

Лекція 15.

ПІДГОТОВКА УП ДЛЯ ПРОГРАМУВАННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ

15.1. Системи координат верстатів з ЧПУ

Робота верстата з ЧПУ тісно зв'язана із системами координат. Осі координат розташовуються паралельно напрямним верстата, що дозволяє при програмуванні обробки вказувати напрямки та величини переміщення робочих органів.

За єдину систему координат для усіх верстатів із ЧПУ прийнята стандартна (права) система, при якій осі X , Y , Z (рис. 15.1) вказують на додатні переміщення інструментів відносно рухомих частин верстата. На додатні напрямки руху заготовки відносно нерухомих частин верстата вказують осі X' , Y' , Z' , спрямовані протилежно осям X , Y , Z . Таким чином, за додатний напрямок рухів взято такі рухи, при яких інструмент та заготовка віддаляються один від одного.

Кругові переміщення інструмента (наприклад, кутове зміщення осі шпинделя фрезерного верстата) позначаються буквами A (навколо осі X), B (навколо осі Y), C (навколо осі Z), а кругові переміщення заготовки (наприклад, поворот стола за УП на розточувальному верстаті) – відповідно буквами A' , B' , C' .

У поняття “кругові переміщення” не входить обертання шпинделя, що несе інструмент, або шпинделя токарного верстата. Для позначення вторинних кутових рухів навколо спеціальних осей використовуються букви D та E .

Для позначення напрямку переміщення двох робочих органів вздовж однієї прямої використовуються так звані вторинні осі: U (паралельно X), V (паралельно Y), W (паралельно Z). При трьох переміщеннях в одному напрямку застосовуються ще і так звані третинні осі P , Q , R (див. рис. 15.1).

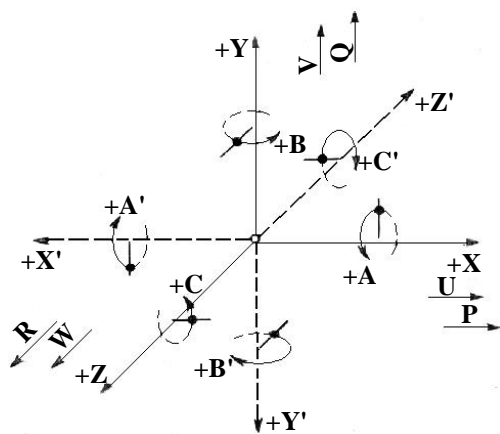


Рис. 15.1. Осі стандартної системи координат верстатів з ЧПУ

15.1.1. Система координат верстата

У верстатів різних типів та моделей системи координат розміщуються по-різному (рис. 15.2). При цьому визначаються додатні напрямки осей і положення початку координат (нуль верстата M).

Система координат верстата є головною розрахунковою системою, у якій визначаються граничні переміщення, початкові та поточні положення робочих органів верстата. При цьому положення робочих органів верстата характеризують їх базові точки, що вибираються із врахуванням конструктивних особливостей окремих керованих за УП вузлів верстата. Так, базовими є точки:

– для шпиндельного вузла – точка **N** перетину торця шпинделя з віссю його обертання (рис. 15.3);

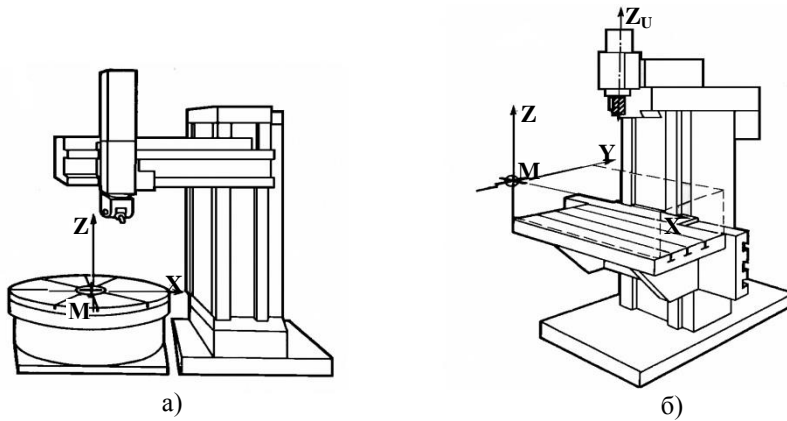


Рис. 15.2. Розміщення координатних систем у різних верстатах з ЧПУ:
 а – одностійкового карусельного;
 б – вертикально-фрезерного

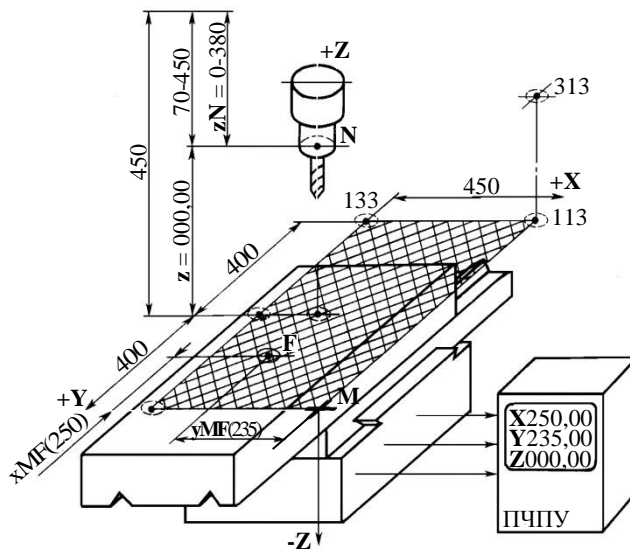


Рис. 15.3. Система координат вертикально-свердлильного верстата з ЧПУ

- для супорта токарно-револьверного верстата – центр повороту різцетримача у площині, що є паралельною напрямним супорта і проходить через вісь обертання шпинделя, або точка базування інструментного блоку;
- для хрестового стола – точка перетину його діагоналей чи спеціальна точка настроювання, що визначається конструкцією пристосування;
- для поворотного стола – центр повороту на дзеркалі стола тощо.

Базова точка може бути матеріально виражена точним базовим отвором у центрі стола верстата (наприклад, точка **F** на рис. 15.3).

У технічній документації межі можливих переміщень робочих органів, як правило, вказуються межами переміщень базових точок.

Систему координат верстата (див. рис. 15.1) прийнято називати стандартною. У цій системі додатні напрямки осей координат визначаються за правилом правої руки. При цьому великий палець (рис. 15.4, а) вказує на додатний напрямок осі абсцис (**X**), вказівний – осі ординат (**Y**), середній – осі аплікат (**Z**). Додатні напрямки обертань навколо цих осей визначаються іншим правилом правої руки. Відповідно до цього правила, якщо розташувати великий палець в напрямку осі, то інші зігнуті пальці правої руки вкажуть на додатний напрямок обертання (рис. 15.4, б).

Орієнтація осей стандартної системи координат верстата зв'язується з напрямком руху при свердлінні на свердлильних, розточувальних, фрезерних і токарних верстатах. Напрямок виведення свердла із заготовки прийнято за додатний для осі **Z**, тобто вісь **Z** завжди зв'язується з обертовим елементом верстата – шпинделем. Вісь **X** перпендикулярна до осі **Z** і паралельна площині встановлення заготовки. Якщо такому визначенню відповідають дві осі, то за вісь **X** приймають ту, вздовж якої можливим є більше переміщення вузла верстата. При відомих осях **X** та **Z** вісь **Y** однозначно визначається з умови розташування осей у правій прямокутній системі координат.

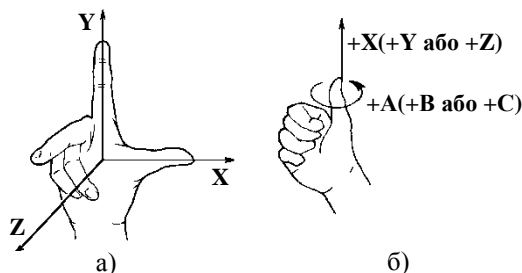


Рис. 15.4. Правило правої руки, що вказує на:

- а – додатні напрямки осі координат;
- б – додатні напрямки обертових рухів

У цьому положенні робочі органи (базові точки), що несуть заготовку та інструмент, найменше віддалені один від одного, а відлікові елементи верстата визначають нуль відліку на табло цифрової індикації.

Наприклад, у вертикально-свердлильного верстата (див. рис. 15.3) базовою точкою **F** стола є центр стола, у якому виконаний отвір $\varnothing 40H8$. Базовою точкою шпинделя є точка **N** – центр отвору шпинделя в площині торця шпинделя. Конструкцією верстата визначено, що стіл переміщується по осі **X** (поздовжня вісь стола) на 400 мм вправо і вліво відносно центрального положення базової точки. Можливі переміщення стола вздовж осі **Y** (поперечні) складають 450 мм. Таким чином, прямокутник (на рис. 15.3 заштрихований), утворений лініями можливого

Початок стандартної системи координат верстата зазвичай суміщають з базовою точкою вузла, що несе заготовку, зафіксованого в такому положенні, при якому всі переміщення робочих органів верстата могли б описуватися позитивними координатами (див. рис. 15.2, 15.3). Точка **M**, прийнята за початок відліку системи координат верстата, називається нульовою точкою верстата або нулем верстата. У

переміщення точки **F** по осях **X** та **Y**, визначають можливу зону обробки заготовок інструментом, вісь якого співпадає з віссю шпинделя. Ця зона (її часто називають робочою зоною) у розглянутого верстата в площині обмежена розмірами 800×450 мм.

Наявність даних про зону обробки є обов'язковою, тому що вони визначають можливості верстата при програмуванні переміщень оброблюваних заготовок.

Для того щоб відлік переміщень стола вздовж осей **X** та **Y** завжди був додатним, нуль верстата **M** приймають розміщеним в одному з кутів робочої зони (див. рис. 15.2, б). Природно, що положення точки **M** є фіксованим і незмінним, і в цьому випадку точка **M** буде початком координат верстата. Тоді положення точки **F** може бути задане координатами x_{MF} та y_{MF} відносно точки **M**.

При цьому перша літера (наприклад, **x**) вказує на вісь координати відліку, друга літера (наприклад, **M**) – на початкову точку відліку, а третя літера (наприклад, **F**) визначає кінцеву точку відліку даної координати. Тому позначення, наприклад, x_{MF} показує, що координата (відстань) вимірюється в напрямку осі **x** від точки **M** до точки **F**.

При роботі верстата табло індикації на панелі ПЧПУ відбиває реальне положення базових точок верстата відносно нуля верстата, тобто відносно точки **M**.

На розглянутому верстаті (рис. 15.3) в положенні, коли вісь шпинделя буде суміщена з нульовою точкою **M**, а його торець знаходиться на відстані 70 мм від дзеркала стола, на табло цифрової індикації за всіма програмованими координатами (**X**, **Y**, **Z**) будуть показані нулі.

Таким чином, якщо на даному верстаті обробляти деталь з використанням абсолютного відліку, то всі її координати (рис. 15.5) повинні бути визначені відносно нульової точки **M** верстата.

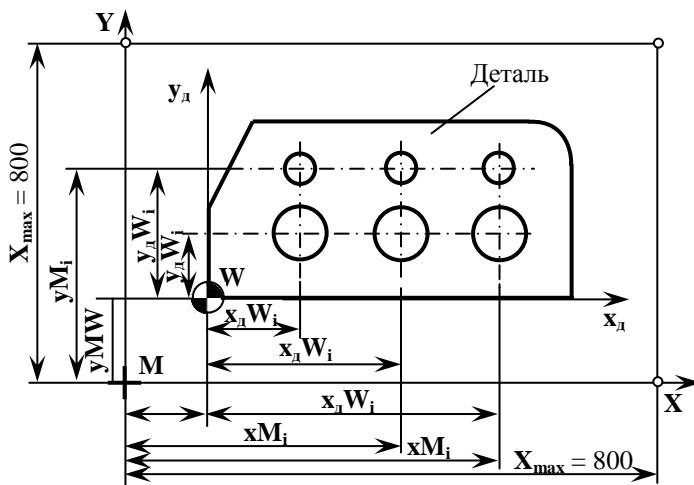


Рис. 15.5. Системи координат верстата **XMY** та деталі $X_d W Y_d$

Звичайно в нульову точку верстата робочі органи можна перемістити шляхом натискання кнопок на пульті управління верстатом або з використанням відповідних команд УП. Точна зупинка робочих органів в нульовому положенні по кожній з координат забезпечується датчиками нульового положення.

Рухи робочих органів верстата задаються в УП або координатами, або приростами координат базових точок у стандартній (правій) системі координат.

У розглянутому прикладі (див. рис. 15.3) – це координати x_{MF} та u_{MF} центра стола (базової точки F) і координата Z_N положення по висоті торця шпинделя (базової точки N відносно нульового рівня).

У паспортах верстатів з ЧПУ всіх типів зазначені координати, що закріплені за конкретним робочим органом, і показані напрямки всіх осей, початок відліку по кожній з осей і межі можливих переміщень. Для того щоб не було плутанини з додатними напрямками переміщень робочих органів, зв'язаних із заготовкою (позначення осей зі штрихом) та інструментом (позначення осей без штриха), при підготовці УП завжди виходять з того, що *інструмент рухається відносно нерухомої заготовки*. У відповідності з цим і вказують додатні напрямки осей координат на розрахункових схемах, ескізах та іншій документації, що використовується при програмуванні. Іншими словами, за основну при програмуванні приймають стандартну систему координат, у якій визначені положення і розміри оброблюваної деталі, відносно якої переміщається інструмент. Прийняте допущення коригується системою ПЧПУ таким чином, що якщо для реалізації запрограмованого руху інструмента відносно заготовки необхідно перемістити робочий орган з інструментом, то цей рух виконується із заданим в УП знаком, а якщо потрібно перемістити робочий орган із заготовкою, то знак напрямку руху змінюється на протилежний.

15.1.2. Система координат інструмента

Система координат інструмента призначена для задання положення його різальної частини відносно державки.

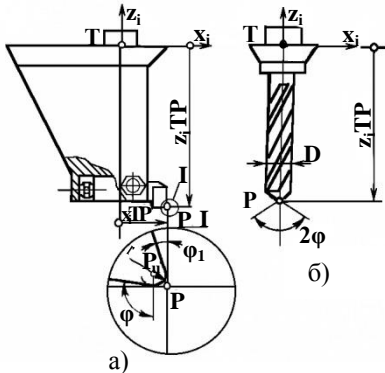


Рис. 15.6. Система координат інструмента:
а – різець;
б – свердло

Інструмент описується в робочому положенні у зборі з державкою (рис. 15.6). При описі всього розмаїття інструментів для верстатів з ЧПУ зручно використовувати єдину систему координат інструмента X_iTZ_i , осі якої паралельні відповідним осям стандартної системи координат верстата та спрямовані в ту ж сторону. Початок системи координат інструмента розташовується у базовій точці T інструментного блоку, що обирається із врахуванням особливостей його встановлення на верстаті. При встановленні блоку на верстаті точка T часто суміщається з базовою точкою елемента верстата, що несе інструмент, наприклад, із точкою N (рис. 15.7).

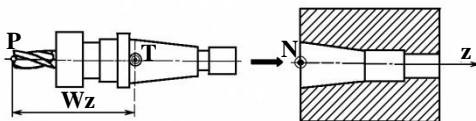


Рис. 15.7. Схема базування інструмента

Різальна частина інструмента характеризується положенням його вершини та різальних кромки. Вершина інструмента задається радіусом заокруглення r і координатами x_iTP та z_iTP її настроювальної точки P (див. рис. 15.6, а), положення якої відносно початку системи координат інструмента забезпечується налагодженням інструментного блоку поза верстатом на спеціальному пристосуванні. Положення різальної кромки різця задається головним ϕ та допоміжним ϕ_1 кутами в плані, а свердла – кутом 2ϕ при вершині і діаметром D . Вершина інструмента, що обертається, лежить на осі обертання, і тому для її задання досить вказати аплікату z_iTP .

Налагоджувальна точка інструмента P звичайно використовується як розрахункова при обчисленні траєкторії інструмента, елементи якої паралельні координатним осям. Розрахунковою точкою криволінійної траєкторії є центр заокруглення P_i при вершині інструмента (див. рис. 15.6, а).

15.1.3. Зв'язок систем координат

Таким чином, при обробці деталей на верстатах з ЧПУ (рис. 15.8, а) можна виділити три координатні системи:

- перша – система координат верстата X_MZ , що має початок відліку в точці M – нуль верстата (рис. 15.8, б). У цій системі визначаються положення базових точок окремих вузлів верстата, причому кількісні значення координат тих чи інших точок (наприклад, точки F) виводяться на табло цифрової індикації верстата;
- друга координатна система – це система координат деталі програми обробки деталі X_dWZ_d (рис. 15.8, в);
- третя система – система координат інструмента X_iTZ_i (рис. 15.8, г), у якій визначене положення центра P інструмента відносно базової точки F (K , T) елемента верстата, що несе інструмент.

Система координат деталі – це система, у якій визначені всі розміри даної деталі та дані координати всіх опорних точок контуру деталі. Система координат деталі переходить у систему координат програми – у систему, у якій дані координати всіх точок і визначені всі елементи, у тому числі і розміщення допоміжних траєкторій, що необхідні для складання УП з обробки даної деталі. Система координат деталі та програми звичайно поєднані і представляються єдиною системою, у якій і виконується програмування, і виконується обробка деталі. Система призначається технологом-програмістом відповідно до координатної системи вибраного верстата. У цій системі, що визначає положення деталі у пристосуванні, розміщення опорних елементів пристроїв, траєкторії руху інструмента тощо, вказується так звана точка початку обробки – вихідна точка (O). Вона є першою точкою для обробки деталі за УП. Часто точку O називають “нуль програми”. Перед початком обробки центр P інструмента повинен бути суміщений з цією точкою. Її положення вибирає технолог-програміст перед складанням УП виходячи із зручності:

- відліку розмірів;
- розміщення інструмента і заготовок тощо, прагнучи уникання зайвих холостих ходів наблизити інструменти до оброблюваної деталі.

При багатоінструментній обробці вихідних точок може бути декілька, що визначається кількістю інструментів, які використовуються, оскільки для кожного інструмента задається своя траєкторія руху.

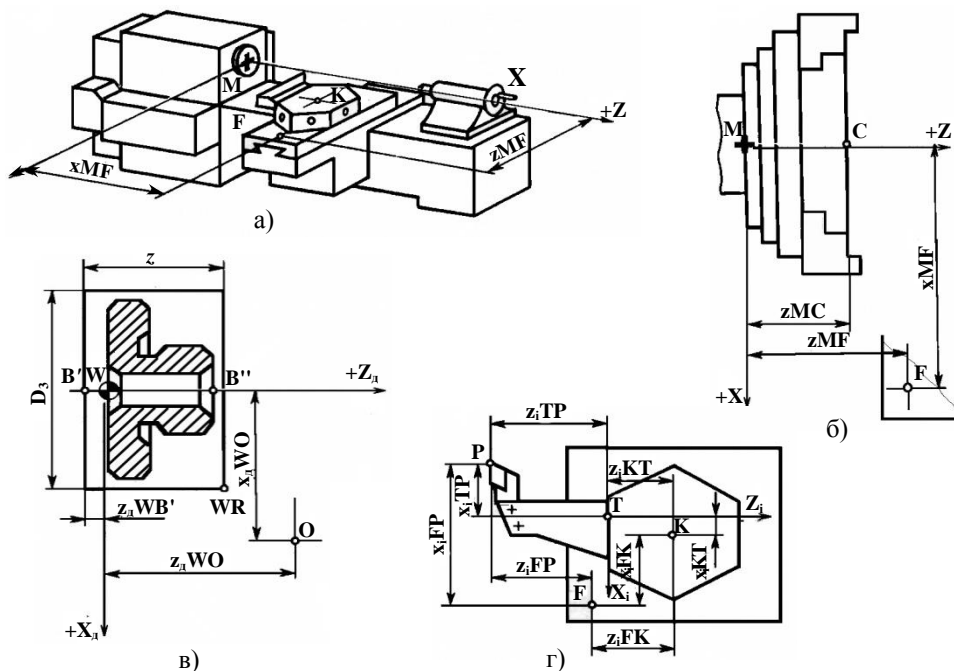


Рис. 15.8. Системи координат при обробці на токарному верстаті:
 а – приклад розташування базових точок **P**, **K**, **F** в системі координат верстата;
 б – система координат верстата;
 в – система координат деталі або програми обробки;
 г – система координат інструмента

Положення вихідної точки **O**, як і будь-якої іншої точки траєкторії інструмента, переводиться в систему координат верстата із системи координат програми (деталі) через базову точку **C** пристосування (**O–W–C–M**). Центр інструмента **P**, заданий координатою в системі координат інструмента $X_i T Z_i$ (див. рис. 15.8, г), переводиться в систему координат верстата через базову точку **K** супорта, що задана відносно базової точки **F** (**P–K–M**).

Такий зв'язок систем координат деталі, верстата та інструмента дозволяє витримувати задану точність при перевстановленнях заготовки та враховувати діапазон переміщень робочих органів верстата при розрахунку траєкторії інструмента в процесі підготовки програмного управління.

Налагодження верстата для роботи з УП спрощується, якщо:

- нульова точка верстата знаходиться в початку стандартної системи координат верстата;
- базові точки робочих органів приведені у фіксовані точки верстата;
- траєкторія інструмента задана в УП переміщеннями базової точки робочого органу, що несе інструмент, в системі координат верстата.

Це можливо, якщо базова точки **C** пристосування визначена в системах координат деталі і верстата. Якщо ж траєкторія інструмента задана в УП переміщеннями вершини інструмента в системі координат деталі, то для реалізації такої УП використовують так званий “плаваючий нуль”.

При програмуванні в ряді випадків за вихідну точку приймають точку початку системи координат програми (деталі). Тоді зручно, визначивши в системі положення базових точок пристосування для деталі, будувати траєкторію руху центра інструмента.

При токарній обробці найчастіше за початок координатної системи УП приймають базову точку деталі на базовому торці. При встановленні деталі у пристосуванні вона збігається з базовою точкою **С** на площині пристосування (рис. 15.9).

Вихідна точка **О** визначається координатами x_dWO та z_dWO (рис. 15.9, а) відносно початку системи координат УП в місці, що залежить від виду використовуюваного інструмента, конструкції супорта або РГ та координат вершини інструмента в системі координат інструмента.

Усі три розглянуті координатні системи на будь-якому верстаті взаємозалежні. У більшості випадків у кожній даній УП розташування координатної системи УП є незмінною відносно початку координатної системи верстата.

На токарному верстаті (рис. 15.9, а) нульова точка верстата **М**, розташована на торці шпинделя, визначає положення координатних осей верстата **Z** і **X**. Відносно нульової точки при роботі верстата в абсолютній системі координат ведеться відлік переміщень базової точки супорта **F**. При цьому поточні значення координат xMF та zMF виводяться на табло цифрової індикації. При обробці даної деталі завжди повинна бути відома величина zMC , тобто відстань відносно точки **М** базової точки **С** площини пристосування (токарного патрона), з якою при встановленні заготовки суміщається її базова точка **В'**.

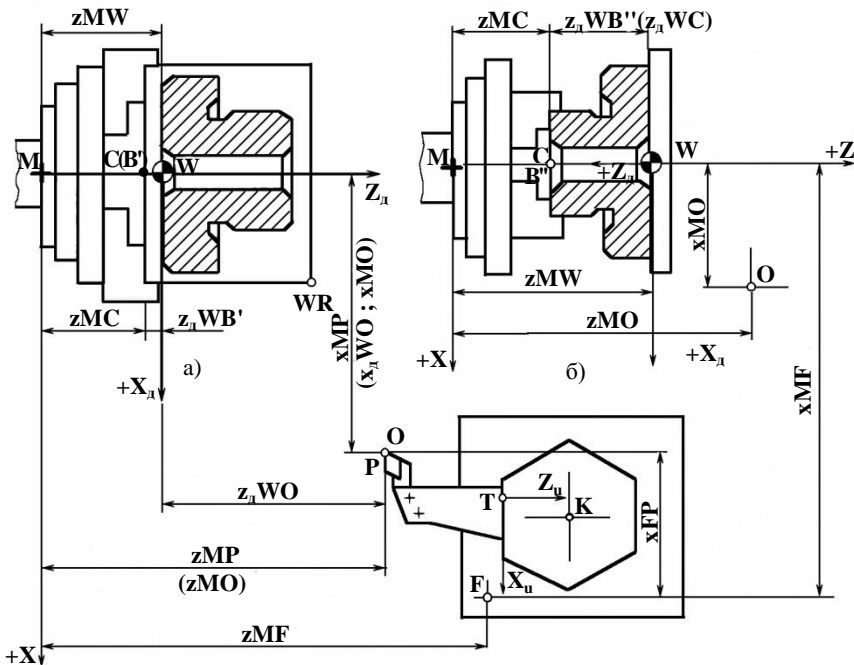


Рис. 15. 9. Зв'язок систем координат при обробці на токарному верстаті з ЧПУ

Для координатної системи програми $X_d W Z_d$ (див. рис. 15.8, в та 15.9) характерного є наявність вихідної точки O , що визначається координатами $x_d W O$ та $z_d W O$ відносно осей координатної системи, і точки WR – точки відліку заготовки розмірами $D_3 \times l$.

У координатній системі УП задаються також всі опорні точки програмованої траєкторії переміщення центра інструмента (інструментів), що забезпечує обробку даної деталі.

В заготовці може бути також визначений припуск $z_d W B'$ (положення точки B'), що повинен бути знятий при її обробці під час другого встановлення або зміщення початку координатної системи (точки W) відносно базової площини заготовки, тобто величина $z_d W B'$.

На токарному верстаті початок системи координат інструмента ($x_i T z_i$) приймається у базовій точці T інструментального блоку в його робочому положенні (див. рис. 14.8, г). Положення базових точок інструментних блоків, що встановлюються на одному різцетримачі, визначаються відносно його центра K збільшенням координат $z_i K T$ та $x_i K T$. На одному супорті може бути декілька різцетримачів, і в залежності від характеру робіт (у патроні або в центрах) різцетримач може займати на супорті токарного верстата різні положення. У зв'язку з цим центр різцетримача повинен бути визначений збільшенням координат $z_i F K$ та $x_i F K$ відносно базової точки супорта F . В окремому випадку, коли на супорті знаходиться один різцетримач, що не переставляється, базова точка супорта може бути сполучена з центром повороту різцетримача або з базовою точкою інструментного блоку.

При закріпленні заготовки на верстаті (рис. 15.9, а) технологічна база для обробки деталі в даному встановленні суміщається з відповідною опорною поверхнею пристосування (сполучаються точки C та B'). Це дозволяє зв'язувати між собою системи координат УП та верстата.

Оскільки осі обертання шпинделя верстата та оброблюваної деталі співпадають, то достатньо для зв'язку цих систем координат визначити аплікату точки W початку системи координат УП в системі координат верстата. Для випадку, коли осі аплікат систем координат УП та верстата спрямовані в одну сторону, має місце залежність:

$$zMW = zMC - z_d W B',$$

де zMC , $z_d W B'$ – аплікати базових точок у системах координат верстата і УП з відповідними знаками.

У даному випадку (див. рис. 15.9, а):

$$zMW = zMC - (-z_d W B') = zMC + z_d W B'.$$

Якщо ж осі цих систем спрямовані в протилежні сторони (рис. 15.9, б), то:

$$zMW = zMC + z_d W B'',$$

де $z_d W B''$ – апліката положення базової точки B'' деталі при обробці її на другому встановленні.

Природно, у даному випадку прийнято, що положення базової точки C пристосування відносно точки M залишається постійним, тобто тим, яке дорівнює zMC , як і при обробці деталі на першому встановленні.

Тоді положення точки **O**, задане координатами $x_d \mathbf{WO}$ та $z_d \mathbf{WO}$ в системі координат УП, буде визначатися координатами $x \mathbf{MO}$ та $z \mathbf{MO}$ в системі координат верстата:

$$x \mathbf{MO} = x_0; \quad z \mathbf{MO} = z \mathbf{MW} \pm z_0,$$

де знак “+” ставиться при однакових, а знак “-” при протилежних напрямках осей аплікату обох систем координат. Координати x_0 і z_0 визначають положення точки **O** в системі координат деталі (УП).

Таким чином, із врахуванням розміщення координатної системи УП та координатної системи інструмента відносних базових точок верстата **M** та **F** можна визначити поточні значення координат ($z \mathbf{MP}$ та $x \mathbf{MP}$) центра інструмента **P** в координатній системі верстата **XMZ**. При цьому необхідно враховувати, що виліт інструмента $x_i \mathbf{TP}$ та $z_i \mathbf{TP}$ визначений його налагодженням, а положення точки **T** (величини $x_i \mathbf{KT}$ та $z_i \mathbf{KT}$) відносно центра різцетримача **K** задається технічною характеристикою верстата. Заданими повинні бути і величини $z_i \mathbf{FK}$ та $x_i \mathbf{FK}$, що визначають положення точки **K** відносно базової точки **F**. Тоді:

$$x \mathbf{MP} = x \mathbf{MF} + x_i \mathbf{FK} + x_i \mathbf{KT} + x_i \mathbf{TP};$$

$$z \mathbf{MP} = z \mathbf{MF} + z_i \mathbf{FK} + z_i \mathbf{KT} + z_i \mathbf{TP}.$$

При визначенні координат $x \mathbf{MP}$ та $z \mathbf{MP}$ необхідно враховувати напрямки складових величин.

Якщо базова точка супорта **F** суміщена з базовою точкою інструментного блоку **T**, то поточні значення координат центра будуть визначатися лише із врахуванням вильоту інструмента, тобто його координат у системі координат інструмента:

$$x \mathbf{MP} = x \mathbf{MF}(\mathbf{T}) + x_i \mathbf{TP};$$

$$z \mathbf{MP} = z \mathbf{MF}(\mathbf{T}) + z_i \mathbf{TP}.$$

Природно, що перед початком роботи за УП (рис. 15.9, а) центр інструмента **P** повинен бути суміщений з вихідною точкою **O** і його положення в координатній системі верстата повинне визначатись координатами $z \mathbf{MP}_0$ та $x \mathbf{MP}_0$:

$$z \mathbf{MP}_0 = z \mathbf{MW} + z_d \mathbf{WO} = z \mathbf{MO};$$

$$x \mathbf{MP}_0 = x_d \mathbf{WO} = x \mathbf{MO},$$

де $z \mathbf{MO}$, $x \mathbf{MO}$ – координати вихідної точки в системі координат верстата.

При програмуванні необхідно враховувати інтервали переміщень робочих органів верстата (робочу зону), що задається граничними координатами базових точок цих органів у стандартній системі координат верстата.

15.2. Елементи підготовки інформації для УП

15.2.1. Представлення траєкторії обробки

Деталі, що обробляються на верстатах з ЧПУ, можна розглядати як геометричні об'єкти. При обробці деталі інструмент і заготовка переміщуються один відносно одного по визначеній траєкторії. Програма обробки деталі задає (описує) рух визначеної певної точки інструмента – його центра (P). Для:

- кінцевої фрези зі сферичним торцем – це центр напівсфери;
- кінцевої циліндричної фрези, свердла, зенкера, розвертки – центр основи;
- різців – центр дуги кола при вершині тощо (рис. 15.10).

Якщо прийняти, що радіус інструмента під час обробки деталі по контуру залишається постійним, то траєкторія центра інструмента при контурній обробці є еквідистантною контуру деталі (рис. 15.10, а–е). Однак це зустрічається не завжди. Траєкторія руху центра інструмента може істотно відрізнятись від лінії контуру деталі (рис. 15.10, ж–л), тому що в протилежному випадку еквідистантне переміщення інструмента або переміщення інструмента точно по контуру призвело б до похибки обробки.

Тому в ряді випадків під *еквідистантною* розуміють таку траєкторію руху центра інструмента, при якій забезпечується обробка заданого контуру.

Рух по еквідистанті відноситься тільки до траєкторії робочих ходів. Переміщення центра інструмента при обробці деталі можуть бути також підготовчими. Характер цих рухів багато в чому залежить від заданої з початку програмування положення вихідної (нульової) точки, від розташування пристосування тощо.

Зі сказаного ясно, що для обробки деталі за УП насамперед необхідно визначити робочі, підготовчі та допоміжні траєкторії переміщення центра прийнятого для роботи інструмента.

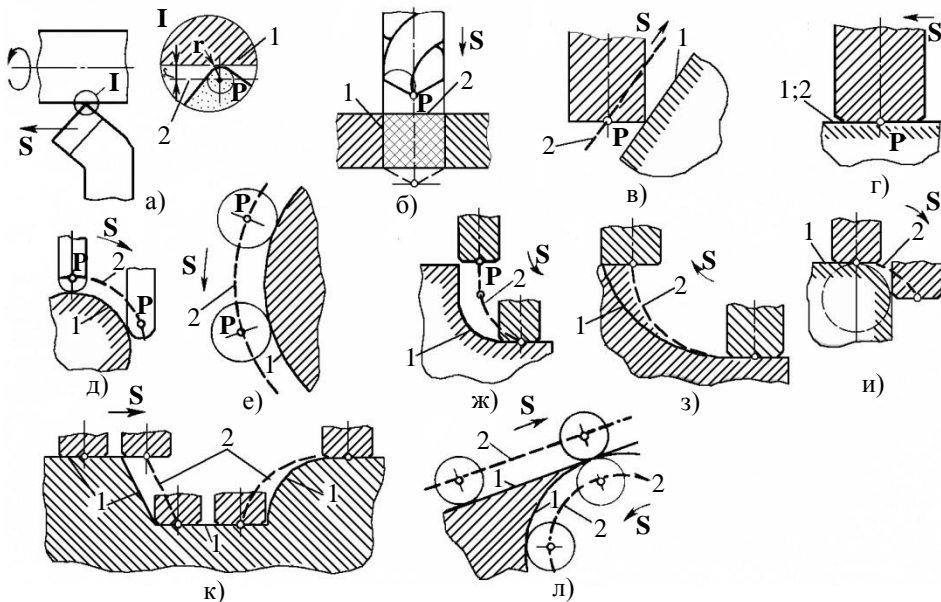


Рис. 15.10. Схеми траєкторії центра інструмента:

- 1 – контур деталі;
- 2 – траєкторія руху центра інструмента

Траєкторія руху центра інструмента при обробці відносно оброблюваної деталі може розташовуватись по-різному (див. рис. 15.10):

- співпадати з контуром;
- бути еквідистантною контуру;
- змінювати положення відносно контуру за визначеним законом.

Для повної обробки деталі (для виконання заданої операції) траєкторія руху центра інструмента повинна бути безперервною. Розробити (визначити) її відразу як єдине ціле практично дуже важко, оскільки в загальному випадку програмована траєкторія є досить складною і такою, що визначає переміщення центра інструмента в просторі. Тому в практиці програмування траєкторії інструмента представляється складеною з окремих ділянок, що послідовно переходять одна в одну. Причому ці ділянки можуть бути або ділянками контуру деталі, або ділянками еквідистанти.

У загальному випадку ділянки траєкторії руху центра інструмента і траєкторію в цілому зручно представити графічно, виходячи із зафіксованого певним чином положення контуру оброблюваної деталі (рис. 15.11).

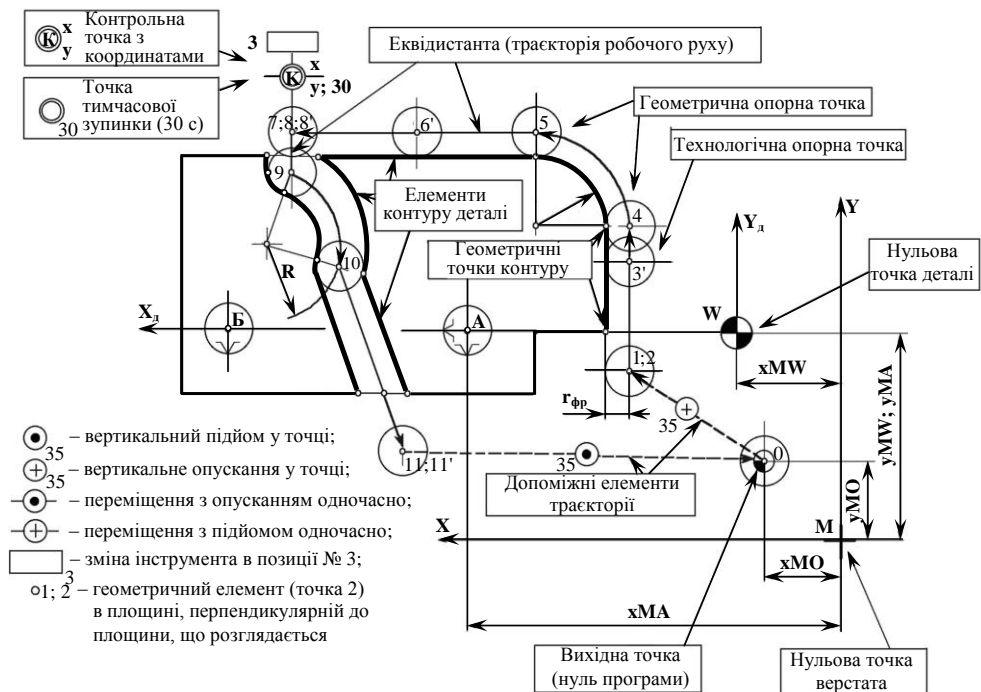


Рис. 15.11. Елементи траєкторії переміщення кінцевої фрези при програмованій контурній обробці

Окремі ділянки контуру та еквідистанти називаються геометричними елементами. До них відносяться відрізки прямих, дуги кіл, криві другого і вищого порядків. Точки перетину або елементів переходу одного елемента в інший знаходять як геометричні опорні (вузлові) точки. Ці точки в більшості випадків є визначальними при заданні положення елементів контуру (еквідистанти) у просторі. Це положення, як і величина та напрямок руху інструмента, задається в системі координат з визначеною заданою нульовою точкою. Така точка може бути у верстата – нульова точка верстата (нуль верстата **М**) або в деталі – нульова точка деталі (нуль деталі **W**). Ці точки є початком системи координат даної деталі.

Нуль деталі **W** (див. рис. 14.11) може бути заданий відносно нуля верстата **М** відповідними координатами x_{MW} , y_{MW} . При цьому координати в загальному вигляді задаються сукупністю трьох символів: символу осі (наприклад, x), позначення вихідної (наприклад, **М**) та кінцевої (наприклад, **W**) точок. Свою систему координат мають інструмент, пристосування. Природно, що при програмуванні необхідно враховувати взаємозв'язок усіх систем координат.

У системі координат верстата координатами x_{MO} та y_{MO} може бути задана вихідна точка **O**, що використовується для початку роботи з УП. Звичайно з цією точкою перед початком роботи суміщають центр інструмента.

У верстатах з ЧПУ найбільш застосовуються прямокутні (декартові), циліндричні та сферичні системи координат.

Перехід з однієї системи координат в іншу здійснюється шляхом нескладних перерахунків.

Таким чином, у визначеній системі координат контур деталі і траєкторія переміщення центра інструмента відносно цього контура можуть бути представлені геометричними елементами з опорними точками, заданими або координатами в просторі, або на площині (рис. 15.12).

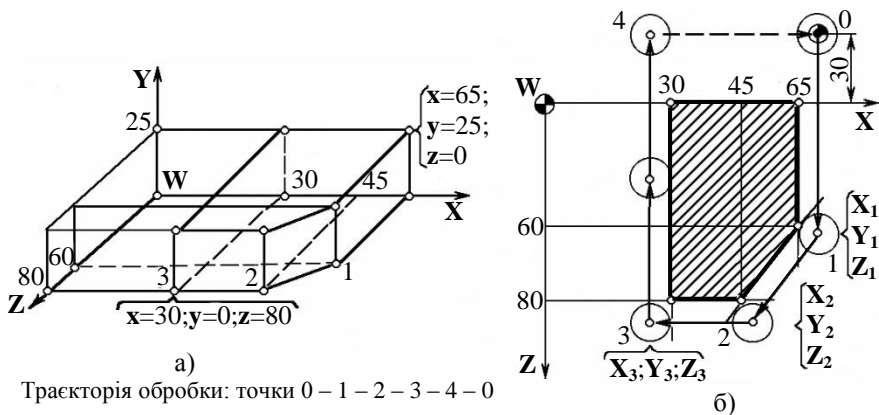


Рис. 15.12. Схема задання координат опорних точок 1–3:

а – у просторі;

б – на площині

На траєкторії руху центра інструмента можуть бути призначені також технологічні опорні точки, тобто точки, в яких змінюються певні технологічні параметри, наприклад, подача інструмента тощо, точки тимчасової зупинки із вказанням часу тривалості зупинки тощо (див. рис. 15.11).

При обробці деталі інструмент може:

- або переміщатись в одній площині (плоска обробка) з використанням двох керованих координат;
- або мати складне переміщення в просторі (об'ємна обробка).

Однак найчастіше об'ємні поверхні деталей обробляються рядками, кожен з яких є плоскою кривою.

Опорні точки на траєкторії руху інструмента дозволяють представити траєкторію як визначену послідовність точок, які проходять центр інструмента (див. рис. 15.11) при обробці деталі. Кожне з положень (кожна опорна точка) у вибраній системі координат може бути визначена числами, наприклад, координатами. Спряження таких чисел, що визначають ряд послідовних положень інструмента, або, інакше, ряд опорних точок траєкторії, і буде представляти основну частину УП роботи верстата, виражену в числовому вигляді (див. рис. 15.13).

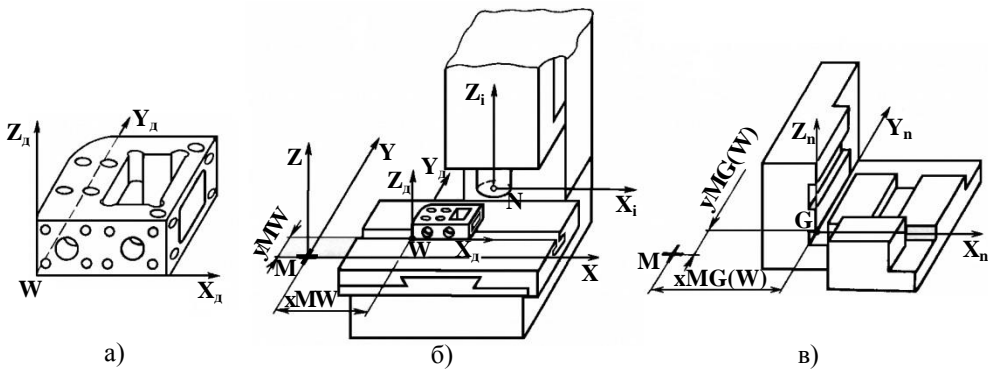


Рис. 15.13. Схема розташування деталі на верстаті:

- а – деталь в системі координат деталі $X_d Y_d Z_d$;
- б – розташування деталі на верстаті;
- в – система координат пристосування $X_n Y_n Z_n$

На початку програмування в системі координат деталі $X_d Y_d Z_d$ задаються положення базових елементів заготовки (рис. 15.13, а). Відносно нуля деталі (точка W) при програмуванні задаються всі опорні точки, що визначають траєкторію руху центра інструмента при обробці.

При встановленні деталі на верстат (рис. 15.13, б) положення нуля деталі (точки W) буде зафіксованим відносно координатної системи верстата XYZ координатами xMW, yMW, zMW .

Якщо при обробці деталі використовується пристосування (рис. 15.13, в), то воно повинне бути закоординоване на верстаті відносно нуля верстата (точки M).

Система $z_i N x_i$ визначає координатну систему інструмента (див. рис. 15.13, б).

Природно, що при встановленні деталі у пристосуванні координатна система деталі $X_d W Y_d$ повинна співпадати з координатною системою пристосування $X_n G Y_n$.

При обробці деталі при переміщенні по елементах траєкторій (прямих, дугах, кривих) у проміжках між опорними точками інструмент у певних випадках може переміщатись по траєкторії, що трохи відрізняється від заданої. Однак можна задати таку кількість опорних точок, при якому відхилення фактичної траєкторії від необхідної будуть менші якоїсь наперед заданої величини, і деталь буде оброблена в межах заданої точності.

Таким чином, початковий етап представлення траєкторії обробки деталі зв'язаний насамперед з одержанням координат опорних точок траєкторії. Ці координати можуть бути виражені абсолютними розмірами, тобто для кожної опорної точки заданими відносно нульової точки верстата або деталі (рис. 15.14, а), або задаватись у вигляді збільшень (приростів) у напрямку руху інструмента від однієї опорної точки до іншої (рис. 15.14, б). При записі УП спосіб задання кодується відповідними літерно-цифровими символами. Так, при переміщенні центра інструмента (рис. 15.14, б) із точки W до точки 1 координата x зміниться на величину Δx_1 , а координата y – на величину Δy_1 . При подальшому русі з точки 1 у точку 2 збільшення по осі X складе Δx_2 , по осі Y – Δy_2 і т.д.

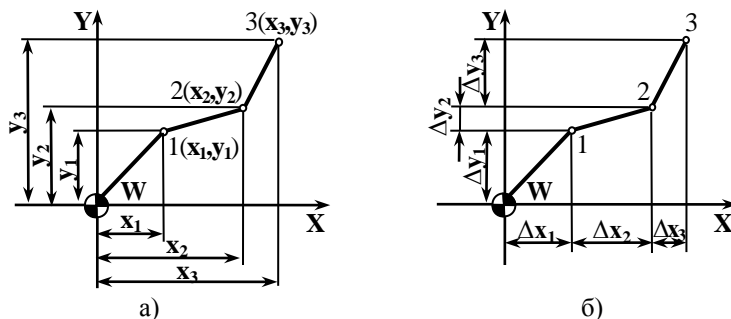


Рис. 15.14. Схема задання координат опорних точок 1–3:
а – абсолютні розміри;
б – розміри у прирощеннях

Задання координатами точок траєкторії руху центра інструмента залежить багато в чому від способу задання розмірів деталі (рис. 15.15).

У багатьох випадках системи ЧПУ управляють роботою верстата дискретно, за допомогою імпульсів. Ціна одного імпульсу (найменше програмоване переміщення), чи дискретність системи, відображає різальну здатність комплексу, що включає систему ЧПУ, механізм подачі і датчики зворотного зв'язку. Виходячи з дискретності системи збільшення координат між опорними точками траєкторії можна виразити не в мм, а кількістю імпульсів. Наприклад, якщо дискретність по осі X складає 0,01 мм/імп., а по осі Y – 0,02 мм/імп., то значення Δx і Δy , що дорівнюють, наприклад, відповідно 12,85 мм і 8,6 мм, в імпульсах будуть виражені в наступним чином: $\Delta x = 1285$ імп., $\Delta y = 430$ імп.

Задання приростів по двох осях координат однак ще не визначить заданого прямолінійного руху інструмента між точками. Навіть при постійній швидкості подачі по осях внаслідок нерівності координат заданої точки ($\Delta x_1 \neq \Delta y_1$) час руху по осі X не буде дорівнювати часу руху по осі Y і задана траєкторія буде неточною.

Як уже зазначалось, наблизити фактичну траєкторію до заданої можна введенням додаткових (проміжних) опорних точок і заданням відповідної послідовності переміщень інструмента між цими точками, наприклад, $(\Delta x, \Delta y)$; $(2 \cdot \Delta x, 2 \cdot \Delta y)$; (Δx) ; $(\Delta x, \Delta y)$, тобто траєкторію в порівнянні з раніше визначеною потрібно розбивати на більш дрібні ділянки із врахуванням похибки відпрацювання.

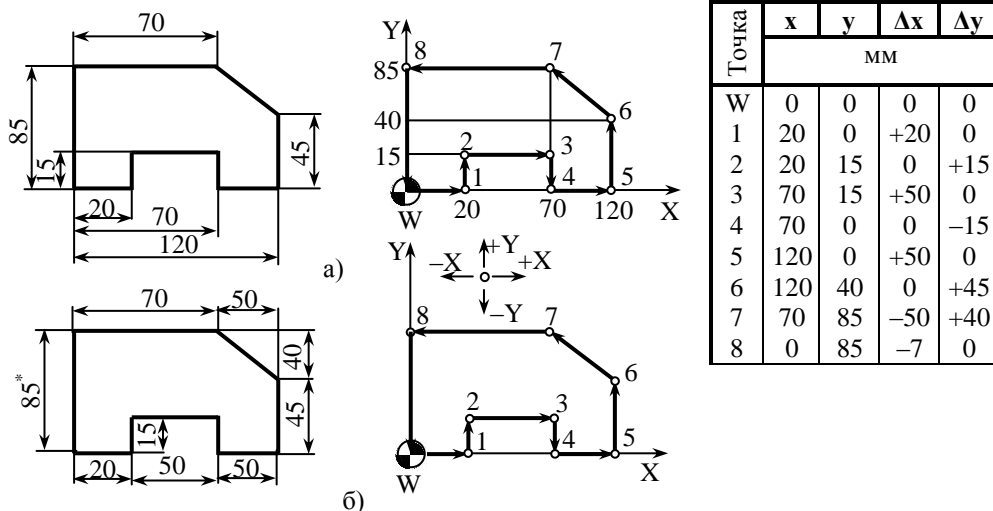


Рис. 15.15. Схеми задання розмірів:
 а – абсолютні розміри (x, y);
 б – відносні розміри (Δx, Δy)

При програмуванні введення додаткових опорних точок призводить до різкого збільшення розрахунків і обсягу УП. Тому в практиці детальне представлення заданої траєкторії руху інструмента між двома опорними точками (з видачею команд на відповідні переміщення по осях) здійснюється за допомогою спеціального обчислювального пристрою, що є елементом ПЧПУ, – інтерполятора. Інтерполятор безперервно, тобто в режимі реального часу, у процесі переміщення (відповідно до заданих приростів) інструмента від однієї опорної точки до іншої підтримує функціональний зв'язок між координатами опорних точок, тобто забезпечує відпрацьовування траєкторії в залежності від виду функції.

15.2.2. Загальна послідовність складання УП

В загальному випадку процес підготовки УП можна представити як послідовне програмування окремих етапів обробки деталі. На кожному етапі вирішуються певні задачі. Сказане проілюстроване в табл. 15.1.

Таблиця 15.1

Послідовність робіт при програмуванні обробки на верстатах з ЧПУ

Підготовка УП	
етап	вирішувані задачі
I	1.1. Поділ операції на встановлення та позиції 1.2. Вибір методу закріплення заготовки 1.3. Підготовка операційної карти
II	2.1. Визначення послідовності переходів 2.2. Вибір різальних інструментів 2.3. Поділ переходів на ходи

	2.4. Розрахунок режимів обробки 2.5. Підготовка карт налагодження верстата та інструментів
III	3.1. Визначення розмірів налагодження розмірів інструментів та обладнання 3.2. Перерахунок розмірів деталі в координати опорних точок траєкторії 3.3. Розрахунок координат опорних точок траєкторії 3.4. Перетворення систем координат
IV	4.1. Формування елементарних переміщень 4.2. Визначення технологічних команд 4.3. Кодування УП 4.4. Запис УП на програмоносій
V	5.1. Контроль програмоносія 5.2. Контроль траєкторії переміщення металорізального інструмента 5.3. Редагування УП

15.2.3. Складання розрахунково-технологічних карт (РТК)

За операційним ескізом, виконаним на основі ТП відповідно до вибраних типових траєкторій руху інструмента, технолог складає розрахунково-технологічну карту (РТК). Ця карта містить закінчений план обробки деталі на верстаті з ЧПУ у вигляді графічного зображення траєкторії рухами інструмента з усіма необхідними поясненнями і розрахунковими розмірами. За даними РТК технолог-програміст, не звертаючись до креслення деталі або до яких-небудь інших джерел, може повністю розрахувати числову програму автоматичної роботи верстата.

Нижче наведена послідовність оформлення РТК.

1. Креслять деталь у прямокутній системі координат, вибирають вихідну точку **O**. При багатоінструментній обробці можуть бути вибрані декілька вихідних точок для кожного інструмента. Контури деталі, що підлягають обробці, і контур заготовки креслять у масштабі із вказанням всіх розмірів, необхідних при програмуванні.

2. Намічають розташування притискачів і зон кріплення деталі відповідно до технічних умов на пристосування.

3. Наносять траєкторію руху центра інструмента в двох площинах системи координат. Якщо передбачається багатоінструментна обробка, необхідно зображати траєкторії руху кожного інструмента, що використовується.

Початком (і кінцем) траєкторії інструмента є вихідна точка **O**. Якщо положення вихідної точки не співпадає з початком координат деталі (точкою **W**), воно повинно бути задане координатами **XWO**, **YWO**, **ZWO** відносно цього початку. Траєкторію інструмента наносять із врахуванням його параметрів, вибраної раніше послідовності обробки і намічених типових траєкторій в інструментних переходах.

4. На траєкторії руху інструмента відзначають і позначають цифрами (рідше буквами латинського алфавіту) опорні точки траєкторії і ставлять стрілки, що вказують напрямок руху. Опорні точки необхідно намічати за геометричними і технологічними ознаками, тобто вони повинні бути або точками, у яких змінюється геометричний характер траєкторії інструмента, або точками, у яких змінюється технологічний стан деталі (зміна режимів обробки, включення вертикальної подачі тощо).

5. За необхідності вказують місця контрольних точок, у яких передбачається короткочасна зупинка інструмента з метою перевірки точності відпрацювання

програм робочими органами верстата. Такі точки передбачають, наприклад, перед остаточними чистовими проходами при обробці дорогих деталей. Позначають також точки зупинки, необхідні для зміни інструмента, зміни частоти обертання шпинделя, перезакріплення деталі тощо, вказують тривалість зупинки в секундах.

6. Окремо позначають опорні точки, координати яких можна визначити графічно безпосередньо на РТК.

7. На РТК наносять додаткові дані (тип верстата, шифр, найменування і матеріал деталі), вказують особливості заготовки та її кріплення, параметри інструмента і режими його роботи на окремих ділянках, характер руху на окремих ділянках траєкторії тощо.

При побудові траєкторії руху центра інструмента на РТК необхідно дотримуватись наступних правил.

1. Підводити інструмент до оброблюваної поверхні і відводити його потрібно (за необхідності) по спеціальних траєкторіях – допоміжних переміщеннях. Наприклад, при фрезеруванні необхідно забезпечити врізання інструмента по дотичній зі своєчасним (за 5–10 мм до краю заготовки) переходом з холостого ходу на робочий. Певний підхід повинен бути у свердел, розверток, зенкерів, різців, причому точка переходу з холостого ходу на робочий повинна бути визначена як опорна.

2. Неприпустимими є зупинка інструмента і різка зміна подачі в процесі різання, коли різальні поверхні леза стикаються з оброблюваною поверхнею, інакше неминучі ушкодження поверхні. Перед зупинкою, різкою зміною подачі, підйомом або опусканням інструмента необхідно відвести його від оброблюваної поверхні.

3. Довжина холостих переміщень повинна бути мінімальною.

4. Для усунення впливу на точність обробки люфтів верстата бажано передбачати додаткові петлеподібні переходи в зонах реверсу, що забезпечують вибірку люфту.

5. За необхідності за розрахунковою силою різання необхідно визначити можливу деформацію деталі (інструмента) і ввести необхідне спотворення траєкторії.

15.2.4. Особливості розрахунку траєкторії переміщення інструментів

Розрахунок траєкторії інструментів при ручному програмуванні полягає насамперед у визначенні координат опорних точок на контурі деталі і (якщо траєкторія є еквідистантною до оброблюваного контуру) на еквідистанті. При цьому передбачається, що прийняту траєкторію, фіксовану опорними точками, при обробці послідовно обходить центр інструмента.

При розрахунку траєкторії інструмента уточнюються параметри різання (швидкість різання та подачу) на окремих ділянках траєкторії.

15.2.4.1. Розрахунок координат опорних точок на контурі деталі

Початковий етап розрахунку – визначення координат опорних точок контуру деталі у вибраній системі координат. Для цього використовуються задані на кресленні деталей розміри і дані РТК. Координати опорних точок контуру деталі обчислюються за допомогою рівнянь, що описують геометричні елементи контуру деталі, і співвідношень у трикутниках. Точність обчислень звичайно обмежується дискретністю задання переміщень, обумовленою конкретною схемою ПЧПУ та верстатом.

Найчастіше у процесі програмування контурної обробки вирішуються задачі визначення координат опорних точок, що лежать на прямих, колах та перетинах цих елементів.

Прямі лінії описуються рівнянням $y = r \cdot x + b$, де r – кутовий коефіцієнт, який дорівнює тангенсу кута нахилу прямої до осі абсцис, b – початкова ордината, що дорівнює ординаті точки перетину прямої з віссю ординат (рис. 15.16).

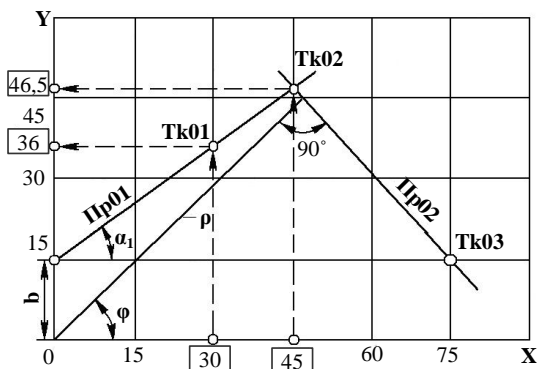


Рис. 15.16. До визначення параметрів прямої

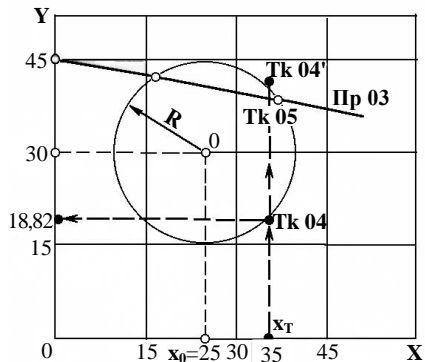


Рис. 15.17. До визначення параметрів кола

Користуючись цим рівнянням, неважно для будь-якої точки прямої визначити одну координату по заданій іншій.

При відомих координатах однієї точки (x_T, y_T) і куту нахилу прямої рівняння цієї прямої має вигляд:

$$y = k \cdot (x - x_T) + y_T$$

Рівняння прямої, що переходить через дві задані точки $Tk01(x_1, y_1)$ та $Tk02(x_2, y_2)$, записується наступним чином:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1) + y_1$$

Рівняння прямої за необхідності можна виразити полярною відстанню ρ (перпендикуляр з початку координат до прямої) і полярним кутом ϕ (кут між перпендикуляром і віссю абсцис):

$$x \cdot \cos \phi + y \cdot \sin \phi - \rho = 0$$

Точка перетину двох прямих визначається розв'язком системи рівнянь, що описують ці прямі. Розв'язком системи рівнянь:

$$\begin{aligned} y &= k_1 \cdot x + b_1; \\ y &= k_2 \cdot x + b_2 \end{aligned}$$

є координати точки перетину:

$$x_T = (b_2 - b_1) / (k_1 - k_2); \quad y_T = k_1 \cdot x_T + b_1$$

Рівняння кола радіусом R з центром $O(x_0, y_0)$ має вигляд:

$$R = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2,$$

або при його розв'язку відносно ординати:

$$y = y_0 \pm (R^2 - (x - x_0)^2)^{1/2}.$$

Точці на колі, заданої абсцисою x_T , відповідають два (точки T_{k04} і T_{k04}') значення ординати:

$$y_T = y_0 \pm (R^2 - (x_T - x_0)^2)^{1/2},$$

а точці, заданій ординатою y_T , – два значення абсциси:

$$x_T = x_0 \pm (R^2 - (y_T - y_0)^2)^{1/2}.$$

Необхідне рішення вибирається з цих значень за ознакою розташування шуканої точки.

Якщо вираз в квадратних дужках дорівнює нулю, що має місце при заданні граничних значень однієї з координат, то інша координата точки визначається однозначно.

Точки перетину прямої та кола визначаються розв'язком системи рівнянь, що їх описують. Розв'язання системи рівнянь прямої та кола, а також двох кіл, призводить до виразу вигляду:

$$x = a \pm [...]^{1/2},$$

де величина в квадратних дужках може бути більшою, дорівнювати або меншою нуля; відповідно точок перетину буде дві, одна (елементи дотикаються) або ні однієї (елементи не перетинаються).

Сумісним розв'язанням рівнянь системи досить просто визначити точки перетину двох окружностей, точки дотику прямої з однією і двома колами, а також точки дотику двох кіл тощо.

15.2.4.2. Розрахунок координат опорних точок на еквідистанті

Координати опорних точок траєкторії інструмента найпростіше представити як зміну координат опорних точок контуру деталі. Доцільність попереднього визначення опорних точок контуру очевидна, оскільки в площині обробки в більшості випадків траєкторія центра інструмента представляє собою лінію, еквідистантну оброблюваному контуру.

Еквідистанта як геометричне місце точок, рівновіддалених від контуру деталі на відстань, що дорівнює радіусу R_i інструмента, будується праворуч або ліворуч від елементів цього контуру в залежності від розташування інструмента відносно оброблюваного контуру. Еквідистантною до дуги кола 1–2 є дуга концентричного йому кола 1₁–2₁ або 1₂–2₂ з тим же центральним кутом (рис. 15.18, а), а до відрізка прямої 1–2 – відрізок, паралельний даному (рис. 15.18, б).

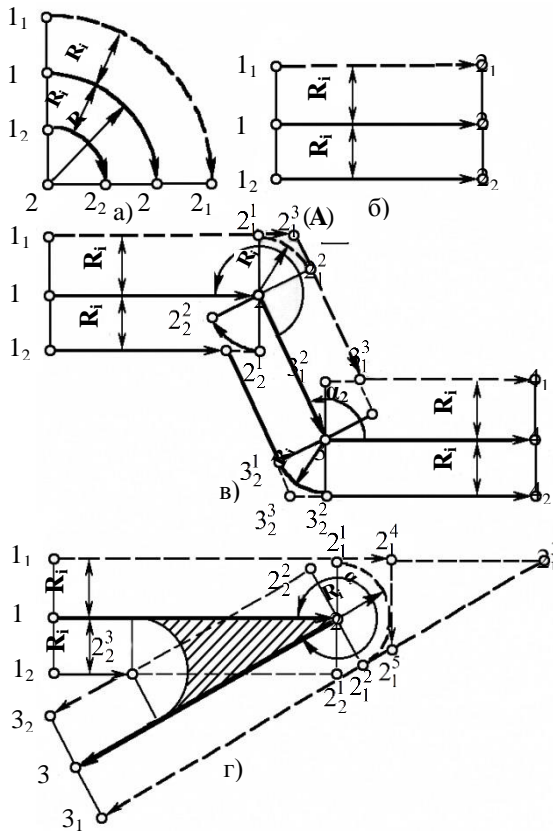


Рис. 15.18. Ділянки еквідистанти:
 а – ілюстрація поняття еквідистанти відносно дуги кола;
 б – ілюстрація поняття еквідистанти відносно прямої;
 в, г – методи спряження елементів еквідистанти

центра інструмента, у якій дуги кіл спряження замінені відрізками прямих, що продовжують ділянки еквідистанти до елементів контуру. Для випадку, наведеного на рис. 15.18, в, лівою еквідистантою є лінія $1_1-2_1^1-2_1^2-3_1^3-4_1$, а більш технологічною траєкторією – лінія $1_1-2_1^3(A)-3_1^3-4_1$.

При обході $\alpha > 300^\circ$, щоб уникнути значних відхилень траєкторії інструмента від еквідистанти, необхідно зробити додаткові побудови. Прикладом може бути перпендикуляр, опущений з точки 2_1^4 (рис. 15.18, г). Тому для розглянутого випадку лівою еквідистантою буде лінія $1_1-2_1^4-2_1^5-3_1$ або $1_1-2_1^3-3_1$.

При обчисленні опорних точок еквідистанти розрізняють три типових випадки спряження дугою (радіусом R_i) ділянок еквідистанти (табл. 15.2):

- пряма – пряма (схеми 1, 4, 6);
- пряма – коло (схема 2, 5);
- коло – коло (схема 3).

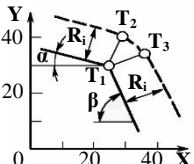
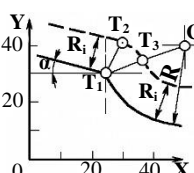
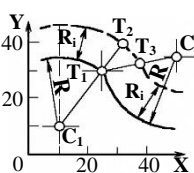
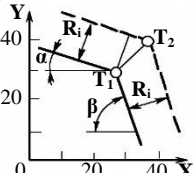
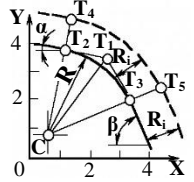
Метод з'єднання елементів еквідистанти вибирається в залежності від кута α , утвореного сусідніми елементами контуру, якщо дивитися з боку розташування інструмента при обході цього контуру (рис. 15.18, в, г). Цей кут для пари відрізків вимірюється безпосередньо між ними. Якщо елементом контуру є дуга кола, то кут α вимірюється відносно дотичної до цієї дуги в загальній точці розглянутої пари елементів контуру деталі. Так, при $\alpha > 180^\circ$ елементи еквідистанти з'єднуються дугами кіл спряження радіусом R_i , центри яких знаходяться в загальних точках елементів контуру. При $\alpha < 180^\circ$ загальною точкою елементів еквідистанти є точка перетину цих елементів контуру (рис. 15.18, в). Для спряжених елементів контуру ($\alpha = 180^\circ$) елементи еквідистанти також спряжені.

Рух центра інструмента вздовж дуги спряжуваного кола еквідистанти при обробці гострого кута контуру може призвести до “зарізів” через зміну величин і напрямків сил різання. У цьому випадку більш технологічною є траєкторія

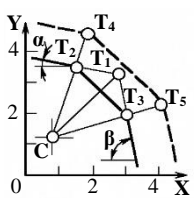
Вище вказувалось, що координати опорних точок траєкторії інструмента найчастіше розраховуються шляхом визначення змін координат опорних точок контуру деталі. Для знаходження цих змін існують визначені в табл. 15.2 залежності. Можливі й інші схеми розрахунку.

Таблиця 15.2

Типові схеми для визначення опорних точок еквідистанти

Схема	Формули для розрахунку	
<p>1</p> 	$x_2 = x_1 + R_i \cdot \sin \alpha;$ $y_2 = y_1 + R_i \cdot \cos \alpha;$ $x_3 = x_1 + R_i \cdot \sin \beta;$ $y_3 = y_1 + R_i \cdot \cos \beta$	
<p>2</p> 	$R_1 [(x_c - x_1)^2 + (y_c - y_1)^2]^{1/2};$ $x_3 = x_1 + \frac{1}{R} \cdot R_i \cdot (x_c - x_1);$ $y_3 = y_1 + \frac{1}{R} \cdot R_i \cdot (y_c - y_1);$ <p>x_2 та y_2 визначаються як для схеми 1</p>	
<p>3</p> 	$R_1 = [(x_1 - x_c)^2 + (y_1 - y_c)^2]^{1/2};$ $x_2 = x_1 + \frac{1}{R} \cdot R_i \cdot (x_1 - x_c);$ $y_2 = y_1 + \frac{1}{R} \cdot R_i \cdot (y_1 - y_c);$ <p>x_3 та y_3 визначаються як для схеми 2</p>	
<p>4</p> 	$x_2 = x_1 + R_i \cdot \frac{\sin[(\alpha + \beta)/2]}{\cos[(\alpha - \beta)/2]}$ $y_2 = y_1 + R_i \cdot \frac{\cos[(\alpha + \beta)/2]}{\cos[(\alpha - \beta)/2]}$	
<p>5</p> 	$x_2 = x_c + R \cdot \sin \alpha;$ $y_2 = y_c + R \cdot \cos \alpha;$ $x_3 = x_c + R \cdot \sin \beta;$ $y_3 = y_c + R \cdot \cos \beta;$ $x_4 = x_c + (R + R_i) \cdot \sin \alpha$ $y_4 = y_c + (R + R_i) \cdot \cos \alpha;$ $x_5 = x_c + (R + R_i) \cdot \sin \beta;$ $y_5 = y_c + (R + R_i) \cdot \cos \beta;$ $x_c = x_1 + R \cdot \frac{\sin[(\alpha + \beta)/2]}{\cos[(\beta - \alpha)/2]}$ $y_c = y_1 + R \cdot \frac{\cos[(\alpha + \beta)/2]}{\cos[(\beta - \alpha)/2]}$	

Закінчення табл. 15.2

Схема	Формули для розрахунку	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>б</p>  </div>	$x_2 = x_c + R \cdot \sin \alpha;$ $y_2 = y_c + R \cdot \cos \alpha;$ $x_3 = x_c + (R + R_i) \cdot \sin \beta;$ $y_3 = y_c + (R + R_i) \cdot \cos \beta;$ $x_4 = x_c + (R + R_i) \cdot \sin \alpha;$ $y_4 = y_c + (R + R_i) \cdot \cos \alpha;$ $x_5 = x_c + (R + R_i) \cdot \sin \beta;$ $y_5 = y_c + (R + R_i) \cdot \cos \beta$	$x_c = x_1 - R \cdot \frac{\sin[(\alpha + \beta)/2]}{\cos[(\beta - \alpha)/2]}$ $y_c = y_1 - R \cdot \frac{\cos[(\alpha + \beta)/2]}{\cos[(\beta - \alpha)/2]}$

Трудомісткість обчислення координат опорних точок при ручному програмуванні багато в чому залежить від досвіду технолога-програміста, його знань та здатності орієнтуватися при формулюванні та розв’язку геометричних задач. Систематизація геометричних задач, що зустрічаються, і способів їхнього рішення не виключає індивідуального підходу до конкретної задачі, що часто дозволяє знайти більш простий її розв’язок. Прискорює рішення задач і використання довідкової літератури, що містить типові приклади геометричних побудов.

15.3. Особливості підготовки УП для токарних операцій при обробці деяких типових поверхонь

При програмуванні токарної обробки складаються РТК. При складанні РТК враховуються типові схеми обробки окремих елементів деталі і визначаються траєкторії всіх інструментів, призначених для виконання операції.

15.3.1. Програмування обробки поверхонь обертання

Визначити координати опорних точок контурів тіл обертання досить просто за допомогою вихідної схеми обробки, на якій вказуються системи координат верстата і деталі, базові точки, вихідні точки розміщення інструментів тощо. При цьому враховується орієнтація деталі на верстаті відносно заданого її розташування на кресленні (відносно прийнятої системи координат деталі).

Деталь типу вал, наприклад, показана на рис. 15.19, а, виготовляється на токарному верстаті за два встановлення. Взаємне розташування систем координат верстата, деталі та інструмента при закріпленні заготовок при першому встановленні показано на рис. 15.19, б.

Таблиці координат опорних точок у системі координат верстата заповнюються для кожного встановлення. Спочатку знаходяться координати всіх опорних точок контуру в системі координат деталі, а потім вони перераховуються у систему координат верстата із врахуванням взаємного розташування цих систем при кожному встановленні.

Для спрощення підготовки УП у більшості ПЧПУ токарних верстатів, включаючи розглянутий випадок, переміщення по осі X задаються у кадрах УП значеннями діаметрів, а не радіусів.

Деякі координати опорних точок розглянутого в системі координат деталі контуру вала можна перенести в табл. 15.3 без перерахувань. Невідомі координати обчислюються за допомогою плоских розмірних ланцюгів, наприклад:

$$x_2 = x_3 - 2 \cdot 1 = 23 - 2 = 21 \text{ мм};$$

$$z_3 = z_1 - 1 = 210 - 1 = 209 \text{ мм};$$

$$z_4 = z_5 = x_1 - 30 = 210 - 30 = 180 \text{ мм};$$

$$x_5 = x_6 - 2 \cdot 1 = 38 - 2 = 36 \text{ мм і т. д.}$$

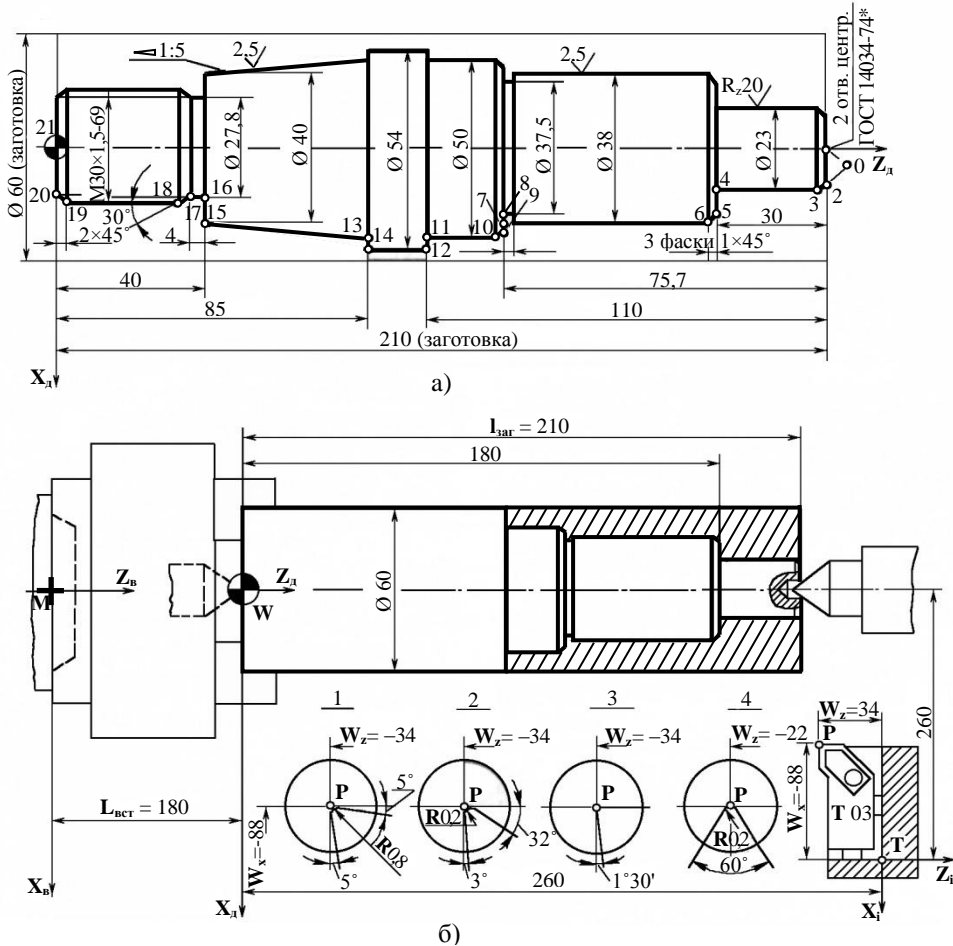


Рис. 15.19. Обробка деталі “вал” на токарному верстаті:
 а – креслення деталі в системі координат деталі;
 б – загальна схема встановлення деталі на верстаті

Порівняння координат опорних точок чистового контуру деталі “вал” в системі координат деталі та верстата представлені в табл. 15.3.

Виконані схеми і розрахунки дозволяють визначити траєкторію руху кожного з призначених інструментів (див. рис. 15.19, б) при обробці деталі при двох встановленнях, призначити опорні точки на траєкторії чорнових проходів. Після уточнення режимів різання для кожного інструмента по обробці деталі вся інформація може бути представлена як РТК, що складається з рисунка, пояснювального тексту на рисунку (що вказує, наприклад, порядок обходу опорних

точок кожним інструментом), таблиць координат опорних точок і схеми налагодження інструментів.

Таблиця 15.3

Координати опорних точок деталі “вал” (рис. 15.19) в системах координат деталі та верстата

Опорна точка контура деталі	Система координат				
	деталі $X_d W Z_d$		встановлення	верстата $X_v M Z_v$	
	координати			координати	
	X_d	Z_d		X_v	Z_v
1	0	210	перше	0	390
2	$X_2 = 21$	210		21	390
3	23	$Z_3 = 209$		23	389
4	23	$Z_4 = 180$		23	360
5	$X_5 = 36$	$Z_5 = 180$		36	360
6	38	$Z_6 = 179$		38	359
7	38	$Z_7 = 134,3$		38	314,3
8	37,5	$Z_8 = 134,3$		37,5	314,3
9	$X_9 = 48$	$Z_9 = 134,3$		48	314,3
10	50	$Z_{10} = 133,3$		50	313,3
11	50	$Z_{11} = 100$		50	280
12	54	$Z_{12} = 100$	друге	54	290
13	54	85		54	305
14	$X_{14} = 50$	85		49	305
15	40	40		40	350
16	27,8	40		27,8	350
17	27,8	$Z_{17} = 36$		27,8	354
18	30	$Z_{18} = 34,09$		30	355,91
19	30	2		30	388
20	$X_{20} = 0$	0		0	390
21	0	0		0	390

Примітка: для встановлення:
 - 1 - $X_v = X_d$; $Z_v = L_{вст} + Z_d = 180 + Z_d$;
 - 2 - $X_v = X_d$; $Z_v = L_{вст} + L_{заг} - Z_d = 180 + 210 - Z_d = 390 - Z_d$

Режими різання, що були призначені при розробці операційної технології, при складанні РТК повинні бути уточнені.

Швидкість різання при токарній обробці на кожному переході може бути задана або постійною, або такою, що змінюється за певним законом. У будь-якому випадку вона визначається частотою обертання шпинделя, що регулюється безступінчасто, або перемиканням ряду частот обертання шпинделя. Залежність між частотою обертання шпинделя n та швидкістю різання V має вигляд:

$$n = 1000 \cdot V / (\pi \cdot d),$$

де d – діаметр оброблюваної поверхні заготовки, що обертається.

При безступінчастому регулюванні n задана швидкість різання реалізується практично без відхилення, а при ступінчастому регулюванні відхилення V визначаються параметрами ряду частот обертання шпинделя.

Ряд частот обертання шпинделя n_j ($j = 1, 2, \dots, N$), як правило, формується за законом геометричної прогресії зі знаменником φ :

$$n_j = n_1 \cdot \varphi^{j-1}.$$

Для горизонтальних проходів (при постійному діаметрі точіння d_i) необхідно вибрати одну з двох сусідніх частот обертання ряду (n_j, n_{j+1}), між якими лежить значення необхідної (розрахованої) частоти n_p , що забезпечує задану швидкість різання V_p . У зв'язку з тим, що перевищення технологічно обґрунтованої швидкості різання є необмеженим, то з двох сусідніх частот обертання вибирають ту, яка відповідає меншому значенню швидкості різання.

Для похилих або вертикальних проходів ($d_i = \text{var}$), наприклад, при обробці торця заготовки на токарному верстаті, робочий хід розбивається на ділянки елементарних переміщень, між якими переключається частота обертання шпинделя. В залежності від зменшення або збільшення діаметра обробки, частота обертання шпинделя визначається відповідно початковим або кінцевим діаметрами на цих ділянках та заданою швидкістю різання. Найбільше відхилення від заданої швидкості на кожній ділянці дорівнює:

$$\Delta V = V_p \cdot (\varphi - 1) / \varphi.$$

Швидкість подачі інструмента V_s при токарній обробці звичайно задається для всіх ділянок траєкторії значенням хвилинної подачі

$$S_{хв} = S_0 \cdot n,$$

де S_0 – подача на оберт.

Допоміжні переміщення виконуються на максимальній робочій подачі або в режимі швидкого ходу.

15.3.2. Особливості програмування обробки різьових поверхонь

Кріпильні та ходові різі, черв'яки, шнеки та інші гвинтові поверхні можуть оброблятися на верстатах з ЧПУ, що мають зв'язок між поступальним і обертальним рухом робочих органів. Цей зв'язок, на відміну від жорсткого механічного зв'язку, наприклад, на токарно-гвинторізних верстатах з ручним управлінням, реалізується синхронізацією руху подачі з обертанням шпинделя за допомогою встановлених на ньому датчиків кутового положення.

Принципово на верстатах з ЧПУ можуть бути реалізовані різноманітні схеми переміщення інструментів для нарізання одно- та багатозахідних циліндричних і конічних різей, а також гвинтів різного профілю з постійним або змінним за заданим законом кроками гвинтових поверхонь.

Для випадку нарізання гвинтової поверхні із заданим діаметром d і кроком P при вибраній швидкості різання V частота обертання шпинделя визначається за відомою формулою:

$$n = 1000 \cdot V / (\pi \cdot d).$$

Після вибору відповідного до цієї частоти значення n_p з ряду частот обертання шпинделя даного верстата, знаходиться необхідна хвилинна подача

$$S_{хв} = P \cdot n_p.$$

Усі параметри режимів різання при нарізанні гвинтових поверхонь (n_p , P , $S_{хв}$) повинні знаходитись в допустимих для конкретного верстата межах.

Технологічні схеми багатопрхідної обробки кріпильних різей показані на рис. 15.20. Вони формуються виходячи з того, що форма різцевого різця відповідає профілю оброблюваної різі. Багатопрхідна обробка різей складається з чорнових проходів для вибірки різьової западини і чистових проходів з невеликим припуском або без нього. На рис. 15.20, а представлений загальний випадок радіального переміщення різцевого різця під деяким кутом α до напрямку гвинтової поверхні. Окремими випадками цієї схеми є схеми, що передбачають заглиблення різця перпендикулярно до напрямку гвинтової поверхні (рис. 15.20, б) і вздовж однієї зі сторін профілю різі (рис. 15.20, в, г). За схемами на рис. 15.20, д, е різець переміщається по черзі уздовж обох сторін профілю різей.

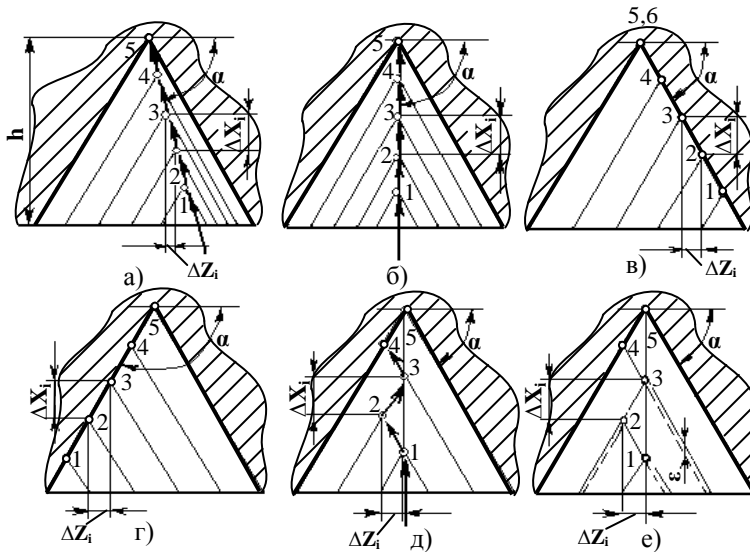


Рис. 15.20. Технологічні схеми багатопрхідної обробки кріпильних різей

У схемах на рис. 15.20, а, б при нарізанні різей приймають участь одночасно обидві кромки різцевого різця, стружка має коритоподібну форму, що підвищує її твердість, в результаті чого збільшується навантаження на різець.

Схеми на рис. 15.20, в, г забезпечують краще стружкоутворення, але призводять до нерівномірного зношування різальних кромки різця.

Схеми обробки, що показані на рис. 15.20, д, е, дозволяють поряд із задовільним стружкоутворенням досягти рівномірності зношування обох кромки різця. Різенарізання за схемою рис. 15.20, е передбачає утворення зазору ϵ між проходами. Це виключає тертя ненавантаженої кромки різця, що підвищує стійкість інструмента.

Поділ припуску на чорнові проходи є самостійною задачею, що розв'язується із врахуванням вимог до параметрів режимів різання.

Найпростішим та широко розповсюдженим на практиці рішенням є вибір однакової глибини нарізання t на всіх чорнових проходах:

$$t = h/k,$$

де h – глибина западини різи, k – кількість чорнових проходів.

Такий рівномірний поділ призводить до збільшення перерізу стружки на кожному наступному проході i , отже, до збільшення навантаження на різець. У цьому випадку допустима глибина проходу вибирається з умови міцності різця на останньому чорновому проході, а на всіх попередніх проходах різець буде недовантажений.

Сталість перерізу стружки на i -му проході досягається поділом припуску за законом геометричної прогресії:

$$t_i = h \cdot R^{-1/2} \cdot [i^{1/2} - (i-1)^{1/2}].$$

Навантаження на одиницю довжини різальної кромки є більш рівномірним при поділі припуску на проходи за законом арифметичної прогресії:

$$t_i = 2 \cdot h \cdot R^{-1} \cdot [1 - i / (R + 1)].$$

Приріст координати Δz вершини різцевого різця на i -му проході має наступні значення:

– для схем на рис. 15.20, а–г: $\Delta z = t_i \cdot \operatorname{ctg} \alpha$;

– для схем на рис. 15.20, д, е: $\Delta z_i = -t_i \cdot \operatorname{ctg} \alpha$, (при парних значеннях i) або $\Delta z_i = -t_{i-1} \cdot \operatorname{ctg} \alpha$ (при непарних значеннях i , крім $i = 1$, коли $\Delta z_i = 0$).

Приріст координати Δz для всіх схем, крім схеми на рис. 15.20, е, $\Delta z_i = -t_i$, а для схеми на рис. 15.20, е з метою утворення зазору ε перший приріст збільшується на $(R-1) \cdot \varepsilon$, а наступні зменшуються на ε :

$$\Delta x_i = -t_i - (k-1) \cdot \varepsilon; \quad \Delta z_i = -t_i + \varepsilon.$$

Нарізання різей різцями програмується вручну переважно для схем, наведених на рис. 15.20, б–г, з рівномірним поділом припуску на задану кількість проходів.

Більш технологічною, але й більш трудомісткою при обчисленнях, є схема, показана на рис. 15.20, е.

15.4. Особливості програмування свердлильних операцій

Програмування свердлильних (розточувальних) операцій, як і інших, починається зі складання РТК, визначення координат опорних точок тощо. Ескіз оброблюваної деталі представляється у двох системах координат: верстата і деталі. Для порівняно простих операцій на РТК показується вихідне положення усіх використовуваних інструментів (із вказанням їхнього вильоту) і шпинделя.

На рис. 15.21 показана схема для розрахунку РТК у деталі типу кришка двох отворів $\varnothing 10H8$, трьох різьбових отворів М6 і отвору $\varnothing 22$ мм.

У табл. 15.4 наведені вихідні координати центрів всіх отворів у системах координат верстата і деталі.

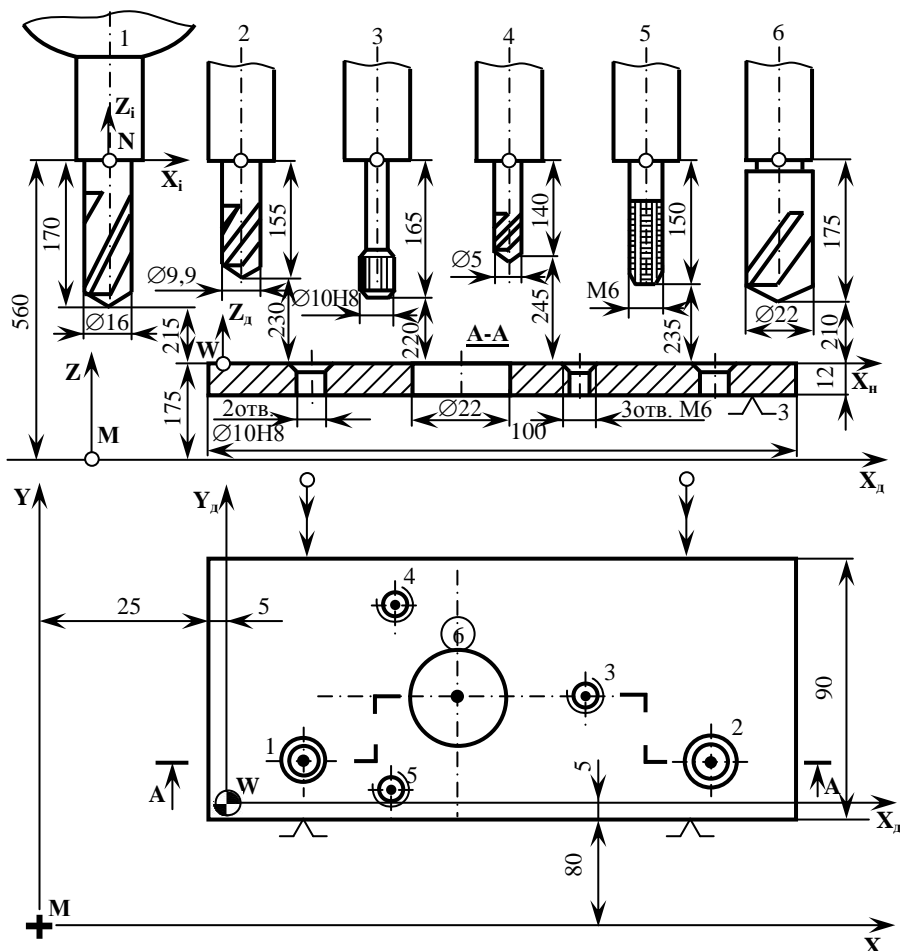


Рис. 15.21. Схеми для підготовки РТК при обробці отворів у деталі типу кришка

Таблиця 15.4

Координати опорних точок (центрів отворів) при обробці отворів у деталі типу кришка (за рис. 15.21)

№ отвору	Координати, мм				
	X_d	Y_d	X_b	Y_b	Z_b
1	20	20	50	105	175
2	150	20	180	105	175
3	105	40	135	125	175
4	52,5	70,31	82,3	155,31	175
5	52,5	9,69	82,5	94,69	175
6	70	40	100	125	175

15.4.1. Загальна методика програмування свердлильних операцій

Вибір типових переходів виконується до розрахунку траєкторії переміщення інструментів у наступній послідовності:

- визначення попереднього складу переходів для кожного отвору;
- вибір інструментів для них;
- уточнення складу переходів;
- уточнення послідовності переходів;
- побудова схеми осьових переміщень інструментів відносно опорних точок (центрів отворів);
- призначення режимів різання.

Наприклад, попередній склад типових переходів для обробки отворів 1–6 у деталі типу кришка може бути прийнятний наступним:

- центрування (рис. 15.22, а, б);
- свердління (рис. 15.22, в, г, ж);
- нарізання різи (рис. 15.22, е);
- розвертання (рис. 15.22, д).

У зв'язку з цим вибрані інструменти **T01–T06** можуть бути розміщені у гніздах, наприклад, шестипозиційної РГ свердлильного верстата.

Склад інструментного налагодження (по гніздах) наступний:

- 1) свердло ($\phi = 90^\circ$) $\varnothing 16$ мм;
- 2) свердло $\varnothing 9,9$ мм;
- 3) розвертка $\varnothing 10H8$;
- 4) свердло $\varnothing 5$ мм;
- 5) мітчик М6;
- 6) свердло $\varnothing 22$ мм.

Загальна послідовність переходів може бути наступною:

- центрування із зенкуванням отворів 1–5;
- свердління та розвертання отворів 1 і 2;
- свердління отворів 3–5;
- нарізування різи в отворах 3–5;
- свердління отвору 6.

Схеми осьових переміщень для розрахунку опорних точок траєкторії інструментів при обробці отворів 1–6 наведені на рис. 15.22.

На цих схемах цифрами 1–3 показані послідовності опорних точок траєкторії інструментів, стрілками – напрямки робочих (I_p) та холостих (I_x) ходів і напрямку обертання шпинделя. Знаком “X” позначений вистій інструмента.

Режими різання для ділянок траєкторії наведені в табл. 15.5.

У загальному випадку кодування інформації УП для свердлильних верстатів зводиться до:

- кодування процесу заміни інструментів;
- кодування переміщень (позиціонування) кожного з інструментів від однієї опорної точки (центра отвору) до іншої;
- введення в дію циклів обробки в моменти, коли інструмент розташовується над необхідною точкою.

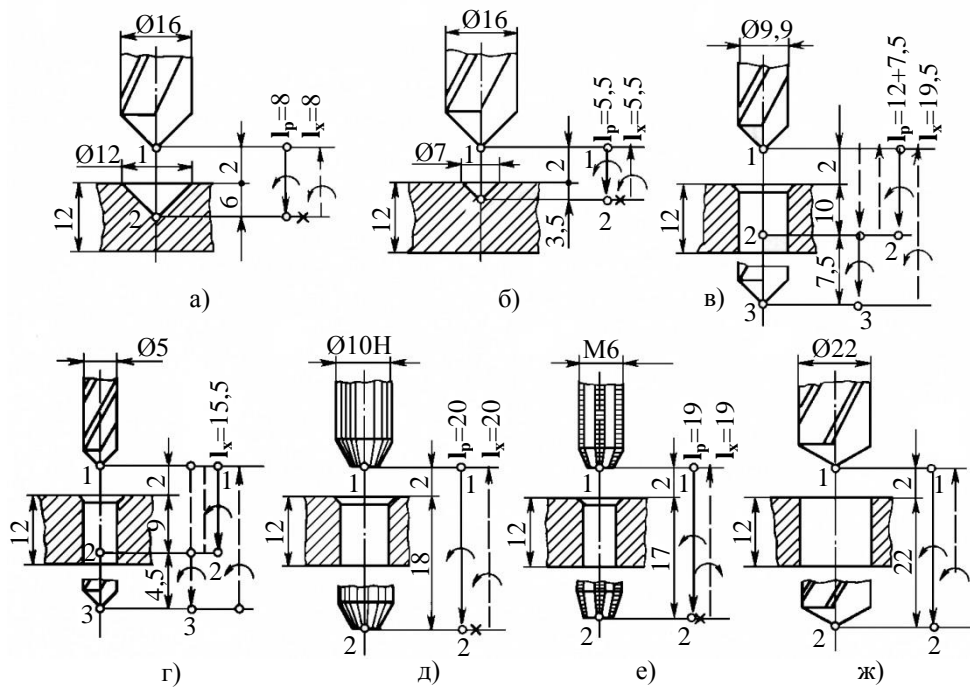


Рис. 15.22. Типові переходи роботи різальних інструментів при обробці отворів у деталі типу кришка

Загальна послідовність переходів може бути наступною:

- центрування із зенкуванням отворів 1–5;
- свердління та розвертання отворів 1 і 2;
- свердління отворів 3–5;
- нарізування різі в отворах 3–5;
- свердління отвору 6.

Схеми осових переміщень для розрахунку опорних точок траєкторії інструментів при обробці отворів 1–6 наведені на рис. 15.22.

На цих схемах цифрами 1–3 показані послідовності опорних точок траєкторії інструментів, стрілками – напрямки робочих (l_p) та холостих (l_x) ходів і напрямку обертання шпинделя. Знаком “×” позначений вистій інструмента. Режими різання для ділянок траєкторії наведені в табл. 15.5.

У загальному випадку кодування інформації УП для свердильних верстатів зводиться до:

- кодування процесу заміни інструментів;
- кодування переміщень (позиціонування) кожного з інструментів від однієї опорної точки (центра отвору) до іншої;
- введення в дію циклів обробки в моменти, коли інструмент розташовується над необхідною точкою.

Конкретна методика кодування визначається моделлю ПЧПУ та її можливостями.

Нижче розглянуті деякі основні положення щодо кодування інформації в УП.

Режими руху і позиціонування задаються за допомогою підготовчих функцій, наприклад, **G60–G69**. Відповідно до таких функцій ПЧПУ забезпечує відповідний характер підходу інструмента до заданої точки і зупинку його в конкретній точці, що і визначає точність позиціонування.

Таблиця 15.5

Типові переходи при обробці отворів у деталі типу кришка

Перехід	Номер отвору (рис. 15.21)	Інструмент	Схема на рис. 15.22	Ділянка траєкторії	$S_{хв}$, мм/хв	n , хв ⁻¹
Центрування із зенкуванням	1; 2	T01	а	1 – 2	40	500
	3; 4; 5		б			
	1; 2	T02	в	1 – 2	100	710
			2 – 3	80		
Свердління	3; 4; 5	T04	г	1 – 2	100	1400
				2 – 3	80	
	6	T06	д	1 – 2	60	355
Розвертання	1; 2	T03	ж	1 – 2	50	125
Нарізання різей	3; 4; 5	T05	є	1 – 2	25	25

Для даного прикладу:

- функції **G60–G64** задають позиціонування з прискороного ходу;
- функції **G65–G69** – з робочої подачі.

Ці функції використовуються, якщо, наприклад, на аналізованих верстатах виконується операція прямокутного формоутворення, зокрема, фрезерування. З розглянутих функцій найчастіше застосовують **G60** (точне позиціонування зі сторони руху) і **G62** (позиціонування з прискороного ходу – грубе позиціонування).

Нагадаємо, що при точному позиціонуванні забезпечується ступінчасте зменшення швидкості руху: від прискороної (або заданої) до мінімальної швидкості підходу до заданої точки. При грубом позиціонуванні виконується відключення подачі прискороного ходу в зоні зупинки, в результаті чого можливий або перебіг, або навпаки недобіг інструментів відносно заданої координати.

Постійні цикли при обробці отворів реалізуються заданням відповідних підготовчих функцій. Кожна з них визначає конкретну операцію або перехід з переміщенням по осі **Z**:

- свердління, центрування (наприклад, підготовча функція **G81**);
- свердління, зенкування з паузою (зупинкою) вкінці робочого ходу (**G82**);
- глибоке свердління (**G83**);
- нарізання різей (**G84**) тощо.

Як правило, у сучасних ПЧПУ підпрограми для реалізації зазначених функцій постійно знаходяться в пам'яті ПЧПУ. Для їх реалізації досить вказати в кадрі УП необхідну функцію і кількісне значення формальних параметрів, необхідних для виконання конкретної операції. Для більшості постійних циклів цих параметрів два:

R і **Z**. Параметр **R** у більшості ПЧПУ визначає координату, з якої починається робоча подача при виконанні заданого постійного циклу. Ця величина зберігається в пам'яті ПЧПУ до зчитування нового значення **R**. Параметр **Z** у постійному циклі визначає координату точки, у яку інструмент переміщається на робочій подачі.

При введенні постійних циклів суттєве значення для параметрів **R** та **Z** має розташування нуля верстата (початку координатної системи верстата) відносно оброблюваної деталі в напрямку осі **Z**.

В ПЧПУ з фіксованим початком координат верстата параметри **R** та **Z** у постійних циклах відраховуються від нульової площини в одному напрямку (рис. 15.23, а). У кадрі вказуються координати точки 1 (**R**) і кінцевої точки 2 (**Z**).

Програмування постійних циклів значно зручніше для верстатів з ПЧПУ, що мають так званий "плаваючий нуль". У таких ПЧПУ по командах УП або з пульта ПЧПУ можна зміщати нуль верстата в будь-яку точку по всіх осях, зокрема, по осі **Z**. У ряді ПЧПУ по осі **Z** зміщається нульова площина **X_MZ** (рис. 15.23, б). Тоді в кадрі, що передує кадру із вказанням постійного циклу, повинна бути команда на зміщення нуля по осі **Z**. Після зміщення нуля точка **M** початку координат верстата буде розташовуватись в площині, паралельній площині деталі (у точці **M'**, рис. 14.23, б). Для розглянутого випадку величина **R** буде дорівнювати нулю, а значення **Z** буде зі знаком мінус (у відліку вниз від нової системи координат **X'_MZ'**).

Певні зручності створюються для програмування, якщо ПЧПУ мають відповідні команди на зміщення нуля. У цьому випадку при програмуванні постійних циклів нульова площина суміщається з верхньою площиною деталі (рис. 14.23, в). Тоді при заданні циклу вказується величина **R**, що означає в даному випадку недохід інструмента до оброблюваної поверхні, та величина **Z** – робочий хід інструмента. При цьому повний робочий хід, як і зворотний – холостий хід, буде дорівнює сумі (**R + Z**). При такому заданні циклу досить просто обробляти однакові отвори, розташовані на східчастій поверхні (рис. 15.23, г).

Дія команди постійного циклу поширюється на наступні кадри. Діючий постійний цикл скасовується вказанням іншої функції, наприклад, **G80**. Команда зміщення нуля зберігається в УП до введення аналогічної команди з новим кількісним значенням або команди відміни зміщення, але тільки для кадру, де ця команда записана. Зміщення нуля лише в одному кадрі звичайно записується відповідною функцією. При використанні функції повернення нуля в систему координат верстата кодується цією ж функцією (**G59**) з нульовим числовим значенням.

Кодування заміни інструментів багато в чому залежить від конструктивних особливостей верстата та ПЧПУ. У більшості випадків потрібно як мінімум дві команди, що задаються в послідовних кадрах УП. У першій команді з адресою **T** вказується необхідний інструмент, а за другою командою (наприклад, **M06**) він встановлюється у шпинделі. За командою **M06**, крім того, знімається інструмент, що відпрацював, і повертається у магазин (за наявності магазину на верстаті).

Як правило, процес заміни різальних інструментів у верстатів виконується тільки в безпечному положенні шпинделя (шпиндельної бабки). В це положення шпиндель автоматично приходиться за командою **M06** або за спеціальною командою, яку необхідно вказувати у кадрах УП, що передують команді **M06**.

Вказання інструмента в кадрах УП звичайно супроводжується вказівками щодо його корекції. При цьому разом з кодом інструмента вказується номер його коректора. Так, для інструмента з кодом **T08** і коректором **06** загальний зміст команди на інструмент має вигляд **T0806** або **T08 L06**.

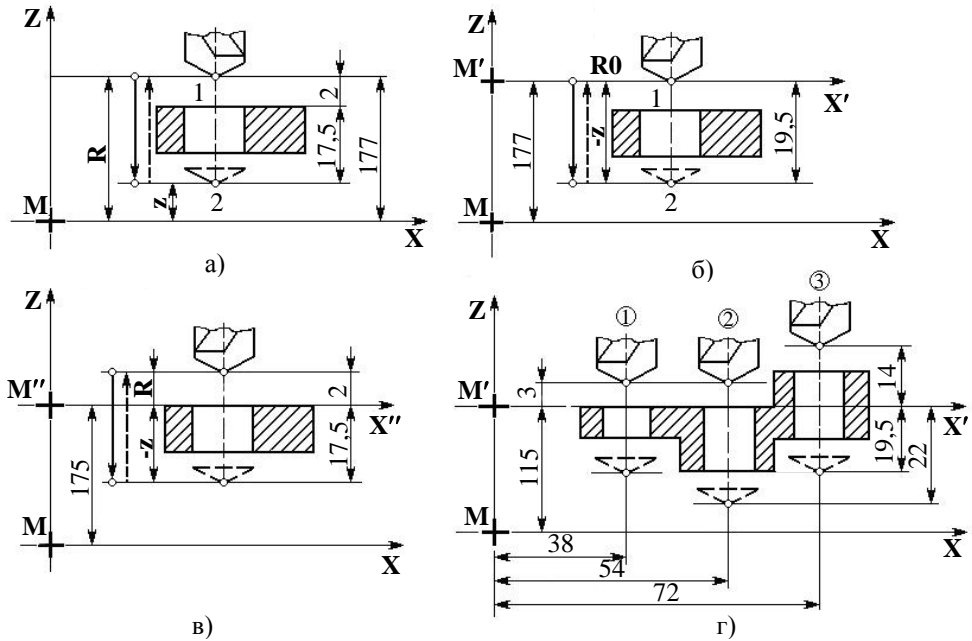


Рис. 15.23. Схеми задання параметрів **R** та **Z** у постійних циклах

Для задання осепаралельної корекції довжини інструмента, що є характерним для верстатів свердлильної групи, використовуються відповідні підготовчі функції **G43** і **G44**. Для корекції вильоту інструмента (рис. 15.24) у коректор заноситься абсолютна різниця між розрахунковою та дійсною аплікатами вершини інструмента ($Z_0 - Z_1 = \Delta Z$ або $Z_0 - Z_2 = \Delta Z$), що записується в УП.

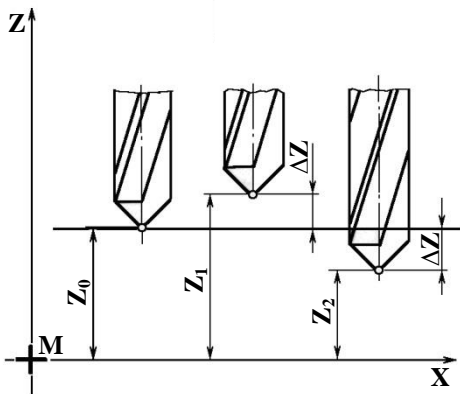


Рис. 15.24. Схема для визначення корекції вильоту інструмента

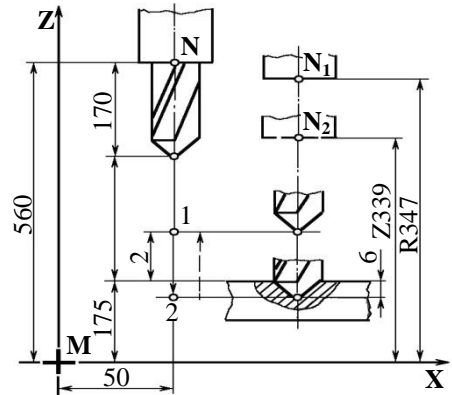


Рис. 15.25. Схема для визначення переміщення при центруванні отворів

При цьому передбачається, що величина ΔZ встановлена на коректорі зазначеного номера (у даному прикладі на коректорі **06**).

В більшості ПЧПУ корекція на довжину інструмента задається з адресою **H**. У цьому випадку функція **G43** визначає, що числове значення зміщення, що встановлене на коректорі (зі знаком + чи -), додається до заданої координати. Функція **G44** означає, яке величина зміщення, встановлена на коректорі з адресою **H**, віднімається від заданого в даному кадрі значення координатного розміру.

У ряді випадків коректор інструмента може вказуватись окремою адресою, наприклад, **D**.

15.4.2. Спрощена методика програмування свердильних операцій

Програмування стає значно простішим, якщо використовувати можливості ПЧПУ щодо зміщення нуля і вводити корекцію на інструмент у період налагодження (настроювання) верстата із врахуванням його дійсного вильоту. Це не тільки полегшує кодування інформації, але значно спрощує складання РТК (рис. 15.26). При цьому немає необхідності задаватись вильотом інструментів, непотрібним є перерахунок координат точок із системи координат деталі в систему координат верстата тощо.

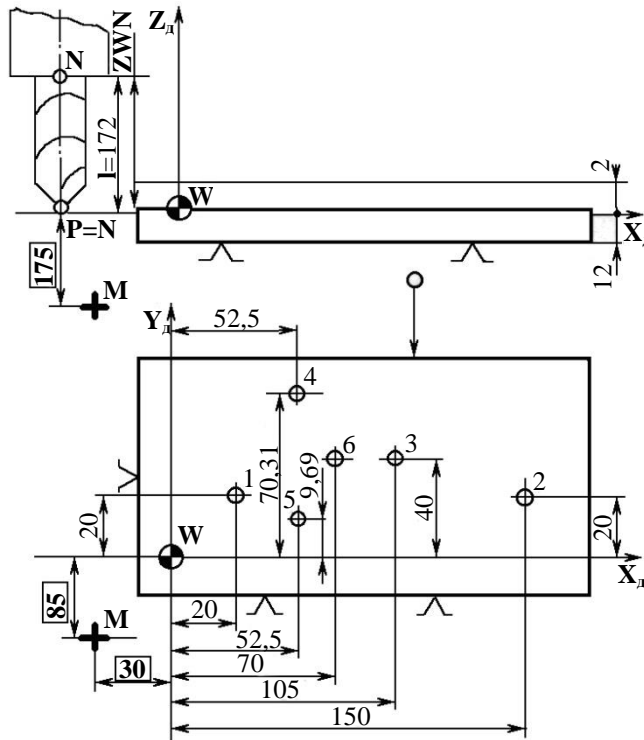


Рис. 15.26. Схема для програмування обробки отворів у деталі типу кришка

Вказане пояснюється тим, що нуль верстата переміщається в початок координат деталі (із точки **M** в точку **W**) і відлік програмованих переміщень у процесі відпрацювання УП ведеться від точки **W**, тобто так, як це задано на кресленні деталі. Крім того, при настроюванні верстата виліт **I** кожного інструмента вводиться

(з протилежним знаком) в коректор цього інструмента. Для цього інструмент переміщається до дотику вершини **P** з верхньою площиною заготовки, встановленої у пристосуванні. На табло, призначеному для індикації переміщення по осі **Z**, висвічуються цифри, що визначають відстань від площини нового нуля до базової точки шпинделя, тобто величина $zWN = I$, що є дійсним вильотом інструмента (наприклад, для свердла діаметром 16 мм він дорівнює 172 мм). Якщо тепер на коректорі інструмента набрати величину $zWN = I$ (172 мм), то на табло індикації по осі **Z** будуть нульові показники, тобто базова точка **N** суміщена з вершиною **P** інструмента. Подібне настроювання (з дотиком інструмента загостреною частиною або торцем поверхні деталі) проводиться для кожного інструмента, і значення відповідних вильотів набираються на відповідних коректорах. Таким чином, для всього набору інструментів на дану операцію справедливим є положення: при перебуванні вершини інструмента в площині нового нуля табло індикації по осі **Z** показує нулі.

При настроюванні досить просто також суміщати вісь шпинделя з початком координат деталі.

15.5. Підготовка УП для фрезерних операцій

Побудова фрезерних операцій на верстатах з ЧПУ, як і інших операцій, насамперед зв'язана з розробкою РТК. Загальний порядок побудови РТК, розглянутий вище, зберігається і тут.

Варіант фрагменту РТК на фрезерну операцію з плоским формоутворенням показаний на рис. 15.27. Відмітною особливістю є побудова траєкторії центра фрези в двох площинах: **YWX** (плоска траєкторія – основна) і **ZWX** (висотна траєкторія).

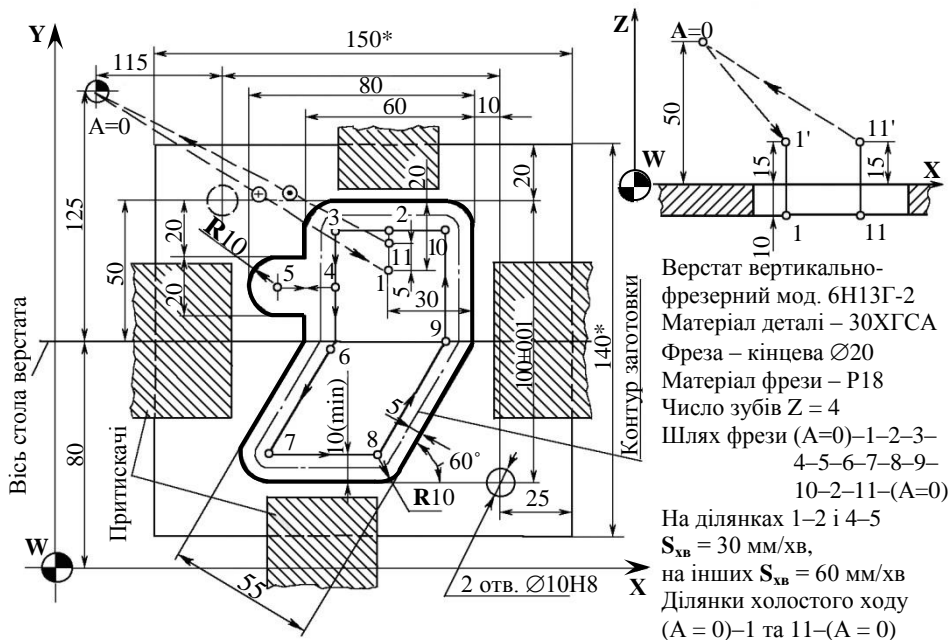


Рис. 15.27. Приклад РТК на фрезерну операцію

У загальному випадку характер траєкторії інструмента при виконанні фрезерної операції обумовлений в першу чергу кількістю керованих (у тому числі одночасно) координат і принципів управління рухом робочих органів верстата з ЧПУ. Так, двокоординатне управління дозволяє інструменту рухатися (у межах робочого діапазону переміщень) до будь-якої точки площини, трикоординатне управління – до будь-якої точки простору. Збільшення числа керованих координат до п'яти дає можливість, наприклад, змінювати орієнтацію осі інструмента, забезпечуючи при обробці заготовки напрямом цієї осі по нормалі до оброблюваної поверхні. В залежності від числа одночасно керованих координат розрізняють прямокутне, прямолінійне і криволінійне плоске та об'ємне формоутворення.

При програмуванні технологічних переходів фрезерування доцільно застосовувати типові схеми обробки контурів, плоских та об'ємних поверхонь.

15.5.1. Схеми обробки контурів, плоских та об'ємних поверхонь

Контури обробляються в основному кінцевими фрезами. Траєкторія переміщення інструмента складається з ділянок його підведення до оброблюваної поверхні (включаючи врізання), обходу оброблюваного контуру і відведення від обробленої поверхні.

Ділянці врізання необхідно приділяти особливу увагу, тому що на ній відбувається навантаження інструмента силою різання. Ця ділянка при чистовій обробці повинна бути побудована таким чином, щоб сила різання на ній зростала і плавно наближалась за величиною і напрямком до сили, що діє на робочій ділянці оброблюваного профілю. Це забезпечується введенням інструмента в зону різання по дотичній до оброблюваного контуру. При чорновій обробці врізання звичайно виконується по нормалі до контуру. Аналогічно будуються ділянки відведення фрези від зони різання.

Траєкторія переміщення інструмента при обході контуру може мати ділянки з різкою зміною напрямку руху, що викликає спотворення контуру внаслідок пружних деформацій інструмента в процесі різання і динамічних похибок приводу подач верстата. Спотворення контуру можна уникнути або зменшити зменшенням швидкості подачі, зменшенням припуску на обробку, зміною розмірів інструмента або перетворенням (перед спотворенням) його траєкторії.

Обробка відкритих площин ведеться у прямому і зворотному напрямках за схемою “зигзаг” при чорновому фрезеруванні і рядками в прямому напрямку за схемою “петля” при чистовому фрезеруванні.

Для обробки напіввідкритих площин застосовується схема “стрічка”, а для обробки закритих площин – схема “спіраль”. Відстані між проходами приймаються рівними $(0,6 \dots 0,8)D_{\text{фр}}$, де $D_{\text{фр}}$ – діаметр фрези, мм.

Для обробки закритих площин, обмежених колом, кращою траєкторією, що забезпечує рівномірне зняття припуску, є архімедова спіраль. В полярних координатах ρ і φ ця спіраль описується рівнянням:

$$\rho = k \cdot \varphi,$$

де k – коефіцієнт, що визначає крок спірального.

Така траєкторія може бути отримана на верстаті з поворотним столом, при суміщенні центра кола оброблюваної площини з віссю обертання стола та наявності рівномірних рухів: обертального – стола, поступального – інструмента.

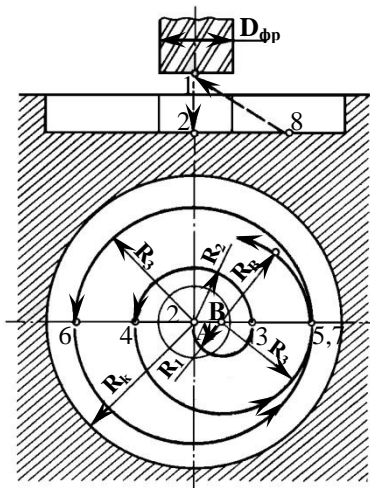


Рис.15.28. Схема фрезерування закритої площини, що обмежена колом, за траєкторією двополюсної спіралі

Двополюсна спіраль (рис. 15.28) утворюється зі спряжених дуг напівкіл, центри яких по черзі знаходяться в полюсах **А** та **В**. Полюс **А** розташовується в центрі кола радіуса R_k , що обмежує закрити площину. Відстань між полюсами **В** та **А** дорівнює половині кроку спіралі. Спіраль починається в центрі кола радіуса R_k , співвісно з яким свердлиться отвір для введення фрези. Крок спіралі h вибирається у діапазоні $(0,6...0,8)D_{фр}$ з умови спряження спіралі з колом радіуса R_k , що є еквідистантний до кола радіуса R_k , тобто $h = R_c/a$, де a знаходять з умови:

$$R_c/(0,6 \cdot D_{фр}) \geq a \geq R_c/(0,8 \cdot D_{фр}),$$

причому менше його значення в цих межах округляється до більшого цілого числа.

У проілюстрованому випадку спіраль утворена дугами напівкіл радіусів R_1 і R_3 з центрами в полюсі **В** та дугою напівкола радіуса R_2 з центром у полюсі **А**. Повна траєкторія фрези при обробці закритої площини, що обмежена колом радіуса R_k ,

складається, таким чином, з наступних частин:

- ділянки введення фрези у зону різання (1–2);
- двополюсної спіралі (2–5);
- кола радіуса R_c (5–7);
- ділянки відведення фрези від обмежуючого кола радіуса R_k по сполученій з колом радіуса R_c дузі кола радіуса R_b (7–8);
- ділянки повернення фрези у вихідну точку (8–1).

Досить просто може бути реалізована траєкторія і по чотириполюсній спіралі.

Схеми обробки пазів кінцевими, торцевими і дисковими фрезами також типові. При обробці шпонкового паза, що представляє собою окремий випадок закритої площини, попередньо свердлиться отвір для введення кінцевої фрези у зону різання. Коли це неможливо або недоцільно, врізання здійснюють під кутом $\alpha = 5...10^\circ$ до оброблюваної поверхні. Фрезеруванню напіввідкритої площини паза торцевою фрезою звичайно передус його обробка бічних сторін кінцевою фрезою, що перетворює оброблювану площину у відкриту. У цьому випадку застосовуються схеми обробки площин “зигзаг”, “петля”, “ялинка”.

Схеми об’ємної обробки вибираються із врахуванням трудомісткості їх програмування, що переважно виконується за допомогою ЕОМ.

Найбільш раціональним є визначення траєкторії інструментів при об’ємній обробці методом перетину оброблюваних поверхонь напрямними поверхнями однієї множини. До таких множин відносяться пучки паралельних площин, пучки площин, що приходять через задню вісь, пучки співвісних циліндрів тощо.

Багатокоординатна (за чотирма, п’ятьма та більше координатами) обробка відноситься до числа спеціалізованих ТП, і її застосування виправдане лише для обмеженої номенклатури деталей. При багатокоординатній обробці інструмент виконує поступальні рухи та змінює орієнтацію своєї осі.

15.5.2. Плоске контурне фрезкування

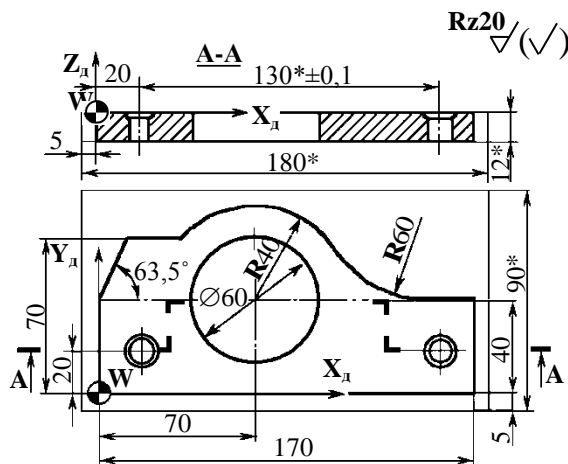


Рис. 15.29. Деталь типу кришка в системі координат деталі

У практиці найбільше застосування знаходить плоске контурне фрезкування, що забезпечує обробку деталей, контур яких складається з відрізків прямих і дуг кіл. При складанні РТК і визначенні координат опорних точок траєкторії руху центра фрези при обробці деталей фрезкуванням, як правило, основним є еквідистантний характер траєкторії. Відповідно до цього на РТК вказується контур, що обробляється, та еквідистантній йому траєкторія руху інструмента

з опорними точками. Очевидно, що визначити координати опорних точок еквідистанти простіше, якщо відомі координати всіх опорних точок контуру деталі. Ці останні найзручніше задавати в системі координат деталі у вигляді таблиці (див., наприклад, табл. 15.6).

Розглянемо деталь (рис. 15.29), у якій передбачається фрезерування контуру фрезою з радіусом $R_f = 10$ мм і розфрезерування отвору $\varnothing 60$ мм (траєкторія руху фрези – від центра до кола). Для заходу фрези в центрі попередньо виконаний отвір діаметром 22 мм.

Координати опорних точок еквідистанти (рис. 15.30, а) можуть бути розраховані відповідно до викладеного в п. 15.2.4.2. Кількісні значення координат представлені в табл. 15.6.

Таблиця 15.6

Координати опорних точок еквідистанти (траєкторії руху центра інструмента) при обробці деталі типу кришка

Отвір	Координата, мм		
	X_d	Y_d	Z_d
1	-25	10	40
2	-25	-10	-16
3	180	-10	-16
4	180	50	-16
5	150	70	-16
6	110	80	-16
7	40	80	-16
8	8,77	80	-16
9	-10	42,36	-16
10	-10	-10	-16
11	70	40	5
12	70	40	-16

Траскторія фрези при обробці отвору діаметром 60 мм побудована за принципом чотирьополісної спіралі для кола радіусом $R_c = 20$ мм і діаметром фрези $D_{фр} = 2 \cdot R_i = 20$ мм (рис. 15.30, б).

Крок спіралі визначений з умови: $h = R_c/a = 20/2 = 10$ мм, де кількість витків спіралі $a = 2$ вибрана як більше ціле нижньої межі множини чисел, що задовольняють умові:

$$\left(\frac{R_c}{0,6 \cdot D_{фр}} = \frac{20}{0,6 \cdot 20} = 1,67 \right) \geq a \geq \left(\frac{R}{0,8 \cdot D_{фр}} = \frac{20}{0,8 \cdot 20} = 1,25 \right).$$

Сторона чотирьополісника $b = h/4 = 10/4 = 2,5$ мм.

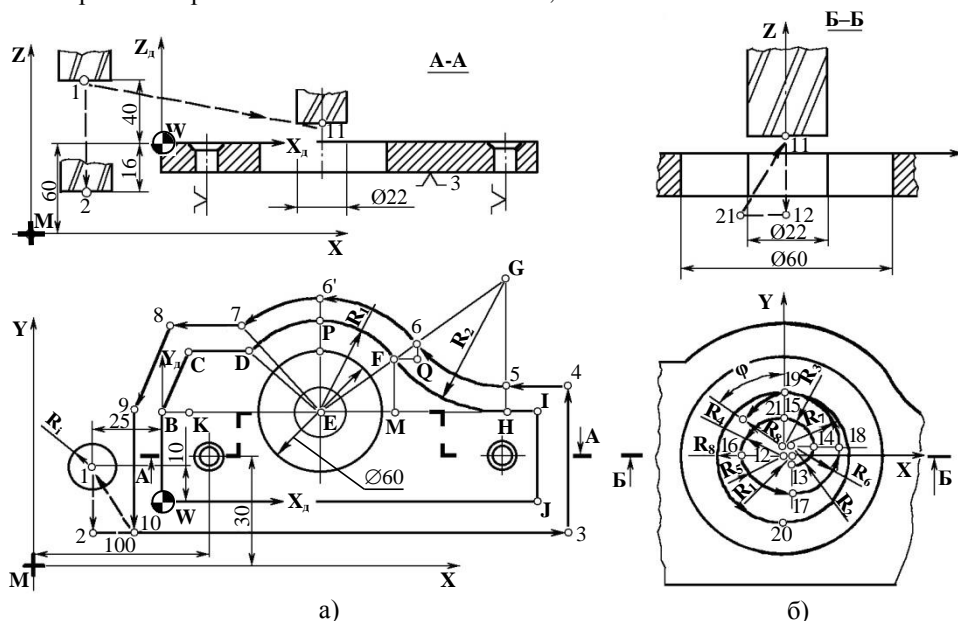


Рис. 15.30. Схема траєкторії переміщення фрези при обробці деталі типу кришка:
 а – обробка контуру;
 б – обробка отвору

Координати початкових точок (x_n, y_n) і центрів (x_n, y_n) дуг кіл ділянок спіралі, обчислені в місцевій системі координат XY , а також радіуси R цих дуг кіл наведені в табл. 15.7.

Таблиця 15.7

Координати опорних точок траєкторії “чотирьополісна спіраль”

Ділянки траєкторії (див. рис. 15.30, б)	Координата, мм				R, мм
	x_n	y_n	x_n	y_n	
12–13	0	0	2,5	0	2,5
13–14	2,5	-2,5	2,5	0	5,0

14–15	7,5	2,5	0	2,5	7,5
15–16	0	10,0	0	0	10,5
16–17	-10,0	0	2,5	0	12,5
17–18	2,5	-12,5	2,5	2,5	15,0
18–19	17,5	2,5	0	2,5	17,5
19–20–19	0	20,0	0	0	20,0

Фреза від контуру зворотного отвору відводиться по дузі кола з радіусом $R_b = 17,5$ мм з центром у полюсі ($x_n = 0$; $y_n = 2,5$ мм) до точки 21, що визначається кутом $\varphi = 45^\circ$.

Координати точки 21:

$$x_{21} = x_n - R_b \cdot \sin \varphi = 0 - 17,5 \cdot \sin 45^\circ = -12,37 \text{ мм};$$

$$y_{21} = y_n - R_b \cdot \cos \varphi = 2,5 + 17,5 \cdot \cos 45^\circ = 14,87 \text{ мм}.$$

15.5.3. Корекція інструментів при фрезеруванні

Форма і характер корекції залежать від виду і характеру траєкторії, а головне, від можливостей ПЧПУ, що обумовлені її класом.

Види і схеми корекції надзвичайно різноманітні, внаслідок чого і позначення корекцій теж різні. Так, для різних ПЧПУ тим самим значенням підготовчих функцій можуть відповідати різні команди. Детальне вивчення конкретних схем і видів корекцій можливе лише по реальних інструкціях програмування для конкретних ПЧПУ.

Лінійна корекція при прямокутному формоутворенні здійснюється тільки паралельно осям, тобто при прямокутному формоутворенні траєкторії інструмента. При лінійній корекції відбувається алгебраїчне додавання заданого в кадрі УП переміщення з кількісним, набраним на коректорі.

Знак корекції може бути зазначений (набраний) на коректорі пульта ПЧПУ або заданий командою у кадрі УП. В останньому випадку корекція (додавання або віднімання) може здійснюватись незалежно від знака числа, зазначеного на коректорі.

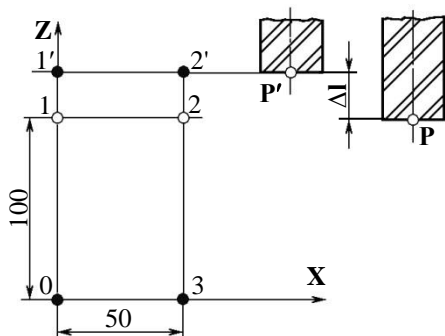


Рис. 15.31. Схема лінійної (осьової) корекції

Наприклад, за необхідності в процесі роботи перемістити інструмент по осі Z додатково на величину Δl ця величина зі знаком плюс повинна бути набрана на коректорі, що закріплений за даним інструментом (рис. 15.31).

При цьому в одному з кадрів за адресою L вказується номер коректора, на якому набрана з величина $+\Delta l$. За командою кадру інструмент переміститься на величину $(100 + \Delta l)$ мм по осі Z , тобто в точку $1'$.

За командою виконується скасування корекції. При цьому вказуються коригований розмір і номер коректора. За цією ж командою виконується зчитування величини з коректора з протилежним знаком. Тому у відповідному кадрі

програмується переміщення по осі **Z**, що дорівнює $[-100 + (-\Delta l)]$ мм. За цією командою інструмент приїде в точку 3.

Розглянута траєкторія переміщення може бути запрограмована для ПЧПУ відповідного класу з використанням підготовчих функцій зміщення інструмента в додатньому напрямку (додавання даних коректора) або зміщення інструмента у від'ємному напрямку (віднімання даних коректора).

При прямокутному формоутворенні (рис. 15.32) іноді необхідно вказувати корекцію одночасно за двома осями. Як правило, вказується корекція на зміну радіуса інструмента, обумовлена величиною ΔR (різницею радіусів запрограмованого інструмента та дійсного).

В УП може бути прийнята досить складна схема, коли команди на корекцію задаються із врахуванням положення інструмента відносно системи координат відповідно до кодів функцій. Для ПЧПУ, що працює з даною схемою корекції, кожен з кодів визначає одночасну корекцію за осями **X** і **Y** на величину, зазначену на коректорі. При цьому використовуються команди, за якими відбувається тільки додавання або тільки віднімання. Існують також команди, що визначають знак „мінус” на осі **X** та знак „плюс” по осі **Y**, а також команди, що визначають корекцію лише по одній з осей.

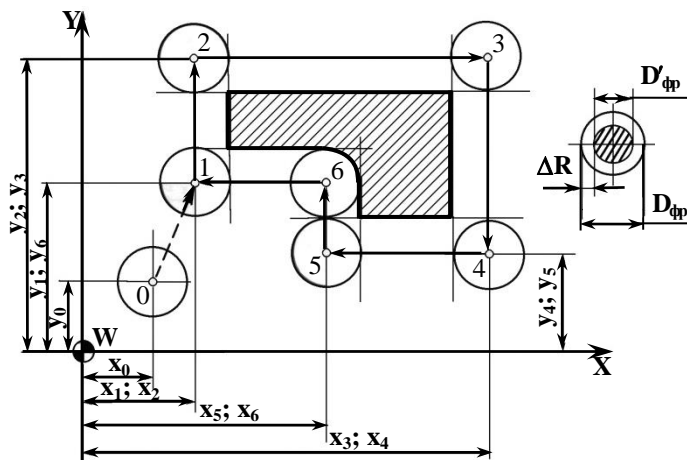


Рис. 15.32. Схема корекції при прямокутних формоутвореннях

Знак корекції при різному положенні інструмента відносно оброблюваної деталі визначається за наступним правилом: якщо радіус-вектор, проведений з центра фрези в точку її дотику з оброблюваною площиною (чи її продовженням), співпадає з дійсним напрямком відповідної осі, то корекція вважається від'ємною (знак “мінус”), якщо протилежний йому, то корекція буде додатньою (знак “плюс”).

Вказане визначається тим, що переміщення інструмента при обробці – явище умовне, прийняте для простоти програмування. Фактично при обробці деталі переміщається стіл з деталлю. Тому, якщо радіус інструмента зменшився на величину $-\Delta R$ (рис. 15.33, а), то необхідно довести (відкоригувати) переміщення деталі на цю величину. Так, при корекції положення інструмента у верхньому лівому куті при зменшенні радіуса фрези на $-\Delta R$ стіл з деталлю необхідно довести по осі **Y**

на $+\Delta R$, по осі X – на $-\Delta R$. При обробці контуру ця ж функція визначить корекцію інструмента в правому нижньому куті (рис. 15.33, б).

Команди на корекцію при фрезеруванні змішаних прямокутних контурів можуть відрізнитись від розглянутих вище, зокрема задаватись і кодуватись з адресою **L**. Після літери **L** задаються кодові цифри 1–7, що визначають осі корекції, потім вказується номер коректора, на якому повинне бути встановлене значення корекції з визначеним знаком. Цей знак дійсний, якщо в кадрі вказані відповідні функції чи тільки адреса осі. Якщо ж зазначені інші функції (при лінійній або круговій інтерполяції), то знак корекції визначається цими функціями. При цьому лінійний рух, як правило, здійснюється паралельно осям, а початкові і кінцеві точки дуг розміщені або на горизонтальній, або на вертикальній осі.

Існують підготовчі функції, що визначають або тільки додатню, або тільки від’ємну корекцію незалежно від набраного на коректорі значення. При цьому може здійснюватись лінійна або кругова (за годинниковою стрілкою) інтерполяція.

В ПЧПУ моделей класу NC, що мають блок “еквідистанта”, задання корекції на зміну радіуса фрези в УП (корекція в ПЧПУ з блоком еквідистанти) можливе для контурів, що утворені довільно розташованими на площині спряженими дугами кіл та відрізками прямих. Принцип задання корекції в основному зберігається. Кодова цифра після адреси **L** встановлюється в залежності від режиму. Корекція задається кодом **L0** (і номер коректора), якщо при збільшенні радіуса фрези значення заданих в УП переміщень збільшується на величину корекції. Код **L8** (і номер коректора) використовується, якщо при збільшенні радіуса фрези значення заданих в УП переміщень зменшується на величину корекції.

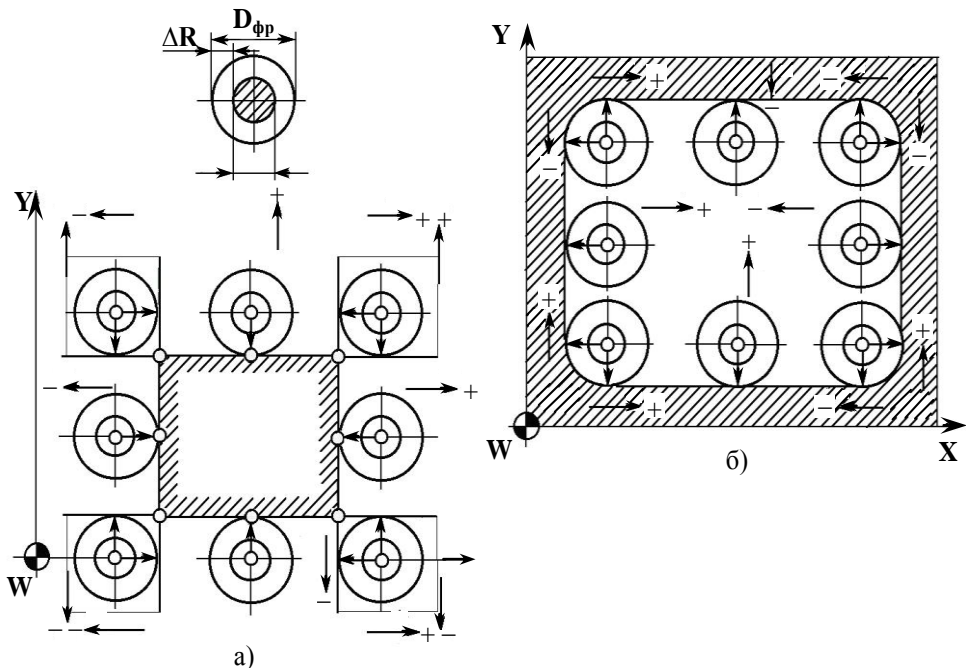


Рис. 15.33. Схеми, що пояснюють напрям корекції при прямокутному формоутворенні контурів: а – зовнішніх; б – внутрішніх

У ряді ПЧПУ при обробці криволінійних контурів корекція криволінійних контурів вводиться відповідними функціями (рис. 15.34) в залежності від розташування інструмента (відповідно ліворуч або праворуч від контуру, якщо дивитися в напрямку його руху).

Наприклад, траєкторія 0–1–2–3–4–5–6–0 (рис. 15.34, а), що розрахована для обробки контуру фрезою радіусом R_1 , коригується з використанням відповідної функції та коректора 01, у який з пульта управління заноситься зміна радіуса $\Delta R = R_1 - R_2$.

Та ж траєкторія при розташуванні інструмента праворуч від контуру (рис. 15.34, б) коригується функцією, що знаходить відображення у відповідному кадрі УП.

Ряд ПЧПУ дозволяє програмувати обробку безпосередньо по контуру деталі без опорних точок еквідистантної траєкторії. Тому при корекціях на радіус інструмента у коректор для фрези вводиться дійсне значення радіуса фрези, прийняте для обробки. Характер кодування інформації залежить від типу ПЧПУ, але в більшості випадків корекція задається відповідними підготовчими функціями в два етапи. Перший етап передбачає вихід інструмента на еквідистанту, а другий – коригування процесу обробки.

При заданні корекції, що супроводжується виходом на еквідистанту “плюс”, відбувається інтерполяція відрізка, заданого кінцевою точкою, причому довжина відрізка збільшується на радіус фрези, що заданий на коректорі пульта ПЧПУ (рис. 15.35, а).

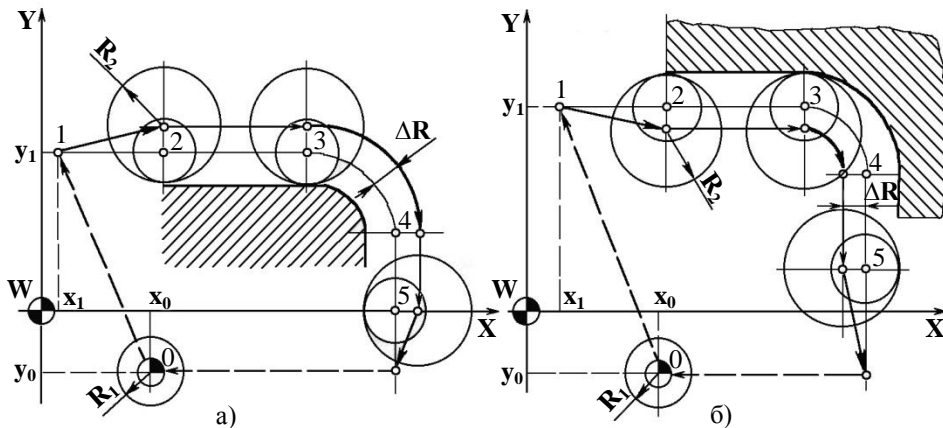


Рис. 15.35. Схема корекції радіуса інструмента при контурному управлінні при обробці криволінійних контурів:
а – зовнішнього;
б – внутрішнього

При заданні корекції з виходом на еквідистанту “мінус” відпрацьовується відрізок OB , що дорівнює запрограмованому OA (Δx , Δy) мінус радіус фрези R_i (рис. 15.35, б).

При програмуванні команд виходу на еквідистанту напрямком у точці підходу до оброблюваного контуру повинен виконуватись по нормалі.

При заданні функції кругової інтерполяції за годинниковою стрілкою з еквідистантою “плюс” відбувається кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою дуги кола від точки B_i до точки B_k радіусом, рівним радіусу запрограмованої дуги R

плюс радіус фрези R_i . При цьому в кадрах УП задаються координати початкової $A_n(x_n, y_n)$ і кінцевої $A_k(x_k, y_k)$ точок дуги контуру відносно центра дуги (рис. 15.35, в).

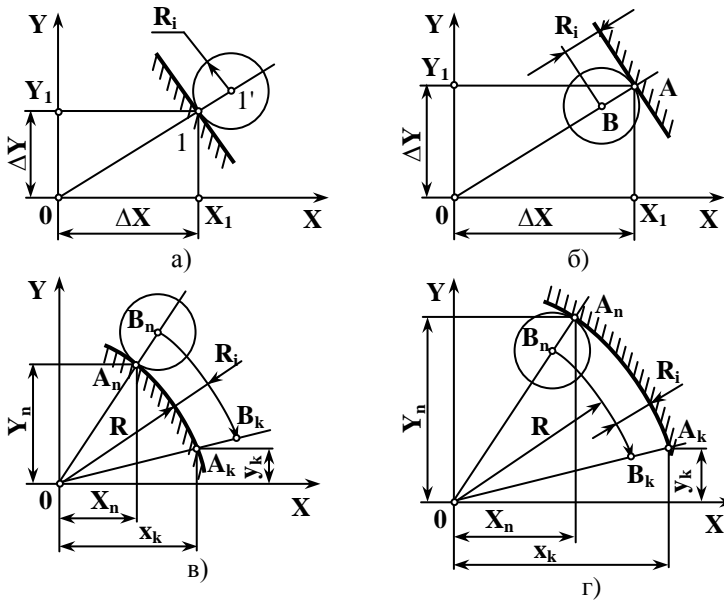


Рис. 15.35. Схеми корекції в ПЧПУ з виходом інструментів на еквідистанту

За наявності УП функції кругової інтерполяції за годинниковою стрілкою з еквідистантою “мінус” відбувається кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою дуги кола від точки B_n до точки B_k радіусом, рівним радіусу R запрограмованої дуги, мінус радіус фрези R_i (рис. 15.35, г). У кадрах УП при цьому задаються координати початкової $A_n(x_n, y_n)$ і кінцевої $A_k(x_k, y_k)$ точок дуги оброблюваного контуру відносно центра дуги.

Можливе задання в УП функції кругової інтерполяції проти годинникової стрілки з еквідистантою “плюс” або “мінус”.

При обробці неспряжених ділянок контуру необхідно здійснити їх програмне спряження. В одному з варіантів це можна визначити за допомогою підготовчих функцій спряження дуги за годинникової стрілкою та спряження дуги проти годинникової стрілки.

Наведені схеми відбивають основні наявні в практиці прийоми програмування для фрезерних верстатів з ПЧПУ класу NC, однак можуть бути і деякі інші підходи до вирішення розглянутих задач.