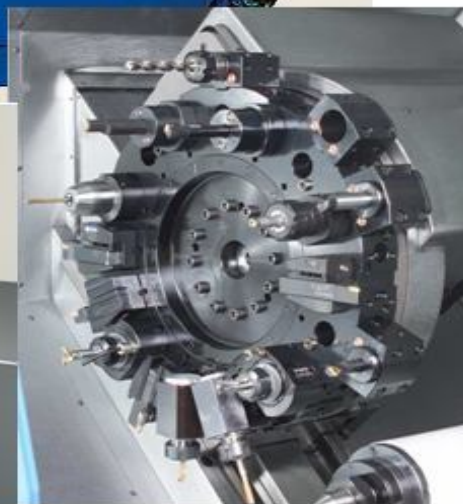
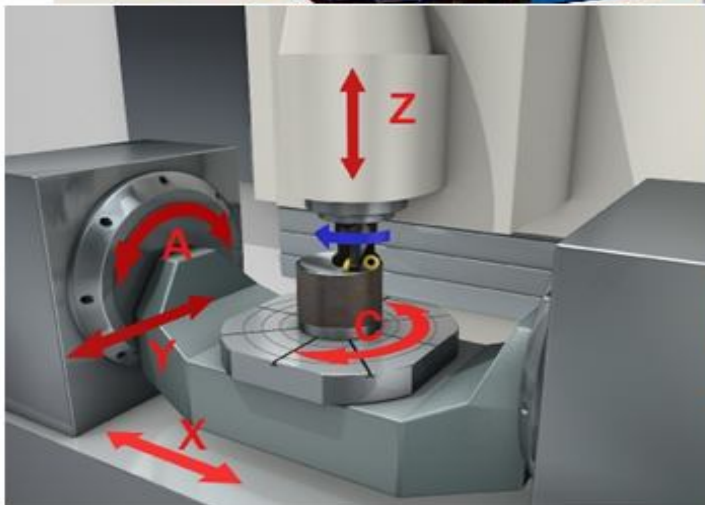


**О. В. Дерібо, Д. О. Лозінський,
О. В. Сердюк**

ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. В. Дерібо, Д. О. Лозінський, О. В. Сердюк

ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

Електронний навчальний посібник
комбінованого (локального та мережного) використання

Вінниця
ВНТУ
2023

УДК 621.01(075)

Д36

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 6 від 26 січня 2023 р.).

Рецензенти:

В. А. Матвійчук, доктор технічних наук, професор

Л. К. Поліщук, доктор технічних наук, професор,

В. І. Савуляк, доктор технічних наук, професор,

Дерібо, О. В.

Д36 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.

Навчальний посібник відповідає програмі дисципліни «Технології для верстатів з числовим програмним керуванням». Розглядаються будова і технологічні можливості верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), основи підготовки керувальних програм для токарних і свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів, основи використання систем автоматизованого програмування, основи забезпечення точності обробки на верстатах з ЧПК, побудова маршрутів обробки заготовок типових деталей на верстатах з ЧПК; основні вимоги до використовуваних на верстатах з ЧПК пристроїв для встановлення заготовок; особливості вибору режимів різання та нормування операцій, що виконуються на верстатах з ЧПК.

Призначений для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 131 — «Прикладна механіка».

УДК 621.01(075)

ЗМІСТ

Вступ	5
Розділ 1 БУДОВА Й ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ВЕРСТАТІВ З ЧПК.....	6
1.1 Загальна будова, переваги, сфери використання, класифікація та позначення верстатів з ЧПК	6
1.2 Будова та технологічні можливості верстатів з ЧПК токарної групи	11
1.3 Будова та технологічні можливості свердлильно- фрезерно-розточувальних верстатів з ЧПК	14
1.4 Будова та технологічні можливості шліфувальних верстатів з ЧПК	17
1.5 Будова та технологічні можливості зубообробних верстатів з ЧПК	18
1.6 Будова та технологічні можливості довбальних верстатів з ЧПК.....	19
1.7 Особливості будови приводів подач, приводів головного руху та інших механізмів верстатів з ЧПК.....	19
Розділ 2 ОСНОВИ ПІДГОТОВКИ КЕРУВАЛЬНИХ ПРОГРАМ.....	26
2.1 Системи координат верстата та деталі. Зв'язок між системами координат	26
2.2 Структура керувальної програми. Поняття кадру. Поняття слова. Склад кадру Основні поняття і позначення Міжнародної системи (коду) ISO-7bit	28
2.3 Поняття підготовчої і допоміжної функцій. Основні підготовчі та допоміжні функції.....	30
2.4 Особливості підготовки керувальних програм для верстатів токарної групи. Зони і схеми токарної обробки	34
2.5 Особливості підготовки керувальних програм для свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів. Зони і схеми фрезерної обробки	48
2.6 Поняття постійних циклів	62
2.7 Основи використання систем автоматизованого програмування	69
Розділ 3 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК.....	77
3.1 Розмірне настроювання верстатів з ЧПК	77
3.2 Особливості визначення сумарної похибки обробки на верстатах з ЧПК.....	83
3.3 Забезпечення технологічності деталей, що виготовляються на верстатах з ЧПК.....	90
3.4 Особливості побудови маршрутів обробки заготовок типових деталей на верстатах з ЧПК	91

Розділ 4 ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ Й ВИКОРИСТАННЯ ПРИБОРІВ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК	96
4.1 Пристрої для встановлення заготовок на верстатах з ЧПК токарної групи	96
4.2 Пристрої для встановлення заготовок на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК	101
Розділ 5 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ, ЩО ВИКОНУЮТЬСЯ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК	104
5.1 Вибір режимів різання для верстатів з ЧПК	
5.2 Особливості нормування операцій, що виконуються на верстатах з ЧПК.....	104
ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ.....	111
ЛІТЕРАТУРА	114

ВСТУП

Верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) є основним видом обладнання сучасного серійного машинобудівного виробництва. Суттєвою перевагою верстатів з ЧПК порівняно з іншими верстатами, що працюють в автоматичному й напівавтоматичному режимах, є малі затрати часу та матеріальні витрати на перехід від виготовлення однієї партії деталей до іншої.

Обладнання з ЧПК суттєво перевершує обладнання з ручним керуванням за найважливішими технічними, технологічними та економічними показниками. Сучасні верстати з ЧПК — це результат поєднання досягнень в галузях механіки, технології машинобудування, комп'ютерної техніки, математики, електроніки та інших фундаментальних і прикладних наук.

Верстати з ЧПК стрімко розвиваються як у напрямі підвищення жорсткості, вібростійкості, точності функціонування, продуктивності, так і у напрямі створення їх ефективного програмного забезпечення.

Провідні світові компанії (HAAS, HERMLE, Mazak, Cincinnati, Okuma та багато інших) виготовляють сучасні верстати з ЧПК, які дозволяють з високою продуктивністю і точністю виконувати на одному робочому місці велику кількість різноманітних технологічних переходів як попередньої, так і остаточної обробки. Так, наприклад, сучасні багатоцільові токарні верстати з ЧПК здатні виконувати не тільки точіння й розточування, але й фрезерування різних за формою і розмірами поверхонь (зокрема зубчастих вінців, шліцьових поверхонь на валах, шпонкових пазів, поверхонь лопаток турбін), свердління отворів, розташованих як паралельно, так і перпендикулярно до осі заготовки, а також нарізання різей у цих отворах.

В сучасних багатоцільових верстатах з ЧПК реалізовано один з основних наукових принципів технології машинобудування, який забезпечує відсутність похибки установа завдяки обробці максимально можливої кількості поверхонь з одного установа.

Для обслуговування такого обладнання потрібні інженери-технологи, здатні з використанням комп'ютерних технологій розробляти керувальні програми для виготовлення різних за формою і складністю деталей, а також розв'язувати інші задачі технологічної підготовки виробництва за використання цього типу обладнання.

Отже, метою дисципліни «Технології для верстатів ЧПК» і цього посібника є навчення студентів проектуванню технологічних процесів та операцій механічної обробки заготовок деталей машин для реалізації їх на верстатах з ЧПК, а також основам підготовки керувальних програм для верстатів з ЧПК.

Навчальний посібник призначений переважно для вивчення теоретичного матеріалу студентами денної та заочної форм навчання спеціальності 131 – Прикладна механіка, а також може використовуватися для самостійної роботи під час курсового та дипломного проектування, виконання домашніх індивідуальних завдань та контрольних робіт.

Розділ 1 БУДОВА Й ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

1.1 Загальна будова, переваги, сфери використання, класифікація та позначення верстатів з ЧПК

Верстат з ЧПК — це пристрій, який автоматично керується за допомогою спеціального комп'ютера і програми обробки (керувальної програми), яка розроблена на основі креслення деталі, операційного ескізу і змісту технологічної операції.

Верстати з ЧПК здатні виконувати найрізноманітніші технологічні операції механічної, електрофізичної, гідроабразивної та інших видів обробки. Під час виконання технологічних операцій виконавчі органи цих верстатів керуються електронними пристроями, а не робітником-верстатником.

В чому ж полягають основні переваги верстатів з ЧПК і чому все більша кількість машинобудівних підприємств вважають доцільним вкладати свої фінансові ресурси саме у верстати з ЧПК?

Основна перевага верстатів з ЧПК — можливість автоматизації виробництва. Функція робітника-оператора, який обслуговує верстат з ЧПК, полягає тільки у встановленні заготовки у верстатний пристрій та натисканні кнопки для виконання автоматичного циклу обробки цієї заготовки. Верстати з ЧПК можуть працювати практично автономно, випускаючи продукцію стабільно високої якості. Ця перевага дозволяє використовувати багатOVERSTATNE обслуговування, коли один оператор виробляє продукцію на двох і більше верстатах одночасно.

Верстати з ЧПК характеризуються виробничою гнучкістю, тобто можливістю швидкого переналагодження для виготовлення різних деталей. Для цього потрібно тільки змінити керувальну програму та верстатний пристрій і встановити необхідні різальні інструменти у магазин чи револьверну головку. Саме через це верстати з ЧПК є основним видом обладнання сучасного серійного машинобудівного виробництва.

Обробка на верстатах з ЧПК забезпечує необхідну геометричну точність завдяки підвищеній жорсткості, вищій точності позиціонування і повторюваності траєкторії руху інструмента відносно оброблюваної заготовки. За однією і тією самою програмою можна виготовити будь-яку кількість практично ідентичних деталей.

Верстати з ЧПК забезпечують вищу, порівняно з верстатами з ручним керуванням, продуктивність технологічних операцій завдяки використанню максимальних швидкостей робочих органів під час виконання холостих встановлювальних переміщень, а також використання оптимальних режимів різання (зокрема використання режиму підтримання постійної швидкості різання в процесах токарної обробки).

В умовах одиничного і дрібносерійного виробництва на верстатах з ЧПК з високою продуктивністю і в необхідній кількості виготовляють деталі складної форми, які неможливо виготовити на верстатах з ручним керуванням. Це деталі штампів, прес-форм, ливарних форм тощо зі складними (фасонними) поверхнями, які мають жорсткі вимоги до точності геометричної форми, розмірів, відносного розташування і мікрогеометрії (шорсткості) поверхонь.

Технології механічної обробки, основані на використанні верстатів з ЧПК, дозволяють скоротити: терміни технологічної підготовки виробництва на 50 — 75 %; тривалість циклу виготовлення продукції на 50 — 60 %; затрати на проектування й виготовлення технологічного оснащення на 30 — 85 %. Продуктивність технологічних операцій підвищується переважно за рахунок скорочення основного, допоміжного і підготовчо-завершального часу. В середньому продуктивність праці за рахунок обробки на верстатах з ЧПК збільшується на 15 — 20 %.

Терміни й означення в галузі числового програмного керування верстатами встановлено у ГОСТ 20523—80.

Згідно зі згаданим вище стандартом *системою числового програмного керування* (СЧПК) називають сукупність функціонально взаємопов'язаних і взаємодіючих технічних і програмних засобів, які забезпечують числове програмне керування верстатом. Згідно з цим означенням СЧПК складається з таких основних елементів: системи технологічної підготовки, системи підготовки керувальних програм і пристрою числового програмного керування (ПЧПК). Структуру СЧПК металорізальним верстатом показано на рис. 1.1.

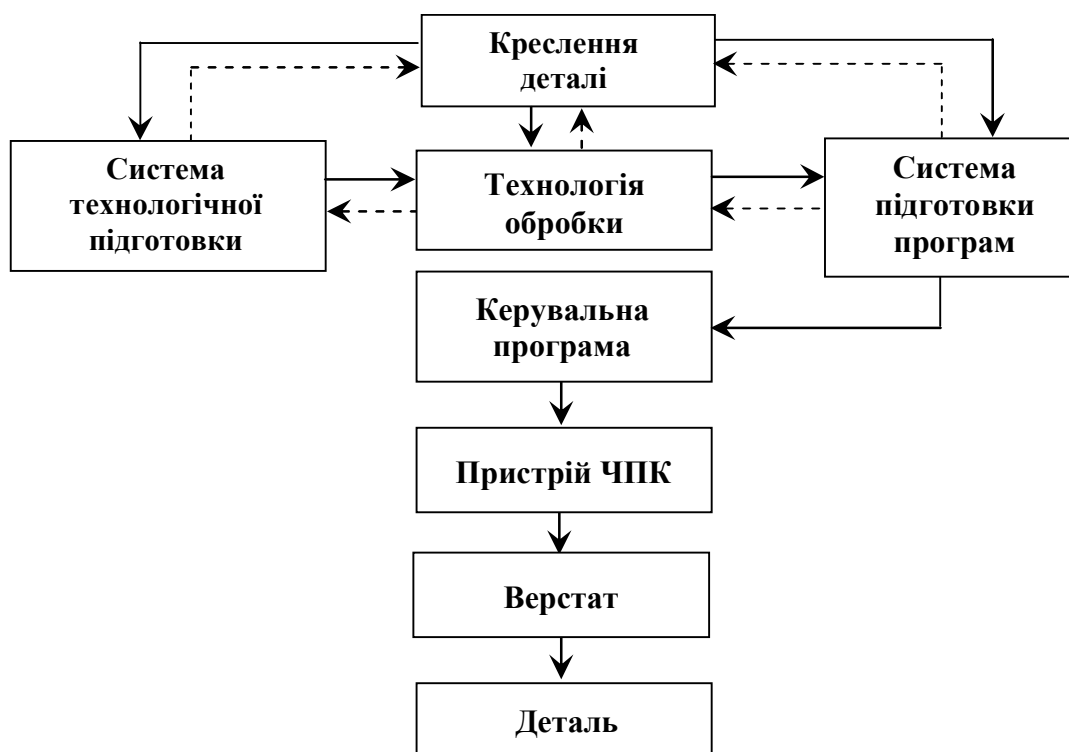


Рисунок 1.1 — Структура системи ЧПК металорізальних верстатів

Система технологічної підготовки призначена для розробки технологічного процесу обробки заготовки, вибору оптимальних режимів різання, підготовки технологічного оснащення для виконання процесу обробки з метою отримання готового виробу.

Система підготовки програм призначена для обробки початкових даних щодо геометрії поверхонь деталей, параметрів верстата та їх пристроїв ЧПК.

Керувальною програмою (КП) називають сукупність команд мовою програмування, яка відповідає заданому алгоритму функціонування верстата під час обробки конкретної заготовки. КП розробляють для виконання кожної з технологічних операцій, яка виконується на верстаті з ЧПК. КП містить два види інформації — геометричну і технологічну. Геометрична інформація — координати точок траєкторії руху інструмента, технологічна — дані про швидкість різання (частоту обертання шпинделя), подачу, номер інструмента тощо.

Пристрій числового програмного керування — це пристрій, який видає керувальні сигнали на виконавчі органи верстата згідно з КП та інформацією про стан керованого об'єкта. Пристрій ЧПК складається з електронного пульта з дисплеєм для відображення інформації, двигунів, вимірювальних перетворювачів і виконавчих механізмів.

Сучасні пристрої ЧПК класу CNC (англ. *Computer numerical control*) будуються на базі мікропроцесорів і великих інтегральних схем пам'яті. Вони є системами з жорстко запрограмованими алгоритмами. Це означає, що основні функції керування у вигляді програм містяться в постійному запам'ятовувальному пристрої. Ці програми вводяться в пристрій ЧПК під час його виготовлення і в подальшому не змінюються. Разом з тим, пристрій ЧПК має у своєму складі функціональні блоки, які дозволяють здійснювати вільне програмування, тобто доступ оператора до змісту пам'яті системи керування і можливість його змінення в режимі діалогу. Це стосується зберігання і редагування КП, введення корекції положення вершини інструмента, введення розмірів вильотів інструментів тощо.

Металорізальні верстати з ЧПК класифікують за такими основними ознаками:

- за видом обробки;
- за ступенем точності;
- за використовуваним пристроєм автоматичної заміни інструментів;
- за кількістю інструментів, що можуть бути встановлені в револьверній головці чи магазині;
- за використовуваною системою ЧПК.

За *видом обробки* в колишньому СРСР було розроблено класифікацію металообробних верстатів, яка і зараз використовується для позначення моделей верстатів (зокрема верстатів з ЧПК), що виготовляються країнами СНД (табл. 1.1). Перша цифра у позначенні моделі верстата означає групу, до якої належить верстат, друга цифра — тип. Наступні цифри визначають типорозмір верстата.

Таблиця 1.1 — Класифікація металообробних верстатів залежно від виду обробки

Верстати	Група	Тип верстатів								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токарні	1	Автомати і напівавтомати одношпиндельні	Автомати і напівавтомати багатошпиндельні	Револьверні	Свердлильно-відрізні	Карусельні	Токарні і лоботокарні	Багаторізцеві	Спеціалізовані для фасонних виробів	Різні токарні
Свердлильні і розточувальні	2	Вертикально-свердлильні	Одношпиндельні напівавтомати	Багатошпиндельні напівавтомати	Координатно-розточувальні	Радіально-свердлильні	Розточувальні	Алмазно-розточувальні	Горизонтально-свердлильні і центрувальні	Різні свердлильні
Шліфувальні, полірувальні, довідні	3	Кругло- і безцентрово шліфувальні	Внутрішньо- і кординатно-шліфувальні	Обдирно-шліфувальні	Спеціалізовані шліфувальні	-	Заточувальні	Плоскошліфувальні	Притиральні і полірувальні	Різні верстати, що працюють абразивним інструментом
Електрофізичні та електрохімічні	4	-	Світлопроменеві	-	Електрохімічні	Електроіскрові	-	Електроерозійні, ультразвукові, прошивні	Анодомеханічні відрізні	-
Зубо- і різеоброблювальні	5	Зубостругальні для циліндричних коліс	Зуборізні для конічних коліс	Зубофрезерні для циліндричних коліс і щільових валів	Зубофрезерні для черв'ячних коліс	Для обробки торців зубчастих коліс	Різефрезерні	Шевінгувальні	Зубо- і різешліфувальні	Різні зубо- і різеоброблювальні
Фрезерні	6	Вертикально-фрезерні консольні	Фрезерні неперервної дії	-	Копіювальні і гравіювальні	Вертикальні безконсольні	Поздовжньо-фрезерні	Широкоуніверсальні	Горизонтально-фрезерні консольні	Різні фрезерні
Стругальні, довбальні, протягувальні	7	Поздовжньо-стругальні одностоякові	Поздовжньо-стругальні двостоякові	Попережно-стругальні	Довбальні	Протягувальні горизонтальні	-	Протягувальні вертикальні	-	Різні стругальні
Розрізні	8	Відрізні, які працюють токарним різцем	Відрізні, які працюють абразивним кругом	Відрізні, які працюють фрикційним кругом	Правильно-відрізні	Стрічкові	Відрізні, які працюють дисковими пилами	Ножовочні	-	-
Різні	9	Муфто- і трубооброблювальні	Пилконасінні	Правильні і безцентрово-обдирні	-	Для випробування інструментів	Ділильні машини	Балансувальні	-	-

За ступенем точності верстати поділяють на п'ять класів: нормальної точності; П — підвищеної точності; В — високої точності; А — особливо високої точності; С — особливо точні (майстер-верстати).

В позначеннях верстатів нормальної точності літера Н не вказується. Верстати з ЧПК виготовляються не нижче підвищеного класу точності. Тому літера П в позначеннях верстатів з ЧПК зазвичай також не вказується.

Як пристрої автоматичної заміни інструментів у верстатах з ЧПК використовують револьверні головки або інструментальні магазини. Відповідно в позначеннях верстатів з револьверною головкою використовується літера Р, а в позначеннях верстатів з магазином — літера М.

За кількістю інструментів, що можуть бути встановлені у револьверній головці чи магазині, верстати з ЧПК поділяють на:

- багатоінструментальні (до 12 інструментів);
- багатоцільові (понад 12 інструментів).

В одноінструментальних верстатах з ЧПК пристрій для автоматичної заміни інструментів відсутній. Таким обладнанням в сучасному машинобудуванні є, зазвичай, верстати 3, 4, 5 і 8 груп (див. табл. 1.1). З верстатів 7 групи системами ЧПК оснащуються (на сьогодні) лише довбальні верстати.

Для зазначення типу використовуваної системи ЧПК у позначеннях моделей верстатів використовують літера Ф з відповідною цифрою:

- Ф1 — верстат з цифровою індикацією і попереднім набором координат кінцевої точки переміщення робочого органу;
- Ф2 — верстат з позиційною системою ЧПК;
- Ф3 — верстат з контурною системою ЧПК;
- Ф4 — верстат з комбінованою системою ЧПК.

Від верстатів з позиційною системою керування необхідною є лише достатня точність позиціонування в заданих керувальною програмою точках, а траєкторія руху інструмента між цими точками не програмується.

Верстати з контурною системою ЧПК забезпечують як задану керувальною програмою траєкторію руху інструмента, так і точне позиціонування в кінцевих точках його переміщення.

Комбіновані системи ЧПК використовуються в багатоцільових верстах і поєднують у собі властивості як позиційних, так і контурних систем ЧПК.

Приклади позначень моделей верстатів:

- 6Р13РФ3 — вертикально-фрезерний верстат з ЧПК з револьверною головкою і контурною системою ЧПК
- ЛТ260МФ3 — вертикальний багатоцільовий свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з магазином на 14 гнізд і контурною системою ЧПК.
- ІР320ПМФ4 — горизонтальний багатоцільовий верстат з інструментальним магазином на 36 гнізд і комбінованою системою ЧПК.

Моделі верстатів, що виготовлені і виготовляються в країнах, які не входили до колишнього СРСР, кожна з фірм-виробників позначає за власною системою.

1.2 Будова та технологічні можливості верстатів з ЧПК токарної групи

На верстатах з ЧПК токарної групи переважно обробляють заготовки деталей типу тіла обертання (вали, диски, втулки, стакани та ін.). З установленням у спеціальні верстатні пристрої можуть виконуватись операції обробки заготовок дрібних корпусних деталей, які мають лише один головний отвір. Це деталі типу «Корпус підшипника», «Кронштейн», «Кутник» тощо.

Головним рухом верстатів з ЧПК токарної групи є обертання шпинделя разом з верстатним пристроєм і заготовкою. Завдяки обертанню шпинделя і відповідних узгоджених рухів поздовжнього і поперечного супортів виконуються такі види механічної обробки:

- точіння зовнішніх циліндричних і фасонних поверхонь, торців і уступів;
- прорізання канавок і відрізання;
- розточування циліндричних і фасонних отворів;
- нарізання зовнішніх і внутрішніх різей різцями, плашками і мітчиками;
- свердління, зенкерування і розвірчування.

Верстати з ЧПК токарної групи поділяють на такі підгрупи: токарні; токарно-револьверні; токарні багатоцільові.

Токарні верстати з ЧПК характеризуються наявністю задньої бабки, яка використовується тільки для встановлення заготовок деталей типу «Ступінчастий вал» для обробки з базуванням на центрові отвори. Різальні інструменти будь-яких типів в задню бабку токарних верстатів не встановлюють, оскільки вона не оснащена приводом розмірних переміщень. Типовим представником таких верстатів є токарний верстат з ЧПК 16K20T1 (рис. 1.2). Клас точності цього верстата — П.



Рисунок 1.2 — Токарний верстат з ЧПК 16K20T1

В токарно-револьверних верстатах як з ручним керуванням, так і з ЧПК задня бабка відсутня. Тому на таких верстатах обробляються короткі заготовки (диски, втулки, стакани, нескладні корпусні деталі з одним центральним отвором тощо) з установленням в цангові патрони, три- або двокулачкові самоцентрувальні патрони або ж у спеціальні верстатні пристрої. Типовим представником таких верстатів є токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30 (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 — Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30

Токарні багатоцільові верстати з ЧПК окрім традиційної токарної обробки (яка виконується під час обертання шпинделя передньої бабки) можуть виконувати обробку конструктивних елементів (кріпильних отворів, лисок, різьбових та шліцьових поверхонь, зубчастих вінців тощо) завдяки розташуванню різальних інструментів (свердел, мітчиків, зенкерів, розверток, фрез тощо) у додаткових шпинделях, які розміщені зазвичай в револьверній головці. Шпиндель передньої бабки в цей час може бути нерухомим або рухатись згідно із законом, заданим керувальною програмою. Типовим представником таких верстатів є багатоцільовий токарний верстат з ЧПК 1П420ПФ40 (рис. 1.4). Револьверна головка таких верстатів має зазвичай більше 10 отворів (гнізд) для встановлення різцетримачів або інших допоміжних інструментів, а також прямих і кутових обертових головок. Приклад такої револьверної головки з встановленими допоміжними і різальними інструментами показано на рис. 1.5.

Токарні багатоцільові верстати з ЧПК можуть мати компоновання як токарно-револьверного верстата (без задньої бабки), так і токарного верстата (із задньою бабкою). Фото робочої зони токарного багатоцільового верстата з ЧПК В1200У із задньою бабкою італійської фірми «Viglia» показано на рис. 1.6.



Рисунок 1.4 — Токарний багатоцільовий верстат з ЧПК 1П420ПФ40

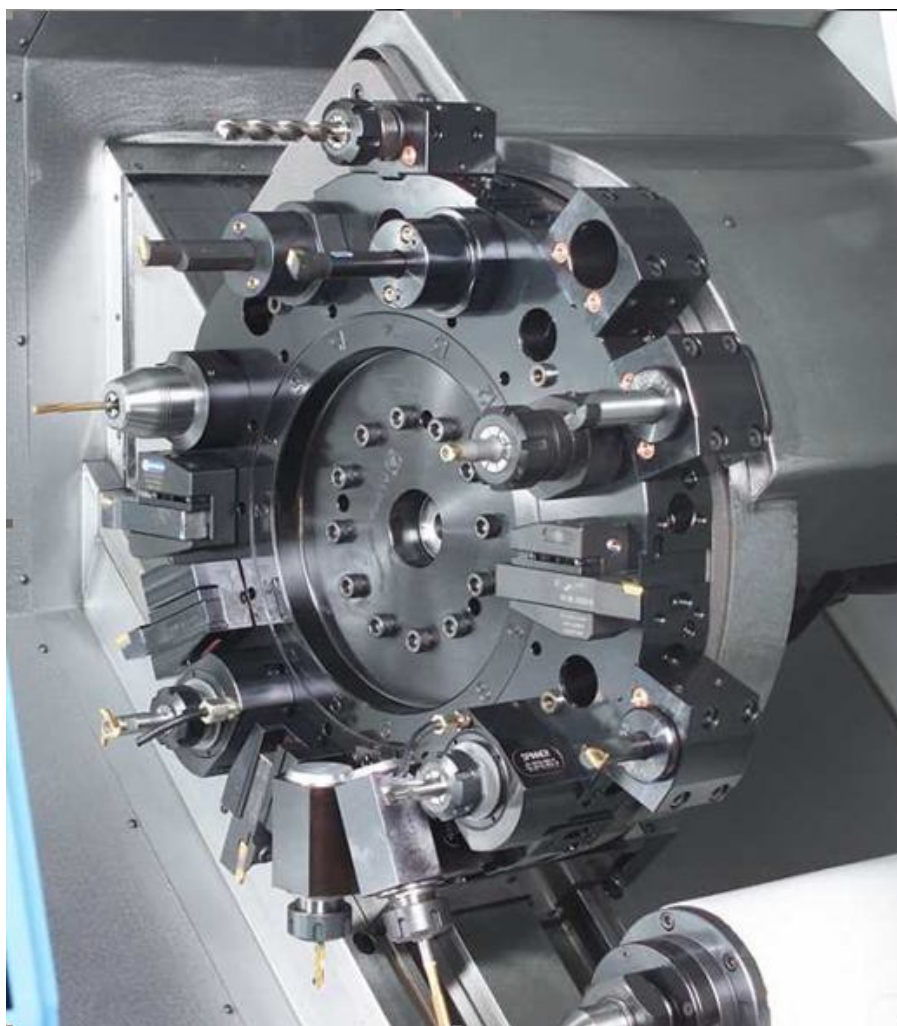


Рисунок 1.5 — Револьверна головка багатоцільового токарного верстата зі встановленим у ній різальним і допоміжним інструментом



Рисунок 1.6 — Робоча зона багатоцільового токарного верстата з ЧПК моделі B1200Y

1.3 Будова та технологічні можливості свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів з ЧПК

Головним рухом свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів є обертання шпинделя разом з установленим у ньому допоміжним і різальним інструментом.

На свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК найчастіше обробляють заготовки корпусних деталей середніх розмірів складної форми, які мають декілька головних отворів і одну або декілька точних площин, пов'язаних між собою жорсткими вимогами точності щодо відносного розташування. Це такі деталі, як корпуси редукторів і коробок швидкостей, блоки циліндрів двигунів внутрішнього згоряння, базові деталі верстатних пристроїв тощо. Такі верстати називають також оброблювальними центрами.

Будова оброблювальних центрів свердлильно-фрезерно-розточувального типу дозволяє виконувати як попередню, так і остаточну механічну обробку таких видів:

- фрезерування плоских, циліндричних і фасонних поверхонь;
- розточування циліндричних отворів;
- свердління, зенкерування і розвірчування;
- нарізання різей в отворах мітчиками;
- фрезерування різьбових поверхонь в отворах.

На сьогодні свердлильно-фрезерно-розточувальні верстати є основним обладнанням для механічної обробки заготовок корпусних деталей в серійному виробництві. Найвідомішими виробниками такого обладнання є фірми HERMLE (ФРН), HAAS Automation (США), KNUTH (ФРН), Mazak (Японія) та ін. Такі верстати можуть забезпечувати керування системою ЧПК лінійних і кутових розмірних переміщень по трьох, чотирьох і п'яти координатах.

На рис. 1.7 показано п'ятикоординатний оброблювальний центр, виготовлений фірмою HERMLE (ФРН). Стіл такого верстата, крім руху кругової подачі, може, завдяки обертанню, забезпечувати виконання токарної обробки (точіння зовнішніх циліндричних поверхонь і торців).



Рисунок 1.7 — П'ятикоординатний оброблювальний центр C20U (фірма HERMLE, ФРН)

Для виготовлення великогабаритних корпусних деталей фірмою HAAS Automation (США) розроблено вертикальні оброблювальні центри серії VR (рис. 1.8). У цих верстатів немає поворотного столу, але натомість корпус шпиндельного вузла може обертатися навколо двох осей.



Рисунок 1.8 — П'ятикоординатний оброблювальний центр VR8 (фірма HAAS Automation, США)

Використання таких верстатів є доцільним у тих випадках, коли заготовки занадто великі для встановлення на круглий поворотний стіл, такий, наприклад, як у верстата C20U фірми HERMLE (див. рис. 1.7). Кожний верстат серії VR оснащений великим столом з Т-подібними пазами для встановлення заготовок великогабаритних деталей або верстатних пристроїв, а також потужною двокоординатною головкою шпинделя з універсальним шарнірним з'єднанням для доступу до деталі практично під будь-яким кутом для обробки з п'яти сторін.

Важливим показником технологічних можливостей оброблювальних центрів свердлильно-фрезерно-розточувального типу є кількість одночасно керованих координат. Цей показник обов'язково відображається в технічній характеристиці верстата. Зокрема, верстати серії VR фірми HAAS Automation забезпечують можливість одночасного керування переміщеннями по усіх п'яти координатах. Це дозволяє виготовляти деталі з поверхнями дуже складної просторової форми.

1.4 Будова та технологічні можливості шліфувальних верстатів з ЧПК

Шліфувальні верстати з ЧПК виконують такі самі види робіт, що й шліфувальні верстати з ручним керуванням. В шліфувальних верстатах з ЧПК використовують той самий різальний інструмент, такі самі режими різання, змащувально-охолодні рідини (ЗОР) тощо. Збільшення продуктивності і розширення технологічних можливостей забезпечується переважно завдяки скороченню допоміжного часу. Системами ЧПК оснащують круглошліфувальні, плоскошліфувальні, безцентровошліфувальні, заточувальні та верстати інших типів для обробки абразивним інструментом.

Порівняно з верстатами з ЧПК для лезової обробки, створення шліфувальних верстатів з ЧПК ускладнюється з таких причин. Процес шліфування характеризується, з одного боку, необхідністю забезпечення високої точності розмірів і якості поверхневого шару, а з іншого боку, особливістю, яка полягає в інтенсивному зношуванні шліфувального круга під час роботи. Тому в конструкції таких верстатів необхідно передбачати наявність пристроїв для автоматичної правки шліфувального круга і компенсації товщини зрізаного під час правки шару.

Найпоширенішими є круглошліфувальні верстати з ЧПК. На таких верстатах з одного установа можна обробляти заготовки багатоступінчастих деталей типу шпинделів, валів електродвигунів, валів редукторів та ін. Така обробка забезпечує найвищу точність відносного розташування осей циліндричних поверхонь. На сучасних круглошліфувальних верстатах з ЧПК можна обробляти й фасонні поверхні кулачків та кулачкових валів. Прикладом є верстат 3В130Ф4 (рис. 1.9) виробництва заводу «ШЛІФВЕРСТ» (м. Лубни, Полтавська обл., Україна).



Рисунок 1.9 — Круглошліфувальний верстат з ЧПК 3В130Ф4 виробництва заводу «ШЛІФВЕРСТ» (м. Лубни, Україна)

В умовах серійного виробництва використання систем ЧПК забезпечує гнучку структуру циклу шліфування і правки круга. Це дозволяє швидко переналагоджувати верстати на обробку партії заготовок інших деталей.

1.5 Будова й технологічні можливості зубообробних верстатів з ЧПК

Найпоширенішими є зубофрезерні і зубодовбальні верстати з ЧПК. Застосовуються також зубо- і шліцьошліфувальні верстати з ЧПК. На цих верстатах виконують такі самі види робіт, що й на верстатах з ручним керуванням, але у них механічні кінематичні зв'язки замінені на мехатронні.

За допомогою системи ЧПК автоматизується: встановлення числа зубів виготовлюваного колеса і кута їх нахилу, геометричні параметри обробки, режими різання, цикл обробки, переміщення робочих органів верстата у вихідне положення. Вручну закріплюють тільки заготовку та інструмент. Для керування використовують сучасні пристрої ЧПК, виконані на базі мікроЕОМ зі зберіганням алгоритмів керування у пристрої ЧПК.

На рис. 1.10 показано фото зубофрезерного верстата з ЧПК моделі SF160CNC виробництва фірми «GearSpect» (Чехія). Цей верстат призначений для фрезерування вінців прямозубих і косозубих зубчастих коліс, а також шліцьових поверхонь валів методом обкочування.



Рисунок 1.10 — Зубофрезерний верстат з ЧПК SF160CNC (фірма «GearSpect», Чехія)

1.6 Будова та технологічні можливості довбальних верстатів з ЧПК

Довбальні верстати з ручним керуванням використовуються переважно в одиничному (переважно ремонтному) виробництві для обробки шпонкових пазів і шліцьових поверхонь в отворах заготовок деталей типу «Фланець» і «Зубчасте колесо».

На довбальних верстатах з ЧПК програмується: режими різання; довжина ходу довбального різця; кількість пазів і кут між ними; цикл обробки; переміщення робочих органів верстата у вихідне положення.

На рис. 1.11 показано фото довбального верстата з ЧПК виробництва фірми «СAMS» (Італія).



Рисунок 1.12 — Довбальний верстат з ЧПК (виробник – фірма «СAMS», Італія)

Використання довбальних верстатів з ЧПК дозволяє суттєво скоротити як допоміжний час, так і підготовчо-завершальний час. Тому наразі такі верстати використовують не тільки в одиничному, а й у серійному виробництві.

1.7 Особливості будови базових деталей, напрямних, приводів подач, приводів головного руху та інших механізмів верстатів з ЧПК

1.7.1 Будова базових деталей і напрямних

Порівняно з верстатами з ручним керуванням, верстати з ЧПК мають розширені технологічні можливості зі збереженням високої надійності роботи. Конструкція верстатів з ЧПУ має, зазвичай, забезпечувати поєднання

різних способів обробки (точіння, розточування, фрезерування, свердління тощо), а також можливість виконання на одному й тому самому верстаті як попередньої, так і остаточної обробки. Ці верстати мають забезпечувати також зручність завантаження заготовок, вивантаження деталей (що особливо важливо за використання промислових роботів), автоматичне або дистанційне керування зміною різального інструмента та ін.

Забезпечення точності обробки досягається високою точністю виготовлення і жорсткістю верстата. Жорсткість вузлів верстатів з ЧПК у 1,5 — 2 рази перевищує жорсткість верстата з ручним керуванням такого самого типу.

Підвищенню точності сприяє і усунення зазорів в передавальних механізмах приводів подач, зниження втрат на тертя в напрямних та інших механізмах, підвищення вібростійкості, зниження теплових деформацій, застосування в приводах верстатів датчиків зворотного зв'язку.

Для зменшення теплових деформацій необхідно забезпечити рівномірний температурний режим в механізмах верстатів, завдяки, наприклад, попередньому розігріву основних вузлів верстата.

Базові деталі (станини, столи, полозки тощо) виготовляють литими (з якісного чавуну, наприклад з чавуну марки СЧ20) або зварними.

Останнім часом намітилась тенденція використання для виготовлення станин верстатів полімерного бетону, а саме його різновиду — синтетичного граніту (синтеграну). Основою цього композитного матеріалу є гранітний щебінь з розмірами частинок від 0,63 до 20 мм, а в'язучим — синтетична (епоксидна) смола. Такі станини мають низку переваг порівняно з чавунними станинами:

- вищі (у 4 — 6 разів) демпфувальні властивості;
- низька теплопровідність (у 40 разів менша, ніж у чавуну) і, відповідно, мала чутливість до короткочасних змін температури;
- висока стабільність геометричних розмірів завдяки практичній відсутності залишкових напружень.

Напрямні верстатів з ЧПК мають створювати малу силу тертя і мати високу зносостійкість. Це дозволяє знизити потужність приводів подачі, збільшити точність позиціонування, зменшити розузгодженість в слідкувальних системах.

Конструкція напрямних верстатів з ЧПК має забезпечувати необхідну точність переміщення робочого органу верстата по заданій керувальною програмою траєкторії протягом тривалого часу. Точність верстата забезпечується дотриманням точності геометричних параметрів напрямних, їх твердістю, мінімізацією зазорів, забезпеченням плавності ходу, жорсткістю конструкції. Тривале збереження точності напрямних залежить від зносостійкості матеріалів пар тертя.

В сучасних верстатах з ЧПК застосовують напрямні ковзання, кочення і комбіновані — залежно від конструкції і призначення верстатів. Тип і будови напрямних вибирають з урахуванням конкретних умов роботи верстата.

Для верстатів, що працюють переважно у позиційному режимі, конструкція напрямних має забезпечувати швидкий і точний вихід робочого органу у задане керувальною програмою положення. Цим вимогам найкраще відповідають напрямні кочення.

На фрезерних верстатах для контурної обробки застосовують напрямні, які забезпечують плавний реверс. Такими є напрямні ковзання з малим коефіцієнтом тертя. Для зменшення коефіцієнта тертя напрямні ковзання переважно виконують у вигляді пари тертя «загартована сталь — наповнений фторопласт» або «високоякісний чавун — наповнений фторопласт». Як наповнений фторопласт використовують композитний матеріал марок Ф4К20 або Ф4К15М5. У токарних верстатах з ЧПК також застосовують переважно напрямні ковзання.

За великих довжин переміщення з високою швидкістю (до 30 м/хв) рекомендується застосовувати напрямні кочення або комбіновані. У вертикальних багатоцільових верстатах для п'ятикоординатної обробки успішно застосовують для всіх переміщень напрямні кочення.

У важких фрезерних верстатах широко застосовують гідростатичні напрямні.

Напрявні кочення мають високу довговічність, характеризуються невеликим тертям, причому коефіцієнт тертя практично не залежить від швидкості руху. Як тіла кочення використовують ролики. Попередній натяг підвищує жорсткість напрямних у 2 — 3 рази. Для створення натягу використовують спеціальні регулювальні пристрої.

1.7.2 Будова приводів подачі верстатів з ЧПК

Приводи подачі верстатів з ЧПК мають забезпечувати задану керувальною програмою подачу (в мм/об або в мм/хв) і задану паспортом верстата точність позиціонування як на робочих, так і на допоміжних (холостих) ходах. Діапазон подач робочих ходів становить 1 — 2000 мм/хв, а швидкість допоміжних переміщень від 20 до 80 м/хв.

У верстатах з ЧПК використовують два способи задання подачі і переміщень робочих органів.

Перший спосіб полягає у використанні крокового електродвигуна, який забезпечує поворот ходового гвинта на заданий системою ЧПК кут.

Сучасні крокові електродвигуни здатні створювати крутний момент до 20 Нм. Приводи подачі з кроковими електродвигунами забезпечують достатньо точне позиціонування ($\approx 0,02$ мм) без використання зворотного зв'язку від датчика положення робочого органу верстата. За такою схемою побудовано привод подачі багатоцільового верстата з ЧПК ЛТ260МФ3. Схему цього приводу показано на рис. 1.13.

Привод працює таким чином. Робоча рідина (мінеральне масло) від гідронасоса 2 під тиском подається у центральний вхідний отвір золотникового розподільника 6. У нейтральному положенні золотника вхідний отвір

перекритий і вся рідина, що подається гідронасосом 2, зливається в бак 1 через запобіжно-переливний клапан 9.

Якщо вал крокового двигуна 3 повернеться, наприклад, за годинниковою стрілкою, то гвинт 5 повернеться на той самий кут, змістивши верхню частину щупа 7 вправо, повернувши сам щуп відносно осі за годинниковою стрілкою, нижня частина щупа зміститься вліво, змістивши золотник із нейтрального положення, водночас центральний вхідний отвір з'єднується з правою порожниною гідроциліндра 8, куди подаватиметься робоча рідина під тиском. Рідина з лівої порожнини гідроциліндра потрапляє у лівий канал золотника і через лівий вихідний отвір зливається в бак; шток гідроциліндра переміщується вліво, переміщуючи робочий орган 4 разом з закріпленим на ньому гвинтом до тих пір, поки щуп знову не переміститься в нейтральне положення, закривши порожнини гідроциліндра, тим самим зупинивши рух. Аналогічні дії відбуваються з обертанням вала крокового двигуна проти годинникової стрілки. У цьому випадку шток гідроциліндра переміщується вправо.

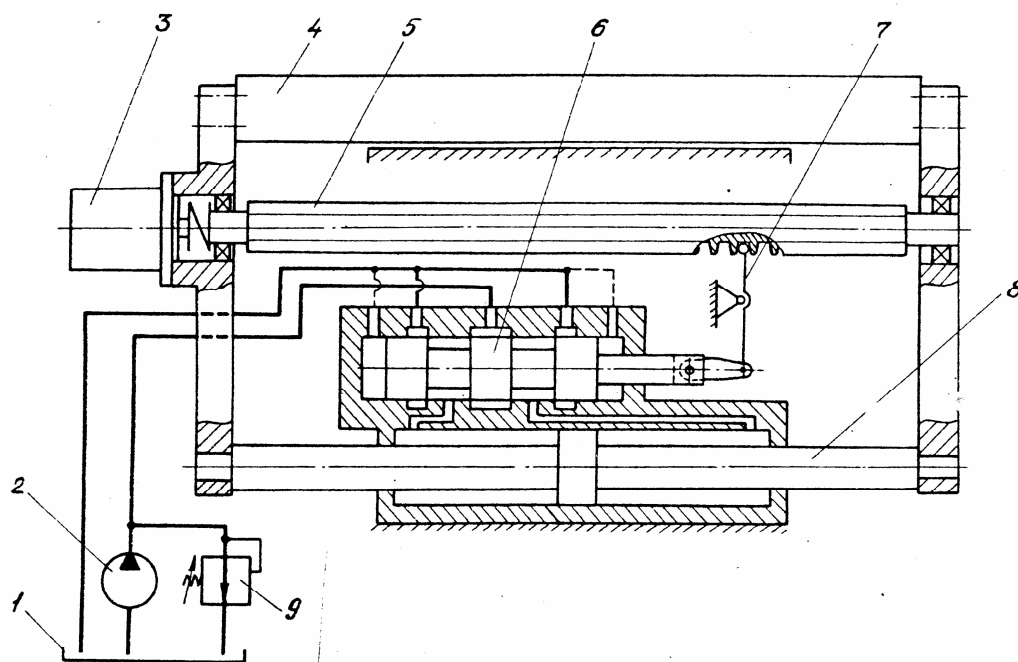


Рисунок 1.13 — Схема привода подачі багатоцільового верстата ЛТ260МФ3

- 1 — бак гідростанції; 2 — гідравлічний насос; 3 — кроковий електродвигун;
4 — стіл верстата; 5 — гвинт; 6 — золотниковий розподільник; 7 — щуп;
8 — гідроциліндр; 9 — запобіжно-переливний клапан

Оскільки осьове зміщення профілю канавки гвинта пропорційне куту його повороту і залежить від кроку гвинта, то переміщення робочого органу (столу, фрезерної головки) також буде пропорційне повороту вала крокового двигуна.

Місцевий зворотний зв'язок за переміщенням досягається закріпленням опор гвинта безпосередньо на робочому органі.

Другий спосіб базується на використанні у приводах подачі слідкувальних систем (сервосистем), тобто систем, які мають головний зворотний зв'язок за переміщенням робочого органу верстата. Блок-схему такої системи показано на рис. 1.14.

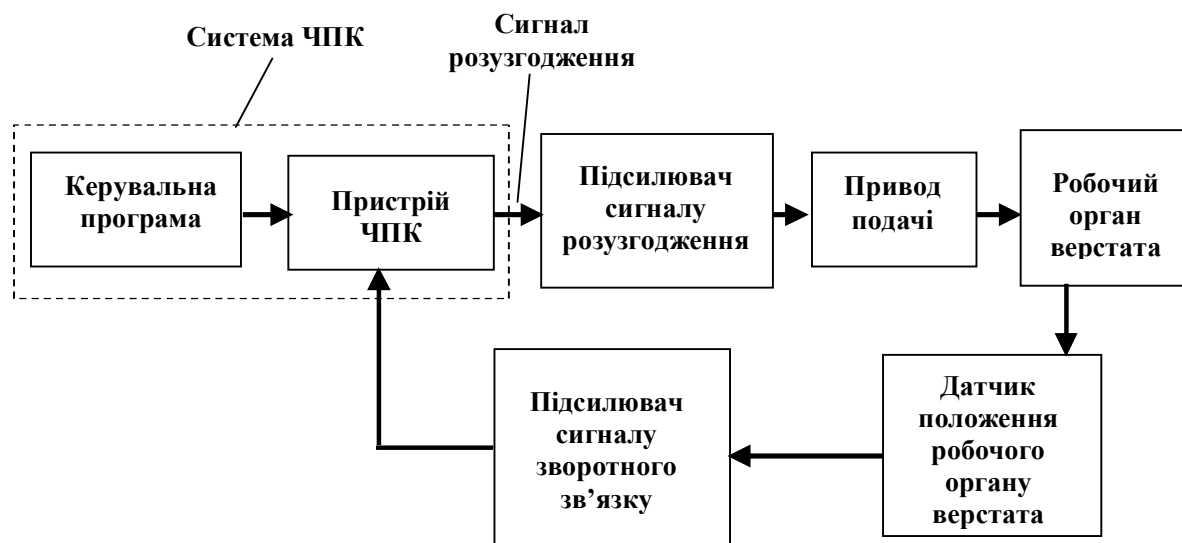


Рисунок 1.14 — Блок-схема слідкувальної системи привода подачі верстата з ЧПК

Обов'язковим елементом слідкувальної системи є датчик переміщення робочого органу. Кількість таких датчиків дорівнює числу координат верстата. В сучасних верстатах з ЧПК як датчики переміщення робочих органів найчастіше використовують:

- обертові трансформатори (резольвери);
- індуктосини;
- фотоелектричні (оптичні) датчики.

Показники точності позиціонування верстатів з ЧПК, оснащених цими датчиками, наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 — Точність позиціонування робочого органу верстата з ЧПК залежно від типу датчика переміщення

Тип датчика переміщення	Точність позиціонування робочого органу верстата, мм
1) обертовий трансформатор (резольвер)	0,02
2) індуктосин	0,01
3) фотоелектричний (оптичний)	0,004

З даних таблиці 1.2 випливає, що найвищу точність позиціонування забезпечує використання у верстатах з ЧПК фотоелектричних (оптичних) датчиків переміщення робочих органів. Такі датчики виготовляються як для

вимірювання лінійних (рис. 1.15), так і кутових переміщень. У датчиках лінійних переміщень корпус шкали кріпиться до рухомої частини робочого органу, а зчитувальна головка встановлюється на нерухомій частині.

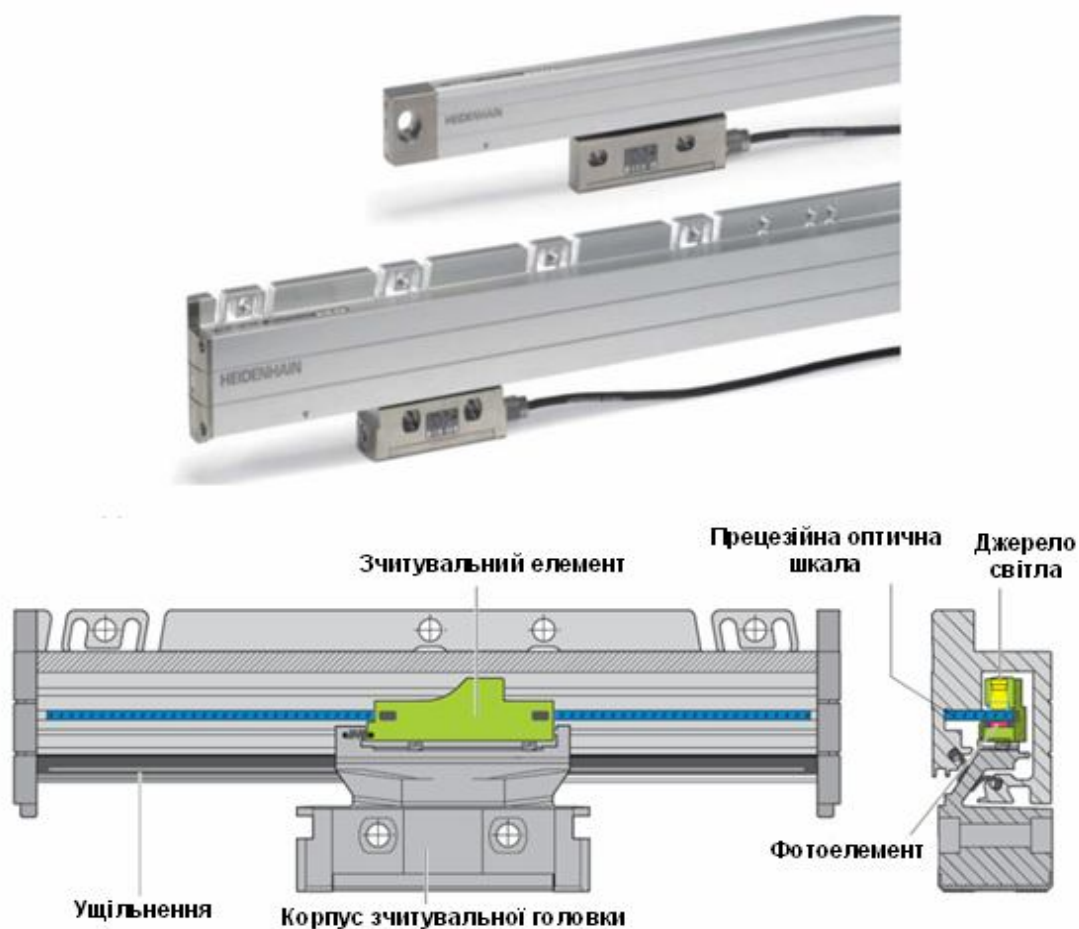


Рисунок 1.15 — Фотоелектричний (оптичний) датчик лінійних переміщень виробництва фірми HEIDENHAIN (Німеччина)

Як рушії приводів подачі використовують синхронні або асинхронні електродвигуни, що керуються від цифрових частотних перетворювачів.

Безколекторні синхронні двигуни для верстатів з ЧПК виготовляють з постійними магнітами на основі рідкоземельних елементів і оснащують датчиками зворотного зв'язку і гальмами. Асинхронні двигуни застосовують рідше, ніж синхронні.

Привод подач характеризується мінімально можливими зазорами, малим часом розгону і гальмування, невеликими силами тертя, зменшеним нагрівом елементів приводу, великим діапазоном регулювання швидкості руху. Забезпечення цих характеристик можливо завдяки застосуванню шарикових і гідростатичних гвинтових передач, безззорних редукторів з короткими кінематичними ланцюгами.

Необхідно, щоб привод подачі мав високу жорсткість і забезпечував плавність переміщення за малих швидкостей і велику швидкість допоміжних переміщень робочих органів (від 20 до 80 м/хв).

1.7.3 Будова приводів головного руху верстатів з ЧПК

Приводами головного руху для верстатів з ЧПУ зазвичай є частотно-регульовані асинхронні трифазні двигуни. Перетворювачі частоти для керування такими двигунами мають діапазон регулювання до 250.

Шпиндельні вузли верстатів з ЧПК мають бути точними і жорсткими. Найчастіше в опорах шпинделів застосовують підшипники кочення. Для зменшення впливу зазорів і підвищення жорсткості опор зазвичай встановлюють підшипники з попереднім натягом або збільшують кількість тіл кочення. В прецизійних високошвидкісних верстатах застосовують аеростатичні підшипники, у яких між шийкою вала і поверхнею підшипника знаходиться стиснене повітря. Завдяки цьому знижується знос і нагрівання підшипника.

Допоміжні механізми верстатів з ЧПК містять в своєму складі пристрої автоматичної заміни інструментів, прибирання стружки, систему змащування, затискні пристрої, завантажувальні пристрої тощо. Ця група механізмів у верстатах з ЧПК значно відрізняється від аналогічних механізмів, використовуваних у верстатах з ручним керуванням.

Пристрої автоматичної заміни інструментів (магазини, маніпулятори, револьверні головки) мають забезпечувати мінімальні витрати часу на заміну інструмента, високу надійність в роботі, стабільність положення інструментів, тобто сталість розміру вильоту і положення осі під час повторних замін інструмента. Час заміни інструментів в сучасних верстатах з ЧПК не перевищує 2 — 3 с.

Розділ 2 ОСНОВИ ПІДГОТОВКИ КЕРУВАЛЬНИХ ПРОГРАМ

Розробка керувальних програм (КП) для верстатів з ЧПК виконується з використанням коду (мови програмування) ISO 7-bit. На сьогодні цей код (відомий також як G-код) є фактично основним засобом розробки КП для сучасних верстатів з ЧПК. Разом з тим, залежно від типу, будови й заводів-виробників верстатів та їх систем ЧПК, можуть бути певні особливості в технології розробки керувальних програм. Ці особливості обов'язково відображаються у супровідній технічній документації.

2.1 Системи координат верстата і деталі. Зв'язок між системами координат

Під час розробки керувальних програм використовують *систему координат верстата і систему координат деталі*.

Для забезпечення єдності методів підготовки керувальних програм вибір системи координат верстата має відповідати рекомендаціям Міжнародної організації зі стандартизації (ISO). Вибрану згідно з цими рекомендаціями систему координат верстата називають стандартною. Відповідно до ГОСТ 23597—79 стандартна система координат є правою прямокутною декартовою системою координат XYZ .

Розташування початку системи координат верстата залежить від типу верстата, але завжди його вибирають таким чином, щоб усі переміщення робочих органів верстата описувались би додатними координатами.

Вибір напрямку осей стандартної системи координат верстата пов'язують з розташуванням осі обертання шпинделя таким чином, щоб вісь Z завжди була паралельна цій осі.

Стандартною системою координат токарного верстата є двокоординатна система XZ з початком у базовій точці шпинделя. Ця точка знаходиться на перетині базового торця шпинделя з віссю його обертання. Напрямок осей системи координат верстата залежить від розташування інструмента відносно осі обертання шпинделя. Якщо інструмент розташований над віссю обертання шпинделя, то система координат верстата має вигляд, показаний на рис. 2.1, а. Якщо ж інструмент розташований перед віссю обертання шпинделя, то система координат верстата матиме вигляд, показаний на рис. 2.1, б.

Стандартною системою координат для верстатів свердлильно-фрезерно-розточувальної групи є трикоординатна система XYZ . За її початок беруть базову точку столу в одному з його крайніх положень, а напрям координатних осей залежить від компонування верстата. Розташування початку системи координат верстата вибирають таким, щоб всі можливі лінійні переміщення столу чи шпинделя уздовж трьох координатних осей відбувались тільки в додатному напрямі. Розташування систем координат верстатів свердлильно-

фрезерно-розточувальної групи з вертикальним і горизонтальним розташуванням осі обертання шпинделя показано на рис. 2.2.

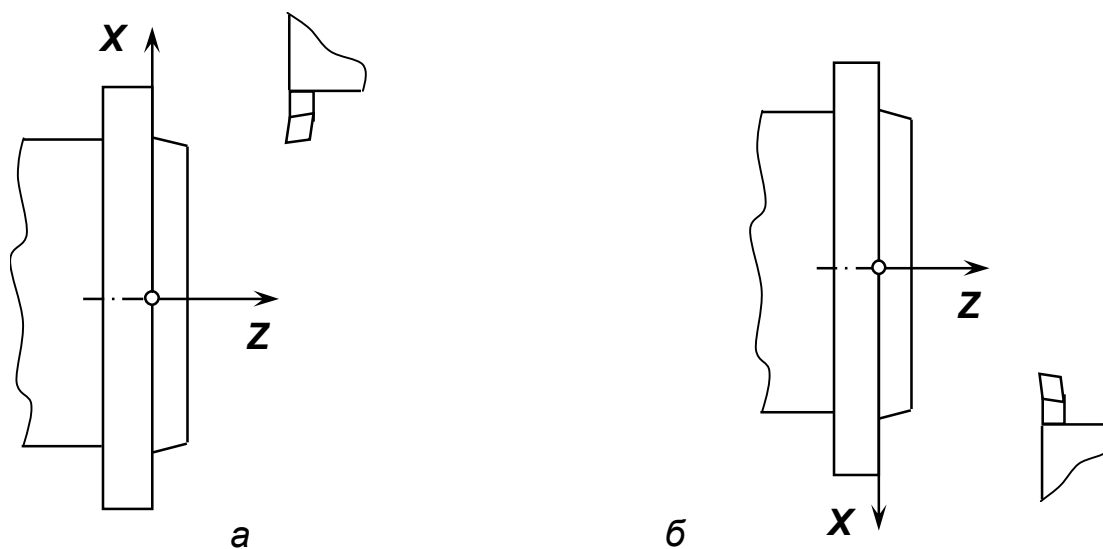


Рисунок 2.1 — Системи координат токарних верстатів

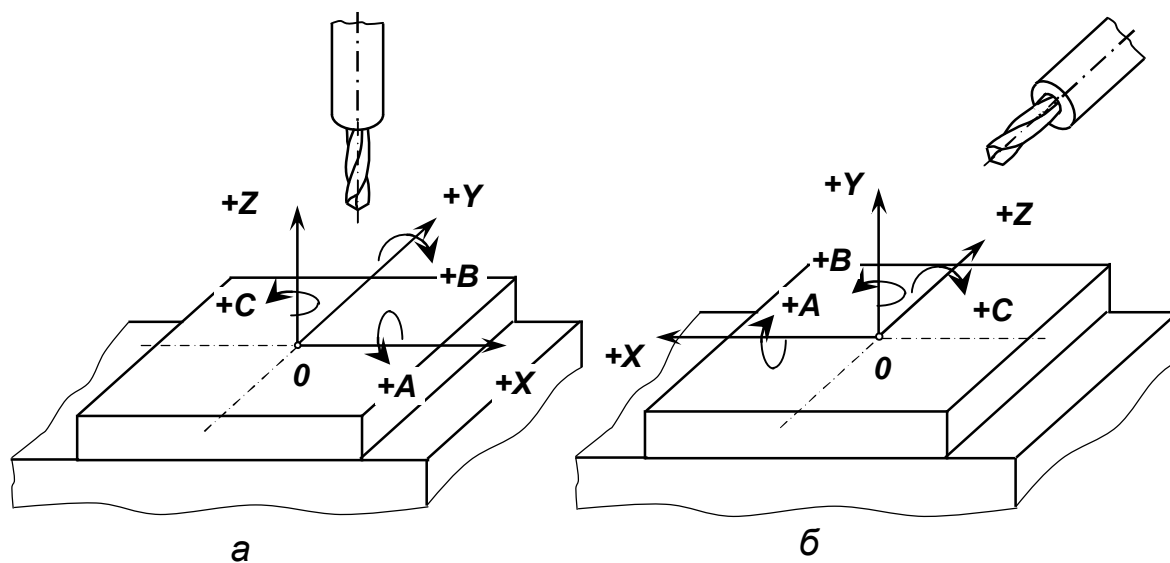


Рисунок 2.2 — Системи координат верстатів свердлильно-фрезерно-розточувальної групи з вертикальним (а) і горизонтальним (б) розташуванням осі обертання шпинделя

Для задання траєкторій руху інструментів використовують систему координат деталі. Тобто, система координат деталі призначена для задання координат *опорних точок* оброблених поверхонь, а також опорних точок траєкторії руху інструмента. Опорними вважаються точки початку, закінчення, перетину або дотику геометричних елементів, які утворюють контур деталі й визначають траєкторію руху інструмента під час виконання переходів обробки.

Як система координат деталі використовується права прямокутна декартова система координат. Координатні осі системи координат деталі завжди спрямовані так, як і у системі координат верстата. Координати початку системи координат деталі задаються відносно початку системи координат верстата розробником керувальної програми. Розташування початку системи координат деталі має бути зручним для складання керувальної програми. Для цього доцільно:

- координатні площини суміщати з поверхнями технологічних баз або розташовувати паралельно;
- осі координат суміщати з осями симетрії деталі або з виносними лініями, відносно яких проставлено найбільшу кількість розмірів.

2.2 Структура керувальної програми. Поняття кадру. Поняття слова. Склад кадру. Основні поняття і позначення Міжнародної системи (коду) ISO—7bit

Для кожної операції механічної обробки розробляють свою керувальну програму. Таким чином, початковими даними для розробки керувальної програми є креслення деталі і технологічний процес механічної обробки.

Текст готової програми вводиться в пристрій ЧПК за допомогою його клавіатури або записується з ПК на USB-флеш-накопичувач для подальшого уведення в пристрій ЧПК.

Керувальна програма є упорядкованим набором команд, за допомогою яких визначаються переміщення виконавчих органів верстата і різні допоміжні функції.

Керувальна програма складається з певної кількості рядків, які називаються *кадрами*. Таким чином, кадр керувальної програми — це її складова частина, яка вводиться і відпрацьовується як єдине ціле та містить не менше однієї команди. Кадри містять інформацію про технологічні умови обробки, траєкторію переміщення інструмента і допоміжні функції.

Система ЧПК зчитує і виконує програму послідовно кадр за кадром. Черговість кадрів визначається послідовністю обробки. Зазвичай інженер-програміст або оператор верстата з ЧПК призначає кожному кадру номер, який розташовує на початку кадру і позначає буквою *N*. Більшість систем ЧПК дозволяють не вказувати номери кадрів, але для наочності, зручності зорового сприйняття керувальної програми і пошуку в ній необхідної інформації кадри зазвичай нумеруються з інтервалом в 5 або 10 номерів, для того, щоб за необхідністю можна було б вставити у програму додаткові кадри.

Кадр складається зі слів (команд), що містять числову інформацію і буквений символ, який визначає вид інформації. Буквений символ (символ адреси) завжди знаходиться попереду числової інформації і відображає певний крок обробки заготовки. Значення основних буквених символів адрес наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Основні символи адрес (згідно з ГОСТ20999—83)

Символ	Значення
%	Початок програми
A	Кут повороту навколо осі X
B	Кут повороту навколо осі Y
C	Кут повороту навколо осі Z
F	Функція подачі
G	Підготовча функція
H	(Зазвичай) Номер комірки пам'яті СЧПК, у якій вказано виліт (довжину) інструмента
I	Відносна відстань від початку дуги кола до його центра у напрямі осі X
J	Відносна відстань від початку дуги кола до його центра у напрямі осі Y
K	Відносна відстань від початку дуги кола до його центра у напрямі осі Z
M	Допоміжна функція
N	Номер кадру
D	(Зазвичай) Номер комірки пам'яті СЧПК, у якій вказано радіус фрези
S	Функція головного руху
T	Функція інструмента
X	Довжина переміщення у напрямі осі X
Y	Довжина переміщення у напрямі осі Y
Z	Довжина переміщення у напрямі осі Z

2.3 Поняття підготовчої і допоміжної функцій. Основні підготовчі та допоміжні функції

Підготовчі функції (G-функції) визначають режим і умови роботи системи ЧПК і верстата. Більшість підготовчих функцій є однаковими для різних систем ЧПК.

Усі підготовчі функції поділено на групи (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 — Групи G-функцій

Коди	Призначення
G00 — G03	Координатні переміщення
G17 — G19	Вибір площини інтерполяції
G40 — G44	Компенсація розмірів різального і допоміжного інструментів (виліт, діаметр)
G53 — G59	Вибір системи координат
G70 — G84	Вибір одного з постійних циклів
G90, G91	Вибір способу задання системи координат (абсолютна чи відносна)

G-функції, які належать до певної групи, взаємно модальні, тобто діють до відміни G-функцією з тієї ж групи.

В кадрі може бути представлена лише одна G-функція зі своєї групи. Але, разом з тим, у кадрі можуть бути декілька G-функцій з різних груп.

Детальніший опис призначення найчастіше використовуваних G-функцій наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Найменування й призначення найчастіше використовуваних G-функцій

G-функція	Найменування і значення функції
1	2
G00	Швидке позиціонування. Переміщення в запрограмовану точку з максимально можливою швидкістю. Попередньо запрограмована подача ігнорується, але не відмінюється.
G01	Лінійна інтерполяція. Вид керування, який забезпечує рух інструмента по прямій лінії із заданою подачею.
G02	Колова інтерполяція. Рух за годинниковою стрілкою. Вид керування, який забезпечує рух інструмента по дузі кола за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку додатного напрямку осі, перпендикулярної до оброблюваної поверхні.

Продовження таблиці 2.3

G-функція	Найменування і зміст функції
1	2
G03	Колова інтерполяція. Рух проти годинникової стрілки. Вид керування, який забезпечує рух інструмента по дузі кола проти годинникової стрілки, якщо дивитися з боку додатного напрямку осі, перпендикулярної до оброблюваної поверхні.
G04	Пауза. Вказівка щодо часової затримки переходу до наступного кадру. Конкретне часове значення паузи задається в керувальній програмі. Застосовується для виконання певних дій, які потребують деякого часу.
G17	Вибір площини. Задання площини XY для колової інтерполяції.
G18	Вибір площини. Задання площини XZ для колової інтерполяції.
G19	Вибір площини. Задання площини YZ для колової інтерполяції.
G20	Вибір системи вимірювання. Робота в дюймовій системі вимірювання.
G21	Вибір системи вимірювання. Робота в метричній системі вимірювання.
G28	Повернення столу або інструмента у вихідне положення. Команда передбачає прискорене переміщення виконавчих органів в нульову точку (початок системи координат верстата).
G40	Відміна корекції радіуса фрези.
G41	Корекція радіуса фрези — ліва. Передбачає автоматичне зміщення осі обертання шпинделя на заданий радіус фрези. Використовується, коли фреза знаходиться ліворуч від оброблюваної поверхні, якщо дивитися від фрези у напрямі її руху відносно заготовки.
G42	Корекція радіуса фрези — права. Передбачає автоматичне зміщення осі обертання шпинделя на заданий радіус фрези. Використовується, коли фреза знаходиться праворуч від оброблюваної поверхні, якщо дивитися від фрези у напрямі її руху відносно заготовки.

Продовження таблиці 2.3

Підготовча функція	Найменування і зміст функції
1	2
G43	Компенсація довжини інструмента. Вказівка на те, що до заданого в керувальній програмі значення координати по осі <i>Z</i> буде додана довжина інструмента, встановленого в шпинделі. Ця довжина має бути попередньо визначена і записана в одній з комірок пам'яті системи ЧПК за адресою <i>H</i> . В керувальній програмі вказують номер цієї комірки.
G49	Скасування компенсації довжини інструмента. Скасовує всі задані раніше командами G43 врахування довжин інструментів.
G53	Перехід від системи координат деталі до системи координат верстата
G54 — G59	Перехід до заданої в програмі системи координат деталі
G70 — G84	Задання одного з постійних циклів
G90	Робота в абсолютній системі координат
G91	Робота у відносній системі координат
G94	Задання подачі в мм/хв
G95	Задання подачі в мм/об
G96	Задання постійної швидкості різання
G97	Задання частоти обертання шпинделя в об/хв

Функція з адресою M (M-функція) називається допоміжною і призначена для керування режимами роботи і пристроями верстата.

Опис призначення найчастіше використовуваних M-функцій наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 — Найменування й призначення найчастіше використовуваних М-функцій

Допоміжна функція	Найменування і зміст функції
M00	Програмована запинка. Зупинка після відпрацювання відповідного кадру без втрати інформації. Як результат — виконання команд зупиняються. Робота за програмою продовжується після натискання відповідної кнопки на пульті керування
M02	Кінець програми. Передбачає закінчення відпрацювання керувальної програми. Зупиняє: обертання шпинделя, подачу ЗОР, рух всіх виконавчих органів після виконання всіх команд в кадрі.
M03	Вмикання обертання шпинделя. Вмикає обертання шпинделя у напрямі, за якого гвинт з правою нарізкою, закріплений у шпинделі, входить у заготовку.
M04	Вмикання обертання шпинделя. Вмикає обертання шпинделя у напрямі, за якого гвинт з правою нарізкою, закріплений у шпинделі, виходить із заготовки.
M05	Зупинка обертання шпинделя. Зупиняє обертання шпинделя найефективнішим способом. Вимикає подачу ЗОР.
M06	Заміна інструмента. Підготовчі дії до ручної або автоматичної заміни інструмента (без пошуку інструмента). Може автоматично відключати обертання шпинделя і подачу ЗОР.
M08	Вмикання охолодження. Вмикає подачу ЗОР.
M09	Вимикання охолодження. Відмінює команду M08.
M30	Кінець програми. Передбачає закінчення відпрацювання керувальної програми. Зупиняє: обертання шпинделя, подачу ЗОР, рух усіх виконавчих органів після виконання усіх команд в кадрі. Переводить пристрій ЧПК на початок програми.

Програмування положення системи координат деталі і розмірних переміщень, програмування заміни інструмента, подачі і швидкості головного руху і особливості розробки керувальних програм для токарних і свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів розглянуто у підрозділах 2.4 та 2.5.

2.4 Особливості підготовки керувальних програм для верстатів токарної групи. Зони і схеми токарної обробки

У цьому підрозділі розглядаються основні правила і приклади підготовки керувальних програм для токарних верстатів на прикладі патронно-центрового верстата 16K20T1.02 з оперативною системою ЧПК «SINUMERIK 802D».

2.4.1 Загальні відомості

В керувальній програмі, розробленій для системи ЧПК «SINUMERIK 802D», кадри мажуть складатися з декількох слів.

Слово складається з:

- буквенної адреси (літери: N, G, M, S, F, X, Z, T та ін.);
- математичного знака «-» (знак «+» в програмі не вказують);
- числового значення буквенної адреси.

Якщо числове значення буквенної адреси має дробову частину, то як розділювач використовується десяткова крапка.

Підготовчі функції, використовувані в системі ЧПК «SINUMERIK 802D», показано у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 — Підготовчі функції (G-функції), використовувані в системі ЧПК «SINUMERIK 802D»

Підготовча функція	Найменування і призначення	Тривалість дії
1	2	3
G0	Позиціонування (переміщення в запрограмовану точку з максимально можливою швидкістю)	До задання функції G1, G2 або G3
G1	Лінійна інтерполяція	До задання функції G0, G2 або G3
G2	Колова інтерполяція за годинниковою стрілкою	До задання функції G0, G1 або G3
G3	Колова інтерполяція проти годинникової стрілки	До задання функції G0, G1 або G2
G4	Витримка часу	В одному кадрі
G54 — G59	Задання початку системи координат деталі	До задання інших функцій з цієї групи
G90	Робота в абсолютній системі координат	До задання функції G91

Продовження таблиці 2.5

G-функція	Найменування і призначення	Тривалість дії
1	2	3
G91	Робота у відносній системі координат	До задання функції G90
G94	Задання подачі в мм/хв	До задання функції G95
G95	Задання подачі в мм/об	До задання функції G94
G96	Задання постійної швидкості різання (м/хв)	До задання функції G97
G25	Задання нижньої границі частоти обертання шпинделя (об/хв)	До закінчення дії функції G96
G26	Задання верхньої границі частоти обертання шпинделя (об/хв)	
G97	Задання частоти обертання шпинделя (об/хв)	До задання функції G96

Допоміжні функції M (M-функції), використовувані в системі ЧПК «SINUMERIK 802D», показано у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 — Допоміжні функції (M-функції), використовувані в системі ЧПК «SINUMERIK 802D»

M-функція	Найменування	Тривалість дії
1	2	3
M0	Програмована зупинка виконання керувальної програми	В одному кадрі
M3	Праве обертання шпинделя (проти годинникової стрілки)	До задання функції M4
M4	Ліве обертання шпинделя (за годинниковою стрілкою)	До задання функції M3
M5	Зупинка шпинделя	До задання функції M3 або M4
M8	Вмикання подачі ЗОР	До задання функції M9
M9	Вимикання подачі ЗОР	До задання функції M8
M2	Кінець керувальної програми	Сигналізує про завершення керувальної програми

Продовження таблиці 2.6

1	2	3
M30	Кінець керувальної програми	Сигналізує про завершення керувальної програми і повертає систему ЧПК до початку програми

2.4.2 Програмування швидкості головного руху

Під час програмування верстата 16K20T1.02 є можливість задання одного з двох варіантів режиму частоти обертання шпинделя:

- за допомогою підготовчої функції G97;
- за допомогою підготовчої функції G96.

Для задання бажаної частоти обертання шпинделя використовується функція G97. Фрагмент керувальної програми, у якому задається потрібна частота обертання шпинделя, матиме вигляд:

..... N30 G97 S600 M3	G97 — задання режиму частоти обертання шпинделя в об/хв; S600 — частота обертання шпинделя (600 об/хв); M3 — обертання шпинделя проти годинникової стрілки
-----------------------------------	--

Для задання постійної швидкості різання використовується функція G96 разом із функціями G25 і G26. Фрагмент керувальної програми, у якому задається постійна швидкість різання матиме вигляд:

..... N40 G96 S120 M3 N50 G25 S100 N60 G26 S700	G96 — задання частоти обертання у режимі постійної швидкості різання в м/хв; S120 — швидкість різання 120 м/хв; M3 — обертання шпинделя проти годинникової стрілки; G25 S100 — обмеження мінімальної частоти обертання шпинделя (100 об/хв); G26 S700 — обмеження максимальної частоти обертання шпинделя (700 об/хв);
---	--

2.4.3 Програмування подачі

В системі ЧПК токарних верстатів задається контурна подача. Під контурною подачею розуміють швидкість переміщення інструмента, яка направлена по дотичній до запрограмованої траєкторії руху.

Подача може задаватися в міліметрах на оберт (функція G95) або в міліметрах за хвилину (функція G94).

Задання кількісного значення подачі виконується за допомогою функції «F». Якщо подача задається в мм/об, то число після функції F дорівнює величині подачі. Наприклад, подачу 0,2 мм/об задають функцією F0.2. Якщо ж подача задається в мм/хв, то число після функції дорівнює величині подачі. Наприклад, подачу 200 мм/хв задають функцією F200.

2.4.4 Програмування номера інструмента

Револьверна головка верстата моделі 16K20T1.02 має шість позицій. Номери позицій позначені на лівому торці головки. Поворот головки для встановлення необхідного інструмента в робочу позицію відбувається з використанням функції «T» із зазначенням номера потрібного інструмента (наприклад, T1, T3, T6).

Паралельно з поворотом револьверної головки здійснюється автоматичний перерахунок заданих попередньо координат вершини цього інструмента відповідно до його вильоту.

2.4.5 Програмування розмірних переміщень

Система ЧПК «SINUMERIK 802D» дозволяє задавати переміщення інструмента як в абсолютній (функція G90), так і у відносній системах відліку (функція G91).

В абсолютній системі відліку переміщення відбуваються відносно початку системи координат деталі. В кадрі або в групі кадрів задаються координати точки, у яку має переміститися вершина інструмента внаслідок виконання цього кадру або групи кадрів.

У відносній системі відліку величини переміщень програмуються відносно координат кінцевої точки попереднього кадру.

Задання переміщення у напрямі осі X або осі Z забезпечується командами з буквеними адресами відповідно «X» або «Z». Одній дискреті по осі Z відповідає переміщення 0,01 мм, а по осі X — 0,005 мм. Необхідно враховувати, що координата X відповідає не радіусу, а діаметру.

Як приклад, запишемо фрагмент керувальної програми переміщення вершини різця з точки 5 в точку 6 з робочою подачею 0,2 мм/об. На рис. 2.3 показано ескіз траєкторії цього руху.

Фрагмент керувальної програми в абсолютній системі координат матиме вигляд:

```
.....  
N20 G90 G95 X60 Z-58 F0.2 S600 M3
```

.....
Пояснення: N20 — номер кадру; G90 — робота в абсолютній системі координат; G95 — задання подачі в мм/об; X60 — координата кінцевої точки кадру по осі X; Z-58 — координата кінцевої точки кадру по осі Z; F0.2

— подача 0,2 мм/об; S600 — частота 600 об/хв; M3 — обертання шпинделя проти годинникової стрілки.

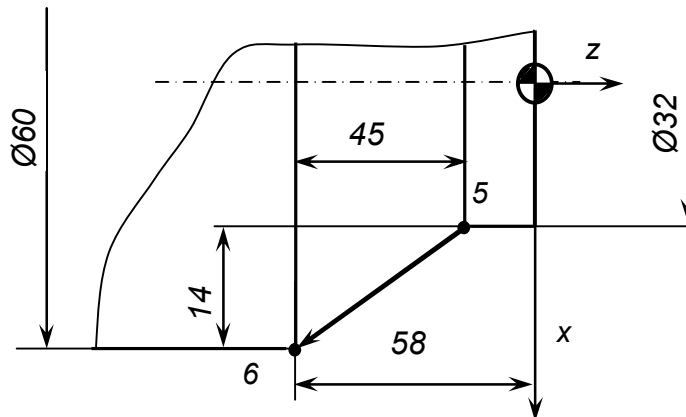


Рисунок 2.3 — Траєкторія руху вершини різця з робочою подачею з точки 5 в точку 6

Фрагмент керувальної програми у відносній системі координат матиме вигляд:

.....

```
N30 G91 G95 X28 Z-45 F0.2 S600 M3
```

.....

Пояснення: N30 — номер кадру; G91 — робота у відносній системі координат; G95 — задання подачі в мм/об; X28 — величина переміщення (в діаметральному вимірі) по осі X відносно початкової точки кадру; Z-45 — величина переміщення по осі Z відносно початкової точки кадру з урахуванням напрямку переміщення; F0.2 — подача 0,2 мм/об; S600 — частота 600 об/хв; M3 — обертання шпинделя проти годинникової стрілки.

Розглянемо приклад фрагменту керувальної програми, який передбачає переміщення вершини різця з точки 5 у точку 6 з прискореною подачею допоміжного ходу. На рис. 2.4 показано ескіз траєкторії цього руху.

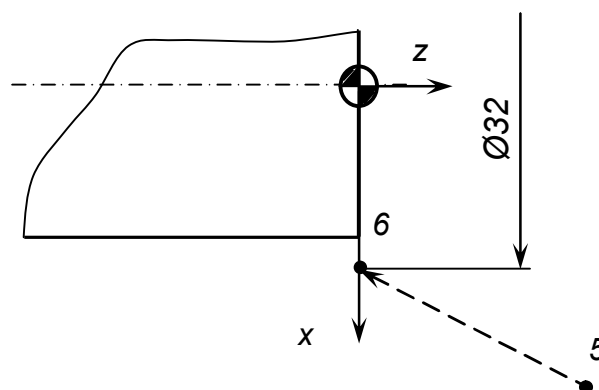


Рисунок 2.4 — Траєкторія руху вершини різця з прискореною подачею з точки 5 в точку 6

Фрагмент керувальної програми в абсолютній системі координат матиме вигляд:

....

```
N60 G90 G0 X32 Z0
```

....

Пояснення: N60 — номер кадру; G90 — робота в абсолютній системі координат; X32 — координата кінцевої точки кадру по осі X; Z0 — координата кінцевої точки кадру по осі Z.

Для програмування руху вершини різця по дузі кола використовують функції G2 і G3.

Команда G2 забезпечує рух по колу за годинниковою стрілкою, G3 — проти годинникової стрілки. В системі ЧПК «SINUMERIK 802D» можна програмувати рух по дузі кола чотирма способами задання геометричних параметрів:

- 1) координат центра дуги і кінцевої точки кадру;
- 2) координат кінцевої точки кадру і радіуса дуги;
- 3) координат кінцевої точки кадру і кута дуги;
- 4) координат центра дуги і кута дуги.

Координати центра дуги задаються відносно початкової точки кадру зі знаком, який враховує напрям координатних осей.

Розглянемо приклади програмування руху з робочою подачею по дузі кола (рис. 2.5).

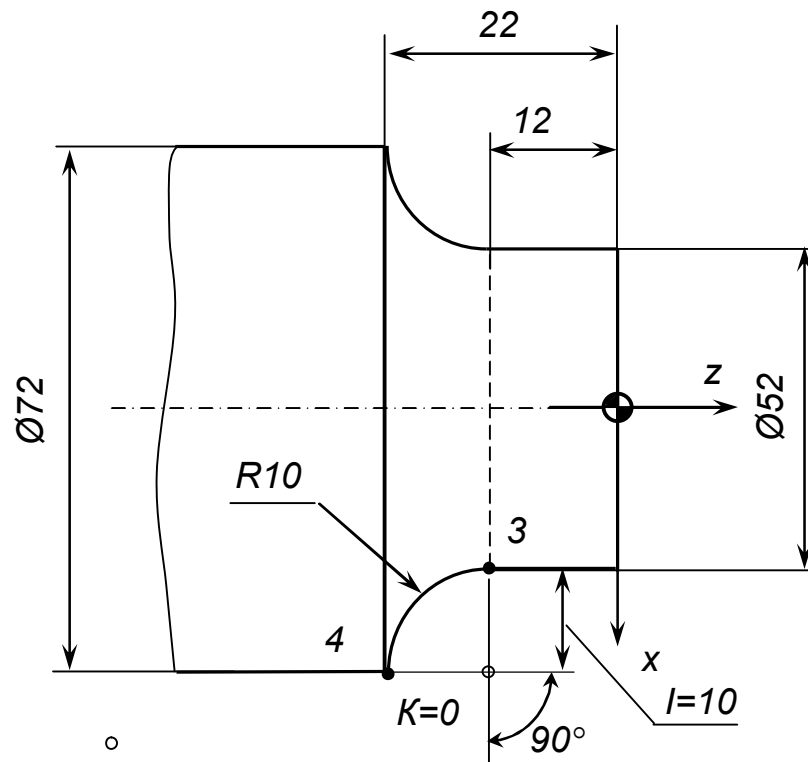


Рисунок 2.5 — Траєкторія руху вершини різця з точки 3 в точку 4 по дузі кола

Фрагмент керувальної програми, що відповідає *першому способу* задання траєкторії руху вершини різця з точки 3 в точку 4 матиме вигляд:

.....
N80 G90 G03 X72 Z-22 I10 K0

.....
Пояснення: N80 — номер кадру; G90 — робота в абсолютній системі координат; G03 — рух по дузі кола проти годинникової стрілки; X72 — координата кінцевої точки кадру (т. 4) по осі X; Z-22 — координата кінцевої точки кадру (т. 4) по осі Z; I10 — координата центра дуги у напрямі осі X; K0 — координата центра дуги у напрямі осі Z.

Фрагмент керувальної програми, що відповідає *другому способу* задання траєкторії руху вершини різця з точки 3 в точку 4 матиме вигляд:

.....
N90 G90 G03 X72 Z-22 CR=10

.....
Пояснення: N90 — номер кадру; G90 — робота в абсолютній системі координат; G03 — рух по дузі кола проти годинникової стрілки; X72 — координата кінцевої точки кадру (т. 4) по осі X; Z-22 — координата кінцевої точки кадру (т. 4) по осі Z; CR=10 — радіус дуги.

Фрагмент керувальної програми, що відповідає *третьому способу* задання траєкторії руху вершини різця з точки 3 в точку 4 матиме вигляд:

.....
N100 G90 G03 X72 Z-22 AR=90

.....
Пояснення: N100 — номер кадру; G90 — робота в абсолютній системі координат; G03 — рух по дузі кола проти годинникової стрілки; X72 — координата кінцевої точки кадру (т. 4) по осі X; Z-22 — координата кінцевої точки кадру (т. 4) по осі Z; AR=90 — кут дуги.

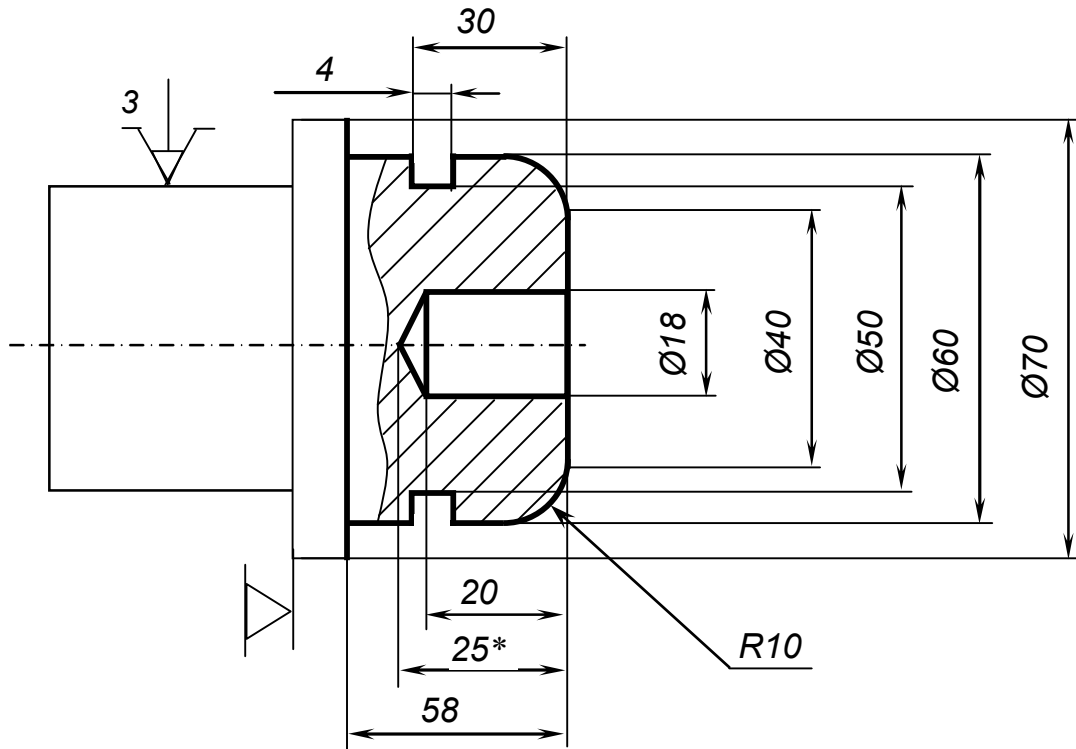
Фрагмент керувальної програми, що відповідає *четвертому способу* задання траєкторії руху вершини різця з точки 3 в точку 4 матиме вигляд:

.....
N110 G90 G03 I10 K0 AR=90

.....
Пояснення: N110 — номер кадру; G90 — робота в абсолютній системі координат; G03 — рух по дузі кола проти годинникової стрілки; I10 — координата центра дуги у напрямі осі X; K0 — координата центра дуги у напрямі осі Z; AR=90 — кут дуги.

**Приклад розробки керувальної програми
для операції механічної обробки на верстаті 16K20T1.02
з СЧПК «SINUMERIK 802D»**

Операційний ескіз



**Розмір для довідок*

Початкові дані

1. Матеріал заготовки — Сталь 45.
2. Спосіб виготовлення заготовки — штампування на КГШП.

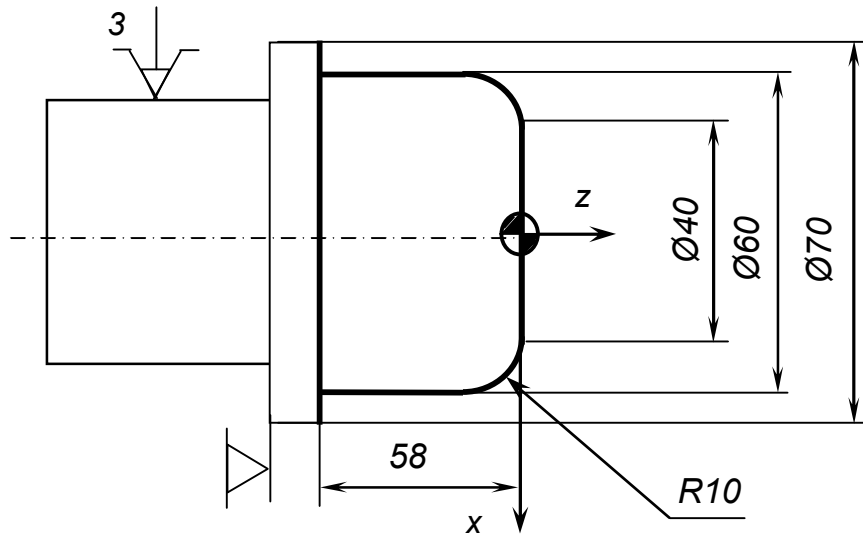
Різальний інструмент

- 1 перехід — різець прохідний, підрізний, $\varphi = 95^\circ$, матеріал Т15К6.
- 2 перехід — свердло спіральне $\varnothing 18$ мм, матеріал Р6М5.
- 3 перехід — різець відрізний, ширина пластини 4 мм, матеріал Т15К6.

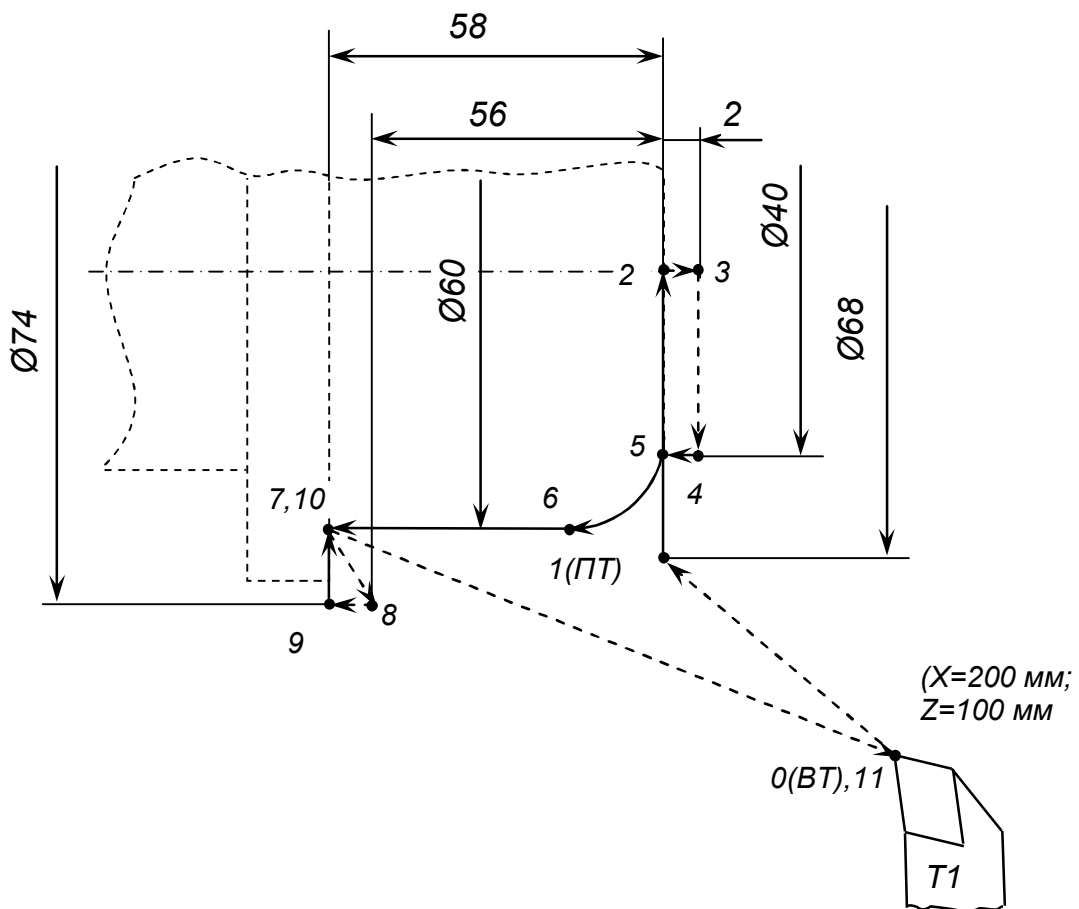
Режими обробки

№ переходу	Частота обертання шпинделя, об/хв	Подача, мм/об
1	600	0,2
2	300	
3	400	0,1

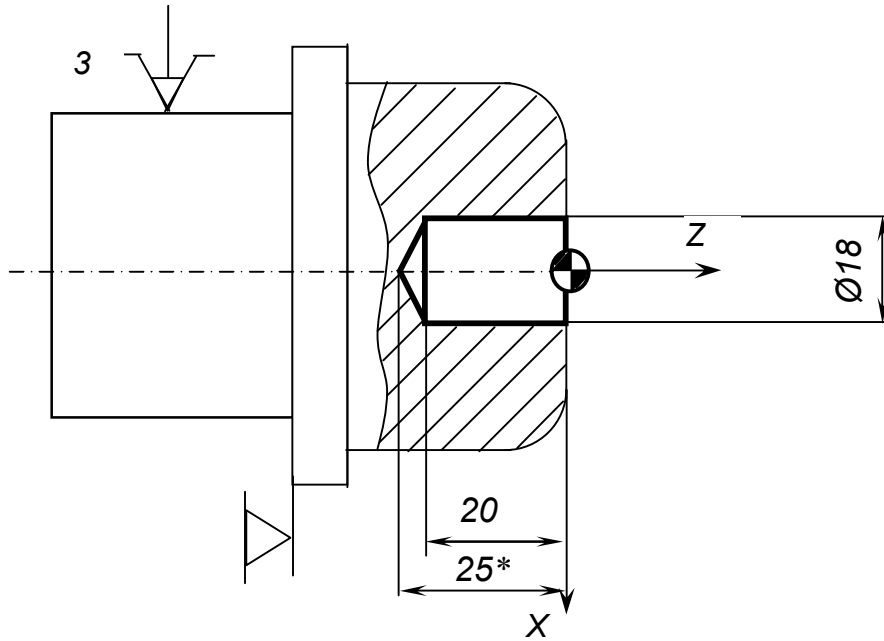
1 перехід



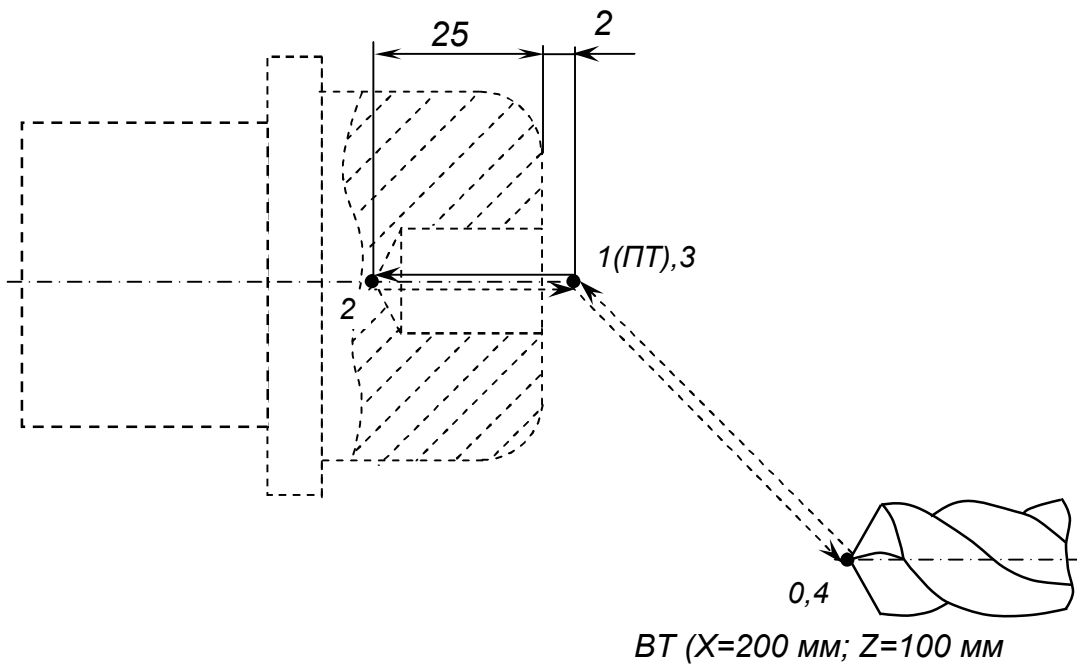
Циклограма руху вершини різця



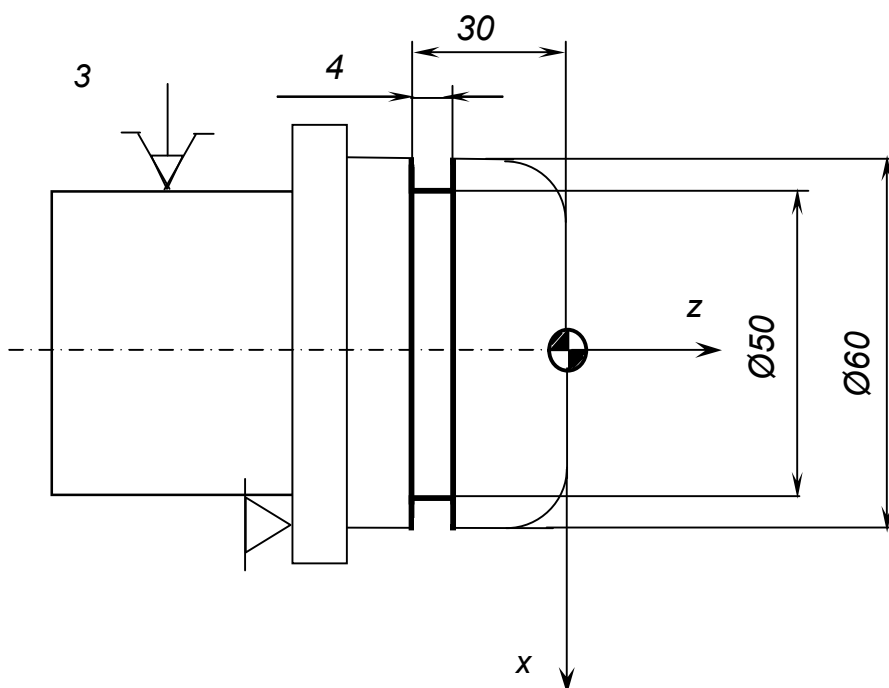
2 перехід



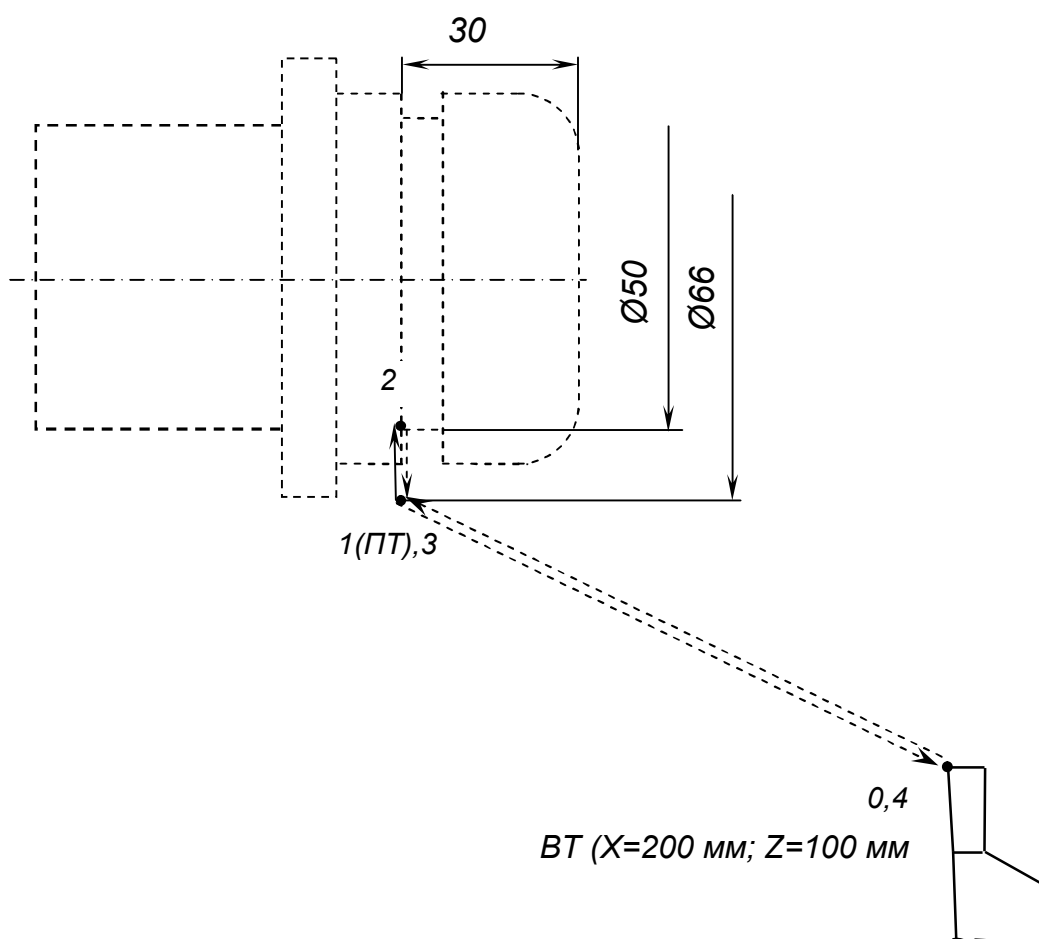
Циклограма руху свердла



3 перехід



Циклограма руху вершини різця



Керувальна програма

Зміст кадрів	Пояснення змісту кадрів
N10 G90 S600 M3	Абсолютна система координат. Частота обертання шпинделя 600 об/хв. Обертання шпинделя проти годинникової стрілки.
1 перехід	
N20 T1	Встановлення прохідного різця в робочу позицію
N30 G0 X68 Z0	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 1 (початкову точку)
N40 G1 F0.2 X0	Рух з робочою подачею в точку 2
N50 G0 Z2	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 3
N60 G0 X40 Z0	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 4
N70 G1 F0.2	Рух з робочою подачею в точку 5
N80 G2 X60 Z-10 CR=10	Рух з робочою подачею в точку 6 по дузі кола (радіус 10 мм) за годинниковою стрілкою
N90 G1 Z-58	Рух з робочою подачею в точку 7
N90 G0 X74 Z-56	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 8
N100 G0 Z-58	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 9
N110 G1 X60	Рух з робочою подачею в точку 10
N120 G0 X200 Z100	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 11 (точка заміни інструмента)
2 перехід	
N130 T2	Встановлення свердла в робочу позицію
N140 S300 M3	Частота обертання шпинделя 300 об/хв. Обертання шпинделя проти годинникової стрілки.
N150G0 X0 Z2	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 1 (початкову точку)
N160 G01 F0.2 Z-25	Рух з робочою подачею в точку 2
N170 G0 Z2	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 3
N180 G0 X200 Z100	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 4 (точка заміни інструмента)

Зміст кадрів	Пояснення змісту кадрів
3 перехід	
N190 T3	Встановлення відрізного різця в робочу позицію
N200 S400 M3	Частота обертання шпинделя 400 об/хв. Обертання шпинделя проти годинникової стрілки.
N210 G0 X66 Z30	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 1 (початкову точку)
N220 G1 F0.1 X50	Рух з робочою подачею в точку 2
N230 G0 X66	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 3
N240 G0 X200 Z100	Швидке переміщення (позиціонування) в точку 4 (точка заміни інструмента)
N250 M5 M30	Зупинка шпинделя. Кінець програми з поверненням до її початку

2.4.6 Зони і схеми токарної обробки

Залежно від конфігурації заготовки до початку обробки на певному переході і бажаної її конфігурації після обробки розрізняють відкриту (рис. 2.6, а), напіввідкриту (рис. 2.6, б) і закриту (рис. 2.6, в) зони обробки. Кожна зона токарної обробки на верстатах з ЧПК зазвичай відповідає одному технологічному переходу і формується залежно від конструкції вихідної заготовки і типу різця, що використовується на цьому переході.

Для зрізання напусків і припусків використовують такі типові циклограми руху вершини різця: «петля», «зигзаг», «спуск» (рис. 2.7 — 2.9).

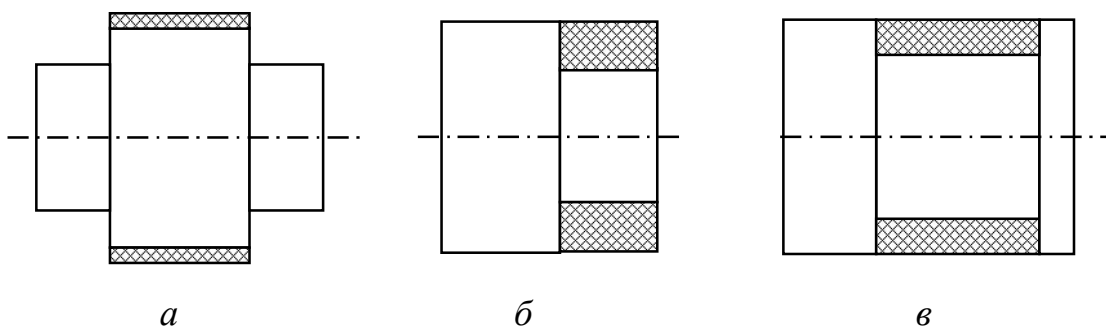


Рисунок 2.6 — Зони токарної обробки:
a — відкрита; *б* — напіввідкрита; *в* — закрита

Схема «петля» (рис. 2.7) застосовується для обробки відкритих та напіввідкритих зон. Характеризується ця схема тим, що різець виконує робочий хід тільки в одному напрямі. Після закінчення робочого ходу він відводиться на невелику відстань (близько 0,5 мм) від обробленої поверхні і після цього повертається під час допоміжного ходу назад (для виконання наступного робочого ходу).

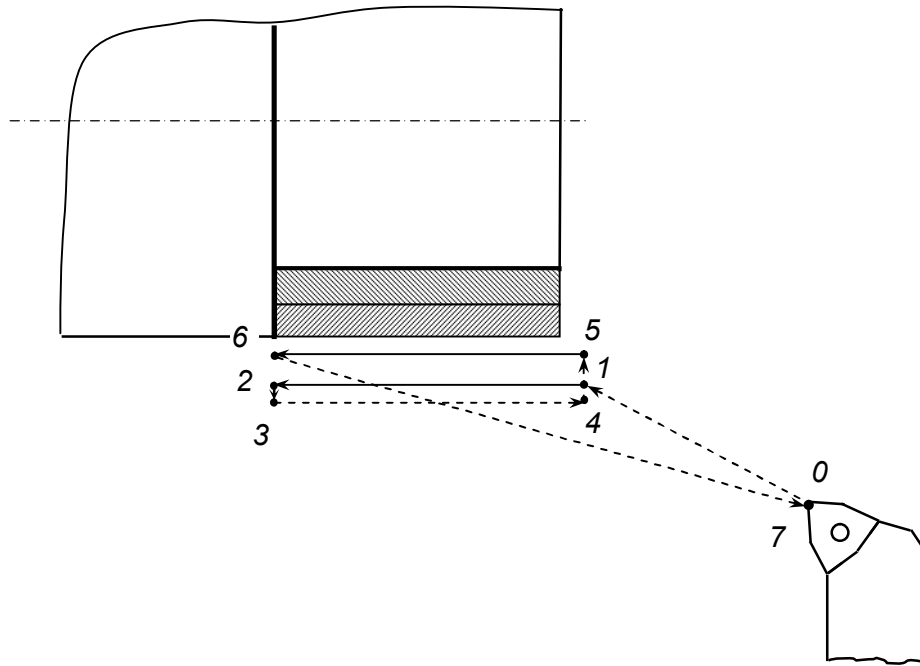


Рисунок 2.7 — Циклограма руху вершини різця за схемою «петля»

У схемі «зигзаг» (рис. 2.8) робочий хід здійснюється в обох напрямках. Ця схема використовується найчастіше під час обробки напіввідкритих і закритих зон, наприклад під час точіння широких канавок різцями з тригранною пластиною.

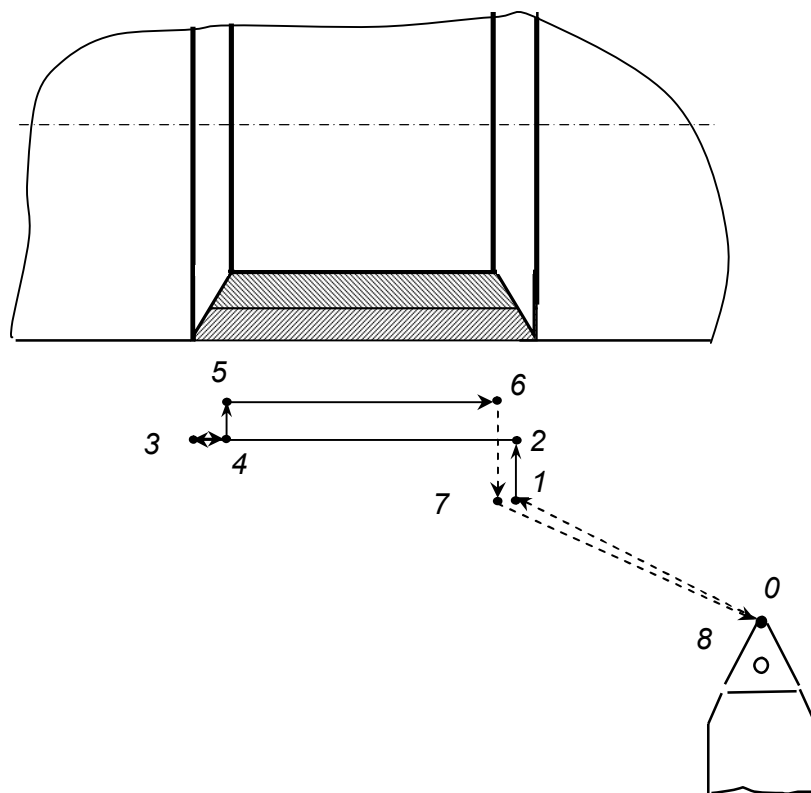


Рисунок 2.8 — Циклограма руху вершини різця за схемою «зигзаг»

Схема «спуск» (рис. 2.9) передбачає видалення напуску радіальним переміщенням різця. Найчастіше цю схему використовують для чорнової обробки закритих зон.

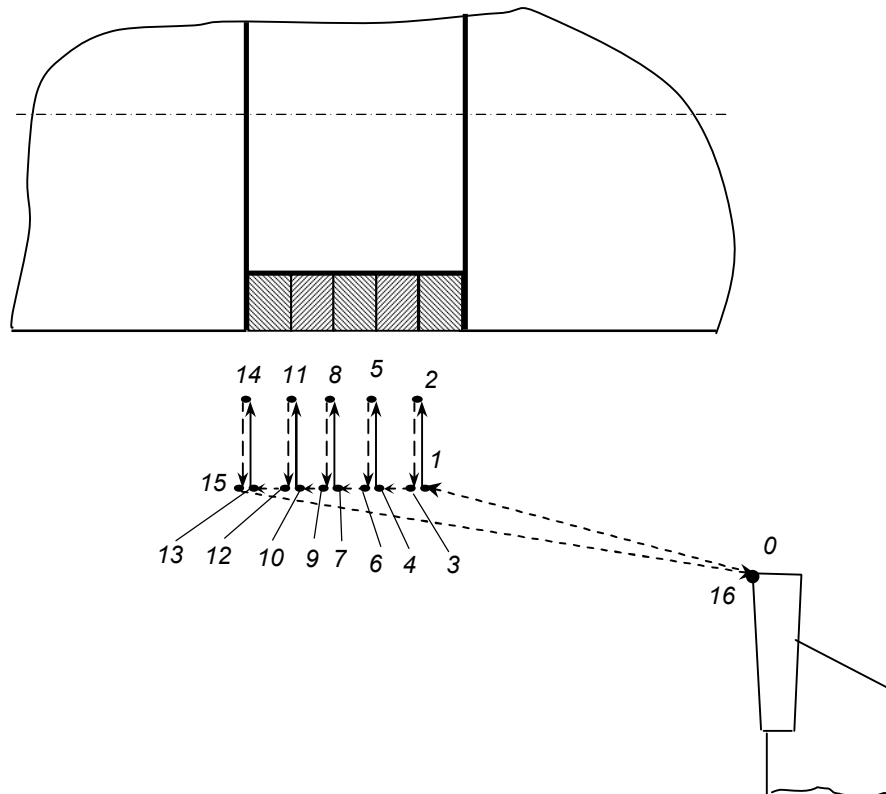


Рисунок 2.9 — Циклограма руху вершини різця за схемою «спуск»

2.5 Особливості підготовки керувальних програм для свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів

У цьому підрозділі розглядаються основні правила і приклади підготовки керувальних програм для багатоінструментального фрезерного верстата з ЧПК ГФ2171С5 із системою ЧПК «2С42-65». Детальний розгляд цих питань міститься у [8].

2.5.1 Призначення та технічні характеристики верстата

Консольний вертикально-фрезерний верстат з числовим програмним керуванням і пристроєм автоматичної заміни інструментів (рис. 2.10) призначений для багатоцільової обробки деталей складної конфігурації. На ньому можна здійснювати торцеве і фасонне фрезерування, фрезерування різі в отворах, свердління, зенкерування, розвірчування, розточування, нарізання різі мітчиками та інші види механічної обробки.

Верстат оснащений слідкувальними приводами подач. Пристрій ЧПК типу 2С42-65 забезпечує керування переміщеннями робочих органів верстата по трьох координатних осях: поздовжнім (вісь X) і поперечним (вісь Y) переміщеннями столу, вертикальним переміщенням повзуна шпиндельної головки (вісь Z).

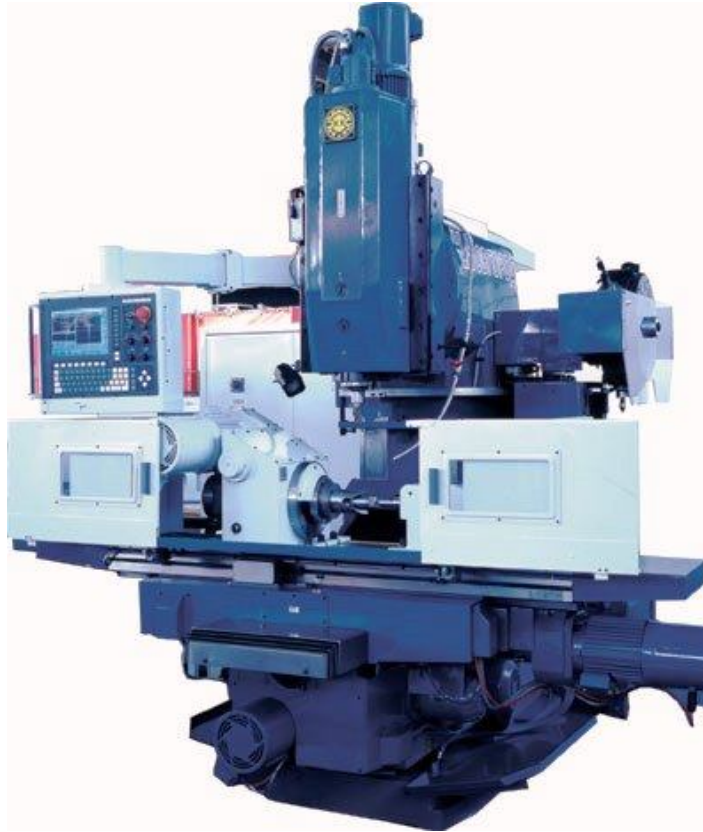


Рисунок 2.10 — Вертикальний консольний багатоінструментальний фрезерний верстат з ЧПК моделі ГФ2171С5

Стіл верстата і повзун шпинделя переміщується високомоментними електродвигунами постійного струму через одноступінчасті редуктори і передачі «гвинт-гайка» кочення.

Верстат може комплектуватися поворотним столом (як додаткова опція), що керується від системи ЧПК (рис. 2.10). У цьому випадку верстат працює як чотирикоординатний.

Технічні характеристики верстата ГФ2171С5

Кількість керованих координат.....	3
Кількість одночасно керованих координат за лінійної/кругової інтерполяції.....	3/2
Розміри робочої поверхні столу (довжина×ширина), мм	1600×400
Максимальне навантаження на стіл, Н.....	4000
Найбільше поздовжнє переміщення столу (X), мм.....	1010
Найбільше поперечне переміщення столу (Y), мм.....	400

Найбільше вертикальне переміщення повзуна (Z).....	260
Найбільше вертикальне (установочне) переміщення консолі, мм.....	250
Діапазон робочих подач столу і повзуна, мм/хв.....	3 — 6000
Швидкість прискорених переміщень столу і повзуна, мм/хв.....	7000
Діапазон відстаней від торця шпинделя до площини столу, мм....	250 — 500
Відстань від осі шпинделя до вертикальних напрямних станини, мм....	500
Точність позиціювання, мм.....	0,015
Дискрета (найменше програмоване переміщення), мм.....	0,01
Діапазон частот обертання шпинделя, об/хв.....	50 — 2500
Конус шпинделя (за ГОСТ 24644—81).....	50
Кількість гнізд інструментального магазину, шт.....	12
Час заміни інструмента, с.....	20
Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт.....	7,5

2.5.2 Розробка керувальних програм для багатоінструментального фрезерного верстата з ЧПК ГФ2171С5 із системою ЧПК 2С42-65

2.5.2.1 Загальні відомості

Основні символи адрес, найменування і значення підготовчих функцій G, допоміжних функцій M відповідають ГОСТ 20999-83 і наведені у таблицях 2.1, 2.2 і 2.3.

2.5.2.2 Програмування швидкості головного руху (частоти обертання шпинделя)

Спочатку потрібно вказати напрям обертання шпинделя за допомогою функцій M03 або M04. Потім задати кількісне значення частоти обертання шпинделя в об/хв за допомогою адреси S.

Приклад.

Необхідно задати частоту обертання шпинделя 800 об/хв для свердління отвору.

Фрагмент керувальної програми:

.....
N40 M03 S800
.....

Потрібно зазначити, що діапазон частот обертання шпинделя верстата ГФ2171С5 становить 50 — 2500 об/хв.

2.5.2.2 Програмування подачі

В керувальній програмі може задаватися прискорений рух інструмента і рух інструмента з робочою подачею.

Швидкість прискореного переміщення інструмента для верстата ГФ2171С5 становить 7000 мм/хв і задається функцією G00. Ця функція не є модальною. Тобто, її потрібно задавати в кожному кадрі, у якому програмується прискорене переміщення.

В системі ЧПК 2С42-65 рух інструмента з робочою подачею може задаватися лише в мм/хв за допомогою функції F.

Приклад.

Необхідно задати подачу 100 мм/хв.

Фрагмент керувальної програми:

```
.....  
N40 F100  
.....
```

Подачу в мм/хв. зазвичай задається під час фрезерування. Для переходів свердління, зенкерування, розвірчування і розточування зручніше задавати подачу в мм/об. Для цього потрібно перерахувати потрібну подачу в мм/об ($s_{об}$) у подачу в мм/хв ($s_{хв}$) за формулою

$$s_{хв} = s_{об}n, \text{ [мм/хв]} \quad (2.1)$$

де n — частота обертання шпинделя, об/хв.

Приклад.

Припустимо, що для переходу свердління необхідно задати подачу 0,2 мм/об. Частота обертання шпинделя становить 600 об/хв. За формулою (2.1) знайдемо хвилинну подачу

$$s_{хв} = 0,2 \cdot 600 = 120 \text{ (мм/хв)}.$$

Фрагмент керувальної програми матиме вигляд:

```
.....  
N50 F120  
.....
```

Потрібно зауважити, що діапазон робочих подач верстата ГФ2171С5 становить 3 — 6000 мм/хв.

2.5.2.2 Програмування встановлення інструмента у шпиндель

В магазин верстата ГФ2171С5 можна встановити дванадцять інструментів. Номери позицій позначено на торці ротора інструментального магазину. Поворот ротора для вибору необхідного інструмента захватом маніпулятора відбувається з використанням функції T із зазначення номера потрібного інструмента (наприклад, T1, T3, T6 і т. д.).

2.5.2.3 Корекція інструмента

Під час розробки керувальних програм для свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів з ЧПК завжди програмується рух базової точки шпинделя. Базова точка знаходиться на перетині торця шпинделя з віссю його обертання. Це забезпечує універсальність керувальних програм.

Для врахування реальних довжин інструментів (торцевих і кінцевих фрез, свердел, розточувальних оправок і розточувальних головок та ін.) зразу ж після команди встановлення потрібного інструмента у шпиндель в керувальній програмі має міститися функція G43 корекції довжини (вильоту) інструмента у напрямі осі Z і функція H номера коректора (наприклад H01, H02 і т. д.), у якому знаходиться інформація про реальну довжину (виліт) саме цього інструмента. Під вильотом інструмента у цьому випадку розуміють відстань від базової точки інструмента до його вершини. Ця відстань попередньо вимірюється поза верстатом за допомогою спеціальних точних оптичних пристроїв, наприклад приладу типу БВ-2015, і після цього кількісне значення відстані вводиться у відповідний коректор. Ціна поділки вимірювальних мікроскопів типу БВ-2015 становить 0,001 мм.

Точність базувальної поверхні шпинделя і базових поверхонь хвостовиків допоміжних або різальних інструментів забезпечує їх установа з похибкою, яка не перевищує 0,002 — 0,004 мм. Це забезпечує практично повне суміщення базової точки інструмента з базовою точкою шпинделя.

Приклад.

Необхідно встановити у шпиндель спіральне свердло (T7) і ввести корекцію його довжини. Інформація про виліт свердла розміщена у коректорі H03.

Фрагмент керувальної програми матиме вигляд:

```
.....  
N60 T7 G43 H03  
.....
```

Функція G49 скасовує задані раніше корекції довжин всіх інструментів.

За необхідності у керувальній програмі може вводитись корекція радіуса інструмента. Така потреба виникає, наприклад, якщо заготовка фрезується по контуру кінцевою фрезою. Корекція радіуса фрези програмується за допомогою функцій G41 і G42. Приклад використання показано на рис. 2.11.

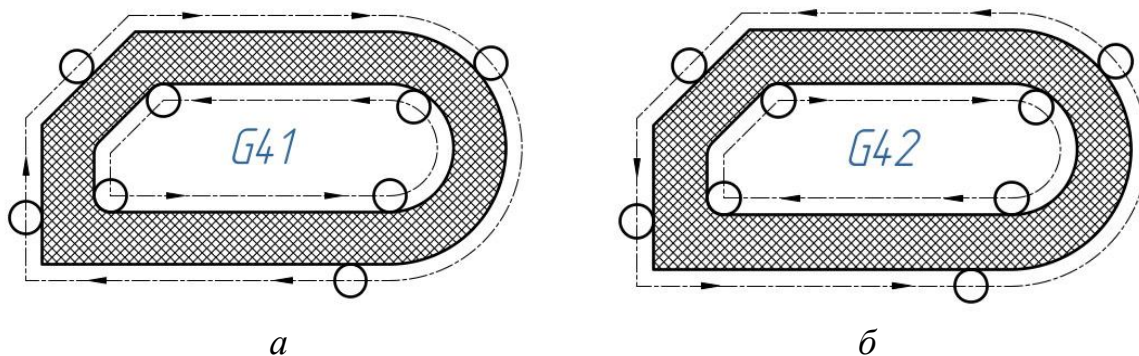


Рисунок 2.11 — Уведення корекції радіуса фрези:

а — оброблювана поверхня розташована праворуч від фрези (функція G41);
б — оброблювана поверхня розташована ліворуч від фрези (функція G42)

Приклад.

Необхідно встановити у шпиндель кінцеву фрезу (T8) і увести корекцію її радіуса. Інформація про радіус фрези розміщена в коректорі D04. Під час обходу фрезою контуру заготовки фреза розташовуватиметься праворуч від фрези (функція G41).

Фрагмент керувальної програми матиме вигляд:

```
.....  
N40 T8 G41 D04
```

.....
Функція G40 скасовує задані раніше корекції радіусів усіх інструментів.

Детальніша інформація про особливості введення корекції радіусів інструментів міститься у [8].

2.5.2.3 Програмування розмірних переміщень

Система ЧПК 2C42-65 дозволяє задавати переміщення інструмента як в абсолютній, так і у відносній системах відліку.

В абсолютній системі відліку переміщення відбуваються відносно початку системи координат деталі. В кадрі задаються координати точки, у яку має переміститися вершина інструмента внаслідок виконання цього кадру.

У відносній системі відліку переміщення програмуються відносно координат кінцевої точки попереднього кадру.

Функції G90 визначає задання переміщень в абсолютній системі відліку, а функція G91 — у відносній системі відліку. Обидві функції є модаль-

ними. Наприклад, якщо в одному з кадрів запрограмована функція G90, то вона буде діяти, поки не буде замінена функцією G91, і навпаки.

Для програмування переміщень в абсолютній системі відліку необхідно обов'язково попередньо задати початок системи координат деталі. Рекомендації щодо вибору розташування початку системи координат деталі описано у підрозділі 2.1.

Залежно від конструкції заготовки, на операції її обробки можуть використовуватись від однієї до п'яти систем координат деталі. Задання розташування початку системи координат деталі здійснюється за допомогою функцій G54 — G59. Для цього оператор під час підготовки верстата до обробки партії заготовок має внести у пам'ять пристрою ЧПК інформацію про розташування початків всіх систем координат деталі, які використовуватимуться на цій операції. Кожна з групи функцій G54 — G59 є модальною, тобто діє до появи у тексті програми іншої функції з цієї самої групи.

Задання переміщення у напрямі осі X, Y або Z забезпечується командами з буквеними адресами відповідно «X», «Y» або «Z». Найменше запрограмоване переміщення (дискрета) по цих осях для верстата ГФ2171С5 становить 0,01 мм. У словах, які визначають розмірні переміщення (функції X, Y, Z) величини переміщень задають в міліметрах. Якщо величина переміщення має дробову частину, то як десятковий розділювач використовують крапку.

Програмування прямолінійного руху (лінійна інтерполяція)

Прямолінійний рух програмується функцією G01. Якщо в кадрі вказано координати кінцевої опорної точки, але не вказану функцію G01, то лінійна інтерполяція буде виконуватись «за замовчуванням».

Приклад

Необхідно запрограмувати в абсолютній системі координат рух інструмента по прямій лінії з подачею 200 мм/хв з точки 1 в точку 2 (рис. 2.12).

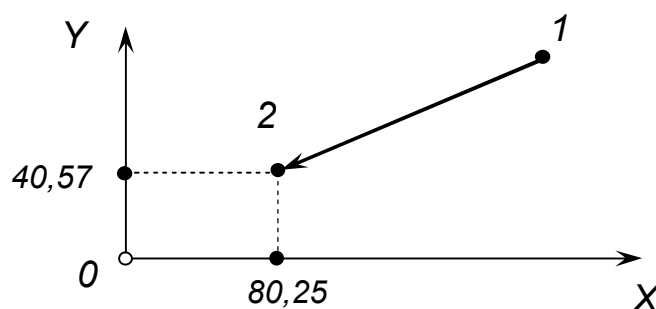


Рисунок 2.12 — До прикладу програмування розмірних переміщень по прямій лінії

Фрагмент керувальної програми матиме вигляд:

```
.....  
N50 G90 G01 F200 X80.25 Y40.57  
.....
```

Програмування руху по дузі кола (колова інтерполяція)

Рух по дузі кола (колова інтерполяція) програмується за допомогою функції G02 (рух інструмента за годинниковою стрілкою) або функції G03 (рух інструмента проти годинникової стрілки). Таким чином, одна з цих функцій має бути вказана у відповідному кадрі керувальної програми. Крім того, у цьому ж кадрі має бути вказана функція, що визначає одну з трьох можливих площин, у якій буде відбуватися рух по колу: G17 — площина інтерполяції XY; G18 — площина інтерполяції XZ; G19 — площина інтерполяції YZ.

У кадрі мають бути вказані координати кінцевої опорної точки. Для цього, залежно від площини інтерполяції, використовують функції X, Y або Z. Крім кількісних значень цих функцій, мають бути задані відстані від початкової точки кадру до центра дуги кола у напрямі осей X, Y або Z; для цього відповідно використовують функції I, J або K. Кількісні значення I, J або K задаються в приращеннях. Залежно від напрямку функцій I, J або K потрібно вибрати для них відповідний знак. Знак «+» можна не вказувати.

Система ЧПК 2C42-65 дозволяє в одному кадрі програмувати рух по дузі кола з кутом від 0 до 360°. Якщо в кадрі задається рух по повному колу (кут 360°), то жодна з функцій X, Y, Z у цьому кадрі не задається.

Приклад

Необхідно запрограмувати в абсолютній системі координат рух інструмента по дузі кола з подачею 150 мм/хв з точки 1 в точку 2 (рис. 2.13).

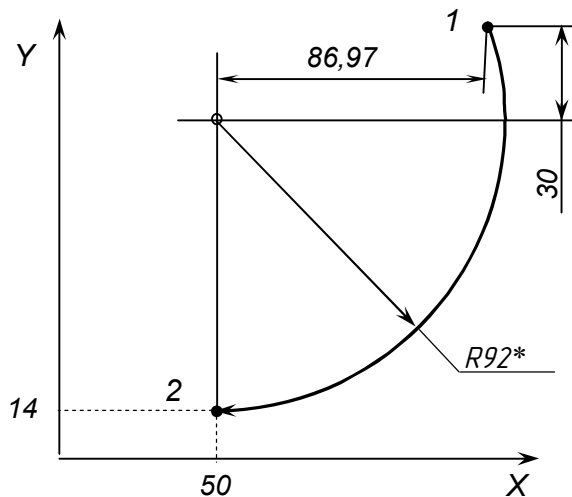


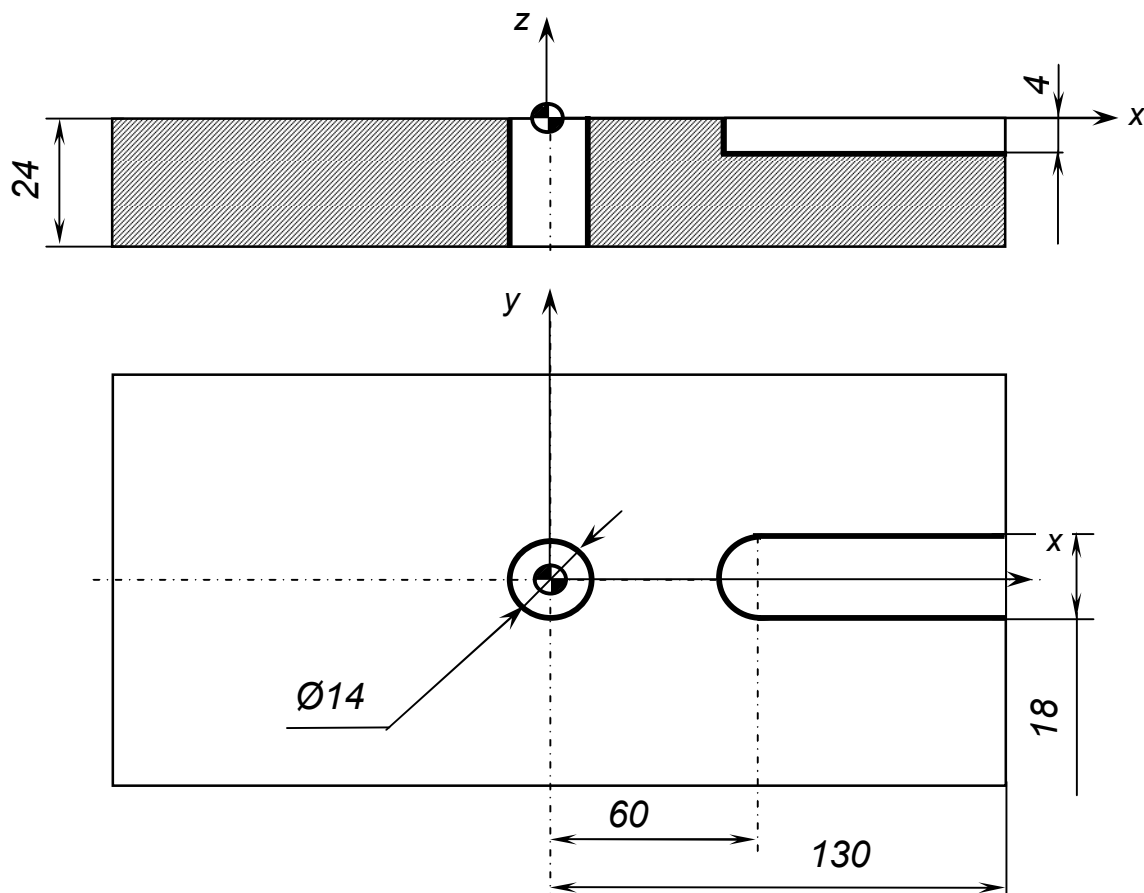
Рисунок 2.13 — До прикладу програмування розмірних переміщень по дузі кола

Фрагмент керувальної програми матиме вигляд:

```
.....  
N55 G90 G02 G17 F150 X50 Y14 I 86.97 J - 30  
.....
```


**Приклад розробки керувальної програми
для операції механічної обробки на вертикально-фрезерному
верстаті ГФ2171МФ3 із системою ЧПК 2С42-65**

Операційний ескіз



Режими обробки

№ пере- ходу	Інструмент	Частота обертання шпинделя, об/хв	Подача, мм/хв
1	Свердло спіральне Ø14 мм	600	100
2	Фреза кінцева Ø18 мм. Кількість зубців $z = 4$	500	

Керувальна програма

Зміст кадру	Пояснення змісту кадру
%	Код початку програми.
00001	Номер програми.
N10 G21 G40 G49 G80 G90 G54	Рядок безпеки: G21 — метрична система відліку; G40 — відміна корекції на радіус; G49 — відміна корекції на довжину; G80 — відміна всіх постійних циклів; G90 — абсолютна система відліку. G54 — вибір системи координат деталі.
N20 M06 T1	Встановлення свердла Ø14 мм.
N30 G43 H01	Корекція довжини (вильоту) свердла.
N40 M03 S600	Вмикання обертання шпинделя ($n = 600$ об/хв).
N50 G00 X0.0 Y0.0	Позиціювання (швидке переміщення) інструмента (свердла) по осях X і Y.
N60 G00 Z3.0	Швидке переміщення свердла в початкову точку по осі Z.
N70 M08	Вмикання подачі ЗОР.
N80 G01 Z-32.0 F100	Свердління отвору.
N90 G00 Z 3.0	Швидке виведення свердла з отвору.
N100 G00 X0.0 Y0.0 Z 300 M09	Швидке відведення шпинделя в точку заміни інструмента, вимикання подачі ЗОР.
N110 M05	Зупинка обертання шпинделя.
N120 G49	Відміна корекції на довжину.
N130 M06T2	Встановлення кінцевої фрези Ø18 мм.
N140 G43 H02	Корекція довжини (вильоту) фрези.
N150 M03 S500	Вмикання обертання шпинделя ($n = 500$ об/хв).
N160 G00 X142.0 Y0.0	Позиціювання фрези по осях X і Y.
N170 G00 Z-4.0	Швидке переміщення фрези в початкову точку по осі Z.

Зміст кадру	Пояснення змісту кадру
N180 M08	Вмикання подачі ЗОР.
N190 G01 X 60.0 F100	Фрезерування паза.
N200 G00 Z 3.0	Швидке виведення фрези з паза
N210 G00 X0.0 Y0.0 Z 300 M09	Швидке відведення шпинделя в точку заміни інструмента, вимикання подачі ЗОР.
N220 M05	Зупинка обертання шпинделя.
N230 G49	Відміна корекції на довжину.
N240 M30	Кінець програми.

2.5.3 Зони і схеми фрезерної обробки

Так само як і під час токарної обробки, в процесах фрезерної обробки розрізняють відкриту, напіввідкриту і закриту зони.

Фрезерування відкритих зон зазвичай виконується торцевими фрезами (рис. 2.14).

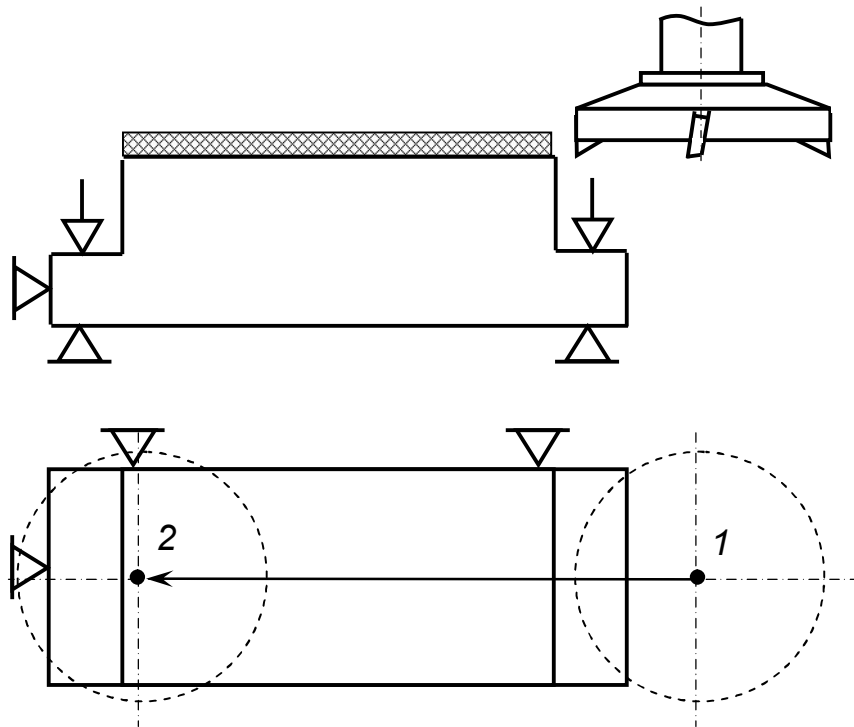


Рисунок 2.14 — Схема фрезерування відкритої зони

У цьому випадку діаметр фрези має бути більшим, ніж ширина оброблюваної поверхні. Фото торцевої фрези показано на рис. 2.15.

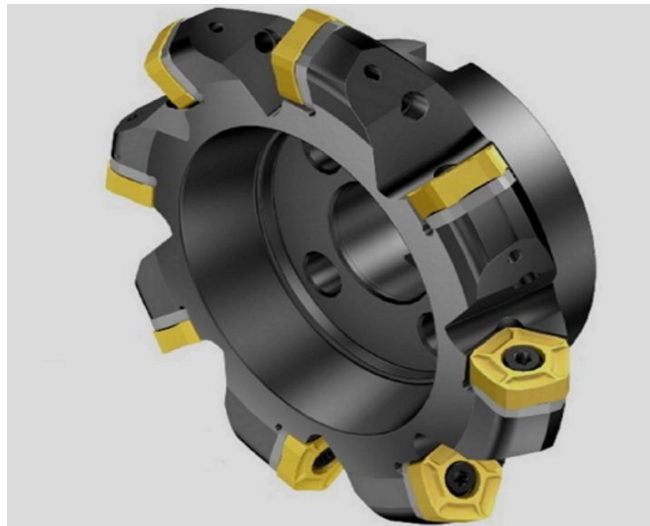


Рисунок 2.15 — Торцева фреза

Схема фрезерування напіввідкритих зон показана на рис. 2.16. Фрезерування напіввідкритих зон виконується кінцевими фрезами (рис. 2.17). Для забезпечення найбільшої продуктивності під час попередньої обробки глибина різання і подача вибираються максимально можливими, тобто такими, які дозволяють потужність приводів подачі і міцність фрези.

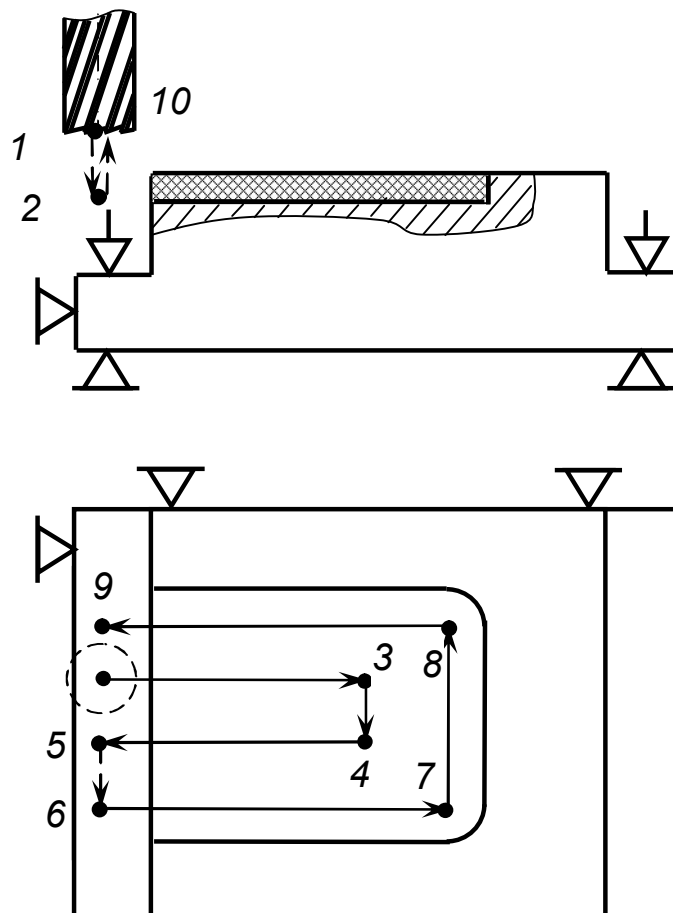


Рисунок 2.16 — Схема фрезерної обробки напіввідкритої зони



Рисунок 2.17 — Кінцева фреза (ГОСТ 17025—71)

Фрезерування закритих зон (рис. 2.18) також виконується кінцевими фрезами.

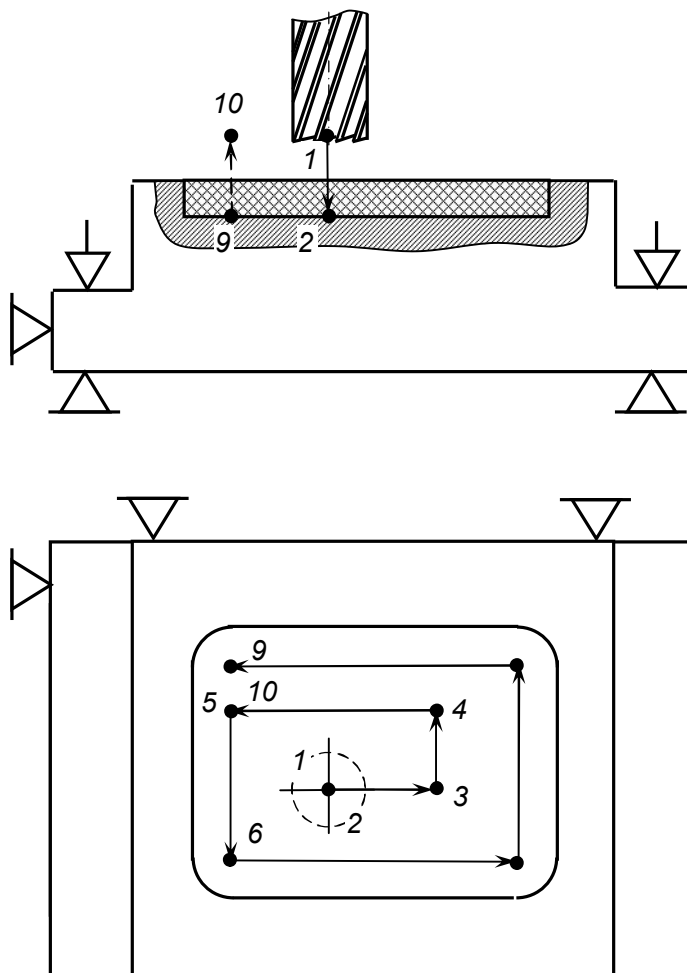


Рисунок 2.18 — Схема фрезерної обробки закритої зони



Рисунок 2.19 — Кінцева фреза з центральним зубом
(не потребує попереднього засвердлювання)

За наявності наскрізних отворів у вихідній заготовці кінцева фреза під час їх обробки по контуру має рухатись по траєкторіях (циклограмах), які показано на рис. 2.20.

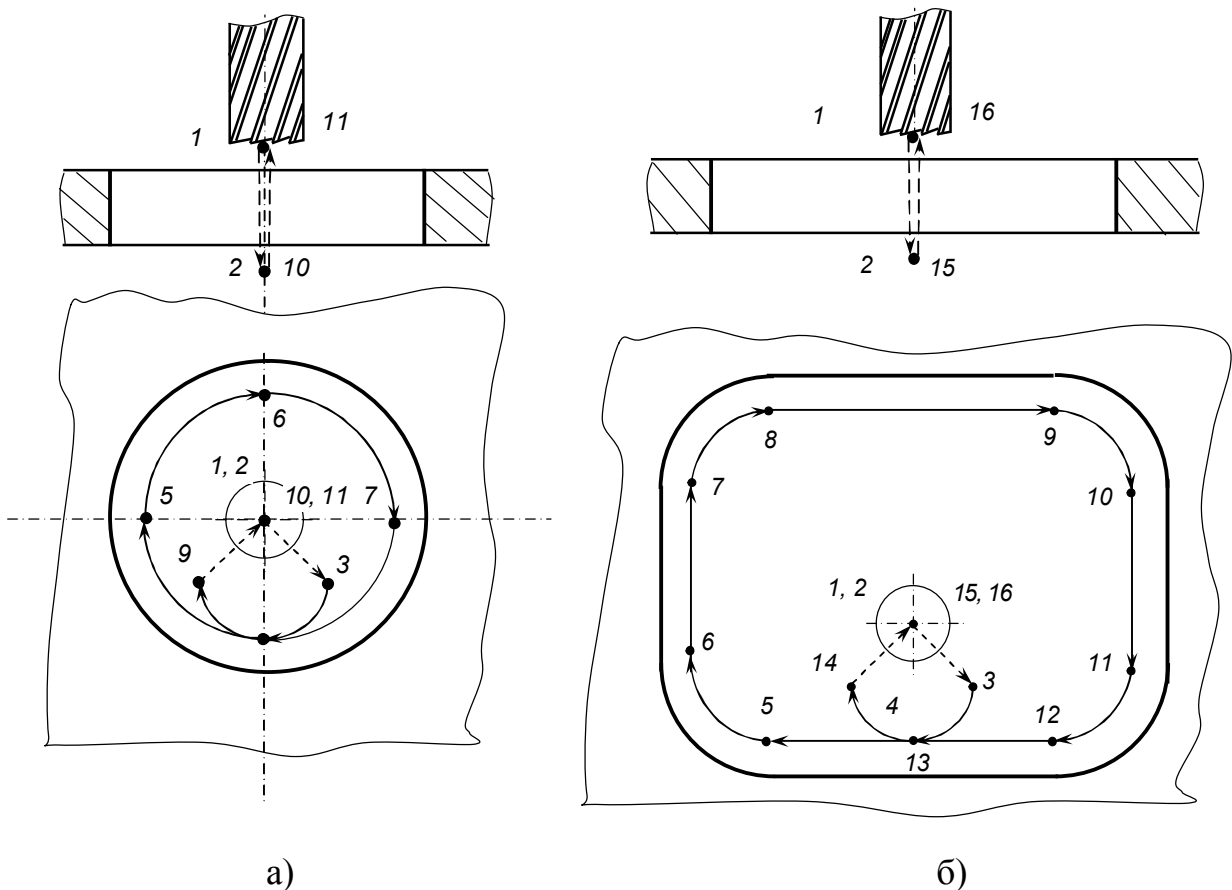


Рисунок 2.20 — Циклограми фрезерування по контуру круглого (а) і прямокутного (б) наскрізних отворів

2.6 Поняття постійних циклів

Постійні цикли — це спеціальні програми, закладені в СЧПК для виконання стандартних операцій механічної обробки. Такі цикли спрощують процес написання КП і економлять час на її розробку, оскільки дозволяють за допомогою одного кадру забезпечити обробку значної кількості однакових елементів.

Всі токарні і свердлильно-фрезерно-розточувальні верстати з ЧПК мають набір постійних циклів — свердління, розточування, нарізання різі та ін.

Верстати з ЧПК можуть мати декілька постійних циклів: від досить простих — для свердління, розточування, нарізання різі до складніших — для обробки контурів і заглиблень. Деякі постійні цикли уніфіковані, але більшість з них розробляються виробниками верстатів і систем ЧПУ самостійно. Тому на різних верстатах однакові по суті цикли можуть записуватися дещо по-різному.

Розглянемо постійні цикли для обробки отворів, які використовуються на переважній більшості сучасних верстатів з ЧПК.

Система ЧПК «SINUMERIK 802D» для токарних і токарних багатоцільових верстатів передбачає можливість використання таких постійних циклів:

- CYCLE81 свердління одного або декількох отворів із заданими координатами осей;
- CYCLE82 свердління одного отвору, співвісного з віссю обертання шпинделя;
- CYCLE83 глибоке свердління;
- CYCLE84 нарізання різі мітчиком;
- CYCLE85 — CYCLE89 розвірчування, розточування;
- CYCLE93, CYCLE94 точіння канавок;
- CYCLE97 нарізання різі різцем.

Система ЧПК 2C42-65 для багатоцільових верстатів свердлильно-фрезерно-розточувальних типів передбачає можливість використання таких циклів:

- G81 — свердління;
- G82 — розточування з програмуванням подачі повернення у початкову точку;
- G85 — розточування із зупинкою шпинделя в кінці робочого ходу;
- G83 — глибоке свердління з видаленням стружки;
- G86 — переривчасте свердління;
- G84 — нарізання різі мітчиком.

Як приклад розглянемо програмування одного з постійних циклів — циклу свердління одного або декількох отворів із заданими координатами осей (код G81) в системі ЧПК 2C42-65.

Згідно з ескізом обробки (рис. 2.21), потрібно обробити два наскрізних отвори Ø18 мм.

Циклограма руху свердла показано на рис. 2.22.

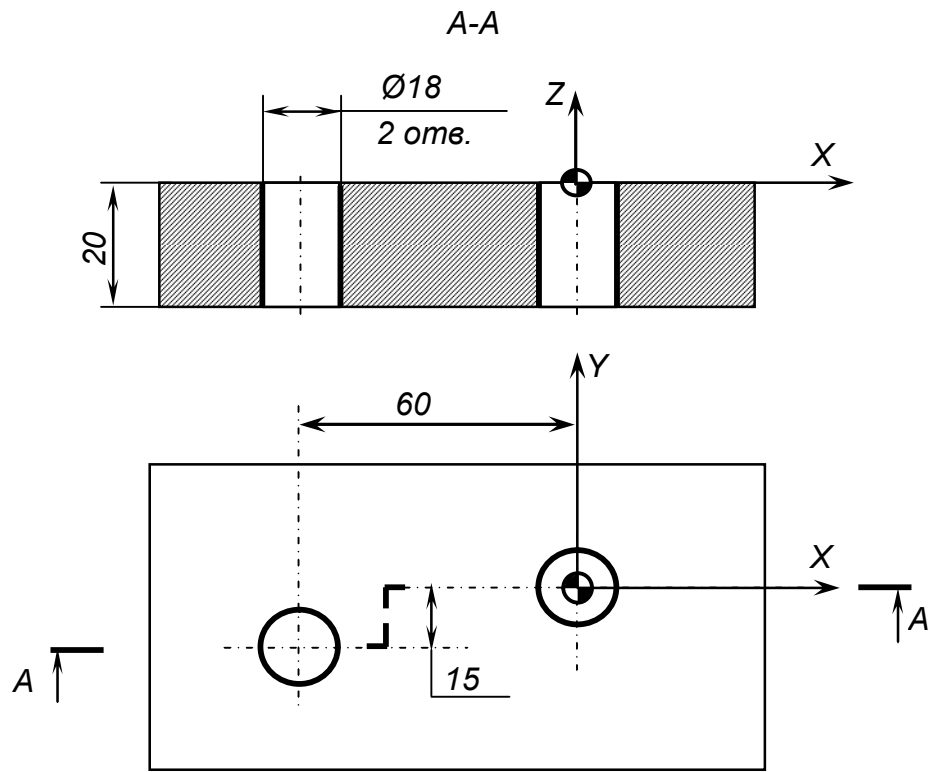


Рисунок 2.21 — Ескіз обробки

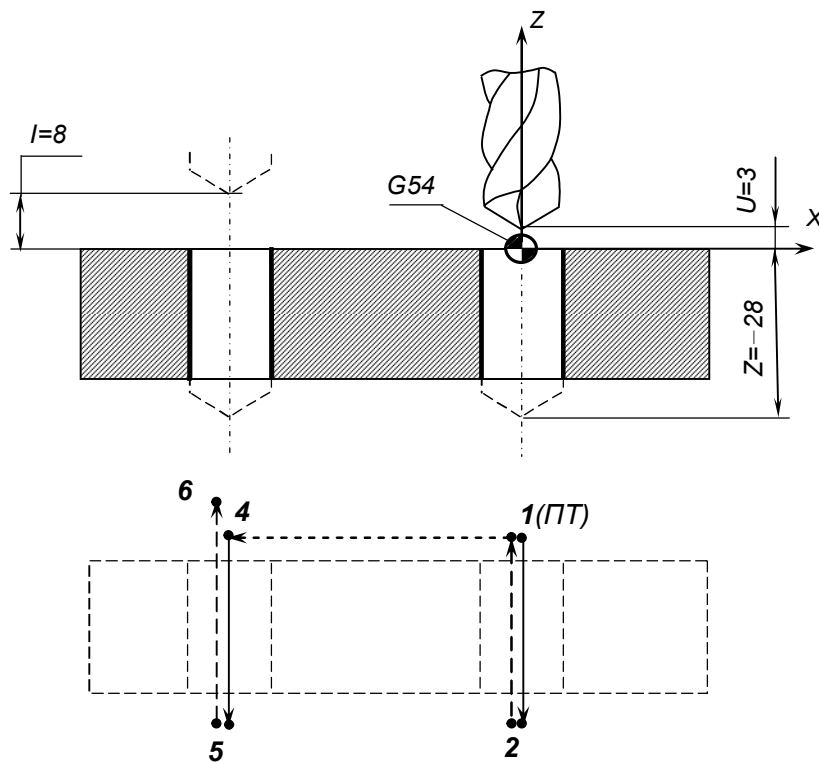


Рисунок 2.22 — Циклограма руху свердла

Перед початком виконання циклу вершина свердла має бути підведена у початкову точку *1*. Після завершення свердління обох отворів вершина свердла з прискореною подачею переміщується у точку *6*.

Фрагмент керувальної програми в абсолютній системі координат матиме вигляд:

```
N30 G54 G90 G81 U3 Z-28 F100
N31 X-60 Y-15 G81 I8
```

Пояснення: N30 — номер кадру, у якому запрограмовано свердління першого отвору; G54 — вибір розташування початку системи координат деталі; G90 — робота в абсолютній системі координат; G81 — код циклу свердління; U3 — координата точки виведення вершини свердла після свердління першого отвору; Z-28 — відстань від початку системи координат до вершини свердла після закінчення свердління; F100 — величина робочої подачі (100 мм/хв); N31 — номер кадру, у якому запрограмовано свердління другого отвору; X-60 і Y-15 — координати осі другого отвору; I8 — координата по осі Z точки виведення вершини свердла після завершення свердління другого отвору.

Розглянемо програмування в системі ЧПК 2С42-65 ще одного з постійних циклів — циклу глибокого свердління з видаленням стружки (код G83). Циклограму руху свердла показано на рис. 2.23.

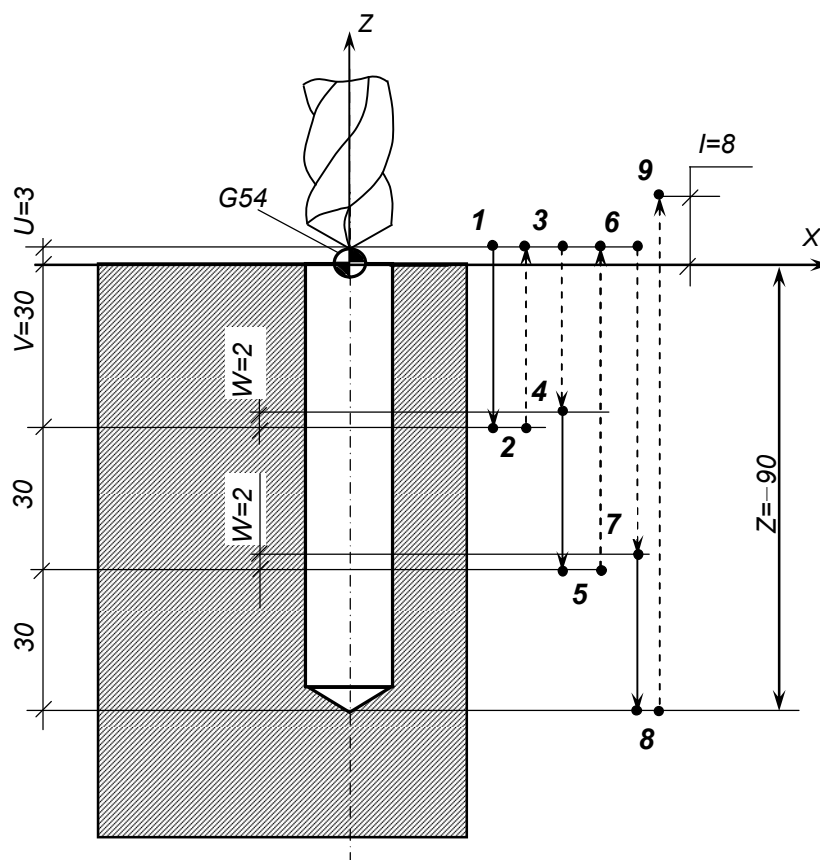


Рисунок 2.23 — Циклограма руху свердла під час виконання циклу глибокого свердління з видаленням стружки (G 83)

Фрагмент керувальної програми в абсолютній системі координат матиме вигляд:

```
N50 G54 G90 G83 U3 Z-90 V30 W2 I8 F100
```

Пояснення: N50 — номер кадру; G54 — вибір розташування початку системи координат деталі; G90 — робота в абсолютній системі координат; G83 — код циклу глибокого свердління з видаленням стружки; U3 — координата точки виведення вершини свердла для видалення стружки; Z-90 — відстань від початку системи координат до вершини свердла після закінчення свердління; V30 — довжина кроку руху свердла з робочою подачею; W2 — довжина врізання; I8 — координата точки виведення вершини свердла після завершення свердління; F100 — величина робочої подачі (100 мм/хв).

В циклах G81 і G83 після кадру, що містить координати останнього отвору, необхідно запрограмувати команду G80, яка означає скасування (відміну) постійного циклу. Якщо цього не зробити, то всі наступні координати переміщень будуть вважатися координатами оброблюваних отворів.

2.7 Основи використання систем автоматизованого програмування

Розробка керувальних програм для обладнання з ЧПК є складовою частиною технологічної підготовки виробництва і може виконуватись як в ручному режимі, так і з використанням засобів автоматизації.

У сучасному машинобудуванні розробку керувальних програм в ручному режимі виконують зазвичай тільки у випадках виготовлення деталей простої форми. Якщо ж деталь має поверхні складної форми (пуансони і матриці штампів для просторового листового та об'ємного штампування, деталі пресформ, лопаті корабельних гребних гвинтів, лопатки парових, газових і гідравлічних турбін, елементи декоративних виробів тощо), то розробка керувальних програм значно спрощується з використанням систем автоматизованого програмування пристроїв ЧПК (САП ПЧПК).

Абревіатура САП ПЧПК має близьке за значенням англomовне позначення — САМ (Computer Aided Manufacturing).

Потрібно зазначити, що термін САМ має дещо ширше значення, ніж САП ПЧПК, оскільки під ним розуміють як процес комп'ютеризованої технологічної підготовки виробництва, так і програмно-обчислювальні комплекси, використовувані інженерами-технологами.

Отже САП ПЧПК(САМ) — це комплекс спеціальних комп'ютерних програм і відповідних пристроїв, призначений для автоматизації підготовки керувальних програм для операцій, виконуваних на верстатах з ЧПК.

Структуру і склад типової САП ПЧПК показано на рис. 2.24.

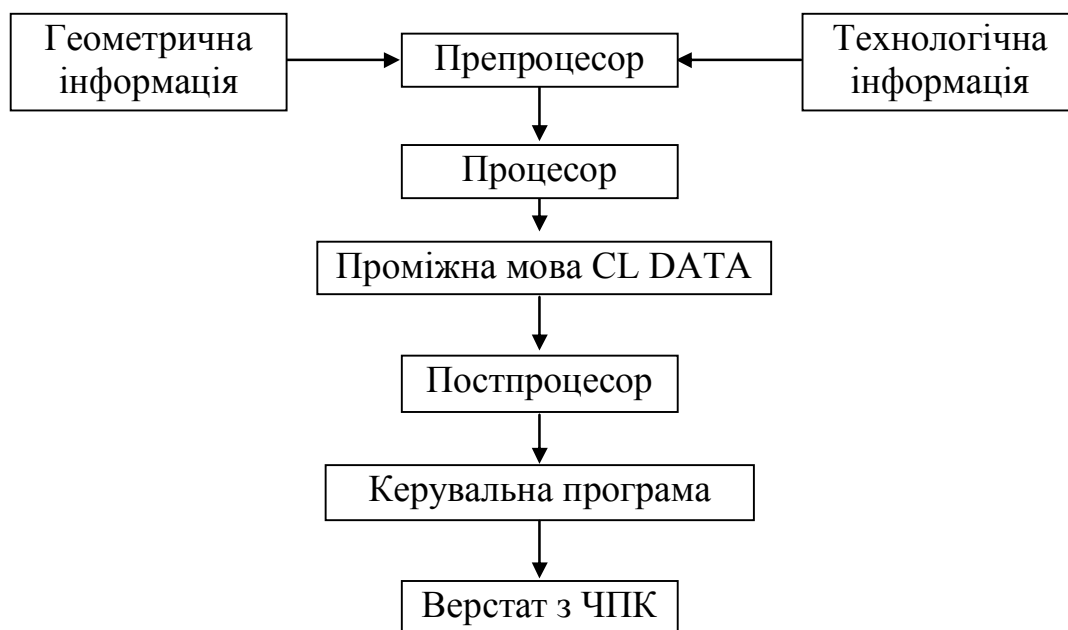


Рисунок 2.24 — Структура і склад типової САП ПЧПК(САМ)

Призначення складових САП ПЧПК таке.

Препроцесор САП ПЧПК — програмний виріб для автоматизованого розв’язання технологічних задач проектування операційної технології.

Процесор САП ПЧПК — програмний виріб для автоматизованого комплексного розв’язання геометричних і технологічних задач, а також для керування комп’ютерною обробкою даних.

Проміжна мова CL DATA (англ. Cutter Location Data — дані про розмірні переміщення різального інструмента) — внутрішня програмно-орієнтована мова призначена для формування даних, що пересилаються від процесора до постпроцесора.

Постпроцесор САП ПЧПК — програмний виріб для адаптації керувальної програми до конкретного верстата з ЧПК.

Початковими даними для розробки КП з використанням САП ПЧПК є креслення деталі, креслення заготовки і технологічний процес механічної обробки.

Загальна послідовність розробки КП для певної операції з використанням САП ПЧПК така:

- розробка тривимірної чи двовимірної моделі деталі або утворюваної на операції частини проміжної заготовки чи вже готової деталі;
- розробка тривимірної чи двовимірної моделі вихідної заготовки (якщо КП розробляється для першої операції);
- розробка тривимірної чи двовимірної моделі заготовки, отриманої внаслідок механічної обробки на попередній операції (якщо КП розробляється не для першої, а для однієї з подальших операцій);

- аналіз маршруту механічної обробки та уточнення послідовності переходів з точки зору їх виконання на верстаті з ЧПК;
- підготовка даних відповідно до вимог використовуваної САП ПЧПК;
- уведення початкових даних в САП ПЧПК;
- вибір систем координат деталі, координат точок відведення вершин інструментів для їх заміни, траєкторій неробочих ходів інструментів тощо;
- розробка послідовності обробки кожної з поверхонь з обов'язковим уведенням режимів різання, даних про різальний інструмент та інших особливостей обробки;
- виконання комп'ютерного імітування обробки і, за необхідності, внесення відповідних правок;
- вибір верстата і відповідного постпроцесора (цей етап може виконуватись і перед імітуванням обробки, якщо САП ПЧПК здатна враховувати параметри верстата під час імітації);
- формування та запис КП.

Комп'ютерні імітаційні випробування розроблюваних КП суттєво пришвидшують технологічну підготовку виробництва і дозволяють усунути більшість помилок і недоліків ще до початку використання цих програм в реальних процесах механічної обробки.

У сучасному машинобудівному виробництві зазвичай використовують комплекс САПР(CAD)/САП ПЧПК(CAM). Це дозволяє виконувати розробку креслень деталей і заготовок (зокрема їх тривимірні моделі), розробку технології механічної обробки, корегування та пересилання технологічної інформації між ланками виробництва (від конструкторів до технологів і робітників-верстатників). Застосування комплексу САПР(CAD)/САП ПЧПК(CAM) значно прискорює процес запуску у виробництво нових виробів.

За рівнем функціональної залежності САП ПЧПК поділяють на дві категорії:

- системи, які існують лише як додаток до інших систем або комплексу систем і вхідні дані для цих систем формуються іншими додатками комплексу.
- системи, які можуть використовуватись як окремий продукт.

За сферою використання САП ПЧПК розподіляють на універсальні, спеціальні та спеціалізовані.

Універсальні САП ПЧПК призначені для роботи з різнотипним обладнанням і мають широкий набір функціональних можливостей.

Спеціальні САП ПЧПК використовують для розробки керувальних програм для окремих видів операцій, наприклад тільки для фрезерних чи тільки для токарних операцій.

За допомогою *спеціалізованих САП ПЧПК* розробляють КП для виготовлення окремих видів продукції (наприклад, для виготовлення меблів, художніх виробів тощо).

У машинобудівному виробництві найчастіше використовуються універсальні або спеціальні САП ПЧПК.

Прикладом універсальної САП ПЧПК є САМ-система **SolidCAM**.

SolidCAM є комплексним програмним продуктом, який призначений для програмування верстатів з ЧПК в середовищі SolidWorks і Autodesk Inventor. Тобто САМ-система SolidCAM є модулем, вбудованим в САД-системи SolidWorks та Autodesk Inventor. Завдяки безпосередньому зв'язку з САД-системою забезпечується повна відповідність траєкторії руху інструментів і поверхонь моделі деталі чи проміжної заготовки. Усі переходи, необхідні для виготовлення деталі, можуть бути передбачені, обчислені і перевірені безпосередньо у вікні САД-системи без виходу з параметричного середовища побудови складального креслення.

Робоче вікно програми SolidCAM показано на рис 2.25.

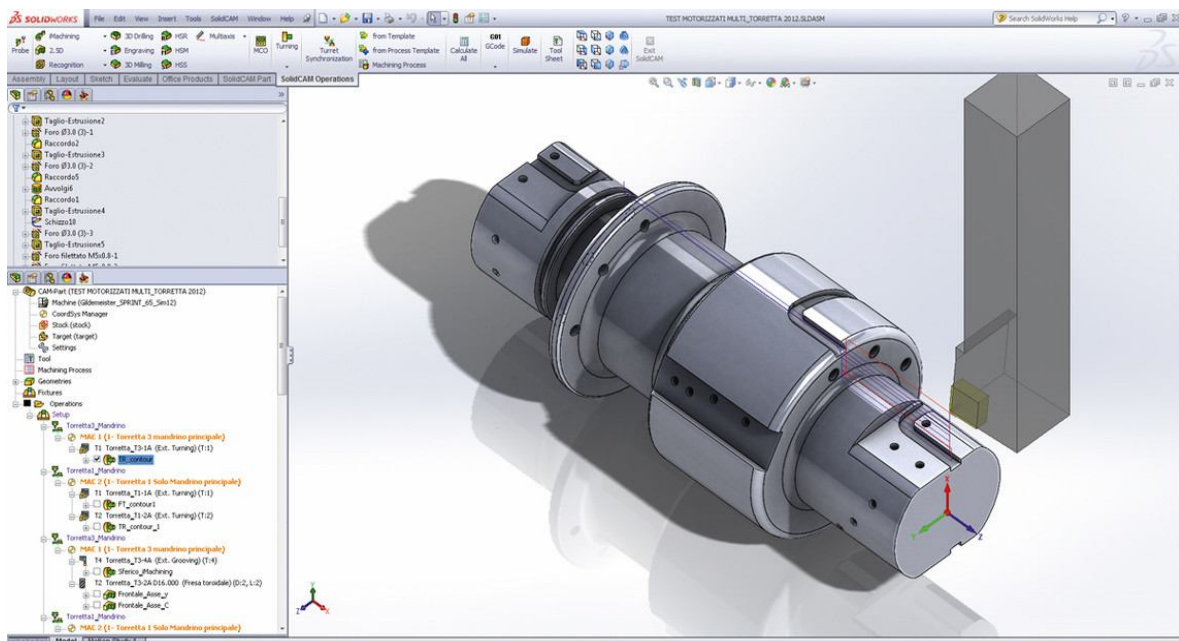


Рисунок 2.25 — Робоче вікно програми SolidCAM

Ще одним прикладом універсальної САП ПЧПК є САМ-система **Mastercam**. Ця система має засоби для роботи з різними типами обробки — фрезерною, токарною, лазерною тощо. Система має також власні засоби для розробки тривимірних моделей і може працювати зі складними поверхнями та підтримує багатоосьову обробку.

Робоче вікно програми Mastercam показано на рис 2.26.

До спеціальних САП ПЧПК можна віднести САМ-систему PowerMill.

PowerMill є досить поширеним програмним продуктом для забезпечення верстатів з ЧПК фрезерної групи з 3 – 5 осями координат. Ця система дозволяє виконувати розробку КП для багатоцільових верстатів сердечно-фрезерно-розточувального типу, зокрема і з поворотами навколо осей координат. У нових версіях цієї САМ-системи реалізована можливість роботи і з верстатами токарної групи.

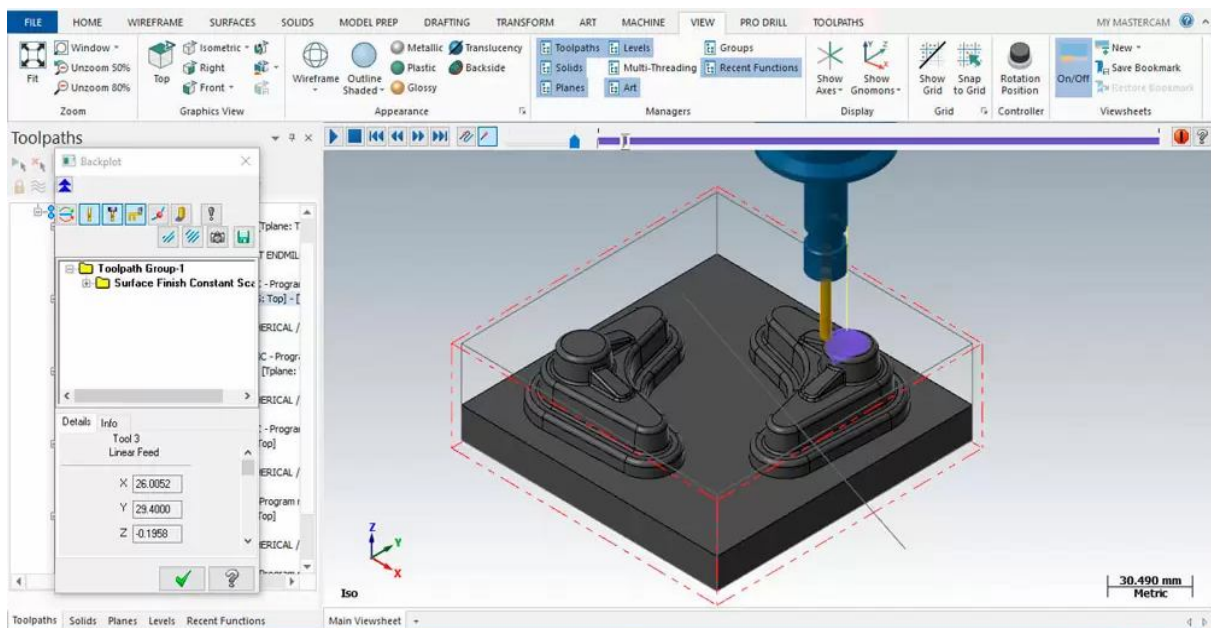


Рисунок 2.26 — Робоче вікно програми Mastercam

CAM-система PowerMill може працювати без прив'язки до конкретної CAD-системи і має такі можливості:

- створення КП з плавною траєкторією руху робочого органу, що зменшує пікові навантаження під час обробки;
- забезпечення повної п'ятиосової обробки;
- об'ємна візуалізація технологічного процесу;
- аналіз траєкторій руху різальних інструментів для запобігання зіткнень з елементами верстата або верстатного пристрою, виникнення зарізів тощо;
- аналіз окремих оброблюваних елементів та оптимізація послідовності обробки.

Робоче вікно програми PowerMill показано на рис 2.27.

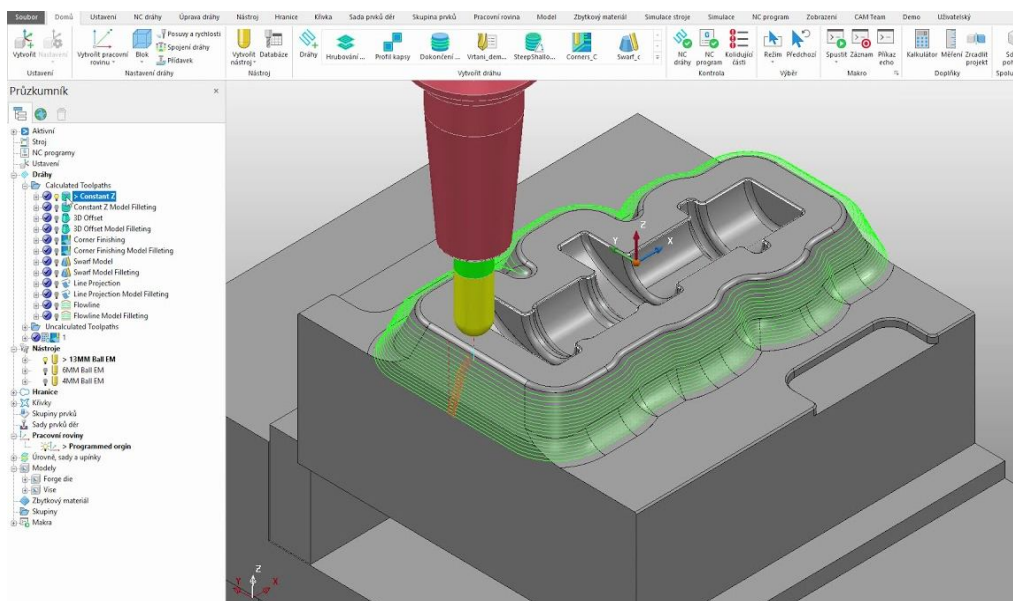


Рисунок 2.27 — Робоче вікно програми PowerMill

До спеціальних САП ПЧПК можна віднести також САМ-систему Autodesk Artcam.

Autodesk Artcam — CAD/CAM-система, розроблена насамперед для проектування та виготовлення виробів типу «барельєф» у ювелірній промисловості та інших виробів декоративного характеру. Разом з тим, завдяки зручному наочному інтерфейсу та простоті використання ця система набула широкого розповсюдження і в інших сферах виробництва, зокрема для підготовки КП для свердлильно-фрезерних та гравіювальних верстатів.

Програма Autodesk Artcam має засоби для розробки дво- і тривимірних моделей. Програмний продукт не прив'язаний до конкретного технологічного обладнання і може бути застосований для програмування різних типів верстатів. Робоче вікно програми Autodesk Artcam показано на рис. 2.28.

Порівняно з розглянутими вище програмними продуктами Autodesk Artcam має дещо вужчі функціональні можливості, проте їх достатньо для створення КП для більшості фрезерних та гравіювальних верстатів.

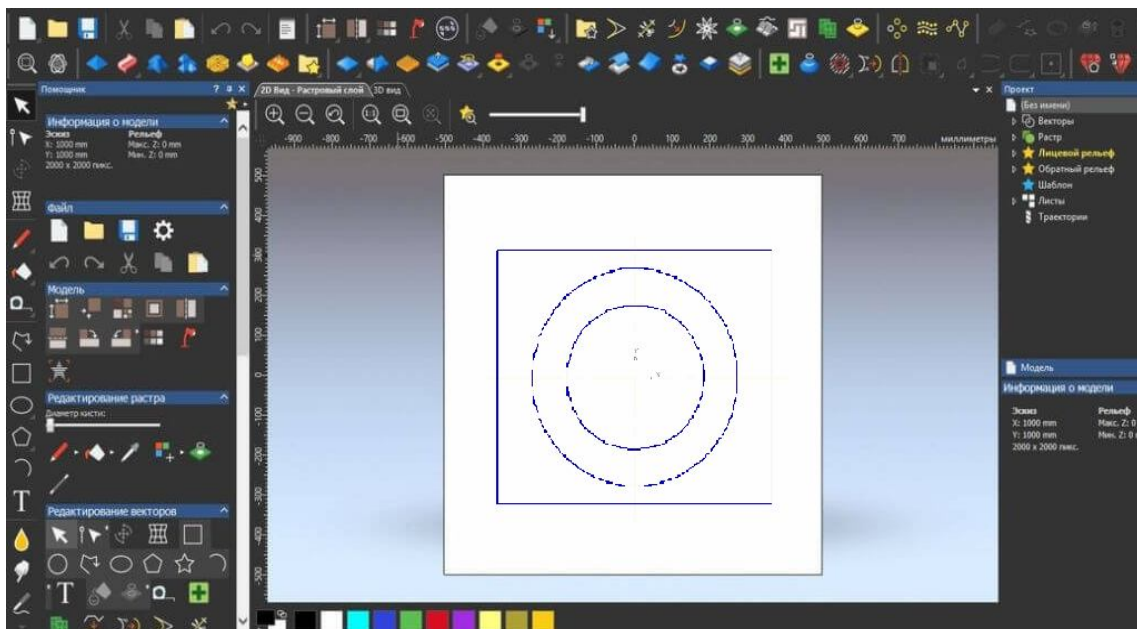


Рисунок 2.28 — Робоче вікно програми Autodesk Artcam

Приклад створення керувальної програми обробки заготовки деталі на токарній операції за допомогою CAD/CAM-системи SolidCAM

У прикладі розглянуто операцію токарної обробки заготовки деталі типу «Фланець». Операція складається з одного переходу. Ескіз обробки показано на рис. 2.29. Заготовкою деталі є сталевий круглий штучний сортовий прокат.

На основі ескізу обробки розроблено за допомогою CAD-системи SolidWorks тривимірну модель деталі (рис. 2.30).

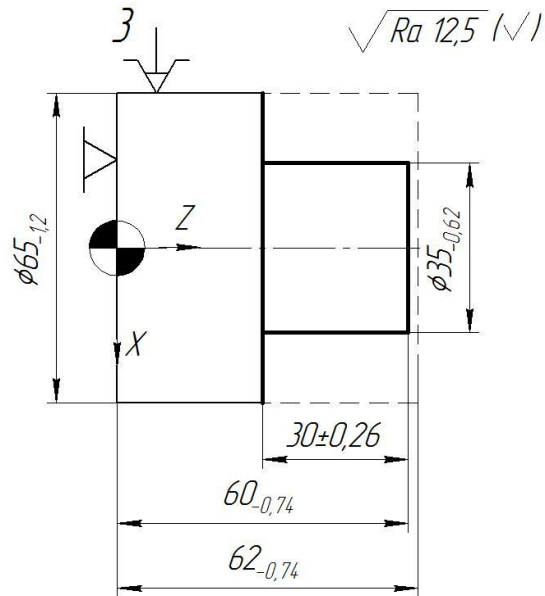


Рисунок 2.29 — Ескіз обробки

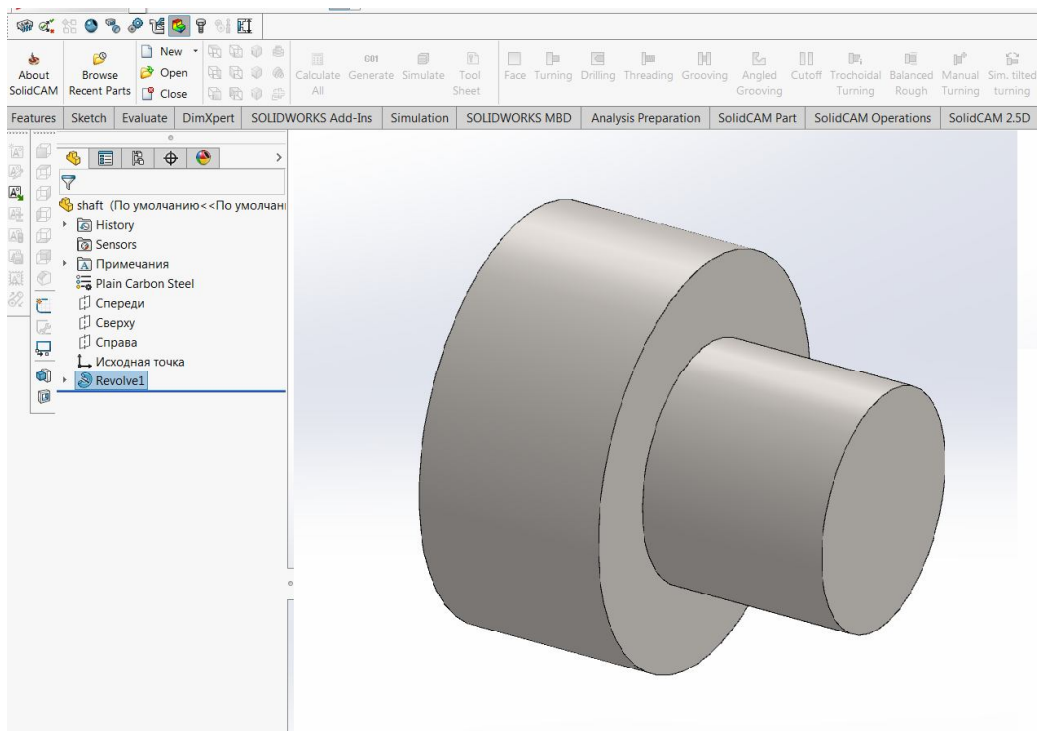


Рисунок 2.30 — Тривимірна модель деталі

Для початку створення КП потрібно перейти в САМ-систему SolidCAM та вибрати потрібний спосіб обробки. У прикладі, що розглядається, це «Turning» — точіння (рис. 2.31).

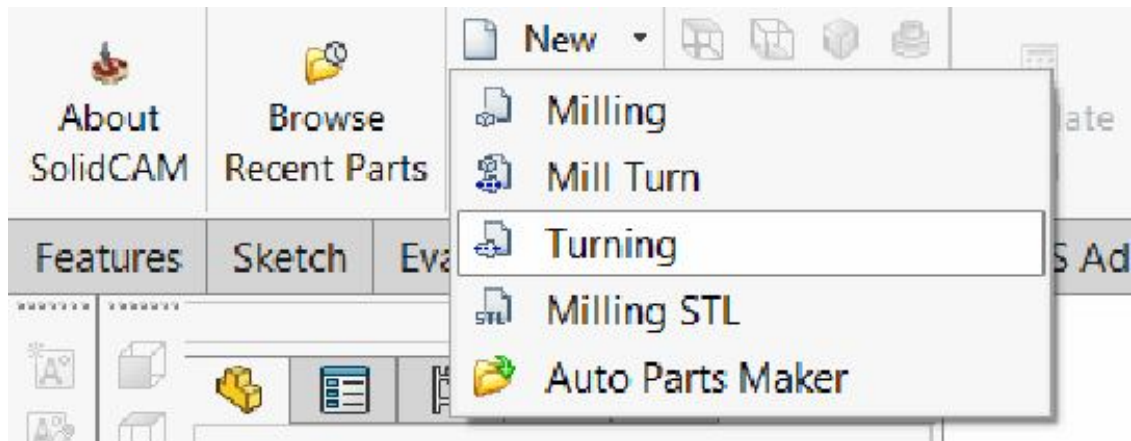


Рисунок 2.31 — Вибір способу обробки

Наступним кроком є вибір моделі верстата, пристрою ЧПК і відповідного постпроцесора (рис. 2.32). Далі потрібно вибрати і вказати розташування початку системи координат деталі (рис. 2.33).

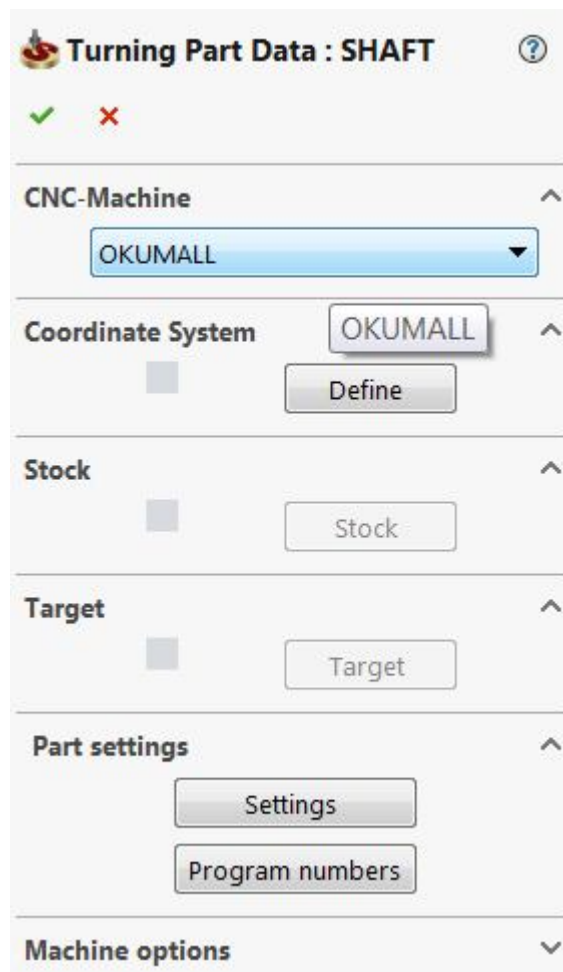


Рисунок 2.32 — Вибір моделі верстата, пристрою ЧПК і постпроцесора

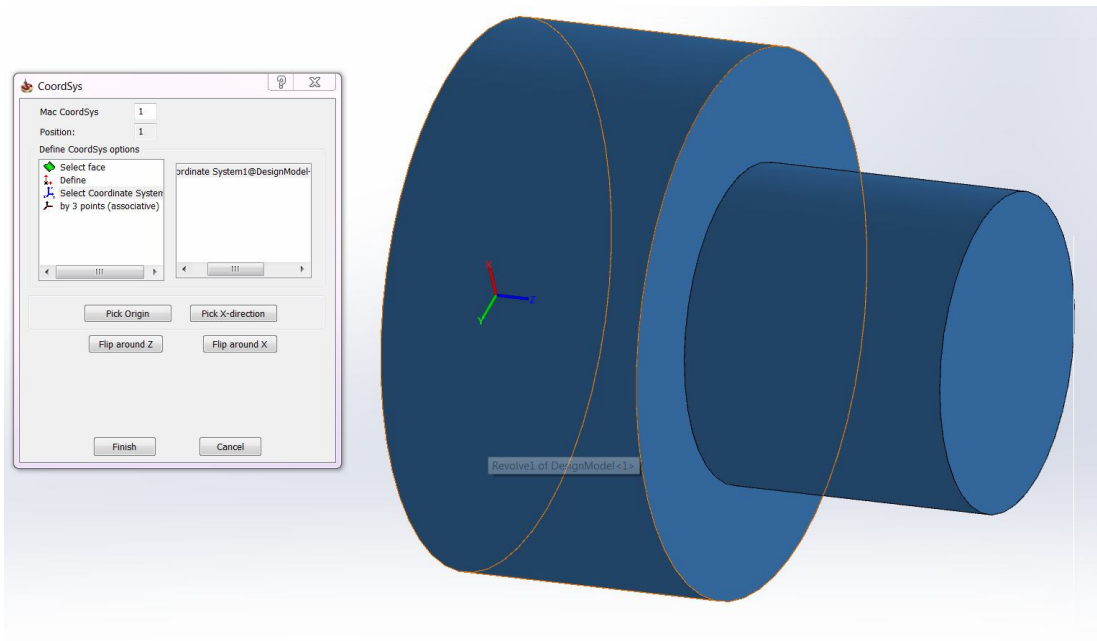


Рисунок 2.33 — Вибір розташування початку системи координат деталі

Інформацію щодо форми заготовки можна вводити за допомогою стандартних геометричних фігур і їх параметрів або ж на основі тривимірної моделі заготовки (рис. 2.34). У прикладі, що розглядається, заготовкою є циліндр з розмірами, що вказані на рис. 2.29.

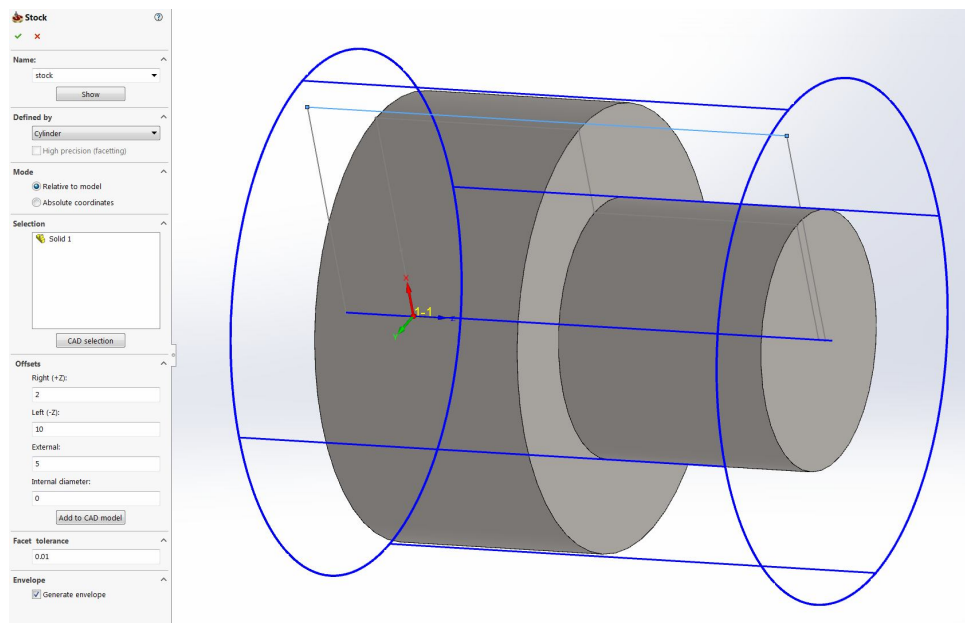


Рисунок 2.34 — Вибір форми і розмірів заготовки

Далі потрібно вказати тип різального інструмента або інструментів, які будуть застосовані під час обробки (рис. 2.35).

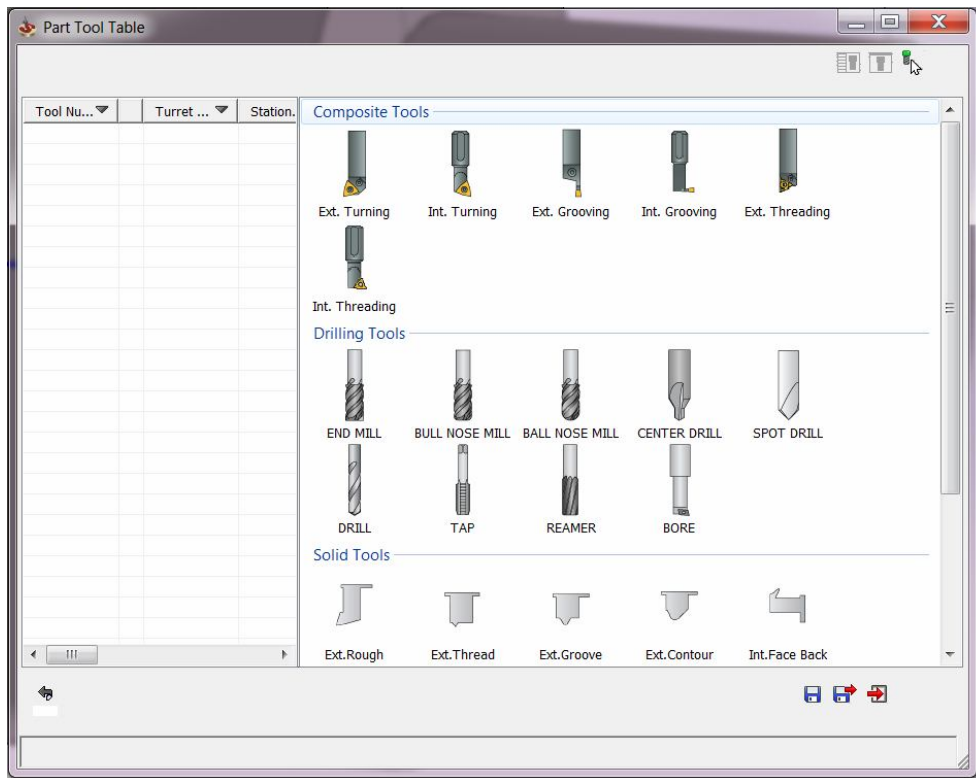


Рисунок 2.35 — Меню вибору типу різального інструмента

У прикладі, що розглядається, різальним інструментом є прохідний різець з головним кутом в плані $\phi = 95^\circ$. Геометричні параметри інструментів потрібно вказувати відповідно до їхніх реальних значень. Крім того, потрібно вказати позиції розташування інструментів у револьверній головці чи магазині, вказати режими різання та увести інші дані.

Далі потрібно вибрати з відповідного меню форму зони токарної обробки (рис. 2.36).



Рисунок 2.36 — Меню вибору форми зони обробки

У меню, яке стосується безпосередньо кожного з переходів обробки (рис. 2.37), у пункті «Geometry» потрібно вказати оброблювані поверхні. За допомогою пункту «Tool» потрібно вибрати інструмент або ж створити такий, що відповідає реально використовуваному.

Заповнення решти пунктів передбачає введення інформації про режими різання та інші параметри.

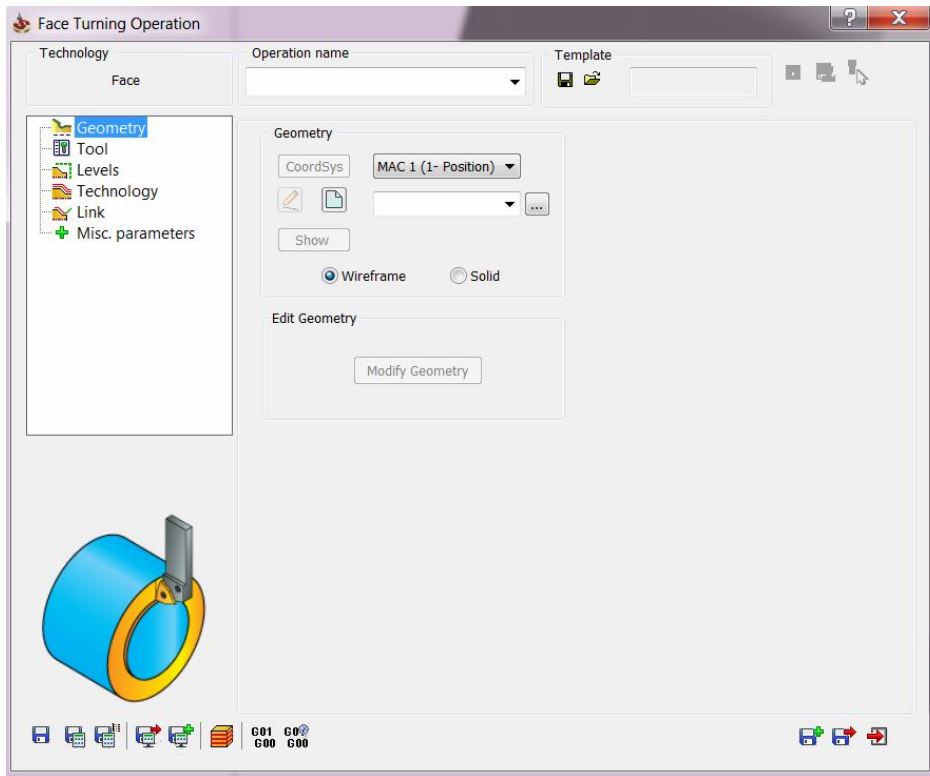




Рисунок 2.37 — Меню вибору поверхонь та режимів обробки для переходу

Після уведення всіх параметрів потрібно розрахувати траєкторії, натиснувши клавішу . У разі потреби можна запустити комп'ютерну імітацію обробки, натиснувши клавішу  і у відповідному меню вибрати тип імітації (рис. 2.38).

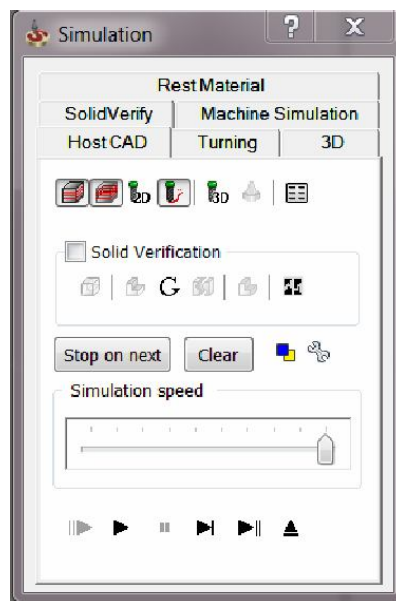


Рисунок 2.38 — Меню вибору типу імітації обробки

Вигляд екрану з результатом імітації обробки показано на рис. 2.39.

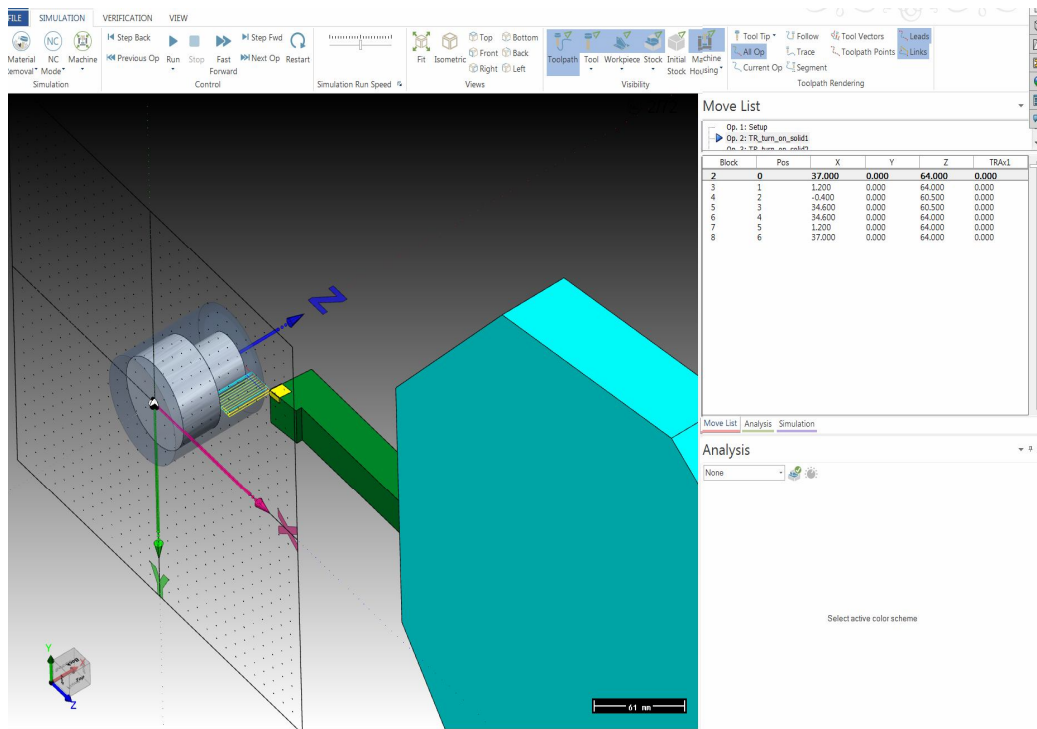


Рисунок 2.39 — Результат комп'ютерної імітації обробки

Після виконання комп'ютерної імітації та внесення правок (за потреби) можна отримати текст керувальної програми.

Для формування і виведення на монітор тексту керувальної програми потрібно натиснути клавішу **G01 G00** у відповідному меню. Текст керувальної програми показано на рис. 2.40.

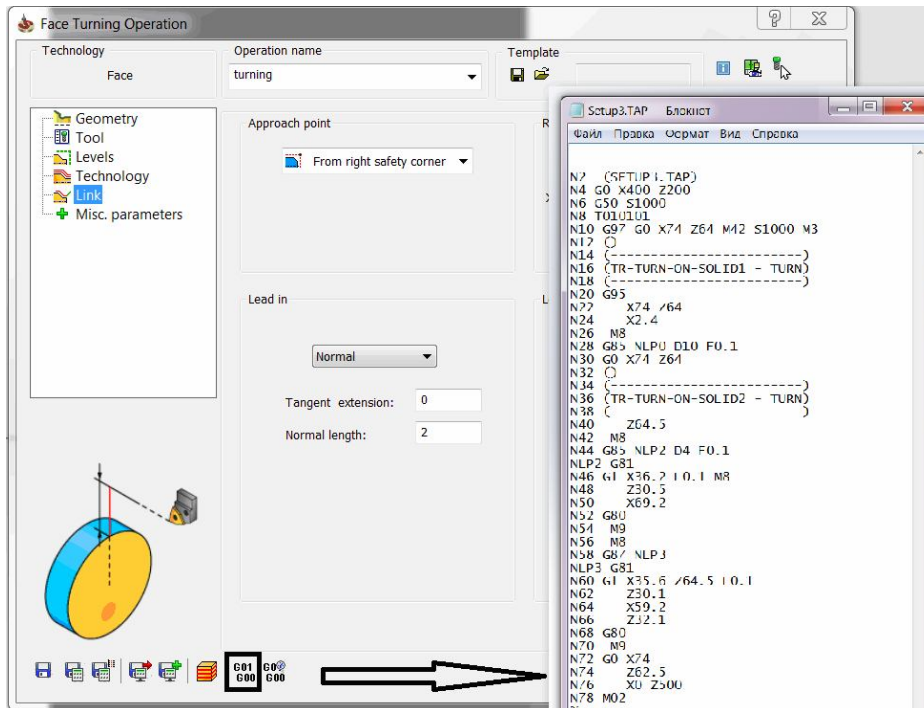


Рисунок 2.40 — Текст керувальної програми

Розділ 3 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

3.1 Розмірне настроювання верстатів з ЧПК

На верстатах з ЧПК зазвичай обробляють партії заготовок. Тому перед обробкою чергової партії верстат має бути настроєний для отримання потрібних технологічних розмірів. *Метою* такого настроювання є забезпечення розташування дійсних значень заданих технологічних розмірів у межах полів допусків.

Номінальні значення і граничні відхилення технологічних розмірів, отримуваних фінішною обробкою, зазвичай дорівнюють відповідним показникам конструкторських розмірів. Номінальні значення і граничні відхилення проміжних технологічних розмірів (діаметрів циліндричних поверхонь і відстаней між площинами) визначаються з використанням методів, описаних у [4].

Деякі технологічні розміри можуть безпосередньо визначатися відповідними розмірами різальних інструментів, наприклад, діаметральні розміри отворів, утворених обробкою свердлінням, зенкеруванням або розвірчуванням. На точність таких розмірів не впливає похибка позиціонування робочих органів верстата. Тому для забезпечення точності таких розмірів настроювання різальних інструментів не виконується.

3.1.1 Особливості розмірного настроювання токарних верстатів з ЧПК

На технологічних операціях, що виконуються на токарних верстатах з ЧПК, перед початком обробки партії заготовок обов'язково потрібно задати, визначене картою налагоджень розташування точки початку системи координат деталі. Для цього під час налагодження верстата після встановлення різальних інструментів у револьверну головку виконується розмірна прив'язка кожного з них по осях координат X і Z .

Розмірна прив'язка інструментів виконується з використанням реальної обробки заготовки зі зняттям стружки.

Суть прив'язки інструмента, встановленого у револьверній головці токарного верстата з ЧПК, полягає у визначенні дійсних розмірів заготовки після контрольного проточування. Отримані вимірюваннями розміри вводяться в пам'ять пристрою ЧПК для задання розташування точки початку системи координат деталі для кожного інструмента. Зазвичай точка початку системи координат деталі займає одне й те саме розташування для усіх інструментів і, відповідно, переходів, передбачених змістом операції.

Розмірна прив'язка інструмента здійснюється у ручному режимі роботи системи ЧПК. Схеми, що пояснюють процедуру прив'язки інструмента (на прикладі прохідного-підрізного різця), показано на рисунках 3.1 і 3.2.

Процедура прив'язки інструмента по обох осях (X і Z) виконується на

одній і тій самій заготовці без знімання її з верстатного пристрою. Важливо, щоб на шпинделі верстата був встановлений саме той верстатний пристрій, за установленням у який оброблятиметься уся партія заготовок.

Для виконання прив'язки різця у радіальному напрямі (по осі X) потрібно (рис. 3.1):

- 1) установити заготовку у верстатний пристрій;
- 2) активувати ручний режим роботи системи ЧПК;
- 3) задати необхідну частоту обертання шпинделя;
- 4) увімкнути обертання шпинделя;
- 5) установити настроюваний інструмент у робочу позицію командою T з номером відповідної позиції;
- 6) проточити зовнішню поверхню заготовки на довжину приблизно 10 мм;
- 7) відвести інструмент по осі Z , не змінюючи його положення по осі X ,
- 8) зупинити обертання шпинделя;
- 9) за допомогою мікрометра виміряти отриманий діаметр заготовки;
- 10) активувати режим розмірної прив'язки інструмента по осі X , натиснувши відповідну клавішу;
- 11) увести виміряну величину діаметра (у прикладі, що розглядається, це 70,86 мм) у пам'ять системи ЧПК.

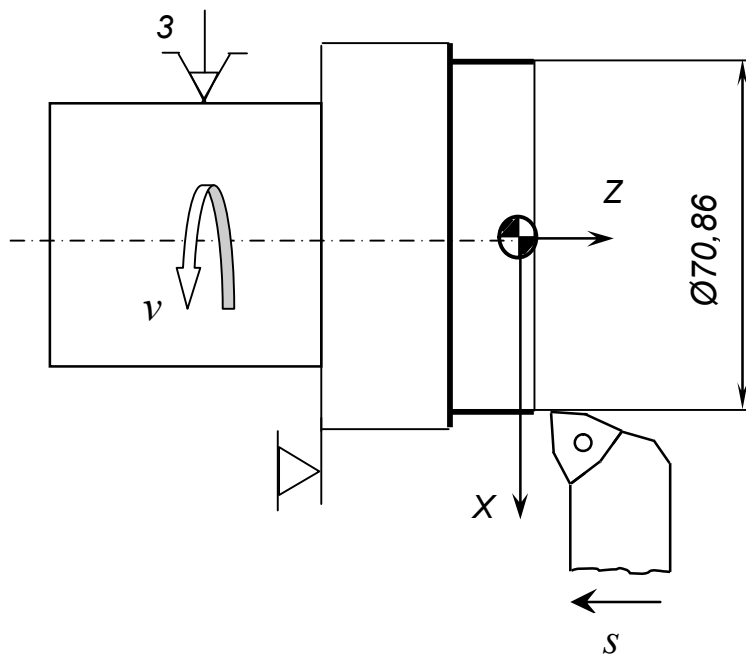


Рисунок 3.1 — Схема виконання розмірної прив'язки проходного-підрізного різця по осі X

Для виконання прив'язки різця в осьовому напрямі (по осі Z) потрібно (рис. 3.2):

- 1) увімкнути обертання шпинделя;
- 2) задати ручний режим роботи системи;

3) підвести вершину різця на відстань 2 — 3 мм від зовнішньої циліндричної поверхні, враховуючи те, що наступним кроком буде підрізання торця заготовки;

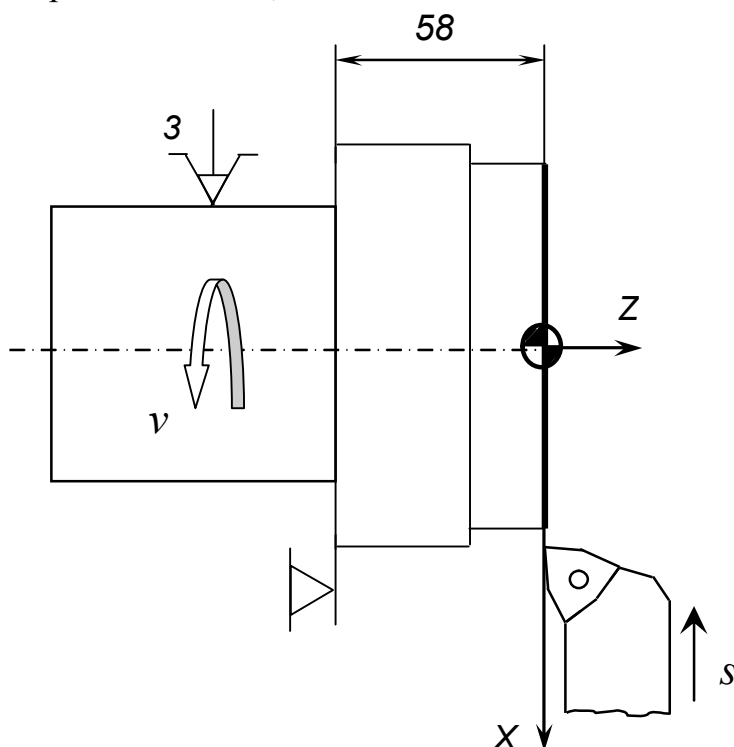


Рисунок 3.2 — Схема виконання розмірної прив'язки прохідного-підрізного різця по осі Z

- 4) підрізати торець заготовки;
- 5) відвести інструмент по осі X , не змінюючи його положення по осі Z за межі заготовки;
- 6) зупинити обертання шпинделя;
- 7) визначити відстань від торця заготовки до бажаного місцезнаходження початку системи координат деталі по осі Z ;
- 8) активувати режим розмірної прив'язки інструмента по осі Z ;
- 9) увести виміряну величину в пам'ять системи ЧПК.

В описаній вище послідовності виконується розмірна прив'язка усіх інструментів, задіяних в операції.

У деталей, що виготовляються на токарних верстатах з ЧПК, найточнішими зазвичай є діаметральні розміри зовнішніх циліндричних поверхонь та отворів. Проміжні технологічні розміри на чорнову й напівчистову обробку цих поверхонь, забезпечуються розмірними переміщеннями поперечного супорта по осі X згідно з керувальною програмою. Оскільки отримувані на цих переходах розміри мають досить широкі допуски, то, зазвичай, попереднє настроювання різців не проводиться.

Для отримання технологічних розмірів, які мають забезпечуватись остаточною обробкою, вершини різців настроюються з використанням спо-

собу пробних заготовок. Схему, що пояснює процес настроювання, показано на рис. 3.3.

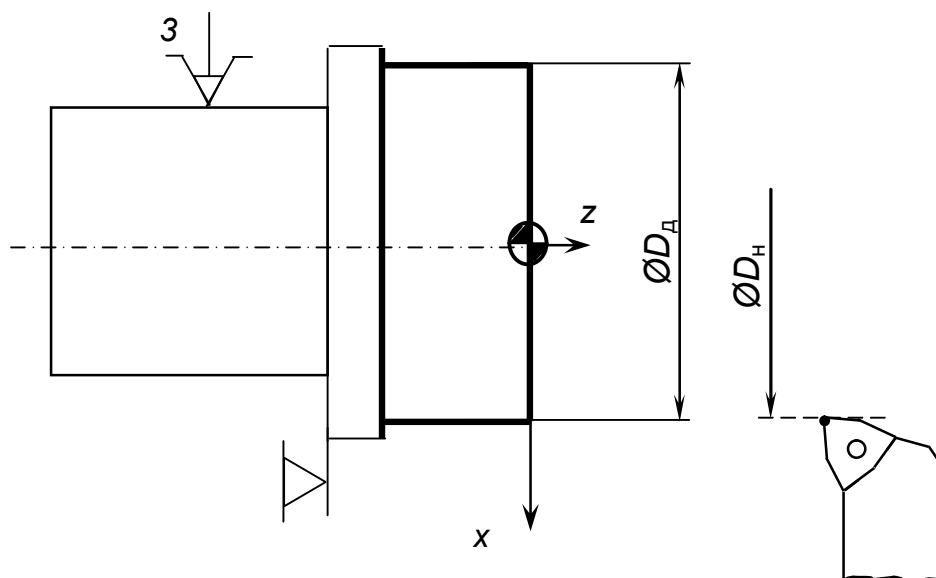


Рисунок 3.3 — Схема, що пояснює процес розмірного настроювання токарного верстата

Розмір настроєння D_H потрібно заздалегідь визначити за методикою [3]. Забезпечення саме такого розміру має бути передбачене змістом відповідного кадру керувальної програми. Отже, після уведення керувальної програми в систему ЧПК і перевірки правильності її роботи, потрібно обробити першу (пробну) заготовку партії і визначити за допомогою універсального вимірювального інструмента дійсне значення розміру (D_d), отриманого після остаточної обробки. Ціна поділки вимірювального інструмента має відповідати співвідношенню $\Delta_{в.і} \leq T/10$ (T — допуск отриманого розміру). Після цього обробляють решту пробних заготовок. Зазвичай кількість пробних заготовок не перевищує 5 штук.

Розрахований попередньо розмір настроєння розглядається як номінальний розмір. Оскільки під час обробки групи пробних заготовок відбувається розсіювання розмірів, то потрібно за фактичний (отриманий) розмір настроєння взяти середнє арифметичне значення \bar{D} дійсних розмірів цих заготовок. Величина \bar{D} характеризує центр «миттєвого» розсіювання під час обробки пробних заготовок. Настроєння вважається задовільним, якщо виконується умова

$$D_H - \frac{1}{2}T_H \leq \bar{D} \leq D_H + \frac{1}{2}T_H, \quad (3.1)$$

де T_H — допуск настроєння, який визначається за формулою

$$T_H = 1,2 \sqrt{(\varepsilon_p)^2 + (\varepsilon_{\text{ВМ}})^2}, \quad (3.2)$$

де ε_p — похибка регулювання;

$\varepsilon_{\text{ВМ}}$ — похибка вимірювання.

Величину похибки регулювання можна взяти такою, що дорівнює похибці позиціонування поперечного супорта по осі X (у діаметральному вимірі)

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{\text{п.р.о.}}$$

Похибка вимірювання

$$\varepsilon_{\text{ВМ}} = \Delta_{\text{В.і}},$$

де $\Delta_{\text{В.і}}$ — ціна поділки інструмента, яким вимірюються пробні заготовки.

Якщо умова (3.1) не виконується, то потрібно за допомогою клавіатури системи ЧПК увести необхідну величину (з урахуванням знака) розташування вершини різця. Величина корекції становить

$$\Delta_k = D_H - \bar{D}.$$

3.1.2 Особливості розмірного настроювання свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів з ЧПК

Розмірна прив'язка інструментів під час розмірного настроювання свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів з ЧПК не виконується. Початок системи координат деталі задається в керувальній програмі.

Не настроюються верстати з ЧПК і на розміри між осями отворів, отримуваних свердлінням і розточуванням на одному установі, оскільки номінальні значення цих розмірів визначаються лише змістом керувальної програми, а їх точність залежить насамперед від точності позиціонування робочих органів верстата.

Розточувальні оправки і розточувальні головки, використовувані на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК, попередньо настроюються поза верстатом з використанням спеціальних точних оптичних пристроїв. Тому діаметральні розміри отворів, отриманих попереднім розточуванням (чорновим і напівчистовим), після обробки першої заготовки контролюються за допомогою універсальних вимірювальних інструментів або калібрів для уникнення грубих помилок, але зазвичай виліт різцевої вставки не змінюється. Для останнього переходу обробки точних отворів тонким розточуванням настроювання здійснюється з використанням способу пробних заготовок [3]. Потрібно зазначити, що на операціях, виконуваних на верстатах з ЧПК, часто обмежуються лише однією пробною заготовкою. Отже, після обробки першої (пробної) заготовки дійсне значення

діаметрального розміру визначається за допомогою універсального вимірювального інструмента відповідної точності і, за необхідністю, розташування вершини різцевої вставки піднастроюється за допомогою пристрою мікрометричного регулювання, вбудованого у стрижень самої оправки. У процесі обробки партії заготовок різцева вставка розточувальної оправки за необхідності може декілька разів піднастроюватися для компенсації розмірного зносу.

На переходах торцевого фрезерування площин розмірне настроювання фрез зазвичай виконується на переходах остаточної обробки (чистового або тонкого фрезерування). Фрези настроюються для отримання точних розмірів, які пов'язують оброблені на цьому переході поверхні з технологічними базами. Настроювання здійснюється з використанням способу пробних заготовок.

Схему, що пояснює процес настроювання, показано на рис. 3.4.

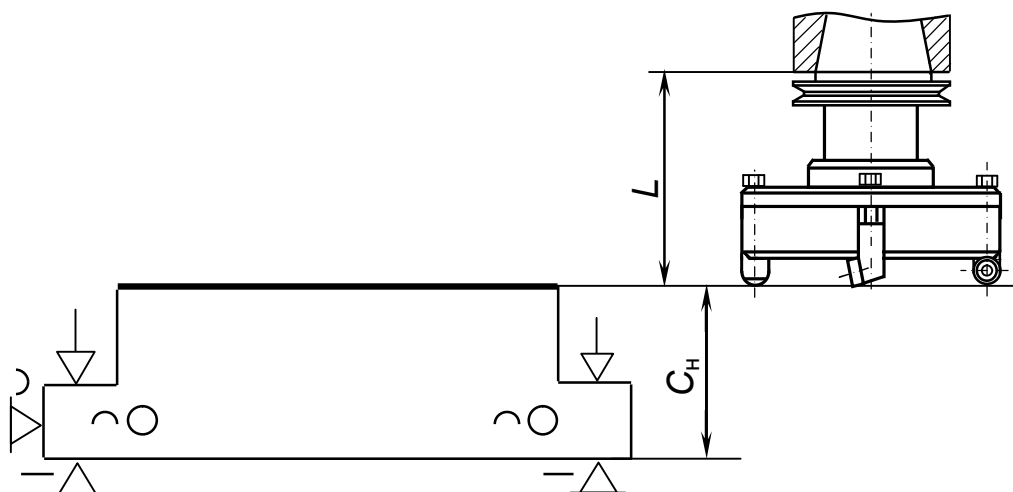


Рисунок 3.4 — Схема, що пояснює процес настроювання торцевої фрези на розмір обробки

Розмір настроєння C_H потрібно заздалегідь визначити за методикою [3]. Цей розмір має бути передбачений змістом відповідного кадру керувальної програми. Після обробки групи пробних заготовок визначається середнє арифметичне значення \bar{C} їх дійсних розмірів і перевіряється виконання умови

$$C_H - \frac{1}{2}T_H \leq \bar{C} \leq C_H + \frac{1}{2}T_H. \quad (3.3)$$

Допуск настроєння T_H визначається за формулою (3.2).

Вважається, що величина похибки регулювання дорівнює похибці позиціонування шпиндельної головки по осі Z .

Якщо умова (3.3) не виконується, то потрібно за допомогою системи ЧПК внести необхідну зміну у значення відстані від базової точки шпинделя до вершини зубців фрези (виліт фрези L). Величина корекції становить

$$\Delta_k = C_n - \bar{C}.$$

Якщо значення Δ_k від'ємне, то виліт L потрібно збільшити, якщо ж на-
впаки — то зменшити.

3.2 Особливості визначення сумарної похибки обробки на верстатах з ЧПК

Працюючи в автоматичному або в напівавтоматичному режимі, верста-
тат з ЧПК обов'язково має забезпечувати необхідні показники точності ви-
готовлюваних деталей.

Відомо [18], що співвідношення для визначення сумарної похибки, яке
виникає під час обробки партії заготовок на попередньо настроєному верста-
таті з ручним керуванням в загальному випадку має вигляд

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_y)^2 + (K_2 \varepsilon_n)^2 + (K_3 \varepsilon_{пд})^2 + (K_4 \varepsilon_i)^2 + (K_5 \varepsilon_B)^2 + (K_6 \varepsilon_T)^2}, \quad (3.4)$$

де $\frac{1}{K}$ — коефіцієнт, який залежить від бажаної гарантованої імовірності P_r
роботи без браку;

$K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ — коефіцієнти, значення яких залежать від ха-
рактеру законів розподілу відповідних елементарних похибок (зазвичай вва-
жають, що $K_1 = K_2 = K_3 = 1; K_4 = K_5 = K_6 = 1,73$.)

ε_y — похибка устанавлення заготовки у верстатний пристрій (далі —
похибка устанавлення);

ε_n — похибки настроєння верстата;

$\varepsilon_{пд}$ — похибка, що спричиняється пружними деформаціями техноло-
гічної системи під дією сил різання;

ε_i — похибка, зумовлена розмірним зносом різального інструмента;

ε_B — похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата;

ε_T — похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологі-
чної системи ε_T .

Якщо операція механічної обробки виконується на верстаті з ЧПК, то
разом з зазначеними вище похибками на точність обробки може впливати
ще й похибка позиціонування робочого органу верстата $\varepsilon_{п.р.о}$. З урахуван-
ням цього формула для визначення сумарної похибки обробки таких верста-
татів в загальному матиме вигляд

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_y)^2 + (K_2 \varepsilon_{пд})^2 + (K_3 \varepsilon_{п.р.о})^2 + (K_4 \varepsilon_n)^2 + (K_5 \varepsilon_i)^2 + (K_6 \varepsilon_B)^2 + (K_7 \varepsilon_T)^2}. \quad (3.5)$$

Вважається, що перші чотири похибки є випадковими і тому $K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 1$, а решта похибок є систематичними і тому $K_5 = K_6 = K_7 = 1,73$.

Величина похибки $\varepsilon_{п.р.о}$ залежить від типу верстата та його системи ЧПК. Показники точності позиціонування робочих органів вказуються у паспортах (технічних характеристиках) верстатів і орієнтовно становлять 2 — 4 дискрети. Огляд технічних характеристик сучасних верстатів з ЧПК з величиною дискрети 0,001 мм показує, що точність позиціонування лінійних переміщень їх робочих органів становить 0,01 мм.

Розглянемо декілька окремих поширених випадків застосування формули (3.5).

Якщо певні поверхні, наприклад дві площини, або площина і отвір, або два отвори обробляються на одному установі заготовки, то похибка установлення ε_y на точність лінійних розмірів і вимог відносного розташування не впливає. У цьому випадку сумарна похибка обробки становитиме

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_{пд})^2 + (K_3 \varepsilon_{п.р.о})^2 + (K_4 \varepsilon_{н})^2 + (K_5 \varepsilon_i)^2 + (K_6 \varepsilon_{в})^2 + (K_7 \varepsilon_{т})^2}. \quad (3.6)$$

Сумарну похибку обробки зовнішніх циліндричних поверхонь і отворів точінням і розточування на токарних верстатах з ЧПК з позиціонуванням на розмір обробки вершин різців по координаті X можна знайти за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_{пд})^2 + (K_3 \varepsilon_{п.р.о})^2 + (K_4 \varepsilon_{н})^2 + (K_5 \varepsilon_i)^2 + (K_6 \varepsilon_{в})^2 + (K_7 \varepsilon_{т})^2}. \quad (3.7)$$

Якщо отвори обробляються розточуванням на свердильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК, то на точність діаметральних розмірів цих отворів не впливає похибка позиціонування робочого органу верстата $\varepsilon_{п.р.о}$. Це пояснюється тим, що вільоти різцевих вставок розточувальних головок і оправок встановлюються під час настроювання цих інструментів поза верстатом і змінювати ці вільоти за допомогою команд від СЧПК немає можливості. Оскільки розточувальні головки і оправки є фактично мірними інструментами з попередньо настроєними розмірами обробки, то показники геометричної точності верстата практично не впливають на точність діаметральних розмірів розточених отворів. Тому можна вважати, що $\varepsilon_{в} = 0$. З урахуванням викладеного вище сумарну похибку обробки для випадку їх розточування на свердильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК можна визначити за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_{пд})^2 + (K_4 \varepsilon_{н})^2 + (K_5 \varepsilon_i)^2 + (K_7 \varepsilon_{т})^2}. \quad (3.8)$$

Отже, для визначення величини сумарної похибки обробки відносно певного розміру або вимоги відносного розташування потрібно ретельно аналізувати і враховувати конкретні технологічні умови відповідної операції.

Розглянемо *приклад* фрезерного переходу, який є складовою частиною операції, що виконується на багатоцільовому верстаті з ЧПК.

Потрібно визначити сумарну похибку, яка виникає внаслідок остаточної обробки — чистового торцевого фрезерування.

Ескіз обробки площини в розмір $30h10(-0,084)$ мм показано на рис. 3.5.

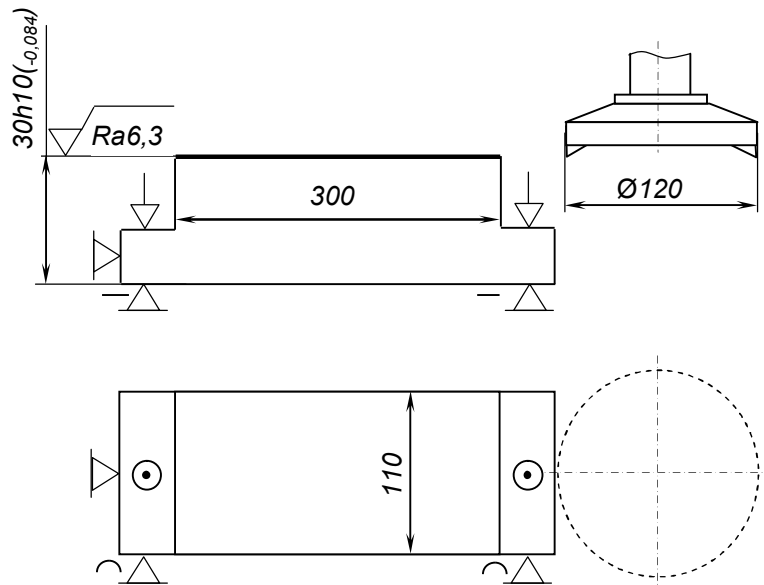


Рисунок 3.5 — Ескіз обробки площини в розмір $30h10(-0,084)$ мм

Вважається, що обробка здійснюється за таких технологічних умов:

- операція виконується на багатоцільовому верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3 (клас точності «П»);

- чистове фрезерування виконується після чорнового фрезерування, яке забезпечує розмір поверхні за $IT14$ (для взятого номінального розміру величина допуску становитиме 520 мкм);

- партія заготовок (270 шт.) обробляється на настроєному на розмір верстаті;

- настроювання торцевої фрези на розмір обробки здійснюється за пробними заготовками;

- матеріал різальної частини фрези — твердий сплав ВК3М;

- матеріал деталі — сірий чавун СЧ18;

- заготовка встановлюється на чисто оброблену поверхню на чотири опорні пластини із закріпленням за допомогою двох гвинтових затискачів (прихоплювачів).

Вважалось, що на операції з одного установка буде виконуватись як попереднє (чорнове), так і остаточне (чистове) фрезерування.

Визначимо сумарну похибку за формулою (3.5).

Послідовно визначимо всі елементарні похибки, а потім і сумарну похибку.

Похибка установлення визначимо за формулою:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\bar{6}}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}, \quad (3.9)$$

де $\varepsilon_{\bar{6}}$ — похибка базування;

ε_3 — похибка закріплення;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ — похибка положення заготовки у верстатному пристрої.

Похибка базування за вибраної схеми установлення відсутня, оскільки виконується принцип суміщення баз.

Похибку закріплення ε_3 визначено за формулою

$$\varepsilon_3 = y_{\text{max}} - y_{\text{min}}, \quad (3.10)$$

де y_{max} і y_{min} — відповідно максимальне і мінімальне зміщення вимірювальної бази під дією сили затискання.

Оскільки на операції, що розглядається, виконується як чорнове, так і чистове фрезерування, то необхідне мінімальне значення сили затискання визначалась з урахуванням сили різання, яка виникає під час першого ступеня обробки — чорнового фрезерування за умови зрізання максимального припуску, визначеного за допомогою розмірного аналізу технологічного процесу.

Найбільше і найменше зміщення вимірювальної бази визначено за емпіричними формулами [18]. Для випадку, що розглядається, $y_{\text{max}} = 30$ мкм, $y_{\text{min}} = 18$ мкм. Відповідно, $\varepsilon_3 = 12$ мкм.

Похибка $\varepsilon_{\text{пр}}$ визначалась за формулою

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{yc}}^2 + \varepsilon_{\text{zy}}^2 + \varepsilon_{\text{пв}}^2}, \quad (3.11)$$

де ε_{yc} , ε_{zy} , $\varepsilon_{\text{пв}}$ — відповідно похибки, спричинені: неточністю виготовлення і складання установочних елементів пристрою; зносом цих елементів; неточністю установлення пристрою на верстат.

Вважалась, що похибка ε_{yc} у випадку, що розглядається, відсутня оскільки вона може бути скомпенсована під час настроювання фрези на розмір обробки. Похибку ε_{zy} визначено за емпіричною формулою

$$\varepsilon_{\text{zy}} = \beta \sqrt{N} \text{ [мкм]},$$

де β — коефіцієнт, який залежить від виду опор і умов контакту;

N — кількість контактів заготовки з опорами верстатного пристрою.

Згідно з [16], для взятих технологічних умов $\beta = 0,2$. $N = 270$ шт. Тоді для $N = 270$ шт. ε_{3y} становитиме 3 мкм. Оскільки зазор у напрямку отриманого розміру між базувальною площиною пристрою і столом верстата відсутній, то $\varepsilon_{пв} = 0$. Таким чином, $\varepsilon_{пр} = \varepsilon_{3y} = 3$ мкм. Підставивши визначені значення складових похибки установаження у (3.9), отримаємо $\varepsilon_y = 13$ мкм.

Похибку, зумовлену пружними деформаціями елементів технологічної системи під дією сили різання, визначено за формулою

$$\varepsilon_{пд} = \omega_{\Sigma} (P_{x_{\max}} - P_{x_{\min}}), \quad (3.12)$$

де ω_{Σ} — сумарна податливість технологічної системи, яка враховує податливості верстата, верстатного пристрою, фрези й заготовки;

$P_{x_{\max}}$ і $P_{x_{\min}}$ — відповідно найбільша і найменша величини складової сили різання, що діє у напрямі нормалі до оброблюваної поверхні.

Під час визначення величини ω_{Σ} вважалось, що податливості верстатного пристрою, фрези і заготовки суттєво менші за податливість верстата ω_B , тобто приймалося, що $\omega_{\Sigma} = \omega_B = 0,026$ мкм/Н [18].

Згідно з [19], вважалось, що $P_x = 0,5 P_z$. Очевидно, що на зміну величини P_x впливатиме зміна припуску на чистове фрезерування і, відповідно, глибина різання t під час обробки заготовок партії. Прийнято, що $t_{\max} = 1$ мм; $t_{\min} = 0,3$ мм. Визначені згідно з [19] граничні значення складової сили різання P_x становлять $P_{x_{\max}} = 598$ Н; $P_{x_{\min}} = 200$ Н. Визначена за формулою (3.9) величина похибки $\varepsilon_{пд}$ становить 10 мкм.

Під час обробки на багатоцільових верстатах з ЧПК після завершення чергового переходу відбувається заміна інструмента у шпинделі з подальшим його швидким переміщенням у початкову точку (позиціонуванням). Під час гальмування робочого органу верстата у кінці цього переміщення виникає похибка позиціонування робочого органу $\varepsilon_{п.р.о.}$. У прикладі, що розглядається, це позиціонування шпиндельної бабки по осі z . Згідно з паспортними даними (технічною характеристикою) верстата ЛТ260МФ3 $\varepsilon_{п.р.о.} = 40$ мкм.

Для остаточної обробки партії заготовок верстата з ЧПК настроюються з використанням методу пробних заготовок, тому похибка настроєння (ε_H) визначалася за формулою [3]

$$\varepsilon_H = 1,2 \sqrt{(\varepsilon_p)^2 + (\varepsilon_{вм})^2 + (\varepsilon_{3м})^2} \quad (3.13)$$

де ε_p — похибка регулювання положення інструмента;

$\varepsilon_{\text{вм}}$ — похибка вимірювання;

$\varepsilon_{\text{зм}} = \varepsilon_{\text{п.д}} / \sqrt{m}$ — похибка, замовлена зміщенням центра групування розмірів пробних заготовок відносно середини поля розсіювання у момент настроювання;

m — кількість пробних заготовок.

Вважають, що похибка $\varepsilon_{\text{р}}$ дорівнює похибці позиціювання. Для верстата ЛТ2060МФ3 $\varepsilon_{\text{п.р.о.}}$ дорівнює 40 мкм. Отже, вважалось, що $\varepsilon_{\text{р}} = 40$ мкм. Похибку $\varepsilon_{\text{вм}}$ прийнято рівною 10 мкм (ціна поділки мікрометричного вимірювального інструмента). Величина похибки $\varepsilon_{\text{зм}}$ за умови, що $m = 5$, становить 4 мкм. Отже, визначена за формулою (3.13) величини похибки настроєння $\varepsilon_{\text{н}}$ становить 49 мкм.

Розмірний знос різального інструмента i , відповідно похибка ε_i компенсується автоматичною корекцією положення фрези. Тому прийнято, що $\varepsilon_i = \varepsilon_{\text{п.р.о.}} = 40$ мкм. Оскільки похибка $\varepsilon_{\text{п.р.о.}}$ є випадковою похибкою, то i похибку ε_i в такому випадку вважатимемо також випадковою похибкою. Тому приймемо величину коефіцієнта K_5 у формулі (3.5) рівною 1.

Похибка $\varepsilon_{\text{в}}$ у випадку, що розглядається, спричиняє відхилення від паралельності площини столу до напрямку його руху. Згідно з [18], цю похибку визначено за формулою

$$\varepsilon_{\text{в}} = Cl/L_6, \quad (3.14)$$

де C — допустиме відхилення від паралельності площини столу і напрямку його руху в межах базової довжини L_6 .

Взявши, згідно з [18], $C = 20$ мкм, $L_6 = 400$ мкм, за формулою (3.14) з урахуванням того, що $l = 300$ мм (рис. 3.1) знайдено $\varepsilon_{\text{в}} = 15$ мкм.

Похибка, зумовлена тепловими деформаціями технологічної системи, згідно з [18] становить близько 10 — 15 % від суми інших похибок. Оскільки ця похибка під час обробки на сучасних верстатах з ЧПК зазвичай менша, ніж на верстатах з ручним керуванням завдяки використанню рясного охолодження оброблюваної заготовки, різального інструмента і верстатного пристрою у закритій робочій зоні верстата, то вважатимемо, що похибку $\varepsilon_{\text{т}}$ можна визначити за формулою

$$\varepsilon_{\text{т}} = 0,1(\varepsilon_{\text{у}} + \varepsilon_{\text{п.д}} + \varepsilon_{\text{п.р.о}} + \varepsilon_{\text{н}} + \varepsilon_i + \varepsilon_{\text{в}}). \quad (3.15)$$

Підставивши у формулу (3.15) попередньо визначені значення елементарних похибок, отримаємо $\varepsilon_{\text{т}} = 17$ мкм.

Сумарна похибка обробки ε_{Σ} , визначена за формулою (3.5), становить 76 мкм.

Для наочності за результатами розрахунків побудовано діаграму величин складових похибок і сумарної похибки (рис. 3.6).

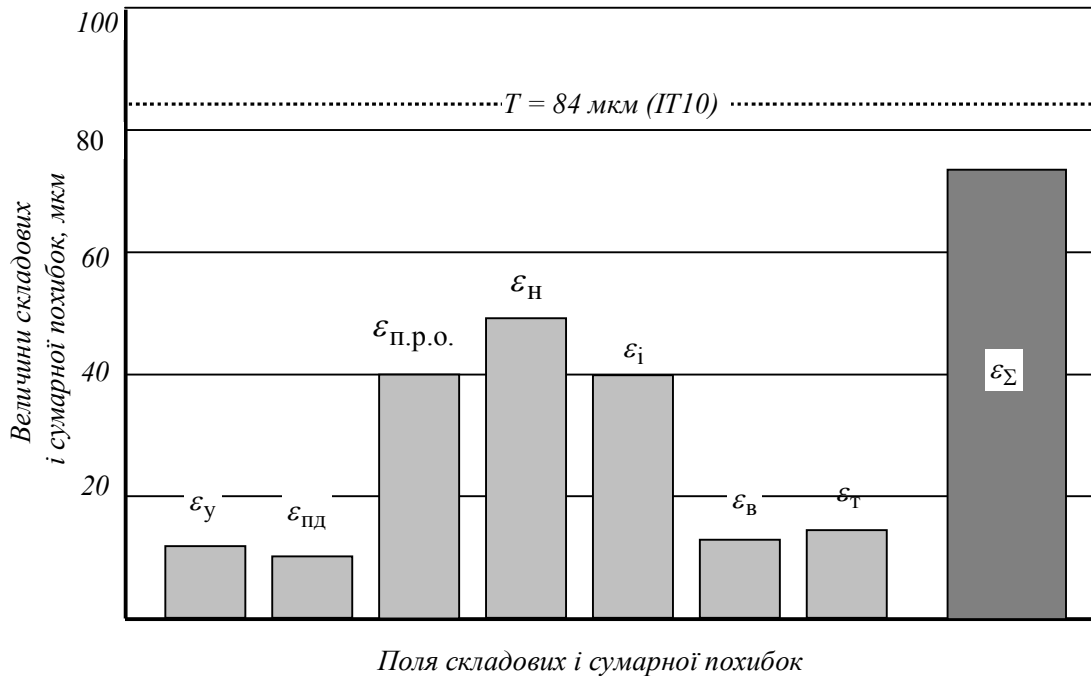


Рисунок 3.6 — Поля складових і сумарної похибок, що впливають на точність чистового фрезерування на верстаті з ЧПК моделі ЛТ260МФ3

Отже, за таких технологічних умов необхідна точність обробки забезпечуватиметься, оскільки величина сумарної похибки ($\varepsilon_{\Sigma} = 76$ мкм) менша за допуск розміру $30h10$ (84 мкм). З аналізу величин складових похибок випливає, що найбільший вплив на сумарну похибку мають похибки $\varepsilon_{п.р.о.}$, ε_n та ε_i .

Потрібно зазначити, що за взятих умов похибка позиціювання робочого органу верстата не тільки входить до сумарної похибки обробки як самостійна складова, але й суттєво впливає на величини похибок ε_n і ε_i .

Загалом важливо відзначити, що основною перевагою використання сучасних багатоінструментальних і багатоцільових верстатів з ЧПК з погляду забезпечення точності обробки є можливість повного усунення впливу похибки установа завдяки обробці багатьох поверхонь, зокрема і тих, які є вимірювальними базами, з одного установа.

Дані про економічно досяжні показники точності і шорсткості, що забезпечуються поширеними способами обробки на металорізальних верстатах, зокрема на верстатах з ЧПК, наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Економічно досяжні показники точності і шорсткості, що забезпечуються поширеними способами обробки на металорізальних верстатах

Спосіб обробки	Квалітет точності	Шорсткість (Ra), мкм
Точіння і розточування:		
попереднє	12 і грубіше	12,5
чистове	10 і грубіше	3,2...1,6
тонке на верстатах класів В	6 і 7	0,8...0,4
Фрезерування:		
попереднє	12 і грубіше	6,3
чистове	8 і 9	3,2...1,6
тонке на верстатах класів П і В	6 і 7	0,8...0,4
Свердління:	11 і 12	12,5...6,3
Зенкерування	10 і грубіше	6,3...3,2
Розвірчування:		
попереднє	8 і грубіше	1,6...0,8
чистове	7	0,8...0,4
Шліфування зовнішніх циліндричних поверхонь і отворів		
чистове	7	0,8...0,4
тонке на верстатах класу В	5 і 6	0,2...0,1

3.3 Забезпечення технологічності деталей, що виготовляються з використанням верстатів з ЧПК

Деталь вважається технологічною, якщо в умовах певного підприємства і вибраного типу виробництва її конструкція забезпечує найменшу собівартість.

Технологічність деталі має забезпечуватись під час розробки її креслення, тобто інженерами-конструкторами.

Таким чином, розробка конструкції деталей, які передбачається виготовляти з використанням верстатів з ЧПК, має виконуватись тільки із забезпеченням їх технологічності.

Для цього потрібно виконувати такі вимоги.

1. Матеріал деталі має бути, за можливості, легкооброблюваним.
2. Конструкція деталі має забезпечувати достатню жорсткість.
3. Розташування конструктивних елементів деталі має бути таким, щоб скоротити до мінімуму кількість установів заготовки під час її обробки.
4. Забезпечувати можливість обробки якомога більшої кількості поверхонь з одного установу і, за можливості, без застосування складних верстатних пристроїв.

5. Будова заготовка деталі має передбачати наявність конструктивних елементів, що забезпечують її надійне базування й закріплення у верстатному пристрої, зокрема — на першій операції її механічної обробки.

6. В конструкції деталі необхідно уникати нетехнологічних елементів (довгих тонких отворів, глухих різьбових отворів, отворів, які спрягаються з площинами під кутом, відмінним від 90° тощо).

7. Для скорочення кількості установів шпонкові пази на валах бажано розміщувати в одній площині.

8. Розміри деталі бажано проставляти від одної вимірювальної бази, яка в технологічному процесі може бути використана за технологічну базу а також як початок системи координат деталі.

9. Якщо деталь має як оброблені, так і необроблені поверхні (рис. 3.7), то розміри на кресленні деталі проставляють таким чином. Спочатку сіткою розмірів з'єднують всі необроблені поверхні, потім сіткою розмірів з'єднують всі оброблені поверхні. Потім ці сітки розмірів з'єднують між собою щонайбільше трьома розмірами (у напрямі осей X , Y і Z). На рис. 3.7 — це розміри відповідно A , B і C .

3.4 Особливості побудови маршрутів механічної обробки заготовок типових деталей з використанням верстатів з ЧПК

3.3.1 Обробка заготовок на токарних верстатах з ЧПК

Під час розробки змісту операцій і керувальних програм для токарних верстатів з ЧПК потрібно враховувати такі рекомендації.

1. На операціях виготовлення деталей з центральним отвором, обробка цього отвору виконується після чорнової підрізки торця;

2. Чорнову підрізку торців виконують з подачею різця від «периферії»; до «центра». Під час числової підрізки торця різець має рухатись від «центра» до «периферії».

3. Чистову обробку поверхонь деталей типу «Вал», «Втулка» або «Фланець» зазвичай виконують з безперервною подачею контурного різця;

4. Перед початком свердління довгих отворів торець заготовки зацентровується спеціальним свердлом (за ОСТ 2И20-5—80) [9, С. 222].

5. У кінці робочого ходу цеківки або зенківки для забезпечення правильної форми та зменшення шорсткості обробленої поверхні потрібно запрограмувати витримку часу (1...2 с).

6. Зенкери зазвичай застосовуються у крупносерійному і масовому виробництві та тому для обробки на верстатах з ЧПК, які є обладнанням переважно дрібносерійного та середньосерійного виробництва, майже не використовуються.

7. Розточування поверхонь продуктивніше, ніж розсвердлювання (оскільки найчастіше застосовують свердла зі швидкорізальної сталі);

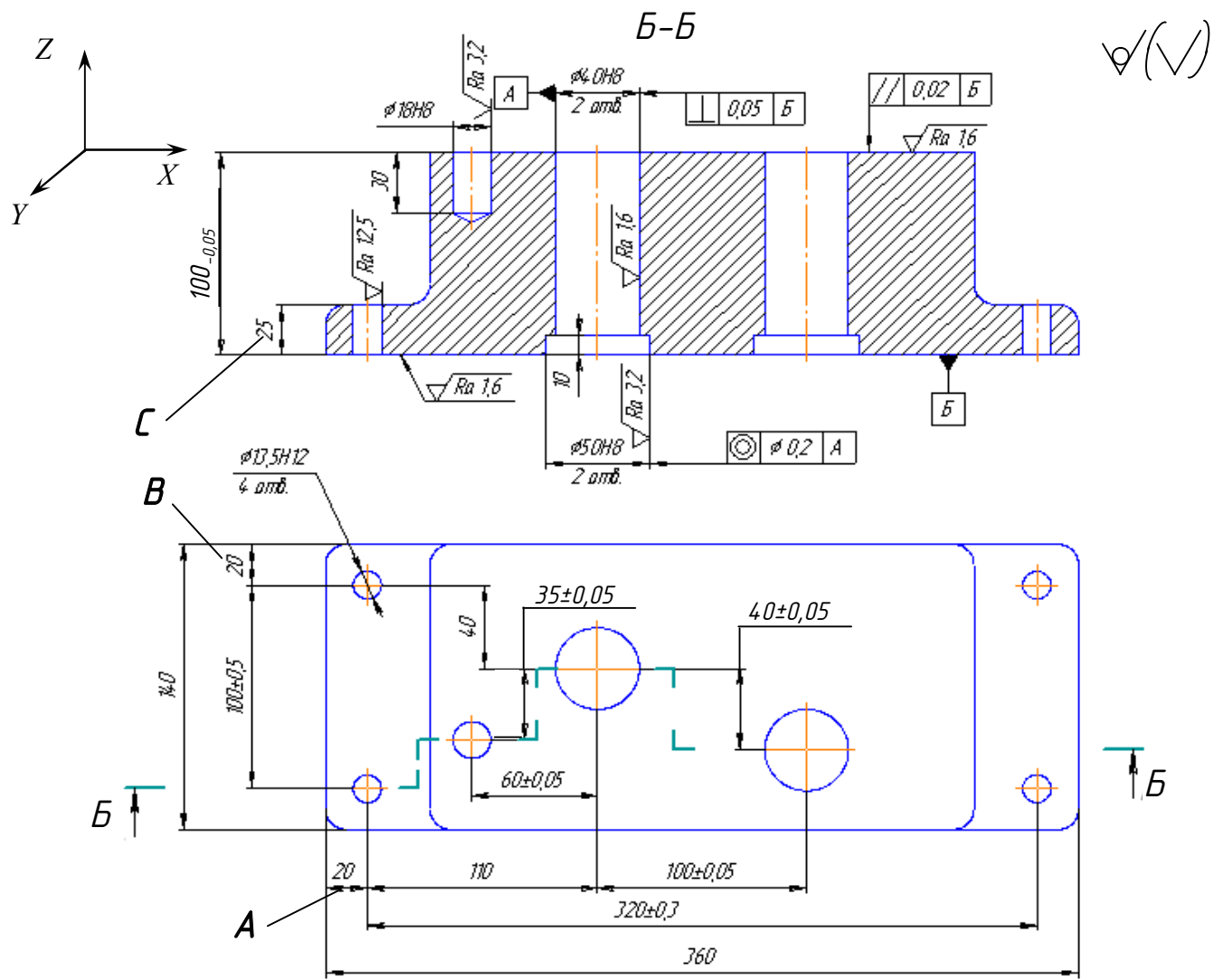


Рисунок 3.7 — Приклад розтушування розмірів на кресленні деталі, яка має оброблені й необроблені поверхні (заготовка — вилівок)

8. Керувальна програма має забезпечити надійне стружколамання під час різання. Це досягається, наприклад, періодичними короткочасними зупинками подачі інструмента.

9. Якщо на підприємстві є токарні і токарно-револьверні верстати з ЧПК класу точності «В» (дискрети по осях X і Z мають становити 0,001 мм), то остаточну обробку зовнішніх циліндричних поверхонь, отворів і торців (зокрема попередньо термічно зміцнених заготовок) потрібно виконувати саме на цих верстатах, замінюючи малопродуктивне шліфування тонким точінням.

10. Кількість робочих ходів у процесі нарізання різи різцем залежить від кроку різи, матеріалу заготовки, шорсткості поверхні та вибирається за довідниками, наприклад за [2]; глибина різання для кожного робочого ходу вибирається з умови постійного навантаження на різець, тобто приблизної рівності сумарної площі зрізу для кожного робочого ходу (для визначення глибини різання необхідно знати висоту профілю різи). Для цього застосовуються або довідник, або залежність $h \approx 0,65t$, (де t — крок різи).

Рекомендації щодо розробки маршрутів механічної обробки заготовок деталей типу «Ступінчастий вал»

Способи виготовлення вихідних заготовок:

- штучні заготовки з круглого сортового прокату;
- поковки на ГKM;
- поковки, виготовлені на ротаційно-кувальних машинах.

Чистові технологічні бази:

- центрові отвори, одна з торцевих поверхонь;
- точні зовнішні циліндричні поверхні.

Чорнові технологічні бази:

- зовнішні циліндричні поверхні;
- одна з торцевих поверхонь.

Загальна послідовність етапів обробки:

- 1) обробка чистових технологічних баз (торців і центрових отворів);
- 2) попереднє (чорнове) точіння зовнішніх циліндричних поверхонь і торців;
- 3) попереднє (чистове) точіння зовнішніх циліндричних поверхонь, торців і фасок;
- 4) обробка місцевих елементів — канавок, лисок, різьбових поверхонь, зубчастих вінців, шліцьових поверхонь, шпонкових пазів тощо;
- 5) термічна обробка для забезпечення необхідних фізико-механічних показників матеріалу деталі, зокрема її поверхневого шару (за необхідності);
- 6) остаточна обробка (тонке точіння, кругле і торцеве шліфування) поверхонь, які є конструкторськими базами деталі;

7) остаточна обробка (шліфування) різьбових поверхонь, зубчастих вінців, шліцьових поверхонь;

8) контроль точності обробки.

Рекомендації щодо розробки маршрутів механічної обробки заготовок деталей типу «Фланець»

Способи виготовлення вихідних заготовок:

- штучні заготовки з круглого сортового прокату (дрібносерійне виробництво);

- штамповані поковки;

- виливки.

Чистові технологічні бази:

- попередньо оброблені зовнішня циліндрична поверхня або центральний отвір і один з торців.

Чорнові технологічні бази:

- зовнішня поверхня або центральний отвір (залежно від характеру задачі, яка розв'язується під час вибору чорнових технологічних баз), і один з торців.

Загальна послідовність етапів обробки:

1) обробка (чорнове і чистове точіння і (або) розточування) поверхонь, які на наступній операції будуть використовуватись як чистові технологічні бази, а також обробка на цьому самому установі інших поверхонь, до яких є доступ;

2) обробка місцевих елементів — канавок, лисок, різьбових і гладких кріпильних отворів, пазів (зокрема шпонкових), шліцьових поверхонь тощо;

3) термічна обробка для забезпечення необхідних фізико-механічних показників матеріалу деталі, зокрема її поверхневого шару (за необхідності);

4) остаточна обробка (тонке розточування, внутрішнє шліфування) отворів і торців, що прилягають до цих отворів, які є конструкторськими базами деталі;

5) остаточна обробка (тонке точіння, шліфування) зовнішніх циліндричних поверхонь і торців, що прилягають до цих поверхонь, які є конструкторськими базами деталі;

6) контроль точності обробки.

3.3.2 Обробка заготовок корпусних деталей на багатоцільових свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК

Способи виготовлення вихідних заготовок:

- виливки;

- зварні заготовки (одиничне і дрібносерійне виробництво);

Чистові технологічні бази:

- зазвичай — попередньо оброблені площина і два отвори (для встановлення на опорні пластини і два пальці — циліндричний і зрізаний);

Чорнові технологічні бази:

1) необроблювані поверхні (якщо під час вибору чорнових технологічних баз розв'язується задача забезпечення розмірного зв'язку між обробленими і необробленими поверхнями);

2) чисто оброблювана відповідальна поверхня (якщо під час вибору чорнових технологічних баз розв'язується задача забезпечення зняття мінімального рівномірного припуску з вказаної поверхні).

Загальна послідовність етапів обробки:

1) формоутворення поверхонь чистових технологічних баз, а також обробка на цьому самому установі інших поверхонь, до яких є доступ; (чорнове і чистове фрезерування площини, свердління, розвірчування отворів тощо).

2) попередня (чорнова) обробка площин, які є конструкторськими базами деталі;

3) попередня (чорнова) обробка отворів, які є конструкторськими базами деталі;

4) попередня (напівчистова) обробка площин, які є конструкторськими базами деталі;

5) попередня (напівчистова) обробка отворів, які є конструкторськими базами деталі;

6) обробка місцевих елементів — кріпильних отворів зокрема різбових, фасок, пазів, канавок тощо;

7) остаточна обробка площин, які є конструкторськими базами деталі;

8) остаточна обробка головних отворів;

9) контроль точності обробки.

Якщо механічна обробка заготовок корпусних деталей виконується на сучасних п'ятикоординатних багатоцільових верстатах свердлильно-фрезерно-розточувального типу, то зазвичай перший етап виконують на першій операції, а решту етапів (окрім останнього — контролю точності обробки) — на другій операції з одного установа. Якщо ж верстат має меншу кількість керованих координат (чотири або три), то кількість операцій, необхідних для обробки усіх поверхонь, може бути більшою, але під час вибору схем установів потрібно дотримуватись принципу постійності баз, тобто для базування використовувати ті поверхні, які були підготовлені на першій операції як чистові технологічні бази.

Якщо обробка здійснюється на верстатах з поворотним столом, то зміст операції має передбачати обробку однотипних поверхонь, що розташовані з різних сторін заготовки, в одному переході.

Наприклад, якщо в шпинделі встановлено торцеву фрезу для чорнового фрезерування, то нею бажано обробити усі площини заготовки, які підлягають такій обробці. Ця рекомендація пояснюється тим, що час на повороти столу зазвичай значно менший, ніж час на заміну інструмента у шпинделі.

Розділ 4 ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ Й ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

До пристроїв для встановлення заготовок на верстатах з ЧПК висувається низка специфічних вимог, зумовлених особливостями технології обробки на таких верстатах. Недотримання цих вимог суттєво зменшує ефективність верстатів з ЧПК, а в багатьох випадках й унеможлиблює їх використання. Важливою технічною вимогою до таких пристроїв є підвищена точність розташування опорних елементів пристрою відносно їхніх основних конструкторських баз, оскільки похибки встановлення заготовок мають бути мінімально можливими.

Для забезпечення використання повної потужності верстата на переходах чорнкової обробки пристрої мають бути достатньо жорсткими і забезпечувати надійне затискання. Разом з тим, конструкція верстатного пристрою має забезпечувати високу точність розмірів і на переходах чистової обробки.

Розмірні переміщення заготовки та інструмента на верстатах з ЧПК відбувається у заданій системі координат. Тому верстатний пристрій після встановлення його на верстаті під час підготовки робочого місця до обробки чергової партії заготовок має зайняти точно визначене розташування у системі координат верстата. Для забезпечення точності розмірних переміщень і відповідно точності обробки необхідно, щоб це розташування повністю узгоджувалось зі змістом керувальної програми. Тому в конструкції верстатного пристрою мають бути передбачені базувальні елементи, які чітко задають його розташування в системі координат верстата, відбираючи у нього усі шість ступенів вільності.

Сучасні верстати з ЧПК забезпечують можливість обробки заготовок з чотирьох або п'яти сторін на одному установі. Тому верстатні пристрої мають забезпечувати можливість підведення різальних інструментів до усіх оброблюваних поверхонь.

4.1 Пристрої для встановлення заготовок на верстатах з ЧПК токарної групи

Для встановлення заготовок деталей типу втулок, фланців, стаканів, коротких валиків використовують механізовані й немеханізовані самоцентрувальні три- і двокулачкові патрони.

Трикулачкові самоцентрувальні патрони використовують як на першій, так і на подальших операціях. Оскільки на першій операції для базування заготовки завжди використовуються необроблені поверхні, то необхідно, щоб базувальні (виконавчі) поверхні кулачків мали достатньо високу твердість (43 — 50 HRC) для забезпечення необхідної зносостійкості. Для встановлення заготовок на чисто оброблені поверхні використовують трикулачкові само-

центрувальні патрони з незагартованими накладними кулачками. Такі кулачки зазвичай виготовляються самим підприємством спеціально для обробки партій заготовок певних деталей. Базувальні поверхні цих кулачків розточуються після встановлення їх на базові кулачки (рейки) трикулачкових патронів. Після розточування форма базувальних поверхонь кулачків має бути максимально близькою до форми базової поверхні заготовки.

Встановлення заготовок на зовнішню поверхню, форма якої є близькою до прямокутника, ромба, квадрата або еліпса, здійснюють з використанням двокулачкових самоцентрувальних патронів.

Для встановлення заготовок корпусних деталей складної форми з одним головним отвором, наприклад заготовок деталей типу «Корпус підшипника», «Кронштейн», «Кутник» та ін. використовують планшайби зі змонтованими на них відповідними базувальними деталями і затискачами, а також противагами для усунення вібрацій, спричинених можливим дисбалансом.

Повідцеві патрони й обертові центри використовують для встановлення заготовок деталей типу «Ступінчастий вал» на центрові отвори.

В технологіях обробки на сучасних верстатах з ЧПК набули поширення повідцеві патрони з плаваючими загостреними штирками (торцевими ножами), що врізаються у заготовку під час натискання центром задньої бабки. Приклад такого патрона показано на рис. 4.1. Із застосуванням такого пристрою усі зовнішні поверхні вала відкриті для обробки, а використання плаваючих штирків забезпечує передачу значного крутного моменту навіть за відхилення торця заготовки від перпендикулярності відносно осі центрів.

Загострені плаваючі штирки мають форму циліндрів, задні кінці яких входять у кільцеву порожнину, заповнену гідропластом (гідропласт — це рідиноподібна речовина дуже великої в'язкості). Під час натискання торця вала на вістря одного зі штирків тиск у порожнині з гідропластом збільшується і решта штирків зміщуються уперед, поки сили натиску на усі штирки не зрівняються.

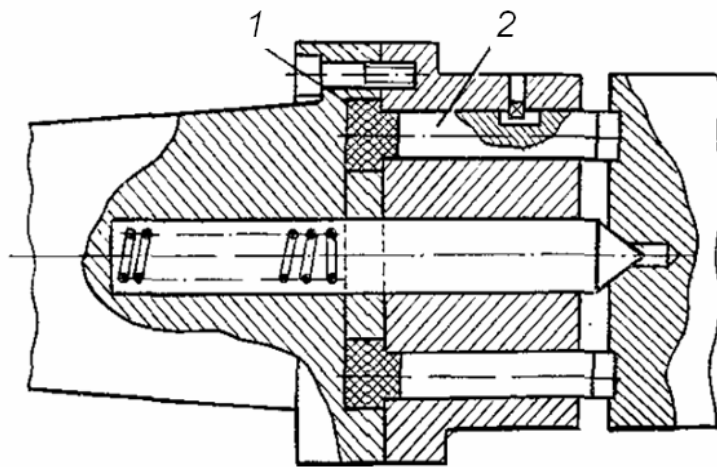


Рисунок 4.1 — Повідцевий патрон з плаваючими штирками

Поширені конструкції повідцевих патронів для верстатів з ЧПК описано у [9]. Як приклад на рис. 4.2 показано схему комбінованого штирково-кулачкового патрона моделі 3ALZD фірми Forkardt (Німеччина) з кулачками, які автоматично (відповідно до команд системи ЧПК) можуть висуватися й ховатися.

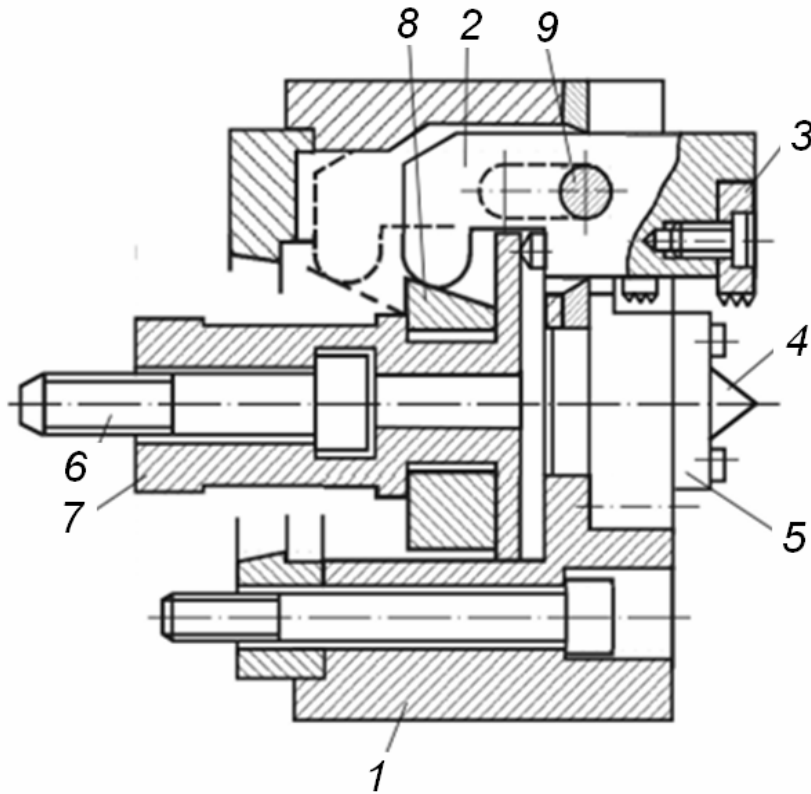


Рисунок 4.2 — Схема комбінованого штирково-кулачкового патрона [9] моделі 3ALZD фірми Forkardt (Німеччина)

Патрон призначений для встановлення заготовок деталей типу «Ступінчастий вал» на один з центрових отворів та передачі на заготовку крутного моменту як під час попередньої обробки з інтенсивними режимами різання, так і під час чистової обробки. Цей патрон дозволяє обробити усю заготовку з одного установа. В корпусі 1 патрона встановлено три важелі 2 з накладними кулачками 3. Заготовка вала (штампована поковка чи штучний прокат) встановлюється в центрах: передньому плаваючому 4 і задньому обертовому (на схемі не показаний). Під дією осьової сили, створюваною піноллю задньої бабки, заготовка підтискається до загострених загартованих штирків 5, які врізаються у торець заготовки. Потім вмикається гідроциліндр, встановлений на задньому кінці шпинделя. Тяга через гвинт 6 переміщує вправо втулку 7 і плаває в радіальному напрямі клинове кільце 8. Важелі 2, обертаючись навколо осей 9, додатково закріплюють вже встановлену в центрах заготовку. За такого подвійного затискання можлива обробка з інтенсивними режимами різання. Коли різець наблизиться до

лівого кінця заготовки, включається зворотний хід штока гідроциліндра (без зупинки верстата). Втулка 8 звільняє клинове кільце 8 і своїм фланцем відводить важелі 2 із зони обробки (у межах паза у важелі). Після цього можлива обробка вала у місці його затискання кулачками, але вже на знижених режимах, оскільки крутний момент передається тільки за допомогою штирків 6. Можлива й інша послідовність обробки — спочатку обробляється шийка під кулачки, а після цього сирими (незагартованими) кулачками заготовка затискається за оброблену поверхню і обробляються решта поверхонь.

Якщо на підприємстві немає у наявності штиркових чи штирково-кулачкових повідцевих патронів, а виготовлення деталей типу «Ступінчастий вал» з круглого прокату потребує швидкого видалення значних напусків, то у такому випадку зацентровані штучні заготовки можуть попередньо обточуватись на двох операціях (рис. 4.3). На першій з цих операцій (рис. 4.3, а) один з кінців заготовки встановлюється у трикулачковий самоцентрувальний патрон із загартованими кулачками, а протилежний кінець заготовки — на обертовий центр задньої бабки і підтискається ним до торців кулачків патрона. На наступній операції (рис. 4.3, б) з використанням такої самої схеми встановлення виконується попереднє обточування решти поверхонь.

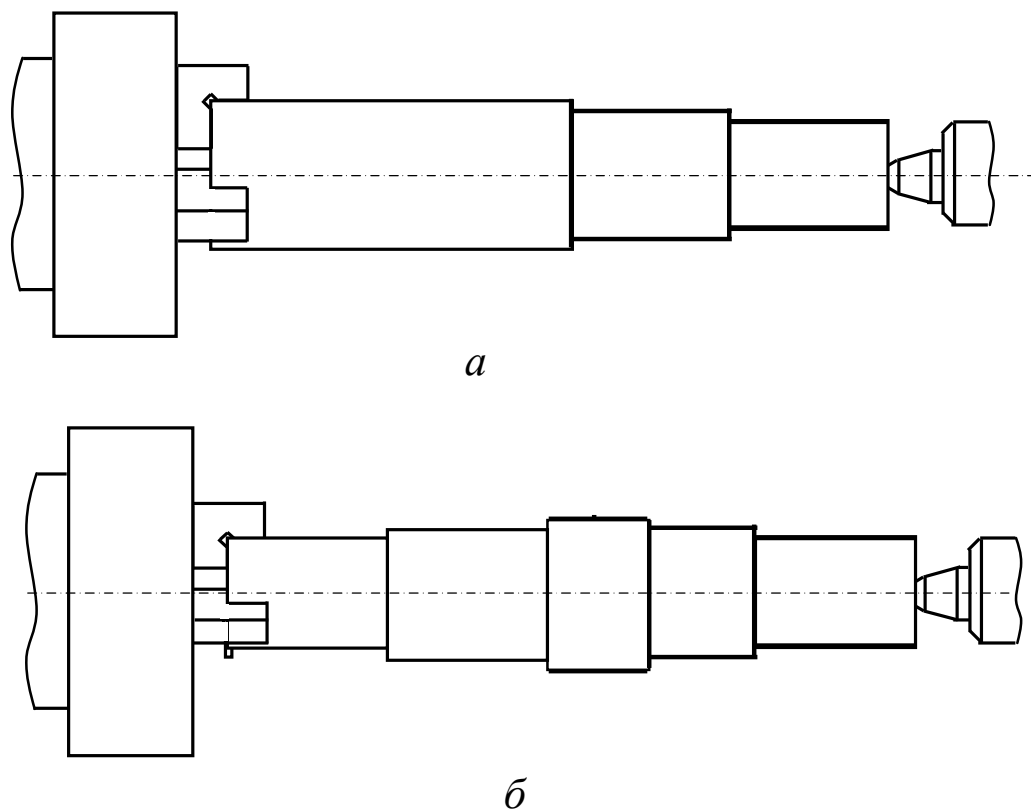


Рисунок 4.3 — Послідовність попередньої обробки штучної заготовки з круглого прокату з використанням трикулачкового самоцентрувального патрона і обертового центра задньої бабки

Для встановлення заготовок з використанням повідцевих штиркових патронів рекомендовано використовувати обертові центри з показчиком осьової сили (рис. 4.4, а). Доступ різців до правого кінця заготовки значно спрощується за використання видовжених обертових центрів (рис. 4.4, б). Схему видовженого обертового центра показано на рис. 4.5.



Рисунок 4.4 — Обертові центри: а — з показчиком осьової сили; б — видовжений

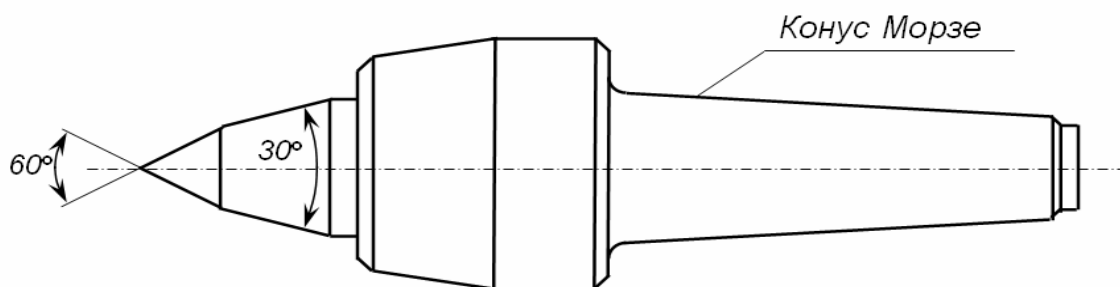


Рисунок 4.5 — Схема видовженого обертового центра

Деякі варіанти встановлення заготовок деталей типу «Фланець» у трикулачковий самоцентрувальний патрон показано на рис. 4.6.

Схема встановлення має повністю узгоджуватись із запропонованою технологом і передбаченою маршрутом обробки схемою базування. У будь-якому випадку встановлення тільки у патрон (без використання задньої бабки) має відібрати у заготовки усі шість ступенів вільності. Зокрема у варіанті, показаному на рис. 4.6, а, використано такий комплект техноло-

гічних баз «подвійна напрямна прихована — опорна явна — опорна прихована»; у решті варіантів — «установна явна — подвійна опорна прихована — опорна прихована».

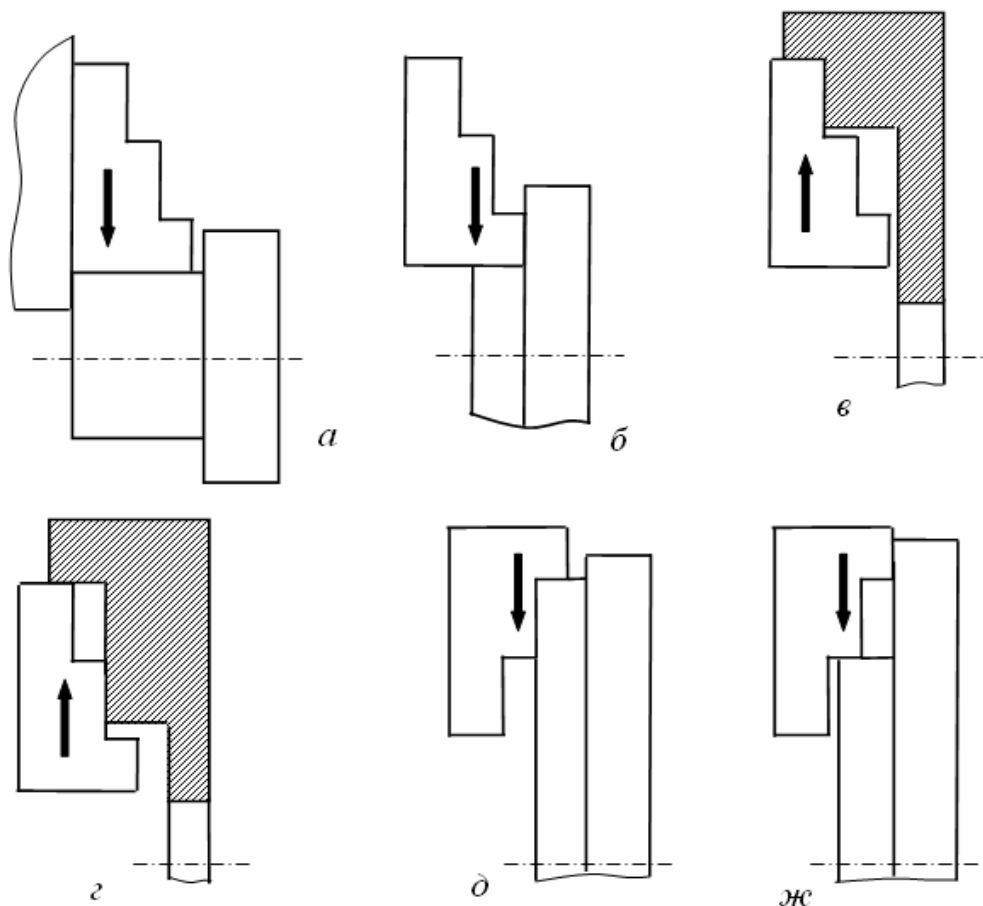


Рисунок 4.6 — Варіанти встановлення заготовок деталей типу «Фланець» у трикулачковий самоцентрувальний патрон

4.2 Пристрої для встановлення заготовок на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК

Виготовлення деталей на верстатах з ЧПК відбувається переважно в умовах дрібносерійного, середньосерійного і великосерійного виробництва. Для партій деталей великого обсягу доцільно використовувати спеціальні верстатні пристрої. Але якщо обсяг партії незначний, то проектування й виготовлення таких пристроїв є економічно невигідним. У цьому випадку краще використовувати пристрої, що швидко складаються з уніфікованих елементів і швидко переналагоджуються. Нині для верстатів з ЧПК розроблено й використовується декілька систем таких пристроїв — універсально-збірні пристрої (УЗП); збірно-розбірні пристрої (ЗРП); універсаль-

но-збірне переналагоджуване оснащення (УЗПО) та ін. У кожному із систем входять декілька груп деталей і складальних одиниць.

Для прикладу у систему ЗРП входять такі групи деталей і складальних одиниць:

- базові;
- встановлювальні;
- притискні.

До базових деталей і складальних одиниць належать немеханізовані і з гідравлічним приводом прямокутні й круглі плити, а також кутники.

Прямокутні немеханізовані плити призначені для складання як немеханізованих, так і гідрофікованих компонок верстатних пристроїв. На верхній площині плит (рис. 4.7) виконано сітку точних отворів 1, призначених для встановлення й фіксації положення спеціальних змінних наладок, встановлювальних, притискних та інших деталей і складальних одиниць.

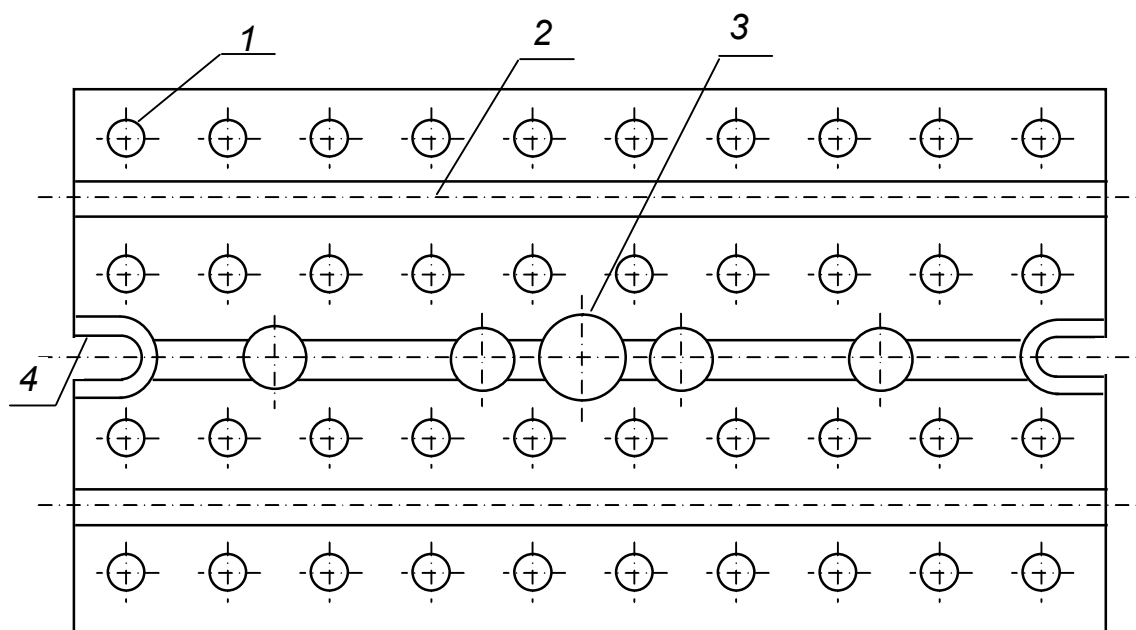


Рисунок 4.7 — Верхня площина немеханізованої базової плити ЗРП

Для монтажу спеціальних змінних наладок, встановлювальних, кріпильних та інших деталей і складальних одиниць передбачено Т-подібні пази 2. Центральний отвір 3 призначений для прив'язки сітки отворів 1 до центрального отвору столу верстата з ЧПК. За допомогою пазів 4 плита кріпиться на столі верстата.

Встановлювальні деталі і складальні одиниці забезпечують потрібне просторове розташування. До групи цих деталей і складальних одиниць належать різні типи опор, планки і призми.

Притискні деталі і складальні одиниці забезпечують затискання оброблених заготовок в компоновці верстатного пристрою. До групи цих деталей і складальних одиниць належать немеханізовані і гідрофіковані лещатні губки й різні типи прихоплювачів.

Як приклад на рис. 4.8 показано складений з деталей і складальних одиниць системи ЗРП пристрій для багаточільового верстата з ЧПК.

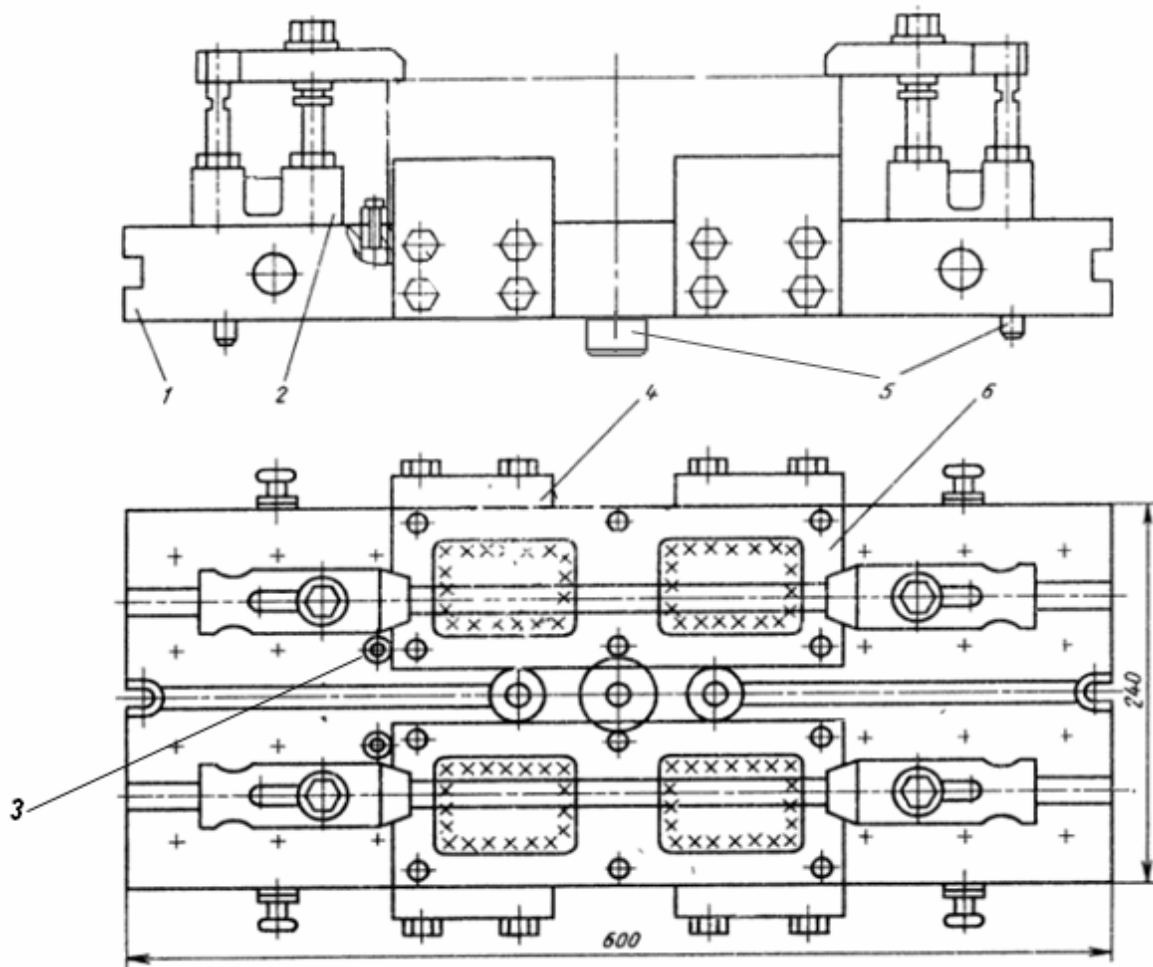


Рисунок 4.8 — Верстатний пристрій, складений з елементів системи ЗРП для встановлення заготовок деталей типу «Корпус»
 1 — базова плита; 2 — притискач; 3 — опорні пальці; 4 — планка; 5 — пальці для встановлення пристрою на стіл верстата; 6 — заготовка

Розділ 5 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ, ЩО ВИКОНУЮТЬСЯ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

5.1 Вибір режимів різання для верстатів з ЧПК

Режими різання для верстатів з ЧПК визначаються послідовно для всіх переходів механічної обробки кожної з технологічних операцій. Якщо перехід складається з декількох робочих ходів, то режими різання визначаються для кожного робочого ходу.

Спочатку потрібно вибрати тип і типорозмір різального інструмента, матеріал його різальної частини, а також ті її геометричні параметри, від яких залежать режими різання.

Перед початком визначення режимів різання потрібно попередньо вибрати типи і моделі верстатів для кожної з операцій. Остаточний вибір моделі верстата для певної операції здійснюють після визначення потужності різання найнавантаженого переходу.

Режими різання визначають у такій послідовності:

- глибина різання;
- подача;
- швидкість різання;
- частота обертання шпинделя;
- потужність різання.

За необхідності, залежно від способу обробки та вибраного обладнання, можуть визначатися й інші показники режимів різання, що необхідні для проектування певної технологічної операції.

На сьогодні режими різання зазвичай визначають за нормативними таблицями.

Для визначення режимів різання для верстатів з ЧПК за нормативами рекомендується користуватися такою літературою:

- [7] — обробка на токарних (зокрема токарних багатоцільових) верстатах з ЧПК;
- [15] — лезова обробка інструментами із швидкорізальної сталі, твердого сплаву і мінералокераміки, а також кругле шліфування на верстатах з ЧПК;
- [17] — лезова обробка різальними інструментами з надтвердих матеріалів (синтетичних алмазів, композитів на основі кубічного нітриду бора) і мінералокераміки, зокрема на верстатах з ЧПК.

5.1.1 Визначення глибини різання

Якщо під час виконання робочого ходу знімається припуск, то глибина різання t під час визначення подачі та швидкості різання дорівнює середньому припуску, тобто

$$t = \frac{z_{\min} + z_{\max}}{2}.$$

Визначаючи потужність різання, потрібно брати максимальну глибину різання $t_{\max} = z_{\max}$.

Припуски визначають за допомогою розрахунково-аналітичного методу або за нормативами.

Мінімальна глибина різання для лезової напівчистої, чистої і викінчувальної (фінішної) обробки (точіння, розточування, фрезерування, зенкерування, розвірчування) визначається за нормативами [15].

Припуск зазвичай зрізається за один робочий хід різального інструмента. Якщо ж перед зніманням припуску спочатку має бути зрізаний напуск, то для забезпечення високої продуктивності глибину різання вибирають максимально можливою. Це зменшує кількість робочих ходів. Конкретне значення глибини різання під час знімання напуску встановлюється з урахуванням виду обробки, матеріалу різальної частини, типу і розмірів різального інструмента, матеріалу і розмірів заготовки, потужності верстата та інших технологічних факторів.

5.1.2 Визначення подачі

Для усіх видів обробки на верстатах з ЧПК подачу вибирають за нормативними таблицями [15]. Для чорнкової обробки подачу призначають максимально допустимою. Для чистої та фінішної обробки подача залежить від бажаної шорсткості обробленої поверхні.

Вид і розмірність подачі залежать від способу механічної обробки. Найчастіше використовувані види подач, їх позначення та розмірність для поширених способів механічної обробки наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Види подач

Способи обробки	Вид подачі	Позначення подачі	Розмірність подачі
1	2	3	4
Точіння, розточування, свердління, розсвердлювання, зенкерування, розвірчування	Подача на один оберт	s	мм/об
	Хвилинна подача	$s_{\text{хв}}$	мм/хв
Фрезерування	Подача на один зуб	s_z	мм/зуб
	Хвилинна подача	$s_{\text{хв}}$	мм/хв

Для точіння, розточування, свердління, розсвердлювання, зенкерування, розвірчування подача інструмента вибирається за нормативами [15] в міліметрах на один оберт. В системах ЧПК токарних верстатів можна задавати подачу як в міліметрах на один оберт (функція G95) так і хвилинну подачу (функція G94).

Для всіх видів фрезерування за нормативами [15] вибирається подача на один зуб фрези s_z . В картах налагодження для фрезерної обробки на верстатах з ЧПК можна вказувати лише хвилину подачу $s_{хв}$, оскільки саме у такому вигляді вона зазвичай задається в керувальних програмах для свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів з ЧПК.

Зв'язок між хвилиною подачею $s_{хв}$, подачею на один оберт s та подачею на один зуб фрези s_z такий

$$s_{хв} = sn = s_z zn,$$

де z — кількість зубів фрези;

n — частота обертання шпинделя.

5.1.3 Визначення швидкості різання та частоти обертання шпинделя

Швидкість різання для всіх видів обробки лезовим інструментом на верстатах з ЧПК найчастіше визначають за нормативами. Нормативні таблиці, відповідні формули й поправкові коефіцієнти, які враховують конкретні умови обробки, є у збірнику [15].

Визначивши швидкість різання, знаходять частоту обертання шпинделя, яка у верстатах з ЧПК для лезової обробки зазвичай регулюється в широких межах.

Частоту обертання шпинделя (в об/хв) визначають за формулою

$$n = \frac{1000v}{\pi d}, \quad (5.1)$$

де d — діаметр (в мм) оброблюваної поверхні або різального інструмента;

v — швидкість різання (в м/хв).

У більшості верстатів з ЧПК частота обертання шпинделя регулюється безступінчасто в заданих паспортними даними верстата межах. Тому визначивши значення n за формулою (5.1), його потрібно округлити в меншу сторону до цілого числа і перевірити, чи входить воно у можливий діапазон. Якщо розрахункове значення n перевищує верхню межу діапазону, то воно зменшується до цієї межі.

У більшості сучасних токарних верстатів з ЧПК можна задавати або частоту обертання шпинделя, або швидкість різання. Задання швидкості різання є зручним для точіння ступінчастих поверхонь валів, торцевих поверхонь фланців тощо.

Швидкість різання для всіх видів шліфування можна брати в межах 30 — 35 м/с.

Для круглошліфувальних, безцентровошліфувальних та плоскошліфувальних верстатів частоту обертання шліфувального шпинделя можна не визначати, оскільки у цих типів верстатів вона зазвичай не регулюється. Для круглошліфувальних верстатів за нормативами, наприклад, [15], ви-

значається колова швидкість заготовки (в м/хв) і потім, за формулою (5.1) — частота обертання шпинделя бабки заготовки.

5.1.4 Визначення потужності різання

Потужність різання N_p визначається за нормативами [15] або розрахунково-аналітичним методом після остаточного визначення глибини різання, подачі, швидкості різання (частоти обертання шпинделя), ширини фрезерування та інших показників.

Для зменшення обсягу роботи потрібно визначати потужність різання тільки для робочих ходів чорнової обробки найширших площин і головних отворів найбільшого діаметра, оскільки верстат для певної операції вибирається за робочим ходом, що характеризується найбільшою потужністю різання.

5.2 Особливості нормування операцій, що виконуються на верстатах з ЧПК

Відповідно до ГОСТ 3.1109—82 *норма часу* — це регламентований час виконання певного обсягу робіт у певних виробничих умовах одним або декількома робітниками відповідної кваліфікації. Таким чином, технічною нормою часу є час (в хвилинах), який відводиться на виконання конкретної операції за певних організаційно-технічних умов з найефективнішим використанням всіх засобів виробництва з урахуванням передового виробничого досвіду.

Під час проектування чи модернізації технологічних процесів механічної обробки заготовок деталей та складання машин визначається час на виконання кожної з операцій (у хвилинах).

Таким чином, норма часу операції визначає його затрати на виконання цієї операції і є основою для оплати праці, а також для визначення собівартості деталі і виробу, розрахунку необхідної кількості робітників, одиниць обладнання, інструментів та верстатних пристроїв.

Верстати з ЧПК використовуються переважно у серійному виробництві.

У серійному виробництві нормою часу операції є штучно-калькуляційний час.

Штучно-калькуляційний час $T_{ш-к}$ визначається за формулою

$$T_{ш-к} = T_{ш} + \frac{T_{п-з}}{n},$$

де $T_{ш}$ — штучний час;

$T_{п-з}$ — підготовчо-завершальний час;

n — кількість заготовок у партії.

Штучний час для операцій, що виконуються на верстатах з ЧПК, визначається за формулою

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{ц.а}} + T_{\text{д}} + T_{\text{об}} + T_{\text{відп}},$$

де $T_{\text{ц.а}}$ — час циклу автоматичної роботи верстата за керувальною програмою;

$T_{\text{д}}$ — допоміжний час;

$T_{\text{об}}$ — час обслуговування робочого місця;

$T_{\text{відп}}$ — час на особисті потреби й відпочинок робітника.

Час циклу автоматичної роботи верстата за програмою

$$T_{\text{ц.а}} = T_{\text{о}} + T_{\text{мд}},$$

де $T_{\text{о}}$ — основний час;

$T_{\text{мд}}$ — машинно-допоміжний час роботи верстата за керувальною програмою.

Основний час визначається за формулою

$$T_{\text{о}} = \sum_1^n T_{\text{о}_i}$$

де $T_{\text{о}_i}$ — час обробки i -ої ділянки.

Для верстатних робіт основний час (у хвиликах) визначається як відношення величини шляху, пройденого різальним інструментом, до його хвилинної подачі.

Для точіння і розточування циліндричних поверхонь основний час визначається за формулою

$$T_{\text{о}} = \frac{L \cdot k}{n \cdot s_{\text{о}}},$$

де $L = l + l_1 + l_2$; l — довжина оброблюваної поверхні, мм;

l_1 — довжина врізання інструмента, мм;

l_2 — довжина перебігу інструмента, мм;

n — частота обертання шпинделя, об/хв;

$s_{\text{о}}$ — подача, мм/об;

k — кількість робочих ходів.

Для свердлильних робіт

$$T_{\text{о}} = \frac{L}{n \cdot s_{\text{о}}}.$$

Для фрезерних робіт

$$T_{\text{о}} = \frac{L}{s_{\text{хв}}},$$

де $s_{\text{хв}}$ — подача, мм/хв.

Для інших способів механічної обробки основний час можна визначити за формулами, які наведені у [5] (додаток И, таблиця И.1, стовпець 3).

Довжина оброблюваної поверхні визначається за кресленням деталі; довжини врізання l_1 та перебігу l_2 — за нормативами [13].

Для фрезерних робіт, які виконуються торцевою фрезою, величини l_1 та l_2 можна визначити з урахуванням ширини фрезерування та діаметра фрези за допомогою геометричних побудов і розрахунків.

Якщо операція складається з декількох переходів, то норма основного часу на таку операцію визначається за формулою

$$T_o = \sum_{i=1}^m T_{o_i},$$

де T_{o_i} — основний час на виконання i переходу;

m — кількість переходів в операції.

Машинно-допоміжний час під час роботи верстата за керувальною програмою ($T_{мд}$) витрачається на підведення інструментів до початкових точок та їх відведення в точку заміни, автоматичну заміну інструментів, на технологічні паузи тощо. Якщо операція складається з декількох переходів, то норма машинно-допоміжного часу визначається за формулою

$$T_{мд} = \sum_{i=1}^m T_{мд_i}.$$

Машинно-допоміжний час для кожного з переходів розраховується з урахуванням довжин допоміжних ходів, швидкості позиціонування (швидких переміщень робочих органів), тривалостей технологічних пауз тощо.

З плином допоміжного часу (T_d) робітник виконує дії, внаслідок яких не відбувається якісних змін предмета праці, але ці дії необхідні для підготовки таких змін. У допоміжний час входять:

- час на встановлення заготовки у верстатний пристрій та її знімання;
- допоміжний час, пов'язаний з операцією, але не увійшов до $T_{мд}$;
- час на контрольні вимірювання в процесі виконання операції або після її завершення.

Тривалість дій, які входять до T_d , визначаються за нормативами.

У технічному нормуванні використовується також поняття оперативного часу, який визначається за формулою

$$T_{оп} = T_{ц.а} + T_d.$$

Час обслуговування робочого місця є частиною штучного часу, що витрачається робітником на підтримання обладнання та інструменту у роботоздатному стані, догляд за ними і робочим місцем. Цей час поділяють на

час технічного обслуговування робочого місця і час організаційного обслуговування робочого місця, тобто $T_{об} = T_{т.об} + T_{о.об}$.

Час технічного обслуговування робочого місця використовується робітником на догляд за робочим місцем під час виконання роботи. Сюди входять:

- час на піднастроювання інструмента;
- час на заміну інструмента, що затупився;
- час на видалення стружки з робочої зони верстата.

Час організаційного обслуговування робочого місця використовується робітником для догляду за робочим місцем на початку і в кінці зміни; сюди входять:

- час на розкладання інструменту на початку зміни і його прибирання у шафу в кінці зміни;
- час на очищення верстата від стружки і його змащування у кінці зміни;
- час на огляд і пробне вмикання верстата.

В одиничному, дрібносерійному і середньосерійному виробництві величини $T_{об}$ і $T_{відп}$ як окремі складові норми штучного часу не визначаються. В нормативах наводиться сума цих двох складових у відсотках ($P_{об.відп}$) від оперативного часу. Таким чином, загальний час на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби робітника визначають за формулою

$$T_{обс} + T_{відп} = \frac{T_{оп} P_{об.відп}}{100} .$$

Підготовчо-завершальний час $T_{п-з}$ витрачається на:

- отримання інструментів, верстатних пристроїв і технологічної документації;
- ознайомлення з технологічною документацією;
- уведення керувальної програми в систему ЧПК;
- отримання інструктажу;
- налагодження обладнання і пристроїв;
- повернення на склад інструментів і пристроїв;
- здавання готової продукції тощо.

Підготовчо-завершальний час витрачається на всю партію і не залежить від кількості заготовок у партії.

Норма підготовчо-завершального часу визначається за нормативами як сумарний час на всі дії робітника з підготовки певного робочого місця до обробки партії заготовок.

Основними джерелами для технічного нормування операцій, що виконуються на верстатах з ЧПК є:

- [7] — токарні верстати;
- [14] — верстати для лезової обробки (токарні, фрезерні, свердлильні, розточувальні, багатоцільові) і круглошліфувальні.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ

1. Сфера використання та класифікація верстатів з ЧПК.
2. Будова та технологічні можливості токарних верстатів з ЧПК.
3. Будова та технологічні можливості токарно-револьверних верстатів з ЧПК. Яка основна відмінність токарно-револьверного верстата від токарного?
4. Будова та технологічні можливості багатоцільових верстатів з ЧПК токарної групи.
5. Будова та технологічні можливості багатоцільових верстатів з ЧПК свердлильно-фрезерно-розточувальної групи.
6. Будова та технологічні можливості шліфувальних верстатів з ЧПК.
7. Будова та технологічні можливості зубообробних верстатів з ЧПК. Які функції у цих верстатах виконує система ЧПК?
8. Особливості будови станин і напрямних верстатів з ЧПК.
9. Приводи подачі верстатів з ЧПК. Як забезпечується безступінчасте регулювання величини подачі і необхідна точність розмірних переміщень робочих органів в сучасних верстатах з ЧПК?
10. Приводи головного руху верстатів з ЧПК. Як забезпечується безступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя в сучасних верстатах з ЧПК?
11. Поняття систем координат верстата та деталі. Що таке стандартна система координат? У якій системі координат складається керувальна програма? Як розташована система координат токарного верстата? Як розташована система координат свердлильно-фрезерно-розточувального верстата? Як вибирається розташування початку системи координат деталі?
12. Поняття керувальної програми. Поняття кадру. Склад кадру. Для виконання якої частини технологічного процесу розробляють керувальні програми?
13. Поняття інтерполяції. Види інтерполяції, які використовуються в системах ЧПК. Поняття дискрети.
14. Основні підготовчі функції (G).
15. Основні допоміжні функції (M).
16. Програмування функції інструмента (T).
17. Програмування прямолінійних розмірних переміщень.
18. Програмування розмірних переміщень по дузі кола.
19. Програмування швидких переміщень і робочої подачі.
20. Програмування швидкості головного руху.
21. Поняття постійного циклу. Наведіть приклад фрагменту керувальної програми з використанням одного з постійних циклів і поясніть його зміст.

22. Сфери використання систем автоматизованого програмування пристроїв ЧПК (САП ПЧПК) та їх класифікація. Склад САП ПЧПК. Початкові дані для розробки керувальної програми за допомогою САП ПЧПК.

23. Особливості задання розташування точки початку системи координат деталі (розмірної прив'язки інструментів) під час підготовки операції механічної обробки на токарному верстаті з ЧПК.

24. Зміст і послідовність розмірного настроювання токарних верстатів з ЧПК.

25. Задання розташування точки початку системи координат деталі під час розробки керувальної програми для свердлильно-фрезерно-розточувального верстата з ЧПК.

26. Зміст і послідовність розмірного настроювання свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів з ЧПК.

27. Похибки механічної обробки на верстатах з ЧПК. Причини виникнення цих похибок і шляхи їх зменшення. Чи може виникати похибка базування під час обробки на верстатах з ЧПК?

28. Чи може виникати похибка, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента, під час обробки на верстатах з ЧПК? Якщо так, то як її зменшити?

29. Які похибки впливають на точність діаметральних розмірів зовнішніх циліндричних поверхонь, що обробляються (точаться) на токарних верстатах з ЧПК?

30. Які похибки впливають на точність діаметральних розмірів отворів в деталях типу фланець, що розточуються на токарних верстатах з ЧПК?

31. Які похибки впливають на точність міжосьових розмірів отворів в корпусних деталях, що обробляються на багатоцільових верстатах з ЧПК?

32. Які похибки впливають на точність діаметральних розмірів отворів в корпусних деталях, що розточуються на багатоцільових верстатах з ЧПК?

33. Показники точності, які можуть бути досягнуті під час обробки на верстатах з ЧПК токарної групи.

34. Показники точності, які можуть бути досягнуті під час обробки на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК.

35. Які основні переваги забезпечує обробка заготовок корпусних деталей на верстатах з ЧПК порівняно з обробкою на верстатах з ручним керуванням?

36. Які основні вимоги висуваються до пристроїв для встановлення заготовок на верстатах з ЧПК?

37. Які типи пристроїв найчастіше використовуються для встановлення заготовок деталей типу «Ступінчастий вал» на токарних верстатах з ЧПК?

38. Які типи пристроїв найчастіше використовуються для встановлення заготовок деталей типу «Фланець» на токарних і токарно-револьверних верстатах з ЧПК?

39. Які типи пристроїв найчастіше використовуються для встановлення заготовок корпусних деталей на багатоцільових верстатах з ЧПК свердильно-фрезерно-розточувального типу?

40. Які фактори враховуються під час визначення режимів різання?

41. У якій послідовності визначають режими різання?

42. З яких міркувань призначають подачу для чорнової обробки?

43. З яких міркувань призначають подачу для чистової обробки?

44. Які фактори впливають на вибір швидкості різання?

45. Для яких переходів визначають потужність різання?

46. Чим відрізняється структура штучного часу для операцій, що виконуються на верстатах з ЧПК, порівняно з операціями, виконуваними на верстатах з ручним керуванням?

47. Чим відрізняється структура підготовчо-завершального часу для операцій, що виконуються на верстатах з ЧПК, порівняно з операціями, виконуваними на верстатах з ручним керуванням?

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровик А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва / Боровик А. І. — К. : Кондор. 2008. — 728 с.
2. Гжиров Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ : справочник / Р. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий. — Л. : Машиностроение, 1990. — 588 с.
3. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навч. посіб. / Дерібо О. В. — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 с.
4. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навчальний посібник / Дерібо О. В. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 116 с.
5. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування / Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Пурдик В. П. — Вінниця, 2013. — 123 с.
6. Каштальян И. А. Обработка на станках с числовым программным управлением : справочное пособие / И. А. Каштальян, В. И. Клевзович. — Мн. : Выш. Шк., 1989. — 271 с.
7. Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ / Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А.; під заг. ред. В. А. Кириловича. — Житомир : ЖІТІ, 2001. — 600 с.
8. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. — М. : Машиностроение, 1985. — 224 с.
9. Кузнецов Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ : справочник. / сост. Кузнецов Ю. И., Маслов А. Р., Байков А. Н. — М. : Машиностроение, 1990. — 512 с.
10. Муляр Ю. І. Програмування токарної обробки на верстатах з ЧПК : навчальний посібник / Ю. І., Муляр, О. В. Дерібо. — Вінниця : ВНТУ, 2004. — 91 с.
11. Муляр Ю. І. Програмування багатоінструментальної обробки на верстатах з ЧПК : навчальний посібник / Муляр Ю. І. — Вінниця : ВНТУ, 2006. — 192 с.
12. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «САП верстатів з ЧПК» / Уклад. Д. О. Лозінський, О. В. Петров, О. М. Мироненко. — Вінниця : ВНТУ, 2018. — 42 с.
13. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. / [сост. Панов А. А., Аникин В. В., Бойм Н. Г. и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. — М. : Машиностроение, 1988. — 736 с.
14. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть I. Нормативы времени. — М. : Экономика, 1990. — 206 с.
15. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых

станках с программным управлением. Часть II. Нормативы режимов резания. — М. : Экономика, 1990. — 473 с.

16. Основы технологии машиностроения / [Кован В. М., Корсаков В. С., Косилова А. Г. и др.] ; под ред. В. С. Корсакова. — М. : Машиностроение, 1977. — 416 с.

17. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение : справочник / [сост. Жедь В. П., Боровский Г. В., Музыкант Я. А. и др.]. — М. : Машиностроение, 1987. — 320 с.

18. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / [В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильев и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 656 с.

19. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / [Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов и др.]; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 496 с.

20. Стискин Г. М. Токарные станки с оперативным программным управлением / Г. М. Стискин, В. Д. Гаевский. — К. : Техника, 1989. — 176 с.

21. Якимов О. В. Технологія автоматизованого машинобудування : підручник / О. В. Якимов та ін. — Одеса : ОНПУ, 2005. — 410 с.

22. Learning SOLIDWORKS 2022 Modeling, Assembly and Analysis / Randy H. Shih: SDC Publications, 2022. — 542 p.

23. <https://www.solidcam.com/subscription/documentation>

*Навчальне електронне видання
комбінованого використання.
Можна використовувати в локальному та мережному режимах*

**Дерібо Олександр Володимирович
Лозінський Дмитро Олександрович
Сердюк Ольга Валентинівна**

ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

Навчальний посібник

Рукопис оформив *О. Дерібо*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет підготувала *Т. Старічек*

Підписано до видання 22.02.2023 р.

Гарнітура Times New Roman.

Зам. № P2023-012.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ.

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.

Тел. (0432) 65-18-06.

press.vntu.edu.ua;

E-mail: irvc.ed.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.