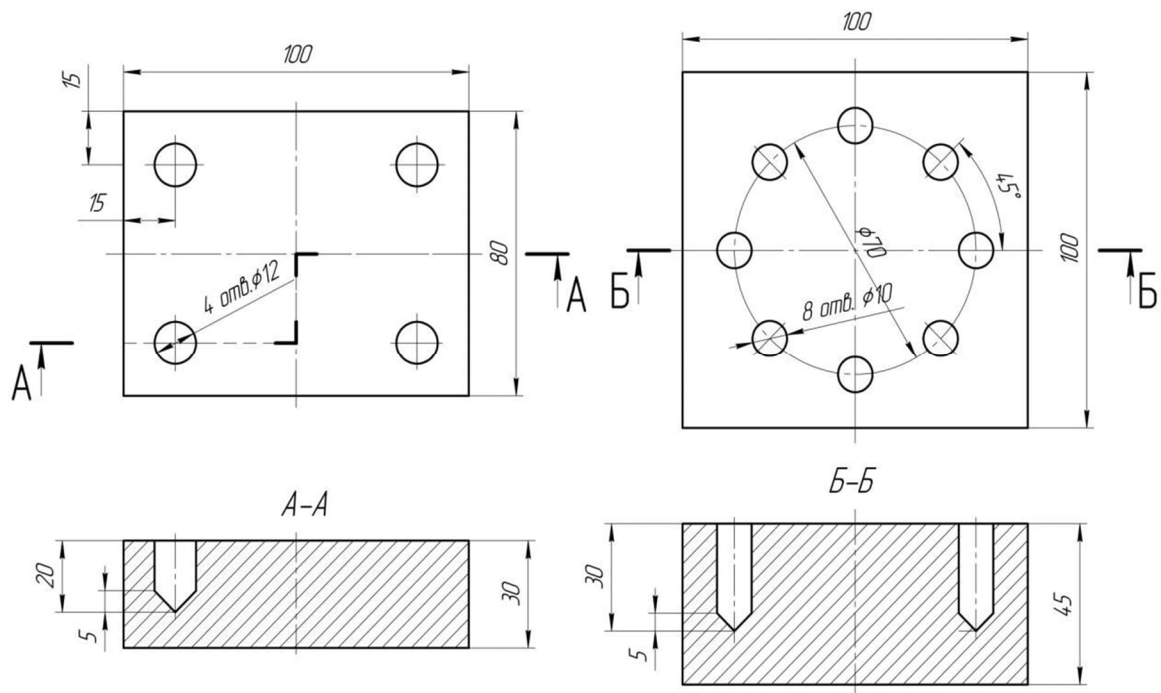
Запитання

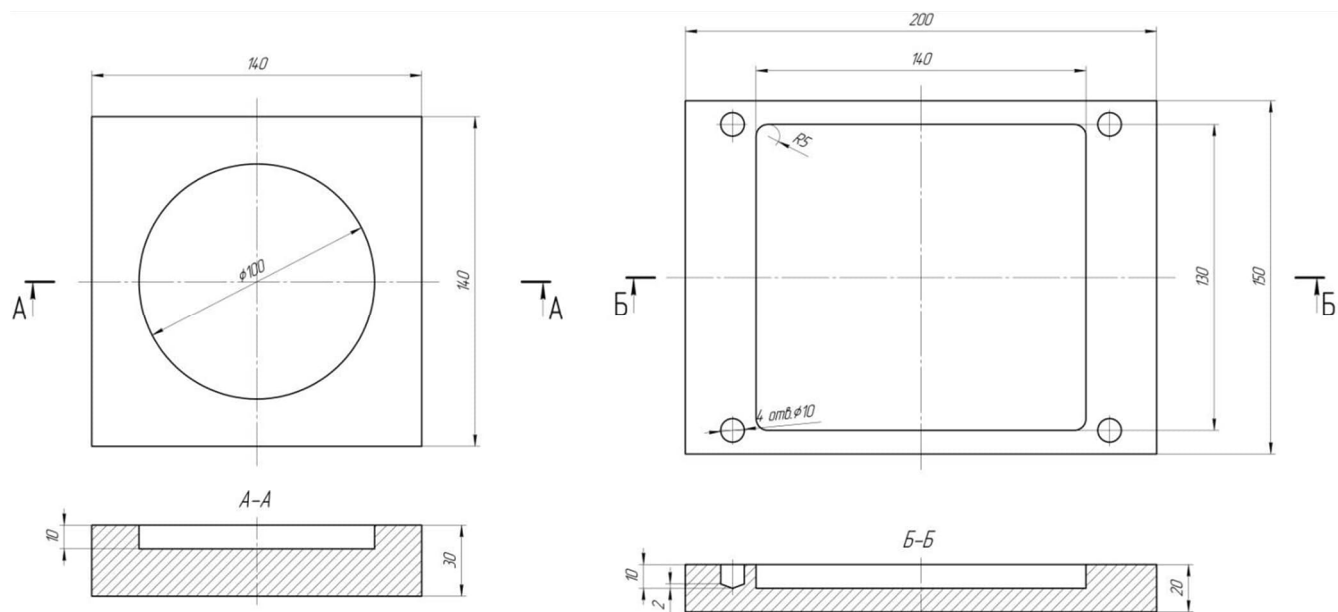
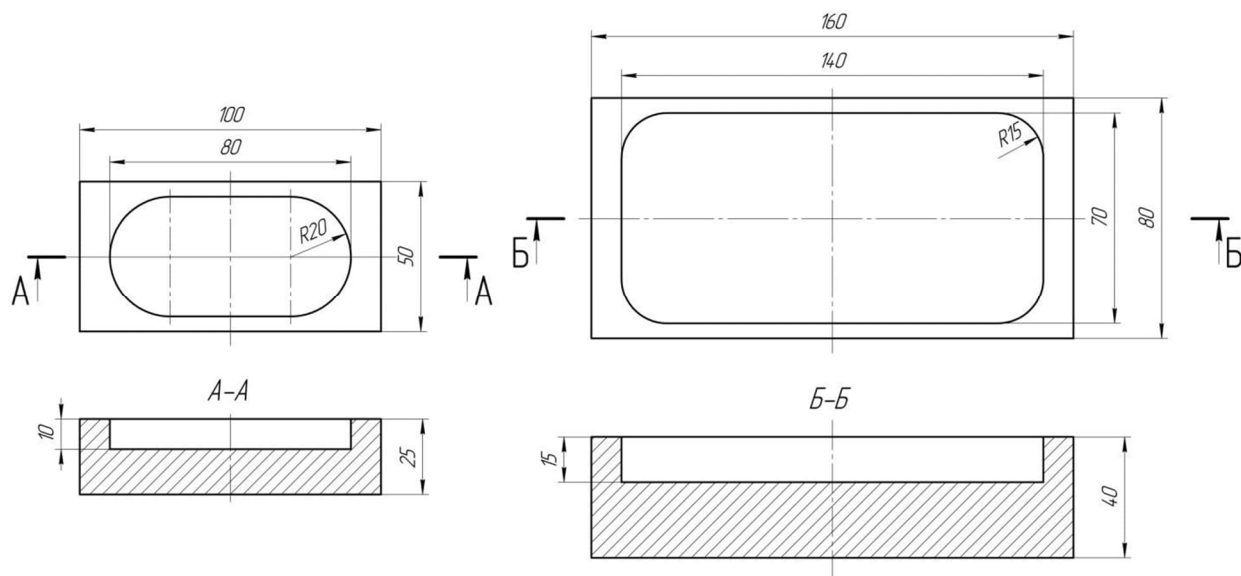
1. Які вказати координати центра інструмента в спрощеному вигляді?
2. Які адреси використовуються для визначення координат оброблюваних отворів?

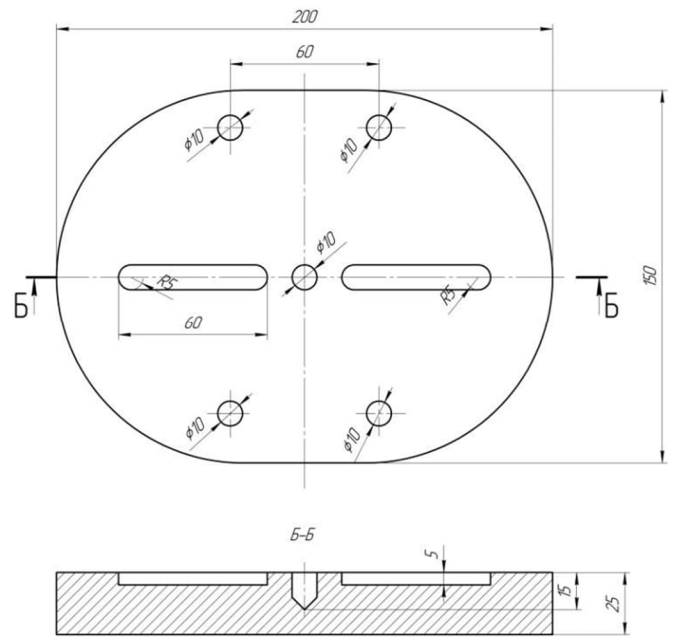
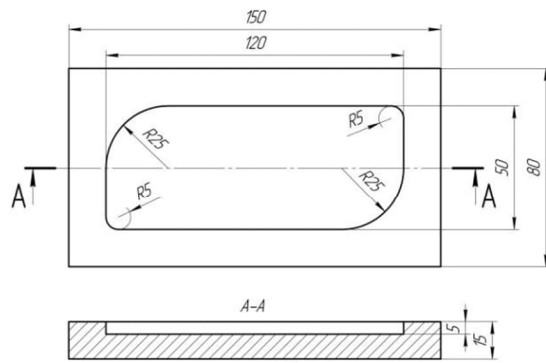
Зміст звіту

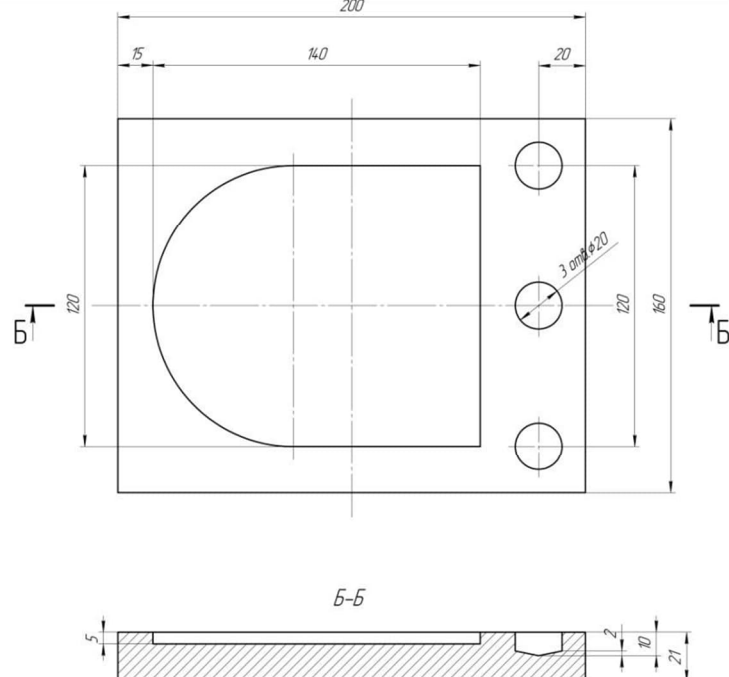
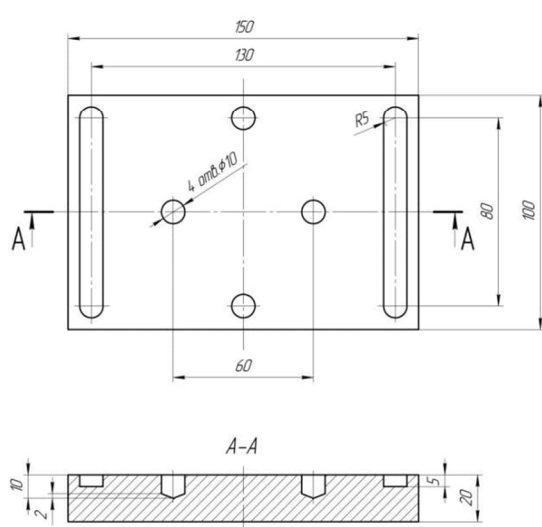
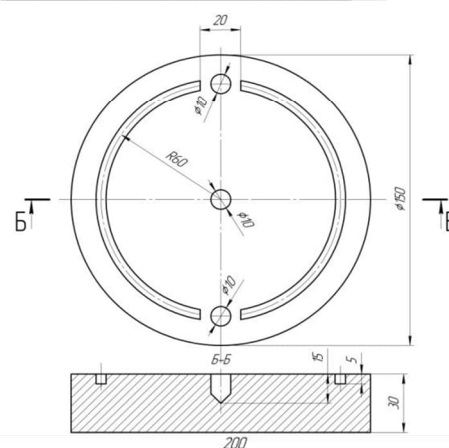
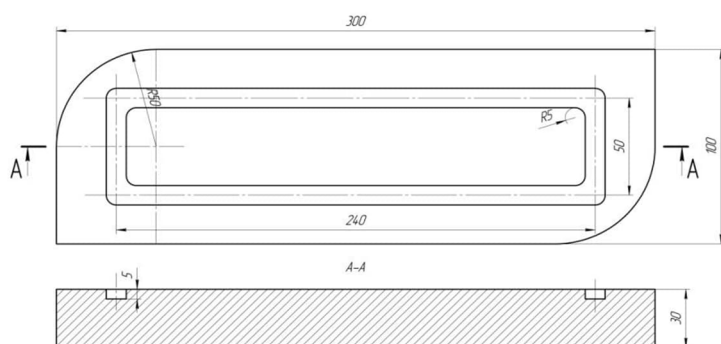
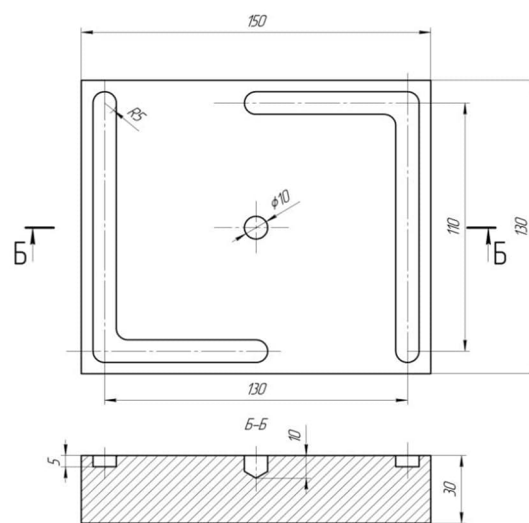
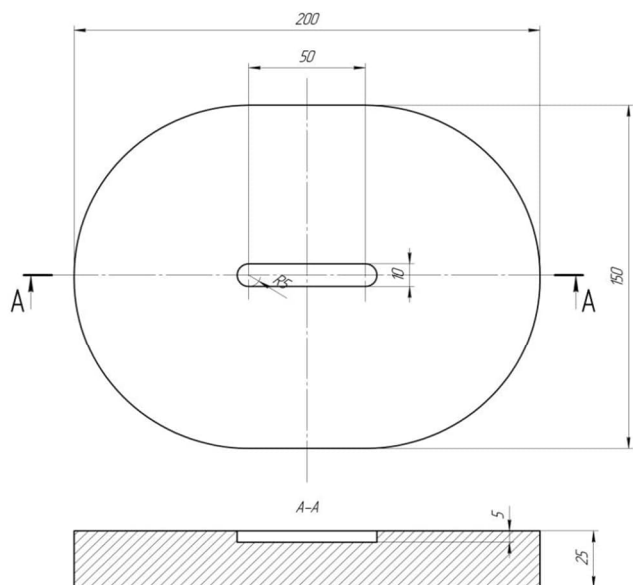
Звіт по роботі повинен мати: номер, назву та мету роботи; короткі теоретичні відомості, ескіз деталі, програму для 2-х переходів обробки деталі на фрезерному верстаті з ЧПК згідно варіанту завдання, які приведені в додатку №1.

Додаток №1









КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Практичні роботи приймаються на основі перевірки звіту з практичної роботи згідно завдання та контрольних запитань до кожної роботи. За кожну роботу здобувач отримує до 5 балів (разом 40 балів).

Критерії оцінювання практичної роботи

За кожну практичну роботу здобувач вищої освіти може отримати таку кількість балів:

5 балів: виявлено підвищений рівень засвоєння обсягу знань і набуття вмінь; якісно, ретельно, самостійно та в повному обсязі виконано завдання.

4 бали: показано оволодіння достатнім обсягом знань і вмінь під час виконання завдання; продемонстровано самостійність при виконанні завдання, але є незначні неточності.

3 бали: недостатньо показано оволодіння обсягом знань і вмінь під час виконання завдання; продемонстровано несамостійність при виконанні завдання, в роботі зафіксовані незначні помилки.

2 бали: виявлено помилки та не самостійність при виконанні завдання, зміст роботи викладено не чітко й нелогічно, але продемонстровані знання й уміння в межах навчальної програми.

0 балів: виявлено значні помилки та несамостійність при виконанні завдання, зміст роботи викладено не чітко й нелогічно, або роботу не виконано.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1 Дмитрієв Ю.О. Проектування керуючих програм для верстатів токарної групи з пристроєм числового програмного керування: навч. посібник / Ю.О. Дмитрієв, О.Є. Мацулевич, В.М. Щербина, Ю.В. Холодняк – ВПЦ «Люкс», Мелітополь, 2018. – 132 с.

2 Тексти (конспект) лекцій з дисципліни “Системи програмного керування” для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” усіх форм навчання / Укл.: С.В. Танченко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 83с.

3 Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 116 с.

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

Навчальне видання

Богданов Олександр Олександрович
Дербаба Віталій Анатолійович
Войчишен Олександр Леонідович

ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми
«Комп'ютерні технології машинобудівного виробництва»
спеціальності 131 Прикладна механіка

Видано в авторській редакції.

Електронний ресурс.
Підписано до видання 14.01.2025. Авт. арк. 6,0.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19.