



ISBN 978-966-914-229-0



9 789669 142290 >

Н.В. Онофрейчук **ОСНОВИ ОБРОБКИ ТА ПРОГРАМУВАННЯ** на верстатах з ЧПК

Н.В. Онофрейчук

ОСНОВИ ОБРОБКИ ТА ПРОГРАМУВАННЯ

на верстатах з числовим програмним керуванням

Н. В. Онофрейчук

ОСНОВИ ОБРОБКИ ТА ПРОГРАМУВАННЯ

на верстатах з числовим програмним керуванням

Підручник

*Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України*

Львів
Видавництво «Світ»
2019

УДК 681.7(075.8)
О-59

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України
від 30.10.2017 № 1429)

Видано за державні кошти. Продаж заборонено

Онофрейчук Н. В.

О-59 Основи обробки та програмування на верстатах з числовим програмним керуванням : підруч. / Н. В. Онофрейчук. — Львів : Світ, 2019. — 352 с. ISBN 978-966-914-229-0

У підручнику детально викладено основи програмування та особливості технології обробки на свердлильно-фрезерно-розточувальних центрах з ЧПК, токарних верстатах з ЧПК, у тому числі з револьверними головками, оснащеними шпінделями з автономним приводом. Розглянуто обробку на фінішних шліфувальних верстатах з ЧПК різного призначення, електроерозійних верстатах, обладнанні з ЧПК заготовчого виробництва.

Підручник призначено для використання в навчальних закладах системи професійної та професійно-технічної освіти, центрів зайнятості для підготовки кваліфікованих робітників професій: «Оператор верстатів з ЧПК» і «Наладчик верстатів з ЧПК». Може використовуватись як посібник для студентів коледжів та вищих навчальних закладів, бути корисним на машинобудівному підприємстві операторам, програмістам та наладчикам верстатів з ЧПК.

УДК 681.7(075.8)

ISBN 978-966-914-229-0

© Онофрейчук Н.В., 2019
© Видавництво «Світ», оформлення, 2019

ПЕРЕДМОВА

Розвиток машинобудування та удосконалення його продукції викликає потребу в обробці дедалі складніших за формою деталей, з більш високими вимогами до точності. Частіше оновлюється номенклатура виробів і, відповідно, деталей, зменшуються серійність і термін їх випуску. Виникають нові й удосконалюються існуючі технології обробки. Водночас зростають вимоги до умов праці, комфорту й мікроклімату на робочому місці.

Це зумовило інтенсифікацію процесу технічного переозброєння підприємств, підвищення вимог до металорізального обладнання та його удосконалення в напрямі технічних можливостей, точності, жорсткості, продуктивності обробки, автоматизації процесів. У результаті стрімкого розвитку проектування складних технічних об'єктів з'являються багатоопераційні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) нового покоління, на яких, не знімаючи деталь з верстата, можна виконати токарну, свердлильну, розточувальну, фрезерувальну, шліфувальну обробку в трикоординатному просторі. У зв'язку з цим підвищується потреба в спеціалістах для експлуатації та обслуговування такого обладнання. На фахову підготовку відповідних спеціалістів і скерований запропонований матеріал.

У підручнику розглянуто технологічні основи обробки на верстатах з ЧПК і оброблювальних центрах: вибір заготовки, підготовка деталей для обробки, базування, оснащення, налагоджування, вибір різального інструменту за каталогами передових фірм відповідно до класифікатора і рекомендацій ISO, режимів оброблювання, особливості організації робочого місця оператора та охорони праці під час роботи на верстаті з ЧПК.

Описано покрокову розробку керуючої програми мовою програмування згідно з G-кодом ISO 6983-1 в ручному режимі, а також із застосуванням спеціальних комп'ютерних програм з перевіркою (верифікацією) розробленої програми на комп'ютері та безпосередньо на верстаті. Розглянуто ав-

томатизоване програмування в CAD/CAM-системах, використання цих систем в адитивних технологіях.

Особливу увагу приділено питанням забезпечення точності обробки, використання сучасних контрольно-вимірвальних систем з ЧПК на робочому місці для контролю, вимірювання, внесення корекції, а також для програмного базування.

Матеріал адаптовано до конкретних пристроїв ЧПК та верстатів:

- свердлильно-фрезерно-розточувальних оброблювальних центрів (ОЦ), з конкретизацією обробки на ОЦ 2254 ВМФ4 і ОЦ 2204ВМФ4 із пристроєм ЧПК 2С-42;

- токарних верстатів, з конкретизацією обробки на верстаті 16К20Ф3 із пристроєм ЧПК МС-21 (НЦ-80-31);

- шліфувальних верстатів, з конкретизацією обробки на різешліфувальному верстаті «Matrix 5708» із пристроєм ЧПК «FANUK».

Розглянуто отримання заготовок з профільного прокату, листа, труб, литва на сучасному обладнанні з ЧПК.

Розкрито особливості програмування з використанням високошвидкісної обробки (ВШО), сучасного інструменту з надтвердих матеріалів.

Викладки підтверджено прикладами розроблених програм, зокрема для обробки деталей на реальному виробництві.

Для закріплення вивченого матеріалу в кінці розділів подано контрольні запитання, а також завдання для самостійного розв'язування і практичних занять.

Автор висловлює щире вдячність усім, хто допоміг зібрати й підготувати до друку викладений матеріал. Побажання та зауваження автор просить надсилати за адресою:

leonid.onofrechuck@gmail.com

Перелік професій машинобудівного профілю, де застосовуються знання програмного забезпечення верстатів і верстатного обладнання:

- 7223 «Налагоджувальники верстатів та налагоджувальники-оператори»**
- (14989) «Налагоджувальник верстатів і маніпуляторів з програмним керуванням»
- 8211 Верстатники**
- (18805) «Верстатники спеціальних металообробних верстатів»
- (18809) «Верстатники широкого профілю»
- (15485) «Оператор автоматичних та напівавтоматичних ліній верстатів та установок»
- (16045) «Оператор верстатів з програмним керуванням»
- (17982) «Різенарізувач на спеціальних верстатах»
- (17985) «Різефрезерувальник»
- (17986) «Різешліфувальник»
- (19149) «Токар»
- (19158) «Токар-напівавтоматник»
- (19163) «Токар-розточувальник»
- (19479) «Фрезерувальник»
- (19630) «Шліфувальник»

Примітки:

1. 7223, 8211 — коди професій за класифікатором професій ДК 003:2010.
2. У дужках наведено коди класифікатора професій 1991 р. (ЗКПТР).

РОЗДІЛ I

ВЕРСТАТИ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (ЧПК). ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

1.1. Можливості й переваги верстатів з ЧПК

Металорізальним верстатом з ЧПК називають верстат, керований за допомогою обчислювальних пристроїв від програми, яка містить всю необхідну інформацію для обробки деталі (послідовність обробки поверхонь, величини переміщень виконавчих органів, режими обробки тощо). Відповідно до введеної програми керування верстат здійснює робочі та допоміжні рухи виконавчих органів для отримання оброблюваної деталі належної якості.

Порівнюючи можливості верстатів з ЧПК з їх універсальними аналогами, можна констатувати істотні переваги цих верстатів.

Продуктивність обробки на верстатах з ЧПК у 1,5–5 разів підвищується за рахунок скорочення основного й допоміжного часу на переустановки деталі, зменшення кількості операцій, концентрації обробки на меншій кількості верстатів, зниження втрат на міжопераційне транспортування, зростання швидкості руху робочих органів під час обробки і холостих ходів.

Спрощується обробка складних криволінійних поверхонь — немає потреби у виготовленні спеціальних копирів та розмітці, проведенні спеціальних підгінних робіт. Зникає потреба виготовлення складних пристроїв — кондукторів для виконання свердильно-розточувальних робіт. У результаті істотно скорочуються затрати на виробництво і терміни його підготовки.

Стала можливою обробка в недоступних для універсального верстата місцях — різноманітні внутрішні кармани, канавки, поверхні складної конфігурації тощо.

Скорочується час на контроль деталі та підналагодження верстата. Зменшується процент браку та розсіювання розмірів деталей в партії, що поліпшує якість наступної операції.

Знижується потреба у висококваліфікованих робітниках. Оператором може бути верстатник невисокої кваліфікації.

На якість обробки деталей менше впливає людський фактор — втомлюваність. Завдяки поліпшенню умов праці, підвищенню культури виробництва робітник уже не є безвідривним учасником процесу. Він може водночас обслуговувати кілька верстатів.

Виробничий процес став стабільнішим, з більш прогнозованими результатами і терміном обробки, що зумовлює зменшення запасу незавершеного виробництва. Це сприяє якіснішому плануванню та досконалішій організації праці.

Верстати з ЧПК — основна складова гнучких автоматизованих ліній, роботизованих технологічних комплексів, дільниць, цехів, кількість яких збільшується. Керування такими комплексами відбувається з одного центру, за допомогою однієї програми, з використанням маніпуляторів для переміщення деталі з одного верстата на інший.

Разом з універсальними прототипами верстати з ЧПК розширюють функціональні й технологічні можливості: точність обробки і геометричної орієнтації поверхонь, шорсткість поверхні, швидкість переміщення і точність позиціонування робочих органів. Поява прогресивного різального інструменту і жорсткого металорізального обладнання сприяє інтенсифікації режимів обробки, поширенню застосування лезвійного інструменту на гартовані поверхні, уможливує високошвидкісну обробку (ВШО).

Постійно збільшується кількість програмованих функцій верстатів з ЧПК. Наприклад, на базі свердлильних, фрезерних, токарних і координатно-розточувальних верстатів створені оброблювальні центри (ОЦ), де більшість функцій (рухи виконавчих органів, режими обробки, подача змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР), заміна інструменту, заміна та кріплення деталі, власне, сама розробка керуючої програми) виконуються комп'ютеризованими пристроями ЧПК. Завдання оператора — спостерігати за правильним ходом процесу. На такому центрі отримують практично готову деталь.

Удосконалюється механізм розробки програми та її вводу в пристрій ЧПК верстата. Розвиток програмоносіїв пройшов шлях від штекерних барабанів, магнітофонних та паперових стрічок до вводу програми безпосередньо в пристрій ЧПК, по комп'ютерній мережі, через диск або флешку.

Сучасні CAD/CAM-системи спроможні розробляти керуючі програми з конструкторської документації і технологічного регламенту технолога-програміста з подальшою їх верифікацією на екрані й тестуванням на верстаті.

1.2. Класифікація верстатів з ЧПК

За технологічними ознаками й можливостями верстати з ЧПК класифікуються так само, як і універсальні, на базі яких їх виготовлено. Найбільшу групу (30–40 % усього верстатного парку) становлять токарні верстати з ЧПК.

Токарні верстати з ЧПК випускаються:

- патронно-центрові — універсального призначення;
- патронні — для коротких деталей типу фланець, втулка, кришка тощо;
- центрові — для обробки довгомірних деталей;
- токарно-револьверні;
- токарні автомати та напівавтомати;
- токарно-лобові;
- токарно-карусельні;
- спеціалізовані для багатосерійного виробництва;
- токарно-фрезерно-шліфувальні оброблювальні центри;
- спеціальні верстати для обробки унікальних деталей: верстат довжиною 30 м для обробки гребних валів, транспортних шнеків тощо, карусельний з діаметром стола 18 м та інші.

Комплектуються токарні верстати з ЧПК револьверними головками — різцетримачами з горизонтальною або вертикальною віссю на 6, 8, 12, 16 позицій. Верстати можуть мати два різцетримачі. Це передбачає обробку двома інструментами одночасно (обточування й розточування, обточування різних шийок з обох кінців деталі, обточування і підрізання торця, знімання фасок тощо). Токарні верстати можуть оснащуватися магазинами до 30 інструментів, які по команді від програми подаються в зону різання. Для обробки деталей вагою понад 16 кг верстати оснащуються маніпулятором, яким керує програма.

Сучасні токарно-фрезерні оброблювальні центри з ЧПК містять спеціальний супорт із фрезерувальною головкою, що дозволяє, не знімаючи деталь з верстата, крім токарної обробки, фрезерувати на ній лиски, пази, свердлити по-

перечні й позацентрові отвори в торцях, виконувати інші фрезерні та свердлильні операції. Комбінація таких видів обробки дає змогу за одну установку виконати повну обробку деталі з максимальною точністю і швидкістю. Токарні верстати з ЧПК, оснащені інструментальною револьверною головкою, яка містить позиції для інструментів з автономним приводом, також можуть виконувати торцеве і радіальне фрезерування, поперечне і торцеве свердління, зокрема торцеве свердління не в осі обертання шпінделя. Сучасні токарні верстати для довгомірних деталей оснащуються керованими програмою люнетами та задньою бабкою.

Свердлильні верстати з ЧПК комплектуються револьверними головками на 6, 8, 12, 16 позицій або інструментальними магазинами на 30, 60 інструментів. На них обробляють отвори різного призначення: кріплення, точні, з точними міжцентровими відстанями. Застосування цих верстатів дало змогу замінити традиційну обробку по кондуктору більш ефективною, звільнивши робітника від тяжкої фізичної праці, пов'язаної з попаданням інструментом у спрямовуючу втулку кондуктора на радіально-свердлильному верстаті, а також вивільнивши виробництво від потреби проектувати, виготовлювати й підтримувати в робочому стані непросте оснащення — кондуктори.

Фрезерні верстати з ЧПК випускаються вертикальні, горизонтальні, вертикально-горизонтальні з різним ступенем охоплення керуванням функцій верстата: від програми для 2,5 координат (обробка плоского контуру з подачею по третій координаті в програмі глибини фрезерування, обробка отворів) до п'ятикоординатних верстатів з керованими від програми поворотами шпіндельної бабки, поворотом патрона з деталлю, встановленого на столі верстата, поворотом стола, можливістю програмування рухів одночасно по трьох координатах X, Y, Z та поворотом навкруг двох осей. Саме на таких верстатах виконується обробка складних тривимірних поверхонь.

Свердлильно-фрезерно-розточувальні оброблювальні центри (ОЦ) комплектуються магазинами на 30, 40, 60, 100 інструментів. Заміна інструмента в шпінделі відбувається по команді від програми. На ОЦ виконують, не знімаючи деталі, свердлильні, фрезерні та розточувальні роботи, обробляють плоскі поверхні, пази, отвори, криволінійні дво- та тривимірні поверхні. Впроваджуються у виробництво то-

карно-фрезерні оброблювальні центри з подальшим збільшенням можливостей обробки деталі з однієї установки.

Автоматизовані технологічні комплекси випускаються для обробки тіл обертання — на базі токарних верстатів з ЧПК та обробки корпусних деталей — на базі свердильно-фрезерно-розточувальних оброблювальних центрів. Верстати маніпулятором з'єднані між собою і магазином — накопичувачем деталей. Керування відбувається з єдиного комп'ютерного центру [25].

Шліфувальні верстати з ЧПК випускаються плоскошліфувальні, профілешліфувальні, координатно-шліфувальні, круглошліфувальні, різешліфувальні, зубошліфувальні, безцентрово-круглошліфувальні, спеціального призначення з різним ступенем охоплення програмним керуванням їх функцій.

Електроерозійні верстати з ЧПК випускаються дровотві та електродні. Програмне керування забезпечує вирізання плоских деталей складного контуру на верстатах першого типу, а також формування складних поверхонь об'ємних деталей на верстатах другого типу методом електроерозії в струмопровідних матеріалах, якщо обробка в інший спосіб ускладнена або неможлива. Керований програмою електрод (з лагуні, міді, графіту) переміщується в середовищі індустриального масла, гасу або води з антикорозійними присадками.

Електрохімічні верстати з ЧПК широко застосовуються в автомобільній промисловості для виготовлення складних штампів.

Діркопробивні преси випускаються з позиційною системою ЧПК, ефективно використовуються для формування великої кількості отворів у панелях різноманітного призначення, електрошафах, подібних деталях.

Лазерні та інші різакі, керовані від ЧПК, використовуються для розкрою за програмою деталей або їх заготовок, що містять контури складних конфігурацій. Сучасні комп'ютерні програми забезпечують найбільш раціональне розташування елементів крою на листі й оптимальну траєкторію руху різаків, яка візуалізується на екрані. Технолог має змогу аналізувати процес і вносити необхідні поправки заздалегідь.

Зварювальні автомати з ЧПК на щабель підвищили якість і продуктивність зварювання, звільнили робітника від шкідливої для здоров'я праці, виявилися незамінними в місцях, де присутність людини неприпустима (наприклад, на ЧАЕС під час ліквідації аварії).

Гравірувальні верстати з ЧПК в десятки разів зменшили трудомісткість гравірувальних робіт, уможливили серійне нанесення складних візерунків на поверхню.

Напрями удосконалення верстатів з ЧПК. Присвоєння моделі

— Модернізацію сучасних верстатів з ЧПК націлено на підвищення продуктивності обробки завдяки високошвидкісності, поєднанню якомога більших видів обробки на одній машині, автоматизації завантаження і вивантаження деталей, автоматичному дистанційному керуванню зміною інструменту, можливістю монтуватися в загальну автоматичну лінію обробки з централізованою системою керування процесами на кожному з верстатів та в лінії загалом.

— Верстати з ЧПК мають забезпечувати високу точність і швидкість відпрацювання позиційних переміщень, заданих керуючою програмою, зберігаючи точність тривалий час. Це зумовлює потребу вдосконалення систем ЧПК.

— Висока точність обробки на верстатах з ЧПК забезпечується точністю виготовлення і жорсткістю його вузлів та спрацювання ЧПК. У конструкціях верстатів з ЧПК використовують короткі кінематичні ланцюги, що підвищує їх статичну і динамічну жорсткість. Для всіх виконавчих органів застосовують автономні приводи з мінімально можливим числом механічних передач, які мають високу швидкість. Точність верстатів з ЧПК підвищується в результаті усунення зазорів у передавальних механізмах приводів, зменшення втрат на тертя в напрямних і механізмах, підвищення вібростійкості, зниження теплових деформацій втручанням у точність обробки через пристрій ЧПК.

Системи ЧПК, якими оснащуються верстати, за наявності зворотного зв'язку поділяють на: розімкнені, що мають одне джерело інформації — від керуючої програми через ПЧПК до виконавчих органів верстата; замкнені — зі зворотним зв'язком з положенням робочого органа і з компенсацією похибки верстата; системи з адаптацією на різні зовнішні збурення і зміни протікання процесу, що також підвищує точність обробки на верстаті.

Присвоєння моделі верстатам з ЧПК таке саме, як їх універсальним прототипам, та, залежно від ступеня автоматизації і типу системи ЧПК, додаються позначення: Ф1 — цифрова індикація положення інструмента і попередній набір

координат, одна програмована координата; Ф2 — позиційні прямокутні системи координат, двокоординатна система ЧПК; Ф3 — контурні системи ЧПК, трикоординатна система, рух програмується по трьох осях; Ф4, Ф5 — універсальні комбіновані чотирьох-, п'ятикоординатні системи, в яких рух програмується по трьох лінійних координатах і оберти навколо однієї або двох осей. Відомі верстати з ЧПК, що мають вісім програмованих координат (деякі моделі безцентрово-круглошліфувальних та зубошліфувальних верстатів).

Позначення конструктивної особливості верстатів з ЧПК пов'язані з автоматизованою заміною інструмента:

- Р — заміна інструмента поворотом револьверної головки;
- М — заміна інструмента з магазину.

Р і М записують перед Ф.

За видом інструментального забезпечення верстати з ЧПК поділяються на:

- верстати з ручною заміною інструмента;
- з автоматичною заміною з револьверної головки;
- з автоматичною заміною з інструментального магазину.

У верстатах з ЧПК клас точності позначається так само, як в універсальних: Н — нормальна точність, П — підвищена, В — висока, А — особливо висока, С — особливо високоточні майстер-верстати, Т, К — верстати з точністю 0,3 та 0,1 мкм.

1.3. Схема роботи верстата з ЧПК. Пристрої ЧПК (ПЧПК)

Для здійснення програмного керування верстата оснащуються спеціальними пристроями ЧПК, які посилають керуючі сигнали на виконавчі органи відповідно до заведеної в них програми. Робота системи ЧПК — верстат відбувається за схемою, поданою на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Схема обробки на верстаті з ЧПК

Згідно з наведеною схемою програма, написана мовою, яку може читати пристрій ЧПК, керує роботою верстата через цей пристрій так, щоб отримана після обробки на

верстаті деталь мала правильні характеристики. Для цього ПЧПК містить систему електронних блоків, які перетворюють команди програми на необхідні рухи виконавчих органів верстата.

Розташовується ПЧПК поряд з верстатом в окремій шафі або безпосередньо на верстаті (пульт керування). Для керування роботою верстата в ньому передбачено такі основні блоки:

1. Блок вводу і зчитування інформації. Програма вводиться у ПЧПК послідовно кадр за кадром і передається в блок пам'яті. В сучасних ПЧПК програма може вводиться відразу з комп'ютера в блок пам'яті, оминувши блок зчитування. «Найпросуненіші» ПЧПК оснащені САМ-системою, яка практично автоматизує процес розробки керуючої програми безпосередньо на верстаті, а також її перевірку (верифікацію). Такою є, наприклад, система ЧПК «MAPPS IV» японських верстатів «Mori Seiki» із вбудованим програмним забезпеченням «ESPRIT».

2. Блок пам'яті передає технологічну інформацію (швидкість різання, напрям обертання шпінделя, його кутове позиціонування, глибина різання, номер інструмента в магазині, подача чи відключення ЗОР і под.) до блока технологічних команд. Геометрична інформація (координати опорних точок траєкторії руху інструмента) передається в блок інтерполяції і блок швидкостей подач.

3. Блок інтерполяції містить спеціальний інтерполятор, який обробляє задану інформацію руху між двома сусідніми опорними точками і відправляє її до блока керування приводами подач у вигляді імпульсів по кожній координаті, частота яких визначає швидкість руху, а кількість — величину переміщення. Величина, на яку переміститься робочий орган від одного імпульсу, називається ціною імпульсу, або дискретою, становить у сучасних верстатах від 0,01 до 0,001 мм. Точність переміщення виконавчих органів верстата залежить від застосовуваної схеми керування приводами подач: розімкнена (без системи вимірювання дійсних переміщень робочого органа) чи замкнена (із системою вимірювання). В останньому випадку контроль точності обробки по кожній координаті виконується датчиками зворотного зв'язку (ДЗЗ). Точність контролю залежить від типу, конструкції і місця установлення датчика на верстаті.

4. Блок технологічних команд установлює керування циклом роботи верстата за заданими режимами, забезпечуючи якість обробки.

5. Блок керування швидкостями подач забезпечує задану робочу подачу, розгін і гальмування на початку та в кінці траєкторії руху, а також холостий рух з максимальною швидкістю, передбаченою технічною характеристикою верстата (на сучасних верстатах — до 30 м/хв).

6. Блок постійних циклів призначений для спрощення розробки програми під час програмування обробки однакових елементів деталі, наприклад обробка отворів, особливо коли їх багато.

7. Блок живлення забезпечує живлення необхідними постійними струмом і напругою всіх блоків ПЧПК від звичайної трифазної мережі. Особливість цього блока — наявність стабілізаторів напруги і фільтрів, які захищають електронні схеми від перешкод, завжди наявних у промислових мережах.

8. Пульти керування та індикації здійснює зв'язок оператора з системою ЧПК. За допомогою пульта виконуються пуск і зупинка системи ЧПК, переключення режимів роботи (з автоматичного на ручний, інші), корегування швидкості різання, подачі, корегування положення інструмента. На пультах закріплено монітор, який візуалізує процес обробки, а також служить для розробки і вводу в ПЧПК нескладних програм. Є цифрова індикація і світлова сигналізація. Все це разом називається інтерфейсом користувача.

За принципом керування рухами виконавчих органів пристрої ЧПК поділяють на позиційні, контурні, комбіновані та багатоконтурні.

Позиційні забезпечують установочні переміщення в задану координату, де виконується певний вид обробки. Використовуються в свердлильних, розточувальних верстатах, діркопробивних пресах, іншому обладнанні подібного призначення. Порівняно з контурними позиційні системи простіші.

Контурні, або безперервні, пристрої ЧПК керують рухом виконавчих органів по заданій траєкторії із заданою швидкістю. Забезпечують обробку плоских поверхонь, контурів, у тому числі криволінійних, складних тривимірних поверхонь.

Універсальні, або комбіновані, пристрої ЧПК забезпечують як позиційні переміщення з великою швидкістю, так

і рух з робочою подачею по визначеній траєкторії. Використовуються в токарних, фрезерних верстатах, свердлильно-фрезерно-розточувальних ОЦ, електроерозійних, шліфувальних верстатах, іншому обладнанні.

Багатоконтурні пристрої ЧПК використовуються, коли необхідно керувати не лише основними робочими рухами, а й іншими механізмами, наприклад механізмом правки на різешліфувальному або безцентрово-шліфувальному верстаті.

Пристрій ЧПК і верстат утворюють систему. За числом потоків інформації системи ЧПК поділяють на розімкнені, замкнені та адаптивні.

Розімкнені системи ЧПК характеризуються наявністю одного потоку інформації, що надходить від системи керування (ЧПК) до виконавчого органа верстата. В розімкненій системі немає датчика зворотного зв'язку (ДЗЗ), тому інформація про дійсне положення виконавчих органів верстата відсутня.

Замкнені системи керування характеризуються двома потоками інформації: від системи керування до виконавчого органа верстата (прямий зв'язок) і від ДЗЗ до системи керування (зворотний зв'язок). У цих системах неузгодженість між заданими та дійсними переміщеннями виконавчих органів усувається завдяки наявності зворотного зв'язку.

Адаптивні системи ЧПК характеризуються трьома потоками інформації:

- 1) від системи керування до виконавчого органа верстата (прямий зв'язок);
- 2) від ДЗЗ до системи керування (зворотний зв'язок);
- 3) від датчиків, установлених на верстаті, які контролюють процес обробки за такими параметрами, як зношування різального інструмента, зміна сил різання й тертя, коливання припуску і твердості матеріалу оброблюваної заготовки та ін., і передають інформацію до системи керування. Такі системи дозволяють корегувати програму обробки з урахуванням реальних умов різання.

За методом розробки та вводу програми вирізняють п'ять поколінь пристроїв ЧПК:

- 1) ввід магнітофонною стрічкою;
- 2) ввід паперовою стрічкою, розроблення та введення в дію G-коду ISO;
- 3) оперативний ввід програми з клавіатури в ручному режимі;

4) ввід програми від комп'ютера через спеціальний пост-процесор, через касету, флешку, з клавіатури в режимі: запит — відповідь, з паралельною візуалізацією траєкторії руху інструмента. Режим називається діалоговим, відзначається зручністю під час обробки простих деталей, а також на підприємствах з обмеженою кількістю робітників, де оператор, технолог-програміст і наладчик — одна персона;

5) пристрої ЧПК, створені на базі персонального комп'ютера із застосуванням САД/САМ-систем. У цих системах реалізовані всі сучасні досягнення персонального комп'ютера, включаючи програмно-математичне забезпечення, ввід та розробку програми, зберігання і обмін інформації, виконання функцій корекції, верифікації програми, самоналаштування й адаптації системи.

Іntenсивний розвиток мікропроцесорної техніки останніми роками сприяє тому, що кожне нове за технічними характеристиками покоління верстатів із сучаснішими пристроями ЧПК з'являється через 5–7 років, забезпечуючи підвищення продуктивності обробки майже втричі завдяки удосконаленню програмного керування, спонукаючи до введення принципово нових видів обробки (адитивні технології), дедалі більше наближаючись до створення автоматизованої системи від проектування до остаточного виготовлення деталі.

1.4. Основні поняття. Мова програмування

Керуюча програма — це записана спеціальною мовою сукупність геометричних рухів, підготовчих, технологічних та допоміжних команд, які через пристрій ЧПК забезпечують обробку деталі на верстаті.

Під час розробки програми, незалежно від того, який орган верстата рухається, описують рух точки інструмента, що називається його центром. Для фрези, свердла, розвертки, інших мірних інструментів це буде їх вісь, для різця — його вершина на чорнових операціях або центр радіуса заокруглення вершини у разі точної обробки, ліва вершина — для канавкового чи відрізного різця.

Шлях, що проходить центр інструмента під час взаємного руху інструмента й деталі, називається траєкторією його руху. Оскільки радіус центру під час обробки не змі-

нюється, траєкторія руху еквідистантна до контуру деталі. Еквідистанта — геометричне місце точок, рівновіддалених від лінії обробки деталі, що розташовані з боку інструмента. Рух по еквідистанті, залежно від її форми, забезпечується лінійною, круговою, лінійно-круговою або параболічною інтерполяцією. Для цього траєкторію розбивають на прості складові у вигляді прямолінійних відрізків між двома точками, дуги кола, іншої математично визначеної кривої. Точки, що ділять еквідистанту на ці елементарні відрізки, називаються опорними точками еквідистанти, за аналогією з опорними точками деталі. В одному кадрі можна запрограмувати рух лише між двома сусідніми опорними точками. В програмі фіксують опорні точки еквідистанти або деталі, якщо є можливість через пристрій ЧПК ввести корекцію на рух інструмента по еквідистанті.

Траєкторія руху складається з ділянок прискореного руху й руху на робочій подачі. Точка, що розділяє прискорений рух і робочий, теж опорна технологічна, навіть якщо напрям руху не змінився. Якщо є точка на елементарному відрізку еквідистанти, де змінюють режими обробки, цю точку теж позначають як опорну. Переміщення задають в міліметрах до 3-го знака після коми або крапки. Нині це є верстати, де переміщення задані в імпульсах (в ПЧПК давнішого випуску). Ціна імпульсу — від 0,01 до 0,001 мм.

Програмування виконується з використанням обмеженого словарного запасу, регламентованого міжнародним стандартом ISO 6983-1: 2009 (DIN 66025, ГОСТ 20999), у технічній літературі відомим як G-код або код ISO — 7 біт. У стандарті також викладено основні принципи розробки програм для обладнання з ЧПК. Ряд команд у стандарті помічено як «не визначені». Вони використовуються для позначення розробниками ПЧПК нових програмованих функцій або адаптації ПЧПК до нового обладнання, іншого виду обробки тощо.

Стрімке зростання обсягів обробки на верстатах з ЧПК, особливо в технічно розвинених країнах Заходу, зумовлює подальший розвиток і ускладнення програмування, вдосконалення пристроїв ЧПК, збільшення кількості їх виробників і, відповідно, кількості модифікацій, що відрізняються між собою за конструкцією, а також певною мірою мовою програмування (в межах дозволеного стандартом). Наприклад, в Європі відомі три діалекти (А, В, С) G-коду, які ви-

користовуються залежно від призначення пристрою ЧПК, конструкції та фірми-виробника. Зважаючи на те, що текст програми задає однаковий алгоритм обробки, нема потреби знати коди всіх систем ЧПК. Важливо опанувати програмування і схему побудови тексту для однієї системи, що дозволить досить швидко засвоїти програмування в іншій запропонованій системі, скориставшись інструкцією, яка супроводжує верстат з пристроєм ЧПК.

Деякі розробники ПЧПК пропонують діалогову мову програмування, вважаючи, що вона спрощує спілкування з системою, позаяк її основа — англomовні слова, скорочення, запитання, графічні елементи, які вводяться безпосередньо оператором верстата. Враховуючи це, а також автоматизацію розроблення самої керуючої програми за допомогою комп'ютерних програм, фахівці розробили новий стандарт STEP-NC, або ISO 14649, який спочатку доповнив, а згодом замінить ISO 6983, якому вже понад 50 років.

Якщо до інформації, що імпортується САМ-системами в пристрій ЧПК, додати незапрограмовану там технологічну, то керуюча програма може бути згенерована сучасним комп'ютеризованим ПЧПК. На це націлений стандарт ISO 14649, але таке завдання зможуть вирішити пристрої ЧПК вже наступного покоління.

1.5. Зміст і побудова тексту програми

Текст керуючої програми являє собою послідовність кадрів, кожен з яких складається зі слів, розташованих у фіксованому порядку. Причому деякі, що повторюються, можна пропускати. Кожне слово складається з букви, що називається адресою, і наступної групи цифр, які визначають функцію букви або розмір параметра. Кількість цифр після кожної букви однакова, крім тих, що визначають відстань переміщення. Наприклад:

N10 G01 X4,8 Y54,3 — кадр керуючої програми N10;
G — адреса;
01 — число;
G01 — слово, яким позначається функція лінійної інтерполяції;
X — адреса;
4,8 — число;

X4,8 — слово — значення координати X;

Y — адреса;

54,3 — число;

Y54,3 — слово — значення координати Y.

Сучасні пристрої ЧПК контролюють «орфографічну» правильність написання тексту програми, слів і кадрів. Наприклад, якщо у слові замість G01 записати G1, в одному кадрі двічі вказати ту саму координату (X10X25), несумісні команди (G02, G03) тощо, пристрій ЧПК після ввімкнення контролю покаже на екрані слово «помилка» і N кадру, де вона є. Система запрацює тільки після її виправлення. При введенні нової програми в ПЧПК її контроль на орфографічну правильність обов'язковий.

Послідовність слів у кадрі:

1 — N — номер кадру;

2 — підготовчі (технологічні) функції, G;

3 — переміщення — X, Y, Z, I, J, K;

4 — подача, F;

5 — швидкість різання, S;

6 — функція інструмента, T;

7 — допоміжні функції, M;

8 — кінець кадру, nc або ;

Кожен кадр має містити N і nc, позиції 2–7 — за потреби. Кадр — складова програми, що вводиться та відпрацьовується пристроєм ЧПК як одне ціле, має містити не менше однієї команди, а також геометричні й технологічні дані, потрібні для обробки однієї елементарної ділянки деталі між двома опорними точками. Слова в кадрі — це інформація, що визначає програму роботи окремих виконавчих органів верстата: переміщення по координатах, швидкість різання, робочу та прискорену подачу, роботу механізму заміни інструмента, подачу змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) та ін.

Відповідно до схеми на рис. 1.2 в тексті програми кадрів, які задають переміщення, мають передувати кадри, що задають: адресу застосованого інструмента — його код у багатоінструментальному магазині чи позицію в револьверній головці; в ряді випадків — номер пов'язаного з інструментом коректора; режимами обробки — швидкість різання та її напрям, робочу подачу, подачу ЗОР.

Підведення різального інструмента в зону різання виконується прискореним рухом, що задається командою G00.

У кадрах, що містять робочі переміщення, має бути присутня одна з функцій: G01, G02, G03. Ці функції діють і в наступних кадрах до їх відміни іншою.

Закриття кадру при набірванні тексту з клавіатури ПЧПК або комп'ютера виконується автоматично натисканням клавіші «enter» при переводі рядка, в тексті кінець кадру позначається як «;».

З метою полегшення читання тексту програми і, за потреби, редагування його бажано формувати. Мається на увазі: чітка структура і послідовність команд, достатня кількість коментарів за текстом, присутність N кадру і пробілів між словами в кадрі, збільшений інтервал між частинами (блоками) програми для кожного інструмента, інші прийоми, що допоможуть оператору швидко та безпомилково знайти потрібне місце в тексті.

Частини програми, що повторюються, можуть програмуватися в тексті як підпрограми або «повтор кадрів».

Початок і номер програми позначається знаком % і цифрою (наприклад: %5 — програма № 5). Кінець програми позначається M30 або M02.

У пристроях ЧПК третього покоління рекомендовано в одному з перших кадрів та в кадрах після заміни інструмента вводити кадр безпеки, який містить набір команд, що скасовують усі випадково не відмінені модальні команди. В сучасних ПЧПК ця відміна виконується однією спеціально призначеною командою, наприклад G54, після закінчення обробки. Номер кадру N в програмі та послідовність слів у кадрі в сучасних пристроях ЧПК можуть не дотримуватися.

Інформацію, розташовану перед знаком % (вихідна інформація), після кінця програми або по її тексту в дужках, пристрій ЧПК не зчитує. («» вимикає систему ЧПК, а «)» вмикає. Дужки мають бути лише після кінця кадру і перед знаком початку кадру «N». Ця інформація призначена для налагоджувача і містить: дату створення програми, номер креслення, прізвище автора, вказівки, нагадування, роз'яснення, коментарі, тип матеріалу заготовки, розмір інструмента і под. Для відтворення цього тексту на екрані інформація вноситься символами, передбаченими G-кодом: A, B, C, D, F, G, H, I, J, K, L, X, Y, Z, M, N, P, Q, R, S, T, U, W, крім «%» і «:». Отже, текст керуючої програми також має свою структуру, яку схематично зображено на рис. 1.2.

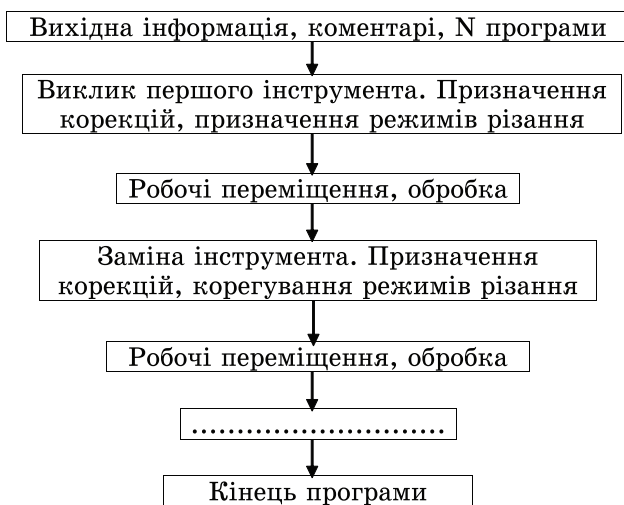


Рис. 1.2. Схема побудови тексту керуючої програми

Запис, що визначає максимально можливий обсяг інформації кадру та порядок слів у ньому, а також містить усі команди від програми, які можна виконувати з даним ПЧПК, називається форматом кадру, визначається можливістю даного пристрою, призначенням верстата, його особливостями.

Зауважимо, що хоча програмування обробки і має свої особливості для кожної групи верстатів та пристроїв ЧПК кожної моделі, в тексті програми це відбивається незначними відмінностями. Розглянемо групи верстатів і видів обробки, що використовуються найчастіше й оснащені найпоширенішими в Україні пристроями ЧПК з мовою програмування, найбільш наближеною до коду ISO-7bit:

— верстати свердлильно-фрезерно-розточувальні (ОЦ), оснащені багатоінструментальним магазином, з пристроєм ЧПК 2С-42: вертикальний 2254ВМФ4 та горизонтальний 2204ВМФ4. Набуті знання з обробки деталей на цих верстатах дадуть змогу ефективно працювати на окремо свердлильних, фрезерних та розточувальних верстатах з ЧПК;

— токарні верстати 16К20Ф3, оснащені шестипозиційною револьверною інструментальною головкою, з пристроєм ЧПК МС-21 (НЦ-80-31);

— шліфувальні верстати різного призначення;

— верстати з ЧПК для виготовлення заготовок порізкою з проката, листа, труби, виливки, штамповки на координатних пресах.

Контрольні запитання

- 1. Назвіть основні переваги верстатів з ЧПК.*
- 2. Які Ви знаєте групи верстатів з ЧПК?*
- 3. Охарактеризуйте склад пристрою ЧПК.*
- 4. Які Ви знаєте ПЧПК залежно від принципу керування рухами?*
- 5. Якою мовою записується керуюча програма?*
- 6. Поясніть сутність понять «побудова слова» та «кадр програми».*
- 7. Охарактеризуйте структуру тексту програми, порядок її написання.*
- 8. Яку інформацію пристрій ЧПК відтворює на екрані, але не зчитує?*

РОЗДІЛ II

ПРОГРАМУВАННЯ ОБРОБКИ НА СВЕРДЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО- РОЗТОЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК (ОЦ)

Для верстатів даної групи, зважаючи на стандартизовану мову програмування (G-код), текст програми для різних ПЧПК буде або однаковим, або відрізнятися несуттєво по значенням окремих команд за рахунок команд, що їх стандарт ISO 6983-1 подає як «не визначені». Тому елементи програмування розглянемо на конкретних прикладах обробки на свердлильно-фрезерно-розточувальному оброблювальному центрі 2254ВМФ4 з вертикальним шпінделем та свердлильно-фрезерно-розточувальному оброблювальному центрі 2204ВМФ4 з горизонтальним шпінделем і круговим позиційним столом, оснащеними ПЧПК 2С-42.

2.1. Формат кадру

$N4\ G2\ X\pm3.3\ Y\pm3.3\ Z\pm3.3\ I\pm3.3\ J\pm3.3\ K\pm3.3\ B\pm3.3(\pm6)$
 $Nn\ F4\ S4\ T2\ H1\ D2\ M2\ P2\ L2\ A\pm3.3;$

$N4$ — в одній програмі може бути не більше 9999 кадрів (4 значущих цифри);

$G2$ — максимальна кількість підготовчих функцій — 99 (2 значущі цифри);

X, Y, Z, I, J, K — лінійні координати, що містять три значущі цифри до крапки, три — після; крапка розділяє цілу та дробову частини числа. Нулі, що стоять перед першою значущою цифрою числа та після останньої значущої цифри його дробової частини, можна опускаєти. Наприклад:

$X003 \rightarrow X3; Y057.350 \rightarrow Y57.35;$

$A(\pm3.3)$ — прискорене переміщення до заданої позиції в постійних свердлильних циклах або круговий рух навколо X ;

$B(\pm6)$ — круговий рух навколо осі Y , а також $B(\pm3.3)$ — координата по Z виходу інструмента з деталі в постійних циклах;

F — подача, мм/хв;
S — швидкість різання, м/хв або число обертів/хв;
T — номер інструмента;
D — адреса коректора зміщення інструмента в довжину
або корекція радіуса фрези;
N n — номер кадру n, що повторюється;
P — параметри;
H — число повторів;
L — підпрограма;
M2 — допоміжні команди, максимальна кількість 99;
C (± 6) — програмоване обертання шпінделя навколо осі
Z (використовується в процесі різенарізань);
S0 — команда кутового позиціонування шпінделя для
заміни інструмента;

«/» — випадний кадр — це кадр, який за бажанням наладчика ПЧПК може зчитувати або ні. Для цього на пульті пристрою є спеціальна клавіша, що його активізує. Найчастіше таким кадром програмують паузу для контрольної операції, заміни інструмента. Можуть використовувати в разі групової обробки, відключаючи ряд кадрів у програмі на комплексну деталь;

«:» — головний кадр, містить відомості про умови обробки: режими, корекції, зміщення «0» та ін. Рекомендовано для зручності, не є обов'язковим. Інформація може бути рознесена по кадрах.

Послідовність обробки задається номерами кадрів у порядку їх зростання. Як і в технологічних картах, рекомендована нумерація через 10 або 5. Це для зручності редагування програми, яке може викликати додаткові кадри. Наприклад:

N10....;
: N20....;
/ N30....;

За необхідності:

N10....;
N11....;
N12....;
: N20....;
/ N30....;

2.2. Система координат. Рух по координатах. Задавання переміщень

Найпростіша система координат — це дві взаємно перпендикулярні лінії, які називаються осями, а точка їх перетину — початком координат. Осі позначаються X і Y . Координатна система з двома осями дозволяє однозначно зафіксувати положення точки на площині через її координати. Наприклад, точка A на рис. 2.1, *a*. Відстань від початку координат до точки A вздовж осі X є її координатою X , а відстань від початку координат до точки A вздовж осі Y є її координатою Y . Координати точки прийнято зазначати в дужках біля її назви, перша — координата X (абсциса), друга — координата Y (ордината): $A(X; Y)$. На рис. 2.1, *a* координату точки A позначено $A(30; 30)$. Осі мають додатний і від’ємний напрямки. Наприклад, координатою точки B на рис. 2.1, *a* є $B(-5; -10)$.

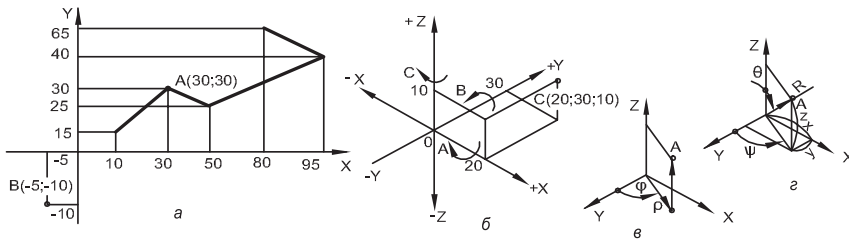


Рис. 2.1. Системи координат. Абсолютний та відносний відлік:
a — двовимірний; *b* — тривимірний; *c* — циліндричний;
d — сферичний

Перетин трьох взаємно перпендикулярних площин утворює тривимірну прямокутну систему координат, яка використовується для визначення положення точки в просторі. Для цього до координат X і Y додається третя — Z (апліката), яка так само зазначається в дужках, третьою за рахунком. Наприклад, координата точки C на рис. 2.1, *b* буде записана: $C(20; 30; 10)$. Розглянуті прямокутні дво- та тривимірні системи координат є математичною базою програмування. Взаємний рух інструмента й деталі під час програмування обробки описується в прямокутній системі координат.

Відомі також системи координат:

циліндрична, в якій положення точки у просторі визначається полярними координатами: радіусом ρ і централь-

ним кутом ϕ (положення проекції точки на основну площину XY) та аплікатою Z — відстанню від точки до основної площини (рис. 2.1, *в*);

сферична, в якій координата точки задається довжиною радіуса сфери R , довготою — кутом ψ і полярним кутом Θ (рис. 2.1, *г*), що відміряються від тих же прямокутних осей Y і X відповідно на основній площині. Застосовується ця система рідко, в особливих випадках, ми не розглядатимемо її.

Закріплення координатних осей у прямокутній системі за рухомими органами верстата здійснюється відповідно до стандарту ISO 841 мнемонічним «правилом правої руки»: якщо тильний бік правої долоні покласти на оброблювану поверхню прямо і підняти середній палець, то:

- великий палець покаже додатний напрям осі X ;
- вказівний — додатний напрям осі Y ;
- середній — додатний напрям осі Z .

Це справедливо, коли рухи по всіх координатах здійснює тільки інструмент. Якщо рухається і стіл, що частіше, то додатний напрям по цих координатах змінюється на протилежний. Цього правила особливо слід дотримуватися під час конструювання верстата. Таке закріплення осей забезпечує програмування в першому квадранті, а для оператора — додатним напрямом завжди буде рух інструмента від деталі.

Осі координат розташовують паралельно напрямкам руху виконавчих органів. Це дозволяє в процесі створення програми легко задавати напрям і відстань переміщення. Технолог-програміст завжди виходить з того, що рухається інструмент, хоча, залежно від моделі верстата, можуть рухатися і столи, й інструмент. Це обов'язково треба враховувати в знаках переміщень.

Програмування координатних переміщень для різних верстатів здійснюється з урахуванням їх технічних характеристик, зазначених у паспорті (максимальні й мінімальні переміщення по осях, дискрета, режими обробки тощо). Наприклад, для верстатів 2204ВМФ4 і 2254ВМФ4 мінімальне переміщення по всіх осях 0,015 мм; максимальне по осі X — 600 мм; по осі Y — 400 мм; по осі Z — 600 мм; дискрета — 0,001 мм.

Під час програмування переміщень для свердлильних, фрезерних, розточувальних верстатів та оброблювальних

центрів, крім основних адрес осей X, Y, Z, використовують додаткові: I, J, K.

I — позначення координати X центру дуги в координатній площині XY для кругової інтерполяції;

J — позначення координати Y центру дуги в координатній площині XY для кругової інтерполяції;

K — позначення кроку різьби по Z.

Усі переміщення задаються відповідною адресою координати, знаком напрямку (« + » або « - ») і шестизначним числом (три знаки до крапки, три після).

В абсолютній системі відліку координати всіх опорних точок траєкторії вказані у вибраній системі координат від «0».

У відносній системі — координата кожної наступної опорної точки траєкторії відраховується від попередньої запрограмованої як приріст координати. Ці приращення записуються зі знаками:

« + » — якщо напрямок руху інструмента до нової точки збігається з напрямком осі координат;

« - » — якщо напрямок руху інструмента до нової точки направлений у протилежний бік. У тексті програми « + » не ставлять. Початкова точка обробки деталі задається тільки в абсолютній системі, а наступні — залежно від способу задання розмірів деталі в кресленні і зручності розрахунку координат опорних точок.

Наприклад, траєкторію руху на рис 2.1, а можна запрограмувати:

В абсолютній системі:

N10G90G00X10Y15;

N20G01X30Y30S600F0.5;

N30X50Y25;

N40X95Y40;

N50X80Y65;

У відносній системі:

N10 G91G00X10Y15;

N20G01X20Y15S600F0.5;

N30X20Y-5;

N40X45Y15;

N50X-15Y25;

За однакових умов перевага віддається абсолютній системі. Це пов'язано з можливою помилкою в задаванні координати: в абсолютній системі неправильно вказаною буде одна точка траєкторії, а у відносній — усі, що розташовані після заданої з помилкою.

Рух з початку координат в точку C можна запрограмувати кадром:

N10G90G00X20Y30Z10;

Програмуються також обертальні рухи навколо осей координат: навколо осі X — координата A; навколо осі Y — координата B; навколо осі Z — координата C.

За визначенням ISO 841 додатним напрямком повороту навколо осі призначено напрямком зімкнутих пальців правої руки, коли положення великого пальця збігається з додатним напрямком осі, навколо якої відбувається круговий рух. Це справедливо, якщо по колу рухається інструмент. Якщо обертається виконавчий орган, то додатний напрямок — у протилежний бік від визначеного правилом.

Програмування повороту стола на верстаті 2204ВМФ4 навкруг осі Y (B)

Верстати випускаються із силовими круговими столами — обробку можна виконувати під час повороту, а також із позиційними — під час повороту обробка неприпустима. Поворот позиційного стола на верстаті 2204ВМФ4 програмується двома окремими кадрами: в першому — кут повороту, в другому — затиск стола. Наприклад:

N40G00B180;

N50M95;

Поворот силового стола програмується одним кадром, обов'язково вказується робоча подача:

N40G01B180F40;

Для пристрою ЧПК 2С-42 мінімальний програмований поворот стола — 1°; для пристрою ЧПК «FANUK» — 3°.

Програмування числового значення кутів комбіноване. Ціле число градусів вказується безпосередньо, а дробове — в частках від градуса. Приклад перерахунку наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Хвилини та секунди в частках градуса							
хвилини	в частках градуса	секунди	в частках градуса	хвилини	в частках градуса	секунди	в частках градуса
1	0,017	1	0,000	9	0,150	9	0,002
2	0,033	2	0,000	10	0,170	10	0,003
3	0,050	3	0,001	20	0,330	20	0,006
4	0,067	4	0,001	30	0,500	30	0,008
5	0,083	5	0,001	40	0,670	40	0,011
6	0,100	6	0,002	50	0,800	50	0,014
7	0,117	7	0,002	60	1,000	60	0,017
8	0,133	8	0,002	—	—	—	—

Наприклад: 180° — В180; -27° — В-27; $30'$ — В0.5; $15'$ — В0.25; $40''$ — В0.011; Кут $180^\circ 30' 40''$ програмується як В180.511.

Обертання шпінделя навколо осі Z (C) може бути керуваною координатою C. Використовують C у ході нарізання різьби різцем. Програмується обертання шпінделя по команді C в дискретах до третього знака після крапки. Один оберт шпінделя — 1.000 дискрет. Кути перераховують в дискрети.

$360^\circ = C1$; $180^\circ = C 0.5$; $90^\circ = C0.25$.

Незалежно від способу завдання переміщення по координатах X, Y, Z C програмується тільки у відносній системі, тобто по приращенню кута.

2.3. Координатна система верстата, деталі

Поблизу кінцевого ходу кожного виконавчого органа верстата, що обмежується упором, міститься так звана його нульова точка, заведена до пристрою ЧПК під час налагоджування заводом-виробником, яка обмежує переміщення робочого органа в цьому напрямку. Розміщення всіх робочих органів у нульових точках називається нульовою, або постійною, точкою верстата. Це його початок координат. Система координат верстата постійно підтверджується. Робота на верстаті починається з його виходу в нульову (постійну) точку — початок координат.

Проводити обробку, використовуючи лише систему координат верстата, незручно через кропіткий перерахунок координат — задані розміри деталі треба вказати в системі координат верстата з урахуванням координат положення деталі на його столі. Цю проблему усунено передбаченим ПЧПК переходом до системи координат деталі, яку вибирають в найбільш зручній для програмування точці (точка, від якої визначено конструкторський ланцюг розмірів, зовнішній або внутрішній кут на прямокутних деталях, плоску поверхню, вісь центрального отвору, вісь зовнішнього діаметра круглої деталі (див. рис. 2.4), габаритний центр тощо).

Завдання технолога-програміста або наладчика — правильно вибрати систему координат деталі й зорієнтувати її в системі координат верстата.

Деталь з уже вибраною власною системою координат розташовують на столі верстата так, щоб:

- під час обробки вистачило робочого ходу в усіх напрямках;
- доступ до деталі для її установаження та знімання був зручним;
- була можливість контролю, заміни інструмента в ході обробки (за потреби) тощо.

Після цього визначають координати системи координат деталі в системі координат верстата — це називається програмуванням «0» деталі: виходять в точку початку системи координат деталі, значення координат з монітора записують у карту наладки і вводять до відповідних коректорів ПЧПК, на екрані встановлюють нулі. Переходять до обробки по осях X і Y в системі координат деталі (див. приклад на рис. 2.4).

Вісь інструментального шпінделя, який задає швидкість різання, завжди Z . Початок обробки по координаті Z визначається конструкцією та габаритами деталі. Для «прив'язки» руху інструментів по осі Z в «ручному режимі» торкаються кожним відібраним для обробки і зібраним у блок з базовою оправкою (детальніше див. у параграфі 2.22) інструментом оброблюваної поверхні, значення по Z з екрана переносять до коректора, номер якого відповідає номеру гнізда інструментального магазину, де розташований інструмент, або номеру інструмента. Тоді координата Z площини торкання буде дорівнювати «0».

У програмі передбачають кадр, в якому прискорений рух ($G00$) по Z закінчується не доходячи до оброблюваної поверхні ($Z = 0$) на задану відстань, зазвичай на 5–10 мм.

За потреби для однієї деталі можна призначити кілька систем координат. ПЧПК 2С-42 має можливість призначити для однієї деталі до п'яти систем координат («FANUK» — до шести). Це дозволяє для кожної з оброблюваних сторін деталі вибрати свою зручну систему координат, вести обробку в багатопозиційних пристроях, оброблювати однакові елементи, розташовані на одній деталі на заданій відстані один від одного, за однією програмою й інші можливості. Призначають ці системи координат у процесі розробки програми та наладки деталі на обробку.

2.4. Налаштування верстата. Бази. Карта налашки

Свердлильно-фрезерно-розточувальні ОЦ призначені переважно для обробки корпусних деталей, плоских та деталей типу важіль. При обробці корпусних деталей на ОЦ до них висуваються додаткові вимоги з технологічності:

— якщо на верстаті нема керованого від програми поворотного стола, оброблювані поверхні мають бути зосереджені з чотирьох взаємно перпендикулярних сторін;

— схема закріплення заготовки не повинна заважати обробці, а пружні деформації, що можуть виникнути в ході оброблення, не мають виходити за межі встановлених допусків;

— довжина отворів, які розточуються з одного боку (L), повинна бути в межах допустимої для консольної обробки, $L_{\max} \leq 5\div 6$ діаметрів отвору;

— конструкція деталі має забезпечувати її виготовлення з мінімальним числом установок;

— під час обробки контуру плоских деталей всі радіуси сполучення суміжних кутів контуру мають бути, по можливості, однаковими й відповідати ряду стандартних діаметрів кінцевих фрез;

— заготовки корпусних деталей повинні відповідати вимогам машинного формування, не мати різких коливань припуску на механічну обробку.

Розроблення налашки починають з аналізу технологічності й можливості обробки деталі на даному верстаті. Розглядають її найбільші габаритні розміри, найбільші відстані між точками обробки з урахуванням врізання та перебігу, кількість оброблюваних сторін, точність міжосьових відстаней, точність розмірів та геометричних форм оброблюваних отворів і площин, кількість отворів і площин, матеріал деталі та його стан, запланований до знімання припуск. Порівнюють ці дані з технічною характеристикою верстата й аналізують рівень можливості обробки.

Визначаються з базовими поверхнями та розташуванням деталі на дзеркалі стола верстата. За потреби високоточної орієнтації відносно дзеркала стола можна шліфувати стіл спеціальною шліфувальною голівкою з автономним приводом, установленою в шпінделі верстата, а деталь, якщо її базова поверхня попередньо не оброблена, розміщати не на

дзеркалі стола, а на трьох точкових опорах однакої висоти. Базові площини задають положення деталі в робочій зоні верстата, забезпечують виконання вимог до геометричних форм, взаємного розташування поверхонь, точності обробки всіх елементів. Час на базування й укріплення деталі має бути мінімальним. Разом з тим, якщо міцність кріплення деталі прихоплювачами викликає сумнів, то підсилювати його треба завдяки встановленню додаткових прихоплювачів, а не збільшенню зусилля на встановлених — це часом призводить до деформації або й руйнування елементів кріплення.

За основні технологічні бази по осях X і Y деталі з обробленими напрямними і упорними площинами приймають дві площини — координатний кут (рис. 2.2, а). Якщо поверхні необроблені, за базові приймають або необроблені поверхні, або розмічені площини, які відповідають конструкторським базам (рис. 2.2, б), в окремих випадках (недостатній припуск на діаметр отвору) — отвір і площину (рис. 2.2, в).

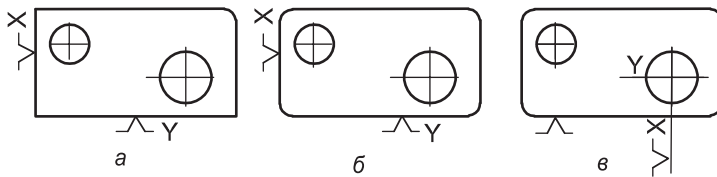


Рис. 2.2. Бази:

а — попередньо оброблені поверхні; б — необроблені поверхні;
в — вісь отвору і бокова поверхня

Для верстатів з горизонтальним шпінделем (2204ВМФ4) координата по осі X має бути зорієнтована відносно центру поворотного стола, координата якого від нульових точок верстата відома.

Якщо під час обробки деталей затискають у лещатах, потрібно стежити, щоб базова поверхня, від якої проставлені розміри, упиралася в нерухому губку лещат. Це виключить вплив на точність обробки коливання розміру деталі, на який її затискають. При відліку від рухомої губки базова поверхня і нульова площина системи координат зміщуватимуться одна відносно одної вслід за відхиленням розміру деталі і спричинюватимуть цим похибку обробки в перпендикулярному напрямі, яка дорівнюватиме похибці розміру заготовки.

Визначаючи послідовність обробки поверхонь, з метою зменшення похибки базування важливо дотримуватися принципу постійності технологічних баз. Якщо технологічну базу потрібно все-таки змінити, необхідно обов'язково вирахувати можливі додаткові відхилення виконуваних розмірів на значення похибки обробки від зміни баз.

Призначення нульової площини по осі Z пов'язано із свердлильними циклами, закінчення яких повертає різальну крайку інструмента в нульову площину. Рекомендується нульову площину по осі Z розташовувати над найбільш виступною поверхнею деталі, а інструменти перевірити на відповідність їх довжини умовам обробки.

Мінімальна довжина інструментів (L_{\min}) визначається можливістю досягнення кінцевих точок обробки (рис. 2.3).

Для верстатів з вертикальним шпінделем L_{\min} враховує найменшу відстань від торця шпінделя до дзеркала стола:

$$L_{\min} \geq A - B + Z, \quad (2.1)$$

де A — найменша відстань від торця шпінделя до дзеркала стола (головка в крайньому нижньому положенні);

B — відстань від дзеркала стола до робочої поверхні деталі;
 Z — глибина обробки з урахуванням перебігу.

Для верстатів з горизонтальним шпінделем L_{\min} враховує найменшу відстань від торця шпінделя до осі поворотного стола, визначається за тою ж формулою (2.1), де:

A — найменша відстань від торця шпінделя до осі поворотного стола;

B — відстань від осі стола до найбільш віддаленої від торця шпінделя робочої поверхні;

Z — глибина обробки з урахуванням перебігу.

Максимальна довжина інструмента (L_{\max}) визначається можливістю його заміни, його жорсткістю та точністю обробки.

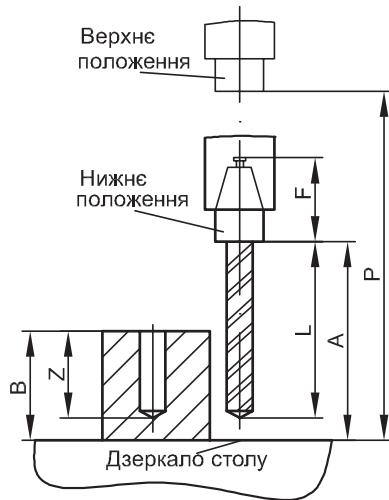


Рис. 2.3. Базування по Z .
 Довжина інструмента

Для верстатів з вертикальним шпінделем L_{\max} враховує найбільшу відстань від торця шпінделя до дзеркала стола:

$$L_{\max} \leq P - B - F, \quad (2.2)$$

де P — найбільша відстань від торця шпінделя до дзеркала стола (головка в положенні заміни інструмента);

B — відстань від дзеркала стола до найбільш виступної поверхні деталі або елемента її кріплення;

F — довжина частини інструмента, що входить у шпіндель.

Для верстатів з горизонтальним шпінделем L_{\max} враховує найбільшу відстань від торця шпінделя до осі поворотного стола, визначається за тою ж формулою (2.2), де:

P — найбільша відстань від торця шпінделя до осі поворотного стола (стіл максимально віддалений від колони);

B — відстань від осі стола до найбільш виступної поверхні деталі або елемента її кріплення;

F — довжина частини інструмента, що входить у шпіндель.

Для верстатів з горизонтальним шпінделем і поворотним столом за «нуль» кутового відліку (координата В) приймають сторону, з якої починається обробка. За «нуль» по координаті «С» приймають положення шпінделя, зорієнтованого для заміни інструмента (S0).

Крім зазначеного, враховують:

— зручність установки. Деталь розміщують якомога ближче до місця оператора;

— вагу деталі, спосіб її транспортування на верстат і з верстата;

— положення стола в момент заміни деталі;

— зручність кріплення деталі. Елементи кріплення не повинні закривати поверхню обробки;

— висота підкладок має забезпечувати необхідний вихід інструмента;

— зручність базування — варто передбачити можливість підходу до базових поверхонь, а також можливість установлення і знімання базових елементів. Треба максимально використовувати одні й ті самі базові елементи для кількох установок, однакові затискні елементи;

— правила безпеки праці. Обов'язкова наявність вільної зони для переміщення маніпулятора під час заміни інструмента. У протилежному разі деталь перед заміною інструмента виводять із цієї зони.

Для налагоджування верстата на обробку деталей середніх розмірів часто застосовуються універсальні стандартні

пристрої типу лещат, трикулачкових патронів, УСП. Для широкої номенклатури обробки використовується також чимало нестандартних пристроїв типу плита, косинець, коробчастий косинець із сіткою пазів та отворів. Як додаткові застосовуються різноманітні плитки, підкладки, прокладки, кубики, циліндричні упори, пальці (циліндричні повні, циліндричні зрізані).

Із затискних пристроїв використовуються домкрати, прихоплювачі, шпильки, гайки, сухарі тощо.

У серійному виробництві виготовляють спеціальні гідрота пневмозатискні пристосування, інформація про які подається в карті наладки деталі.

Карта наладки містить:

— ескіз або креслення деталі із зазначенням базових поверхонь, поверхонь обробки з технічними вимогами до її результату, траєкторію руху інструментів з координатами опорних точок;

— план операції: технологічний регламент обробки кожної поверхні окремо та послідовність обробки всіх поверхонь; номер операції, вказаний у маршруті технологічного процесу обробки деталі;

— систему координат деталі (призначає технолог-програміст), її координати в системі координат верстата (визначає оператор або наладчик);

— застосоване оснащення та інструмент із вказаними значеннями корекції по Z та радіусу (фрези), коди (номери в інструментальному магазині) зібраних інструментальних блоків із зазначеними інструментами, їх габаритні розміри, марки та геометричні характеристики різальної поверхні кожного інструмента, режими обробки (призначає технолог-програміст сумісно з оператором та наладчиком);

— номер керуючої програми в бібліотеці програм, дату розробки, прізвище розробника (технолога-програміста);

— термін відпрацювання програми в годинах (стрічковий час), інше — за потребою.

Така карта містить достатньо інформації для оперативного налагоджування на обробку, допомагає оператору, наладчику взяти до уваги особливості обробки деталі, особливо якщо ця деталь певний час не виготовлялась і щось призабулося.

Карта наладки — це основний технологічний документ, яким користуються під час обробки на верстатах з ЧПК, її форму наведено в Єдиній системі технологічної докумен-

тації (ЕСТД). Однак залежно від потреб підприємства вона може змінюватися цілком або частково — містити додаткові відомості або не містити щось із вищенаведеного, якщо для оброблюваної деталі це не потрібно. Крім карти наладки можуть використовуватися такі документи, як операційна карта, блок операційних ескізів, карта налагодження інструментів, розрахунково-технологічна карта. Зазначені документи можуть постачатися на робоче місце в електронному вигляді в режимі «для читання».

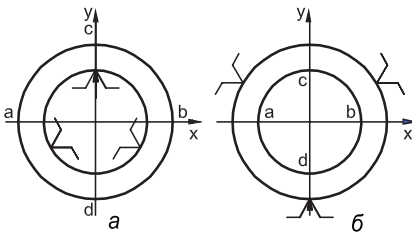


Рис. 2.4. Наладка обробки круглої деталі:
a — зовнішня базова поверхня;
б — внутрішня базова поверхня

Розглянемо приклад налагоджування верстата на обробку круглої поверхні деталі з початком координат на її осі, що збігається з віссю *Z* (рис. 2.4).

1. Аналізуємо ескіз чи креслення деталі, визначаємося з технологічним регламентом обробки поверхонь, планом операції, вибираємо необхідний інструмент, збираємо в інструментальні блоки, визначаємо і контр-

ольоємо довжину кожного за критичними значеннями, «прив'язуємо» по *Z*, призначаємо режими обробки. Вносимо параметри до карти наладки.

2. Розташовуємо деталь на столі верстата у зручному для обробки місці. Перевіряємо це положення відносно постійних (нульових) точок верстата для виключення аварійної ситуації — наїзду на кінцеві упори. Для цього «проганяємо» стіл вліво, вправо, від себе, на себе вздовж оброблюваної поверхні, спостерігаючи за координатами на моніторі й положенням оброблюваної поверхні — переконуємось, що оброблювана поверхня розташована в робочій зоні. Обираємо початок системи координат деталі по осях *X* і *Y* на осі *Z* верстата і на осі поверхні, яку оброблюватимемо.

Виставляємо деталь по базовому зовнішньому (або внутрішньому) діаметру співвісно з шпінделем верстата (вісь *Z*). Для цього підводимо в ручному режимі інструмент до торкання з базовою поверхнею деталі в екстремальних точках: *a*, *в*, *с*, *d* (рис. 2.4). У кожній із цих точок знімаємо показання по монітору.

Визначаємо координати центра в системі координат верстата X_0 і Y_0 :

$$X_0 = \frac{X_a + X_b}{2}; \quad Y_0 = \frac{Y_c + Y_d}{2}.$$

3. Виводимо ПЧПК у режим «редактор коректорів і програм». Заносимо значення X_0 та Y_0 до коректорів, записуємо для подальшого можливого використання в карту наладки. Встановлюємо на моніторі «0».

4. Вводимо корекції на довжину задіяних в обробці інструментів. Вводимо корекцію на радіус фрези. Заносимо до карти наладки.

5. Визначаємо траєкторії руху інструмента, координати опорних точок, розробляємо та вводимо в пристрій ЧПК програму обробки і відпрацьовуємо її в обраній системі координат.

Зазвичай під час обробки круглих деталей згідно з вказаним алгоритмом дій виставляють трикулачковий патрон, а в ньому затискають оброблювані деталі. Якщо з такою наладкою точність обробки недостатня, деталь у патроні додатково виставляють на співвісність за допомогою спеціального пристрою — центрошукача. Для цього центрошукач установлюють в шпіндель верстата, а його підпружинений наконечник при обертанні шпінделя прокочують навколо базової (вона ж і оброблювана) поверхні. Знімають показники відхилення стрілки індикатора в екстремальних точках, знаходять «биття» — піврізницю відхилень по X і Y , уточнюють введені до коректорів і записані координати центру. Залежно від необхідної точності прийом може виконуватися кілька разів.

Якщо встановлювана в патроні деталь некругла, а її обробка вимагає строгої орієнтації відносно осі обертання шпінделя, для скорочення часу налагоджування застосовують спеціальні планшайби. Деталь виставляють і закріплюють на планшайбі окремо від патрона, а потім планшайбу, зібрану з деталлю, затискають в попередньо виставлений патрон. Під час обробки однієї деталі на планшайбу установлюють наступну.

Якщо верстат оснащений сучасною контрольно-вимірною системою, то початок координат деталі визначається, як описано в параграфі 2.20.

2.5. Зміщення системи координат деталі (G70–G75)

В абсолютній системі — це зміна відстані від постійних точок верстата до початку вибраної системи координат деталі («плаваючого нуля»). Вибирають його, як описано в параграфі 2.4, у процесі наладки при розташуванні деталі в робочій зоні верстата, виходячи з потреби охопити обробкою всі заплановані поверхні з урахуванням зручності установки, кріплення та знімання деталі, можливого контролю під час обробки тощо.

Після визначення нового положення системи координат деталі інструмент підводять до точки, координати якої в обраній системі відомі. Показання монітора заносять до коректорів пристрою ЧПК з пульта. На моніторі набирають координати точки, де знаходиться інструмент у новій системі. Перехід виконано. У програмі це фіксується однією з команд G71–G75.

Наприклад (див. рис. 2.5), рух у системі координат верстата в точку С програмується кадрами:

```
N10 X10 Y15;  
N20 X30 Y70;  
N30 X100 Y80;
```

Нехай з міркувань зручності переміщення ВС потрібно виконати з початком координат у точці O1 (X70 Y50). Для цього командою G71 програмуємо зміщення системи координат деталі, а з пристрою ЧПК у режимі «редактор коректорів і програм» заносимо до коректорів значення X70, Y50. Команда G71 діє з кадру, де вона задана. Тоді рух у точку в системі координат верстата X100Y80 буде запрограмовано кадрами:

```
N10 X10 Y15;  
N20 X30 Y70;  
N30 G71 X30 Y30;
```

Зміщення точки відліку дає можливість програмісту під час написання програми працювати тільки з деталлю, а оператор чи налащик розташовують її на столі верстата так, щоб обробка виконувалася від призначеної програмістом системи координат.

Якщо зміщення початку відліку треба виконати у відносній системі (за прироцненням), в пам'яті ПЧПК зберігається зміщення системи координат відносно попереднього, тоді зміщення по команді, наприклад, G72 після

G71 буде відпрацьоване від G71, а не від постійних точок верстата.

Команда G70 скасовує всі зміщення, задані раніше. Зміщення може бути до G75. Це застосовується в ході обробки деталі з кількох сторін, під час обробки кількох однакових деталей, однакових елементів на поверхні однієї деталі тощо.

Програмоване зміщення «0» (G92) відрізняється тим, що зміщення відносно постійних точок верстата задають безпосередньо в тексті програми окремим кадром. При зчитуванні кадру з G92 ніяких рухів не відбудеться, але в наступному кадрі система вестиме

відлік, приймаючи координати попереднього кадру за X0Y0.

Наприклад (рис. 2.5):

```
N15G92X70Y50;
```

```
N20X30Y30;
```

Використовують G92, коли неможливо точно установити «нуль деталі». Наприклад, ось відлитого в деталі отвору, яка «плаває» відносно контуру більше, ніж припуск з допуском на відстань між ними разом узяті (рис. 2.2, в).

У такому разі контур орієнтують відносно отвору, а не навпаки. За потреби, після повної обробки деталі вводять з «прослабленої» сторони контуру спеціальні проставки — компенсатори. Під час обробки деталь виставляють по отвору і стороні; координати осі, що висвітлюються на екрані, заносять у текст програми з командою G92, таким чином початок координат буде перенесено на вісь отвору.

Команду G92 не можна задавати в кадрі, де діє якась з команд G71–G75.

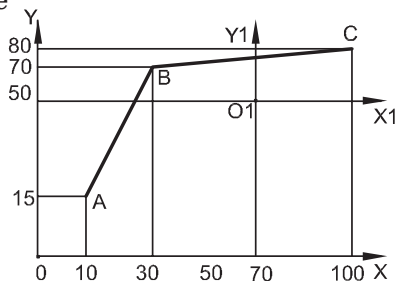


Рис. 2.5. Зміщення початку відліку

2.6. Підготовчі (технологічні) функції (команди) G

Команди (функції) G визначають вид та умови руху в програмі адресою G та двозначним числом при ній. Нуль перед другою цифрою вказується обов'язково. Всі підготовчі команди розбиті на групи. В одному кадрі можуть бути команди з різних груп. Якщо задати в кадрі більше ніж одну команду з однієї групи, виконається остання записа-

на, крім команд G90 і G91 — тут у подібному разі виконуватиметься команда G90. Команди G поділяються на такі, що діють лише в тому кадрі, де їх задано, й такі, що діють до відміни іншою командою (модальні). Нижче наведено перелік зведених у групи команд G. Команди, позначені «*», діють лише в одному кадрі, решта — модальні, в дужках зазначено групу, до якої належить команда.

Команди G, що застосовуються ПЧПК 2С-42:

- G00 (1) — позиціонування;
- G01 (1) — лінійна інтерполяція;
- G02 (1) — кругова інтерполяція за стрілкою годинника;
- G03 (1) — кругова інтерполяція проти стрілки годинника;
- G04* (8) — витримка часу;
- G09*(8) — гальмування;
- G12 (1) — гвинтова інтерполяція за стрілкою годинника;
- G13 (1) — гвинтова інтерполяція проти стрілки годинника;
- G17 (2) — площина інтерполяції XY;
- G18 (2) — площина інтерполяції XZ;
- G19 (2) — площина інтерполяції YZ;
- G28 (1) — вихід у позицію зміни інструмента;
- G29* (1) — вихід у постійні точки верстата;
- G31* (1) — вихід у задану позицію N1;
- G32* (1) — вихід у задану позицію N2;
- G33 (1) — нарізання різьби;
- G40 (3) — відміна корекцій;
- G41 (3) — корекція на радіус інструмента за обходу контуру зліва;
- G42 (3) — корекція на радіус інструмента за обходу контуру справа;
- G43 (4) — додатна осепаралельна корекція;
- G44 (4) — від'ємна осепаралельна корекція;
- G70 (5) — відміна зміщення точки відліку;
- G71–G75 (5) — зміщення точки відліку;
- G92 (6) — зміщення точки відліку через програму;
- G90 (7) — абсолютна система розрахунку розмірів обробленої поверхні;
- G91 (7) — відносна система розрахунку розмірів обробленої поверхні;
- G36* — G38* (7) — постійні цикли обходу кутів;
- G30 (7) — відміна постійних циклів G36–G38;
- (G64*, G65*, G66*) (7) — постійні цикли виходу на контур;

- G81 — G89 (7) — постійні цикли обробки отворів;
- G80 (7) — відміна постійних циклів G81–G89;
- G22 (9) — обмеження ходу;
- G23 (9) — відміна обмеження ходу.

Розглянемо використання цих команд на прикладах обробки.

2.7. Позиціонування.

Лінійна, кругова та гвинтова інтерполяція

G00 — позиціонування, або прискорений рух, — рух до запрограмованої точки з максимально можливою для даного верстата швидкістю (вказано у технічній характеристиці верстата). Часто прискорений рух передбачають різним для різних координат. У таких випадках рух по команді G00 до опорної точки буде нескоординованим, у вигляді ламаної лінії. Це треба мати на увазі при кріпленні деталі, щоб не спричинити аварійну ситуацію під час прискореного руху.

Наприклад: G90 G00X100Y50; (рис. 2.6):

OO' — механізми розганяються одночасно по X і Y;

O'B — рух механізмів одночасно по X і Y з однаковою швидкістю (кут 45°);

BC — гальмування по Y до «0» (переміщення по Y відпрацьоване повністю);

CA — рух тільки по X, після точки A' — гальмування.

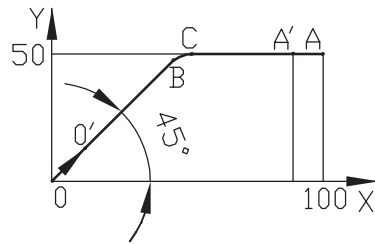


Рис. 2.6. Позиціонування

Отже, прискорений рух до заданої точки по команді G00 відбувся не по прямій, а непередбачувано, — це треба враховувати, звіряючи програмовані рухи з розташуванням елементів деталі і кріплення.

За потреби, з метою уникнення аварійної ситуації, певний відрізок програмують з лінійною інтерполяцією на робочій подачі.

Використовуючи команду G00, завжди треба лишати якусь невелику відстань до точки остаточного призначення інструмента. Зазвичай це 0,5÷5 мм. Якщо відстань дорівнюватиме «0», то є небезпека зіткнення інструмента через непередбачувані причини — трохи більша заготовка, неточна її установка тощо. Наприклад, якщо координати кінцевої

точки руху X40Y160, то переміщення краще запрограмувати двома кадрами:

N10 G00 X38 Y158;

N20 G01 X40 Y160 F800;

Підходячи до робочої поверхні, позиціонування командою G00 можна задавати відразу по трьох координатах. Наприклад, N10 G00 X40 Y160 Z1. Враховуючи непередбачуваність рухів, його виконують поетапно: спочатку позиціонують по X, Y, потім по Z, що програмується такими кадрами:

N10 G00 X38 Y158;

N20 G01 X40 Y160 F800;

N30 G00 Z1;

Відводячи інструмент, рухи виконують у зворотному порядку: спочатку відводять по координаті Z, потім по X і Y. Такий порядок позиціонування робить ці рухи безпечнішими, особливо якщо врахувати, що швидкість сучасних верстатів з ЧПК у режимі позиціонування може сягати 30 м/хв і більше.

У пристрої «FANUK» передбачене точне позиціонування по команді G60, яке забезпечує підхід до запрограмованої точки тільки з однієї сторони і зменшує швидкість руху на підході до мінімальної. У 2С-42 для точного позиціонування передбачено команду G09. Якщо в кадрі, де необхідне точне позиціонування, вказати команду G09, то при підході до координати швидкість руху зменшиться до мінімально можливої за технічною характеристикою верстата.

Робоча подача, запрограмована до команди G00, після прискореного відрізка руху діє без додаткового програмування.

Лінійна інтерполяція G01 — це узгоджений рух механізмів верстата у такий спосіб, що швидкості руху по кожній з координат, складаючись, відпрацьовують прямолінійне переміщення в задану точку. Лінійне переміщення задається від однієї до трьох координат. Координати можуть задаватися як в абсолютній, так і у відносній системі відліку. Для здійснення руху потрібно задати швидкість подачі. Команда G01 модальна, тому вона вказується тільки в першому кадрі. Наприклад:

N10 G01 X10 Y80 F100;

N20 Z-10;

N30 X80;

N40 X120 Y190;

N50 Z5;

N60 G00 X200 Y200 Z400;

У перших п'яти кадрах будуть виконані лінійні переміщення зі швидкістю F100 мм/хв. У кадрі N60 буде відпрацьоване переміщення прискореним рухом — з максимальною можливою для верстата швидкістю.

Кругова інтерполяція G02, G03 — це узгоджений рух механізмів верстата по круговій траєкторії в одній площині. Кругова інтерполяція призначена для обробки кругового контуру, можлива в усіх трьох координатних площинах: XY, XZ, YZ (рис. 2.7). У програмі площина інтерполяції визначається командами:

G17 — XY, G18 — XZ, G19 — YZ.

Відсутність у програмі вказівки на площину інтерполяції рівнозначна дії команди G17, тобто кругової інтерполяції в площині XY. Команду кругової інтерполяції призначають за правилом:

Круговий рух за стрілкою годинника, якщо дивитися на площину, де відбувається переміщення, у від'ємному напрямі осі координат, перпендикулярній цій площині, програмується командою G02, проти стрілки годинника — G03.

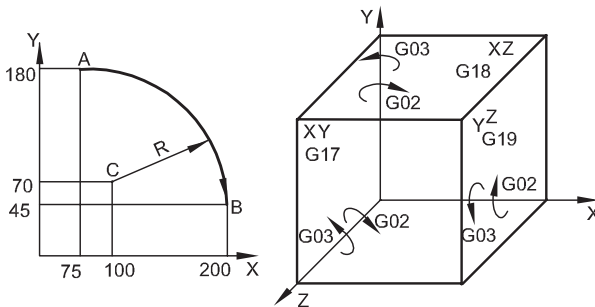


Рис. 2.7. Кругова інтерполяція

Для здійснення руху з круговою інтерполяцією в програмі потрібно, крім координати кінцевої точки, адресами I, J, K задати координати центру дуги або адресою R задати радіус.

Залежно від площини інтерполяції задають:

для площини XY — X, Y, I, J;

для площини XZ — X, Z, I, K;

для площини YZ — Y, Z, J, K.

В абсолютній системі — це координати кінцевої точки і центру дуги, що оброблюється. У відносній системі — це приріст координат цих точок відносно координати початку дуги на контурі.

Якщо відомий радіус дуги R , то для обробки досить задати координати кінцевої точки і радіус R .

Наприклад, рух з точки A контуру в точку B по дузі $R = 100$, координати центру C якої $X100Y70$ (див. рис. 2.7), можна запрограмувати за одним із чотирьох варіантів:

В абсолютній системі:

У відносній системі:

$N20G90G02X200Y45I100J70$; $N20G91G02X125Y-135I25J-110$;

$N20G90G02 X200Y45R100$; $N20G91G02X125Y-135R100$;

Гвинтова інтерполяція $G12$, $G13$ — це кругова інтерполяція в площині XY з одночасною лінійною інтерполяцією по координаті Z . Під час програмування трикоординатної гвинтової інтерполяції треба задати параметри кола в площині XY , по якому рухається інструмент, крок гвинтової лінії та загальне переміщення по Z . Вибір команди $G12$ чи $G13$ здійснюється за тим же правилом, що й для кругової інтерполяції. Функція $G12$ забезпечує рух за стрілкою годинника, $G13$ — проти.

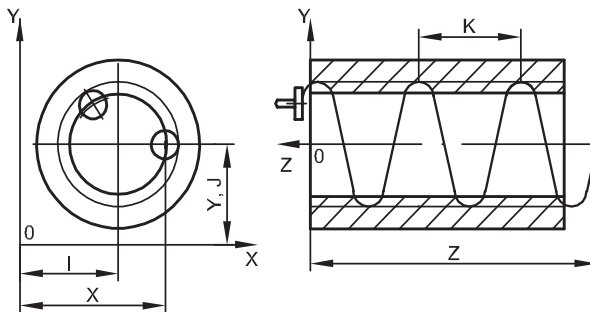


Рис. 2.8. Гвинтова інтерполяція

Наприклад, якщо задати координати опорних точок на рис. 2.8 такими, що дорівнюють: $X = 100$; $Y = 100$; $Z = 50$ (+5 мм вибір); $I = X - D/2 = 60$; $J = Y = 100$; крок $K = 5$; подача F — кругова подача виконавчих органів верстата, то рух по гвинтовій лінії на діаметрі $D = 80$ можна запрограмувати одним з трьох кадрів:

$40G17G90G12X100Y100I60J100Z-55K5F80S500$; (абсолютна система).

N40G17G91G12X0Y0I-40J0Z-55K5F80S500; (відносна система).

N40G17G91G12X0Y0I-40J0Z-55K5C1F0.3S80; (чотирикоординатна інтерполяція, де: $I = X - D/2$; $J = Y$);

Чотирикоординатна гвинтова інтерполяція відрізняється від трикоординатної тим, що шпіндель працює в режимі стеження, тобто програмується координата С. Такий режим застосовується, якщо різьба нарізається різцем.

У табл. 2.2 наведено приклад програми з використанням гвинтової інтерполяції для знімання заходів на різьбовій поверхні деталі (зфрезерування першого (останнього) витка різьби по діаметру впадин для формування повного зуба на заході (виході) різьби). Робочий інструмент — кінцева фреза діаметром 20 мм. Деталь з внутрішньою різьбою, крок різьби 5 мм з діаметром впадин 240 мм.

Таблиця 2.2

Кадр	Виконувані дії
% 12; (ZACHODY)	
N10 G90G71X0Y-100E01;	Встановлення системи координат деталі на осі різьбової поверхні, дозвіл редагувати режими під час обробки. Вісь фрези по Y на 20 мм від оброблюваної поверхні
N20G00G43D01Z0S1000M03;	Введення корекції на довжину інструмента, задання швидкості різання
N30G01Y-110F400M08;	Підхід фрези в точку початку обробки, врізання
N40G12X0Y-110I0J0K5Z-5F400;	Зфрезерування першого неповного зуба різьби на глибину одного кроку (на повному оберті)
N50G01Y-100F1000M09;	Вихід фрези з різьби, відвід на 10 мм по осі Y
N60G00Z150M05;	Вихід фрези по Z. Зупинка шпінделя
N70X-150Y200;	Відвід стола в місце встановлювання та знімання наступної деталі
N80M02;	Кінець програми

Функція гвинтової інтерполяції може використовуватися також для фрезерування отворів циліндричною фрезою, якщо задати крок різьби меншим за ширину фрези (у випадках, коли це продуктивніше, за відсутності іншого інструмента, за потреби зняти тверду кірку з литва тощо).

Якщо крок гвинтової лінії не задати, відбудеться обробка кругового контуру — кругова інтерполяція.

2.8. Службові функції (команди) G04, G09, G28, G29, G31, G32

Розглянемо призначення службових функцій.

G04 — *програмувана зупинка програми* на термін від секунд до доби. Використовують для виконання таких операцій, як перестановка прихоплювачів, лецат, контроль обробленої поверхні чи інструмента, перерва в роботі до наступної зміни тощо. Термін зупинки програмується координатою X окремим кадром. G04 в кадрі розташовують перед X.

Наприклад: N50 G04X80; — правильно, N50X80G04; — неправильно.

Вихід в позицію заміни інструмента відбувається автоматично по команді G28, окремим кадром.

Наприклад: N50G28;

Координати позиції заміни інструмента для даного верстата є незмінними, встановлюються заводом-виробником і зазначаються в паспорті верстата. Рух у позицію заміни інструмента прискорений нескоординований (G00). Це треба враховувати, розташовуючи деталь на столі, або відповідно до програми кадром з лінійною інтерполяцією (G01) на робочій подачі перед кадром з G28 відвести стіл у безпечне місце. Наприклад:

N40G01Y60;

N50G28;

Вихід в задані позиції відбувається по команді G31 і G32. Використовують ці команди для виходу в позицію знімання (G31) та установки (G32) деталі. Програмують окремими кадрами. Наприклад:

N10G31;

N90G32;

Вихід в постійні (нульові) точки верстата по всіх трьох координатах відбувається прискореним нескоординованим рухом по команді G29. Вихід в постійні точки верстата є обов'язковим перед початком роботи та у разі збоїв системи (непередбачене відключення енергії, аварійна ситуація на верстаті тощо). Програмують вихід у постійні точки окремим кадром:

N10G29;

Запрограмувана раніше робоча подача зберігається.

Гальмування в кінці кадру (G09). Якщо задати в кадрі команду G09, рухомий орган на підході до заданої коорди-

нати уповільнить свій хід до найменшої швидкості, дозволеної технічною характеристикою верстата. Команду G09 використовують за точного позиціонування, а також у разі крутих поворотів траєкторії обробки, щоб уникнути динамічного удару.

2.9. Допоміжні функції M

Функції M управляють допоміжними процесами для роботи верстата, програмуються літерою M та дворозрядним числом. Поділяються на такі, що задаються в програмі (ПР), й такі, що задаються в ручному режимі з пульта (P); діють в одному кадрі (ОК) або до відміни (ДВ). Ряд функцій діють у всіх режимах.

Розглянемо докладніше основні з них.

M00 (ОК, ПР) — програмована зупинка, задається для зупинки процесу обробки за програмою після відпрацювання кадру, що містить M00. Подальша робота можлива після натискання кнопки «пуск» на пульті пристрою ЧПК. Використовують цю зупинку, щоб виконати додаткові налагоджувальні роботи: перестановка прихоплювачів для звільнення поверхні обробки, перевірка стану інструмента, контрольні операції тощо. Перед зупинкою програми по команді M00, як правило, зупиняють оберти шпінделя M05.

M01 (ОК, ПР) — зупинка з підтвердженням, виконується, якщо команда задана в програмі, а на пульті натиснуто відповідну кнопку. Використовують команду M01 у випадках, коли зупинка в даному місці програми потрібна не для кожної деталі, а періодично (скажімо, через 5, 10 деталей). Наприклад, під час обробки отворів на кожній 5-й чи 10-й деталі, активізуючи команду M01 натискуванням відповідної кнопки, контролюють діаметр або інструмент на ступінь зношування.

M02 (ОК, ПР) — кінець програми.

M03, M04 (ДВ, ПР) — обертання шпінделя за стрілкою годинника (M03) або проти (M04) — використовують одночасно із заданням числа обертів або швидкості різання шпінделя.

M05 (ДВ, ПР) — зупинка шпінделя без його кутової орієнтації, на відміну від M19 та S0 — зупинка шпінделя з кутовою орієнтацією під зміну інструмента.

M06 (ОК, ПР) — поворот автооператора («руки»), відбувається заміна інструмента в шпінделі верстата. В кадрі з M06 переміщення не програмують.

M07 (ДВ, ПР) — ввімкнення охолодження N1.

M08 (ДВ, ПР) — ввімкнення охолодження N2.

M09 (ДВ, ПР) — вимкнення охолодження N1 і N2.

M19 (ДВ, ПР) — зупинка шпінделя в орієнтованому під заміну інструмента кутовому положенні.

M20 (ОК, ПР) — кінець підпрограми, програмується окремим кадром.

M21 (ДВ, Р) — розжим інструмента.

M27 (ДВ, Р) — перевантажувач до магазину.

M28 (ДВ, Р) — перевантажувач до автооператора.

M38 — M77 — резервні команди, орієнтовані на обслуговування маніпулятора та інших транспортних засобів у разі використання супутників та роботи верстата в автоматичній лінії.

M30 (ОК, ПР) — кінець програми з поверненням системи у стан перед першим кадром.

M70 (ОК, ПР) — кінець частини програми. Використовують цю команду, коли в пристрій ЧПК програма не може бути заведена повністю, наприклад за недостатнього обсягу пам'яті пристрою ЧПК для великих за обсягом програм.

M80, M81, M82, M83, M84, M85 (ДВ, Р) — затиск-відтиск координат X, Y, Z відповідно.

2.10. Нарізання різьби (G33)

Діаметр нарізання різьби не програмується, встановлюється вручну вильотом різця. Програмуються крок та довжина різьби. Такий режим використовують під час нарізання різьби різцем. Вершина різця розташована на внутрішньому діаметрі для зовнішньої різьби і зовнішньому — для внутрішньої різьби. Якщо для формування повного профілю різьби потрібно виконати кілька проходів, попадання в нитку різьби здійснюється автоматично математичним забезпеченням ПЧПК. Установлюють виліт різця з належною точністю за допомогою спеціального пристрою або універсальними засобами вимірювання. Функцію G33 використовують за потреби нарізання різьби з різним кроком на

розташованих впритул одна за одною ділянках циліндричних або конічних поверхонь деталі. Приклад:

N30G17G91G33Z-40K4C1;

N40Z-60K2;

N50Z-80K5;

Функції G34 та G35 дозволяють нарізати різьбу з монотонно зростаючим або падаючим кроком. Їх використовують під час формування робочої поверхні гребних валів, подавальних шнеків, інших подібних деталей. У ПЧПК 2С-42 вони не передбачені. Застосовуються у ПЧПК «Siemens 800D», «FANUC» та інших сучасних моделях.

2.11. Контурна обробка

Типові операції обробки на свердлильно-фрезерно-оброблювальному центрі — фрезерування площини, фрезерування вибірки (кармана), фрезерування зовнішніх або внутрішніх контурів у дво- або тривимірному просторі, обробка отворів.

Обробка контуру виконується скоординованими рухами виконавчих органів верстата з метою забезпечити рух інструмента по заданій траєкторії на робочій подачі. Залежно від числа керованих координат розрізняють плоску та об'ємну контурну обробку. У разі плоскої обробки контуру фреза виконує рухи в площині, паралельній одній з координатних площин. Об'ємну обробку здійснюють одночасно по трьох і більше координатах. За ручного програмування обробку складних тривимірних поверхонь програмують стрічками, кожна з яких розраховується як криволінійний контур плоскої поверхні, що перетинає оброблювану паралельно одній з основних координатних площин — це зумовлює двокоординатну модель програмування.

У подальшому розглядатимемо контурну обробку в площині, паралельній координатній площині ХУ, яка найчастіше виконується кінцевою фрезою, що обходить оброблюваний контур по еквідистанті, розташованій на відстані радіуса фрези. При цьому вирізняють три основні види рухів: прискорений — на неробочих відрізках траєкторії, рух з робочою подачею — під час обробки, рух по спеціальній траєкторії — на вході й виході фрези.

Вибір фрези за різальними спроможностями здійснюється згідно з рекомендаціями ISO. Вибір радіуса фрези може

обмежуватися вимогами оброблюваного контуру. Наприклад, для деталі на рис. 2.12 можна застосувати фрезу, радіус якої не перевищує внутрішнього радіуса на контурі R. Для поліпшення процесу різання бажано, щоб радіус фрези був трохи меншим від радіуса на контурі (додатково див. параграф 2.17).

Розглянемо приклад фрезерування контуру 1—2—3—4 деталі (див. рис. 2.9) циліндричною кінцевою фрезою. Оскільки різання здійснює бокова сторона фрези, то траєкторія руху її центру, або еквідистанта, має розміщуватися на відстані радіуса від оброблюваної поверхні: опорні точки 1'—2'—3'—4' на рис. 2.9. Тоді частина програми, що описує робочі рухи траєкторії, у загальному плані матиме вигляд:

N40 X(X1 - Rфр) Y(Y1 - Rфр); — т. 1',

N50 Y(Y2 + Rфр); — т. 2',

N60 X(X3 + Rфр); — т. 3',

N70 Y(Y1 - Rфр); — т. 4',

а обробка контуру 1—2—3—4 фрезою діаметром 20 мм буде описана кадрами:

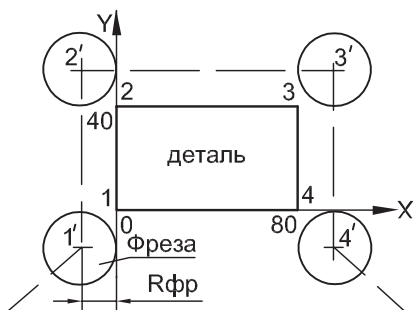


Рис. 2.9. Розрахунок корекції радіуса фрези

N40 X-10 Y-10;

N50 Y50;

N60 X90;

N70 Y-10;

Якщо під час наступної обробки таких деталей з певної причини подібної фрези не виявиться, треба буде взяти іншу, наприклад діаметром 18 мм, і відредагувати під неї кадри програми таким чином:

N40 X-9 Y-9;

N50 Y49;

N60 X89;

N70 Y-9;

Такий перерахунок програми через зміну діаметра фрези не є зручним, особливо якщо оброблюваний контур має складну конфігурацію і потребує кропітких математичних розрахунків та великих затрат часу, а значення діаметра фрези — не рівне число.

В системі ЧПК передбачено спеціальні функції корегування, які уможливають виконання обробки контуру за однією й тією самою програмою, незалежно від діаметра

фрези. Для цього технолог-програміст розробляє керуючу програму для контуру деталі і додає до її тексту команди на корекцію радіуса фрези, а значення радіуса фрези вноситься до коректора пристрою ЧПК і може змінюватися кожного разу залежно від вибору фрези. Програма при цьому залишається незмінною. Розглянемо докладніше роботу цих корекцій.

2.12. Корекція радіуса та довжини інструмента. Функції G41, G42, G43, G44

Функції G41, G42 (рис. 2.10). Програміст задає координати оброблюваного контуру, а еквідистанта розраховується математичним забезпеченням пристрою ЧПК автоматично. Для цього в кадрі задається функція корекції і відразу після неї номер коректора. Обидві адреси стоять *після* координат. Функцію G41 використовують для корекції радіуса фрези, якщо під час обробки фреза розташована ліворуч від оброблюваного контуру (рис. 2.10, а) відносно напрямку робочого

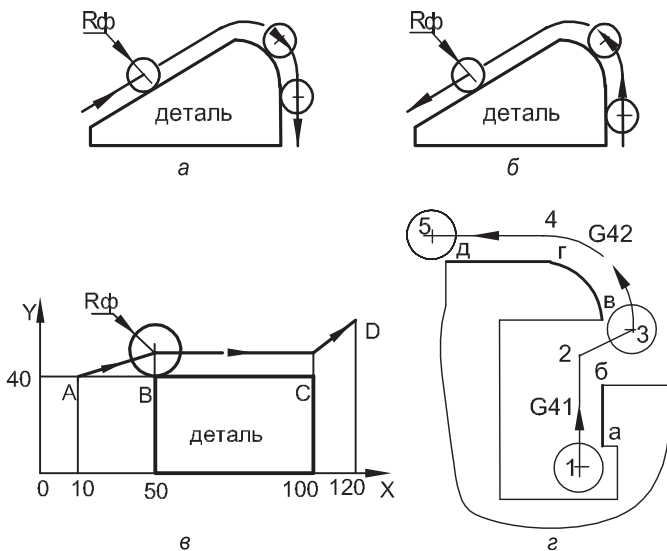


Рис. 2.10. Корекція радіуса фрези:

а — з використанням G41, фреза ліворуч; б — з використанням G42, фреза праворуч; в — з використанням G41; г — зміна напрямку корекції

руху, а функцію G42 — якщо праворуч (рис 2.10, б). У разі повторного використання програми обов'язково треба перевіряти значення корекції фрези відносно радіуса тої, що взяли для обробки. За потреби слід внести зміни до корекції.

Порядок програмування з використанням функцій G41, G42 такий:

1) визначають опорні точки на контурі деталі (В і С на рис. 2.10, в);

2) обирають напрям обробки;

3) обирають вихідну точку обробки А за контуром деталі на лінії, що є продовженням оброблюваної поверхні. При вводі корекції радіус-вектор із центру фрези до цієї лінії має бути перпендикулярним, а відстань АВ — більшою максимально можливого радіуса фрези (рис. 2.10, в) — така умова необхідна для правильної роботи ПЧПК, щоб під час корегування не врізатися в поверхню. Рух у вихідну точку (А) програмують командою G00 — прискореним рухом;

4) програмують переміщення фрези в точку початку обробки контуру деталі (точка В) на робочій, максимально можливій подачі (функція G01). У кадрі вказують координату точки В, команду корекції і номер коректора. Для цього розглядають положення фрези відносно відрізка АВ під час руху з точки А в точку В. У нашому випадку фреза ліворуч, отже, використовують функцію G41, далі записують номер коректора і заносять до пристрою ЧПК у коректор із цим номером радіус фрези (наприклад, 15 мм). Якщо контур складний, з багатьма опорними точками, а обробка виконується тією ж фрезой і в тому ж напрямку, корекція не міняється в усіх кадрах до кінця обробки. Команда діє до відміни;

5) при виході з контуру після обробки в точку D корекція скасовується командою D00 або G40. Оскільки G40 відмінює і корекцію інструмента, що не завжди бажано, частіше використовують команду D00. Точку D обирають так, щоб нескоординованим рухом по осях не зчинити аварію. За потреби інструмент відводять через лінійну інтерполяцію (G01), максимально збільшуючи подачу.

Приклад програмування розглянутої обробки з використанням G41:

N10G00G90X10Y40; — прискорений рух у вихідну точку;

N20G01X50G41D31F1000S800M03M08; — підхід до точки початку обробки, введення корекції на радіус фрези, режими обробки;

N30X100F25; — обробка;
N40G00X120Y80D00; — відвід інструмента, скасування корекцій.

Примітка. Якщо в програмі під час робочого руху інструмента по контуру з використанням функції G41 чи G42 зустрінуться кадри:

M05 — зупинка шпінделя;

G04 X... — пауза;

G22X — призначення обмеження ходу;

Z — переміщення не в площині інтерполяції;

G90 — команда без переміщення;

G91 — прирощення переміщення, що дорівнює нулю, переміщення інструмента в площині інтерполяції в цих кадрах не відбудеться.

За потреби під час обробки поміняти корекцію з G41 на G42 або навпаки, це виконують у кадри, де нема процесу різання, наприклад як показано на рис. 2.10, з. Обробка поверхні «а—б» відбувається з використанням корекції G41, а «в—г—д» — з G42. Поміняти ці функції можна в кадрі переміщення фрези на відрізьку «2—3». Якщо такої можливості немає, то треба відмінити діючу функцію командою G40, перемістити фрезу в точку початку обробки з новою функцією, запрограмувати дію нової функції.

Наявність функцій корекції радіуса фрези має важливе значення також для *внесення поправки на виконуваний розмір деталі*. Наприклад, у ході обробки розглянутої на рис. 2.10, в поверхні ВС фрезою діаметром 30 мм треба було витримати розмір 40 мм з допуском $-0,1$ мм, а контроль першої деталі показав, що він становить 40,15 мм. Це можна виправити, якщо наблизити вісь фрези до оброблюваного контуру деталі на 0,2 мм. Для цього в коректор радіуса фрези замість 15 мм вводимо значення 14,8 мм, в результаті траєкторія її руху наблизиться до деталі на 0,2 мм, виправивши таким чином розмір до значення 39,95 мм.

Осепаралельна корекція G43, G44 використовується під час обробки прямокутних контурів, розташованих паралельно координатним осям X і Y, та для корегування довжини інструмента. В програмі відразу після вводу корекції функцією G43 або G44 зазначають номер коректора. Ці адреси розташовують перед координатами, що визначають оброблювану поверхню.

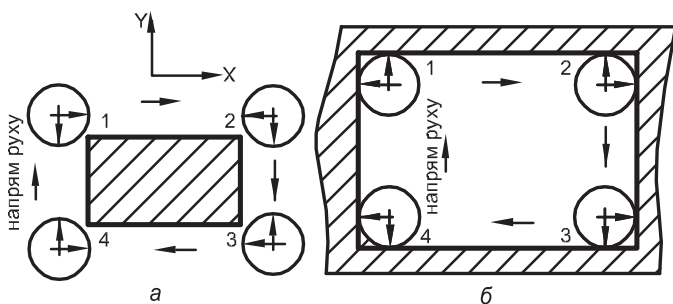


Рис. 2.11. Осепаралельна корекція G43, G44:
 а — зовнішній контур; б — внутрішній контур

Правило призначення функції осепаралельної корекції: якщо радіус-вектор, проведений із центру фрези в точку дотику з оброблюваною поверхнею в опорній точці кінця руху, збігається з додатним напрямком осі, якій він паралельний, використовують команду G44; якщо направлений у протилежний бік — G43 (рис. 2.11). Пристрій ЧПК команди G43 і G44 запам'ятовує для кожної координати окремо.

Виходячи з цього правила в обробку зовнішнього контуру (рис. 2.11, а) у разі його обходу в напрямку: 4—1—2—3—4 корекція на радіус фрези буде внесена командами:

Тчк.1 — G44D31X...G43D31Y...

Тчк.2 — G43D31X...G43D31Y...

Тчк.3 — G43D31X...G44D31Y...

Тчк.4 — G44D31X...G44D31Y...

Корекції на обробку внутрішнього контуру (рис. 2.11, б) будуть такими:

Тчк.1 — G43D31X...G44D31Y...

Тчк.2 — G44D31X...G44D31Y...

Тчк.3 — G44D31X...G43D31Y...

Тчк.4 — G43D31X...G43D31Y...

Скасування корекцій, як і з G41 та G42, виконується командою G40 або D00.

Корекції G43 і G44 не можна застосовувати в одному кадрі з корекцією G41 або G42.

Щоб визначити *функцію корекції для осі Z*, радіус-вектор опускають з торця шпінделя на оброблювану поверхню. Оператор має дотримуватися правила: рух інструмента до деталі — в «-», від деталі — в «+».

Для корегування довжини інструмента використовують коректори з номерами 01–30, які мають збігатися з номером

гнізда розташування інструмента в магазині. Для корегування радіуса фрези використовують коректори з номерами 31–99.

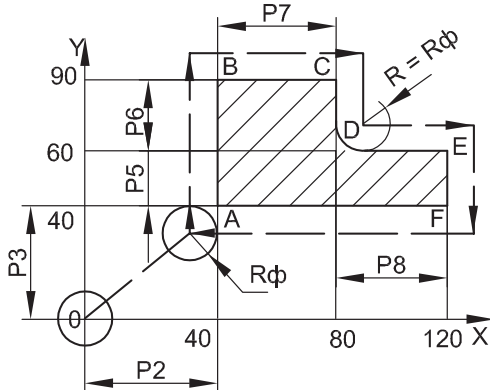


Рис. 2.12. Обробка з використанням осепаралельної корекції

Розглянемо приклад обробки контуру (рис. 2.12) з використанням осепаралельної корекції. Керуючу програму подано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Кадр	Програмовані дії
% 5; (Obrobka oseparalelnogo konturu)	
N10G00G90G71X0Y0 G43D01Z10;	Вихід в нульову точку деталі. Корекція довжини інструмента
N20Z-10S600 F400M03;	Підведення фрези по осі Z, призначення режимів обробки
N30G01G44D31X40G44D31Y40;	Вихід в точку початку обробки, ввід корекції на радіус фрези по осях X і Y
N40G43Y90;	Номер коректора той самий, тому не вказується, обробка сторони AB
N50G43X80;	Обробка сторони BC
N60Y60;	Корекція не зазначена, продовжує діяти корекція кадру N40. Обробка сторони CD
N70X120;	Обробка сторони DE, номер коректора і корекція ті самі
N80G44Y40;	Обробка сторони EF
N90G44X40;	Обробка сторони FA
N100D00X0D00Y0;	Зняття корекції на радіус фрези
N110G40G00Z10;	Відвід фрези по осі Z, зняття корекції інструмента

Вище наведено приклад програмування в абсолютній системі. Якщо обробка відбувається у відносній системі, програмоване переміщення в кадрі змінюється на величину корекції (див. рис. 2.12) і відпрацьовується від поточного, скорегованого, положення виконавчих органів. Отже, корекція в кожному наступному кадрі додається до попередньої, знаки враховуються (G43 чи G44), і занесена до коректора її величина дорівнюватиме двом радіусам фрези. Тоді програма обробки поверхонь у відносній системі буде такою:

N10–N20 не зміняться.
 N30G01G44D31X40G44D32Y40;
 N40G91G43D32Y50;
 N50G43D32X80;
 N60Y-30;
 N70X40;
 N80G44D32Y-20;
 N90G44D32X-80;
 N100, N110 не зміняться.

Значення корекції, внесені до D32, дорівнюватиме діаметру фрези.

Розглянемо приклад обробки реальної деталі «лопатки» зі сталі Ст3 на верстаті з горизонтальним шпінделем 2204ВМФ4 з використанням корекції фрези G41, G42 (рис. 2.13).

Оброблювані поверхні: (1) — відрізок 1—2 і 7—8; (2) — відрізок 2—3; (3) — відрізок 6—7.

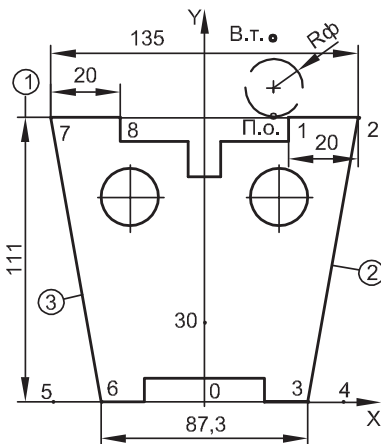


Рис. 2.13. Обробка контуру деталі «лопатка»

Опорні точки: В.т.—
 П.о.—1—2—3—4—5—6—7—8.
 Базовою поверхнею деталі є площина 6—3. Деталь установлюємо базовою поверхнею на плитку, заведену в паз косинця з перпендикулярними поверхнями. Вісь X проходить через базову поверхню, а Y збігається з віссю симетрії лопатки.

Деталь закріплено прихоплювачами, що можуть установлюватися на неробочій частині контуру (відрізок 8—1), в пазу та отворах деталі. Вибраний

радіус фрези — 16 мм, глибина фрезерування контуру — 32 мм. Припуск на обробку — 2 мм. Режими обробки: швидкість різання — 70 м/хв або 750 об/хв, робоча подача — 0,2 мм/хв, В.т. — вихідна точка обробки, П.о. — початок обробки.

Симетрично відносно осі Y деталь виставляємо по зовнішніх поверхнях (див. рис. 2.4) або по центральному пазу. В останньому випадку після упору нижньою поверхнею в плитку деталь потрібно «відцентрувати» конусною оправкою з шпінделя верстата — ввести конус у паз неукріпленої деталі, зміщуючи її вздовж осі X до торкання конусом обох сторін паза. Щоб виставити деталь по Y відносно осі X, підводимо фрезу по осі Y на задану відстань (30 мм) від базової площини і перевіряємо цю відстань універсальними засобами. За результатами перевірки вносимо корекцію в положення початку системи координат деталі по осі Y.

«Прив'язуємо» зібрану з базовою оправкою фрезу по осі Z (у ручному режимі торкаємося фрезою оброблюваної поверхні, показання монітора заносимо у відповідний коректор). Визначаємо положення шпінделя по осі Z перед початком робочого ходу — $Z = 10$ над площиною деталі.

Визначаємо траєкторію і характер руху інструмента між опорними точками: В.т.—П.о. (прискорений рух); П.о.—1—2 (робоча подача); 2—3 (робоча подача); 3—4'—4 (прискорений рух у точку 4', підняти фрезу по Z у точку 4); 4—5 (прискорений рух у точку 5', опустити фрезу по Z у точку 5); 5—6 (робоча подача, врізання по X); 6—7 (робоча подача); 7—8 (робоча подача), 8—В.т. (прискорений рух).

Програму обробки контуру деталі «лопатка» наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Кадр	Програмовані дії
% 10; (ЛОПАТКА)	
N05G29;	Вихід в нульову точку верстата
N10G90G71X0Y30;	Призначення нульової точки деталі
N20M00;	Контроль положення нульової точки деталі
N21S0T04;(FREZA D32)	Підготовка до заміни інструмента
N25G28M06;	Заміна інструмента
N28G00G91Y-60;	Виїзд стола з позиції заміни інструмента

Закінчення табл. 2.4

Кадр	Програмовані дії
N30G00G17X25.5Y131;	Вихід у вихідну точку обробки
N40G00G43D04Z10S750M03;	Внесення корекції на довжину інструмента, задання положення шпінделя по осі Z перед обробкою, призначення режимів обробки
N50M08;	Подача в зону різання змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР)
N60G01Z-34F200;	Підведення фрези до оброблюваної поверхні по осі Z
N70Y111 G41D41F20;	Введення корекції на радіус фрези при обході контуру зліва. Підведення фрези в точку П.о.
N80X67.5G37;	Фрезерування поверхні (1) — полки 1—2 з дотриманням розміру 111. Введення функції на обхід кута зі збереженням гострої вершини
N90X43.65Y0;	Фрезерування поверхні (2) — відрізка 2—3 з дотриманням розмірів 135/2 і 87,3/2
N100D00X59.65;	Відвід фрези по осі X, зняття корекції на радіус фрези
N110G00Z100;	Відвід фрези по осі Z прискореним рухом
N120X-60.65;	Переведення фрези прискореним рухом в точку 5
N130Z-34;	Підведення фрези до оброблюваної поверхні по осі Z
N140X-43.65 G41D41 F20;	Підведення фрези в точку початку обробки. Введення корекції на радіус фрези при обході контуру зліва
N150X-67.5Y111G37;	Введення функції на обхід кута зі збереженням гострої вершини. Фрезерування поверхні (3) — відрізка 6—7 з дотриманням розмірів 87,3 і 135
N160X-25.5;	Фрезерування поверхні (1) — полки 7—8 з дотриманням розміру 111
N170X25.5Y131 G30 G40M09F1000;	Відвід фрези у вихідну точку В.т. Зняття корекції. Відміна подачі ЗОР
N190G70G00Z150M05;	Відвід фрези по осі Z, зняття зміщення «0» деталі, зупинка обертів шпінделя
N200X245;	Відвід стола по осі X у місце знімання і установки нової деталі
N210M30;	Кінець програми

2.13. Постійні цикли (ПЦ)

Постійні цикли — це мікропрограми, які охоплюють незмінний набір кадрів для видів обробки, що часто повторюються. Постійні цикли, на відміну від підпрограм, є складовою математичного забезпечення пристрою ЧПК і діють до відміни. У ПЧПК за командою ПЦ відбувається автоматичний розрахунок траєкторії, що містить кілька елементарних рухів між опорними точками. Розглянемо основні з них.

Для врахування особливостей процесу різання на початку роботи фрези (вході) і наприкінці (на виході) передбачено спеціальні постійні цикли G64, G65, G66.

2.13.1. Вихід на еквідистанту перпендикулярно напрямку наступного кадру (вихід на контур)

Програмується командою G64. ПЧПК автоматично розраховує координати точки, що лежить на відстані радіуса фрези на перпендикулярі до напрямку обробки в наступному кадрі в його початковій точці. Вихідна точка А розташована в довільно вибраному місці. Команда виконується тільки в кадрі з лінійною інтерполяцією (G01). У кадрі з G64 задають координати початкової точки обробки. Рух деталі в напрямку до неї (див. рис. 2.14) програмується кадрами:

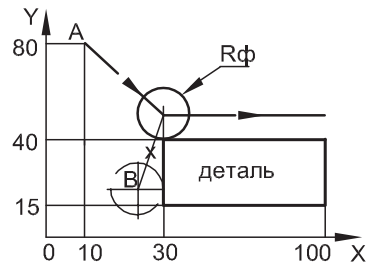


Рис. 2.14. Вихід на контур (G64)

```
N10G64G01G90X30Y40G41D41F100S400M03M08;  
N20X100;  
N25M09;  
N30X200Y300G40G70;
```

Як бачимо з рис. 2.14, треба стежити, щоб траєкторія до точки початку обробки деталі була вільною (якщо призначити вихідною точку В, то рух до початку обробки може спричинити аварійний наїзд на деталь).

2.13.2. Вхід і вихід на еквідистанту по круговій траєкторії (команди G65, G66)

По команді G65 інструмент плавно підводиться до оброблюваної поверхні. Пристрій ЧПК автоматично розраховує

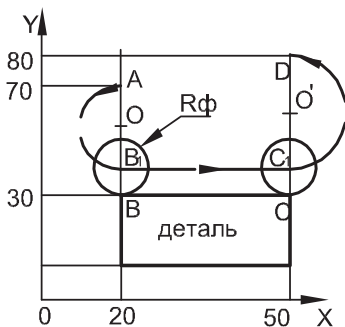


Рис. 2.15. Вхід (G65) і вихід (G66) на еквідистанту по круговій траєкторії

півколо сполучення з робочою частиною траєкторії наступного кадру в його початковій точці (AB₁ на рис. 2.15). Функція G66 виводить інструмент з обробки — відбувається автоматичний розрахунок півкола траєкторії руху інструмента від точки кінця обробки до заданої кінцевої точки (C₁D на рис. 2.15). Відповідно до заданої умови координати початкової та кінцевої точок (A і D) мають лежати на перпендикулярі до точок початку і кінця обробки (B і C). Функції G65 і G66 діють у межах кадру, в якому їх задано. В кадрі з функцією G65 задають координати початкової точки обробки B, у кадрі з функцією G66 — координати кінцевої точки виходу інструмента D.

Рух на рис. 2.15 програмується такими кадрами:

N10 G00G90X20Y70;

N20G65G91X0Y-40G41D41F100S500;

N30X30;

N40G66G90X50Y80;

Функцію G64 використовують переважно для чорнової обробки, коли пряме врізання фрези є допустимим або коли контур незамкнений.

Функцію G65 застосовують для чистової та високошвидкісної обробки контуру, коли збільшення припуску і сили різання має бути плавним, щоб уникнути зарізів та інших дефектів на оброблюваній поверхні, а також швидкого затуплення або поломки інструмента. У верстатах з ЧПК, де команди G65 і G66 відсутні, для вводу фрези в обробку та її виходу з обробки використовують

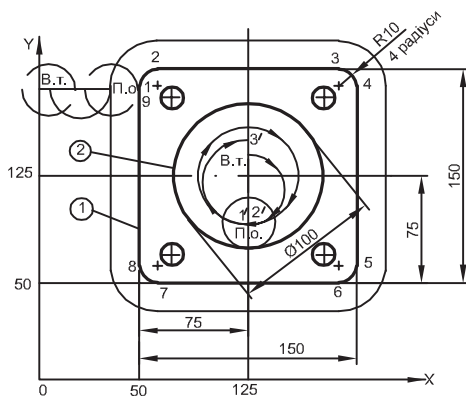


Рис. 2.16. Обробка контуру деталі «кришка»

ють команди кругової інтерполяції G02 і G03. Приклад використання функції G65 наведено в програмі обробки зовнішнього та внутрішнього контуру деталі «кришка» (рис. 2.16).

Заготовкою кришки служить пластина з листової сталі Ст3 товщиною 15 мм, розміром 153×153, з попередньо просвердленим по центру пластини отвором діаметром 80 мм.

Послідовність обробки

1. Закріпити деталь на оправці, попередньо виставивши одну з її сторін паралельно осі X або Y. Обробити зовнішній контур остаточно. Інструмент — кінцева фреза діаметром 30 мм. Програма обробки:

```
%11; (KRYSHKA, KONTUR)
N10G29;
N20G00G90G71X50Y50;
N22S0T03; (FREZA D30)
N24G28M06;
N26G91Y-80;
N30M00;
N40G00G09X5Y190;
N45G43D03Z10S800M03;
N48G01Z-17F200M08;
N50G65G91X45Y0G41D31F60;
N60G02X10Y10R10;
N70G01G90X190;
N80G02X200Y190R10;
N90G01Y60;
N100G02X190Y50R10;
N110G01X60;
N120G02X50Y60R10;
N130G01Y190;
N140G66X5Y190M09;
N145 G00Z150M05;
N150G70;
N160X250;
N170M30;
```

2. Збазувати деталь по зовнішньому контуру. Закріпити. Обробити отвір діаметром 100 мм остаточно. Інструмент — кінцева фреза діаметром 30 мм. Програма обробки:

```
%14; (KRYSHKA, OTVIR)
N10G29;
N20G90G71X50Y50;
N22S0T03; (FREZA D30)
```

N24G28M06;
 N26G91Y-80;
 N30M00;
 N40G00G09X125Y140;
 N50G43D03Z10S800M03;
 N60G01Z-17F200M08;
 N70G65G91X0Y75G42D31F20;
 N80G02X0Y0R50;
 N90G66X0Y65M09;
 N95 G90G00Z150M05;
 N100G70;
 N110X250;
 N120M30;

2.13.3. Цикли обходу кутів G36, G37, G38

Цикл обходу кута дугою G36 здійснює автоматичний розрахунок дуги еквідистанти в точці зламу оброблюваного контуру і координат опорних точок еквідистанти B_1 і B_2 (рис. 2.17, а). Команда G36 програмується в кадрі руху інструмента до координати вершини кута. ПЧПК зчитує цей і наступний кадр, автоматично розраховує траєкторію руху центру фрези, звільняючи таким чином програміста від потреби розрахунку координат точок початку і кінця дуги, що охоплює кут. Команда G36 діє тільки для наріжних кутів і лише в кадрі, де її задано.

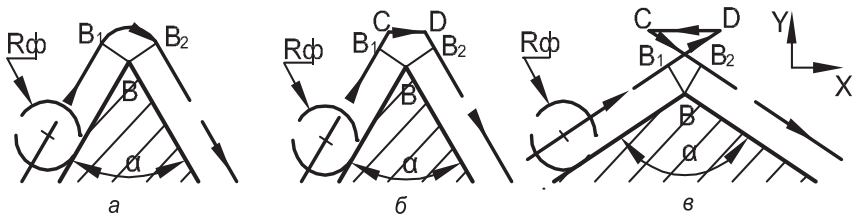


Рис. 2.17. Цикли обходу кутів:
 а — дугою (G36); б — відрізками прямої, $\alpha \leq 90^\circ$ (G37);
 в — відрізками прямої, $\alpha > 90^\circ$ (G37)

Обхід кута відрізками прямих G37. Недолік команди G36 полягає в тому, що в результаті такої обробки відбувається обкатка (заокруглення) вершини кута. Якщо є вимоги до гостроти вершини, для обходу кута використовують команду G37, програмуючи обхід вершини відрізками пря-

мих, що забезпечує її гостроту (рис. 2.17, б, в). Для цього пристрій ЧПК по команді G37 генерує додатково три кадри: рух на відрізках B₁—C; C—D; D—B₂ (рис. 2.17, б) і рух на відрізках B₁—D; D—C; C—B₂ (рис. 2.17, в). Команду G37, так само як і G36, використовують для наріжних кутів, її програмують у кадрі руху до вершини кута.

Обробка внутрішніх кутів, цикл G38.

Якщо задати цикл G38 і корекцію на радіус фрези, пристрій ЧПК автоматично розраховує точку повороту еквідистанти B₁ (рис. 2.18, а). Команда G38 може використовуватися також для обробки наріжних кутів. ПЧПК автоматично розраховує точку повороту еквідистанти B₁ (рис. 2.18, б). Команда діє лише в кадрі, де її задано.

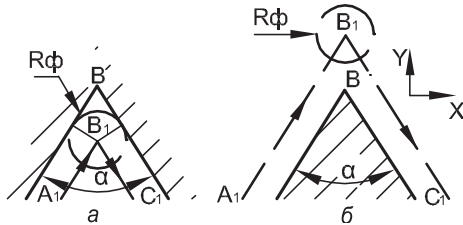


Рис. 2.18. Цикл G38 — обхід внутрішнього (а) та зовнішнього кута (б)

Розглянемо приклад обробки контуру деталі «планка» (рис. 2.19) з використанням циклів обходу кутів.

Заготовка — пластина з листової сталі Ст3 товщиною 10 мм, розміром 105×125 із просвердленим по центру пластини отвором діаметром 70 мм.

Послідовність обробки

1. Закріпити деталь на оправці, попередньо виставивши одну з її сторін паралельно осі X або Y. Обробити контур деталі остаточно. Напрямок обробки по опорних точках: В.т.—

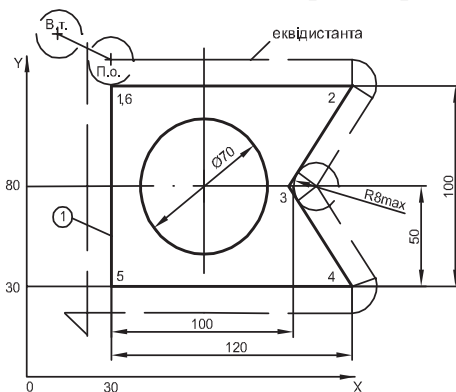


Рис. 2.19. Обробка контуру деталі «планка»

П.о.—1—2—3—4—5—6(1). Щоб витримати заокруглення в точці 3 R8max, для обробки вибираємо кінцеву фрезу діаметром 16 мм.

Програма обробки:
 % 13; (PLANKA)
 N10G29;
 N20G90G00G71X30Y30;
 N22S0T03; (FREZA D16)
 N24G28M06;
 N26G91Y-80;
 N30M00;
 N40G00G09G90X10Y200;

N50G43D03Z10S800M03;
N60G01Z-12F200M08;
N70G64G90X30Y130G41D31F60;
N80G01G36X150 F20;
N90G38X130Y80;
N100G36X150Y30;
N110G37X30;
N120Y132;
N130G00Z150M09;
N135 G70 M05;
N140X250;
N150M30;

2.14. Обробка отворів

2.14.1. Технологічний регламент, план операції

Свердління — одна з найпопулярніших операцій механічної обробки. За призначенням розрізняють такі основні види отворів:

- кріпильні отвори без різьби і з різьбою;
- точні посадочні отвори в корпусних деталях, точність виконання яких впливає на працездатність і довговічність вузла. Часто такі отвори розташовані в протилежних стінках корпусу, мають відповідати жорстким вимогам до співвісності й точного координатного розташування один відносно одного;
- отвори — канали для чогось;
- допоміжні — для підходу до потрібної поверхні та ін.

За формою отвори бувають: циліндричні, конічні, гладкі, різьбові, ступінчасті, з канавками, з карманами, різної довжини та діаметра.

Від перелічених факторів залежать технологія обробки отвору й вибір інструмента.

Наприклад, під час свердління ступінчастих отворів рекомендується спочатку свердлити отвори більшого діаметра з метою скорочення робочого ходу наступного свердла меншого діаметра. Однак у разі вимог до співвісності ступенів обробку отворів краще починати свердлом меншого діаметра. Співвісність гарантується також виконанням обробки комбінованим свердлом, коли водночас обробляються отвори обох ступенів. Обробку співвісних отворів у

протилежних стінках корпусних деталей здійснюють консольним інструментом з керованим програмою поворотом стола на 180° , співвісність залежить від точності установки деталі й точності повороту стола. Похибка повороту не повинна перебільшувати половини допуску на співвісність. Часто в конструкції деталі закладено жорсткі вимоги до співвісності отвору й зовнішнього діаметра, що в ході обробки часто є проблемою. В даному разі технологічний процес треба будувати таким чином, щоб спочатку остаточно оброблювався отвір, а потім, на оправці, зовнішня поверхня.

Характеристики різального інструмента для обробки отворів обирають залежно від оброблюваного матеріалу за каталогами фірм-виробників згідно з рекомендаціями ISO.

Для підвищення стійкості свердла змінюють режими обробки у програмі в місцях стрибкоподібної зміни навантаження — при виході свердла з отвору зменшують подачу вдвічі. Під час фрезерування кірки литва зменшують оберти шпінделя на вході й виході з отвору в 1,3–1,5 рази.

Залежно від діаметра отвору, його довжини, вимог до точності й шорсткості поверхні, матеріалу заготовки, його твердості, наявного обладнання й інструментів існують установлені технологічні регламенти обробки, які можуть містити в необхідних комбінаціях такі операції обробки поверхні отвору: центрування (центрувальне свердло), свердління, глибоке свердління, розсвердлювання (свердло, спеціальне свердло для глибокого свердління), зенкерування (зенкер), розфрезерування (фреза), цекування (цеківка), зенкування (зенківка), розвірчування попереднє, напівфінішне, остаточне (розвертка), нарізання різьби (мітчик, різець, спеціальна фреза), розточування чорнове, попереднє, остаточне (різець), безстружкове формування отвору — прошивка, пробивка, дорнування (прошивка, дорн), калібрування кулькою, розкатування, протягування (протяжка), шліфування (шліфувальний круг), хонінгування (хон), притирання (притир), полірування (абразивні шкірки, пелюсткові абразивні круги на гнучкій основі, абразивна повсть, паста тощо).

Обробка одного отвору, особливо високоточного, може потребувати до 6–8 інструментів, які рухаються під час обробки, практично, по одній траєкторії. Тому в пристроях ЧПК створено математичне забезпечення цих рухів від одного кадру — свердлильні цикли.

Свердлильні цикли використовуються на верстатах з ЧПК із револьверними головками на 6, 8, 12 інструментів та оброблювальних центрах з магазинами на 30, 60, 80, 100 інструментів. Для обробки отворів на верстаті з ЧПК технологічний регламент та план операції, з метою дотримання вимог креслення чи операційної карти, формується з огляду на кількість інструментів, що вміщує магазин верстата. Якщо для формування отворів потрібно більше інструментів, ніж міститься в магазині, то переглядають технологічний регламент обробки кожного отвору, використовують комбінований інструмент, змінюють план операції — розбивають її на декілька.

Залежно від кількості отворів, відстані між ними й заданої точності розташування застосовують два основні варіанти обробки отворів на верстатах з ЧПК:

паралельна обробка — кожним інструментом обробляють усі однакові отвори; потім інструмент замінюють на наступний і цикл повторюють;

послідовна обробка — кожен отвір обробляють усіма передбаченими технологічним регламентом інструментами, після чого позиціонують деталь для обробки наступного отвору, і так до останнього.

Варіант обробки вибирають із порівняльного розрахунку трудомісткості й вимог до точності позиціонування. Як правило, отвори, розташовані далеко один від одного та з жорсткими вимогами до міжцентрової відстані, обробляють послідовно. Неточні отвори під деталі кріплення — паралельно. Часто схеми комбінують: попередню обробку (центрування, свердління, зенкерування, чорнове розточування, фрезерування, зенкування, цекування) виконують паралельно. На ОЦ перед цим, як правило, додається ще фрезерування поверхні. Остаточну обробку (розвірчування, розточування) виконують послідовно, використовуючи для точного позиціонування команду G09. Цю схему обробки називають *змішаною*. В усіх випадках при виборі схеми обробки враховують трудомісткість процесу за різними варіантами, яку або розраховують, або встановлюють хронометражем через стрічковий час.

Програмування обробки отворів на верстатах, оснащених сучасними пристроями ЧПК, наприклад «Power Mill», забезпечує автоматичний розрахунок схеми обходу отворів з мінімальними затратами часу на переміщення.

2.14.2. Постійні свердлильні цикли G81–G89

Постійні свердлильні цикли G81–G89 призначені для керування рухами органів верстата по осі Z і роботою головного приводу за строгою програмою, закладеною в циклі пристроєм ЧПК. Програма постійного циклу складається з послідовності переміщень, пов'язаних з підведенням інструмента прискореним рухом до поверхні обробки, обробкою деталі на задану глибину на робочій подачі, виходом з деталі відразу після закінчення обробки або через задану паузу робочим ходом, прискореним рухом чи ручним відводом. Швидкість різання або оберт шпінделя задаються в кадрі перед тим, що містить ПЦ. Постійні цикли складаються з етапів (рис. 2.20).

- 1 — позиціонування по осях X і Y;
- 2 — прискорений рух по Z до точки A (початок обробки отвору);
- 3 — обробка отвору;
- 4 — дії після обробки (можлива пауза);
- 5 — вихід інструмента в точку B (кінець обробки отвору);
- 6 — вихід прискореним рухом у початкову точку або нульову площину по Z.

Постійні цикли в ПЧПК 2С-42 програмуються як в абсолютній (G90), так і у відносній (G91) системі координат. Діють постійні цикли свердління до відміни командою G80.

Формат кадру:

(G81–G89)X...Y...Z...A...B...Q...U...F...,

де G81–G89 — команда, що визначає цикл залежно від виду обробки отвору;

X, Y — координати вихідної точки в площині XY;

A — відстань від нульової площини по Z до точки початку обробки;

B — відстань від кінцевої точки обробки до точки по Z, куди відводиться інструмент для переходу до наступного отвору;

Q — глибина свердління до технологічного відводу свердла в циклах глибокого свердління;

U — пауза наприкінці робочого ходу, секунд;

F — подача обробки.

Розглянемо постійні свердлильні цикли G81–G89 докладніше (див. рис. 2.21).

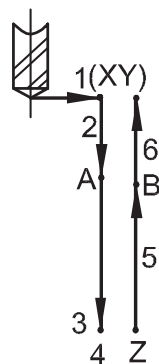


Рис. 2.20. Схема рухів постійних свердлильних циклів

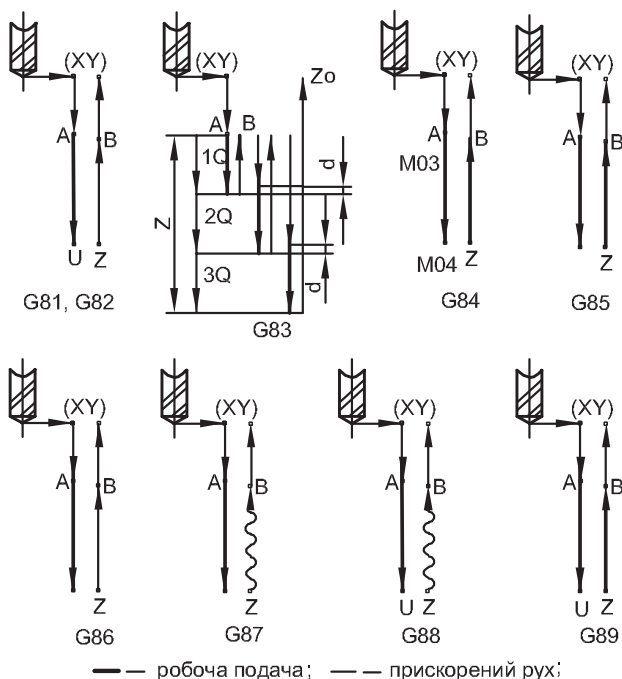


Рис. 2.21. Постійні цикли свердління G81, G82, G83, різенарізання G84, розвірчування G85, розточування G86, чистового розточування G87, чистового розвірчування G88, G89

Постійні цикли свердління G81 і G82 включають прискорений рух у точку А, обробку на глибину Z, вихід прискореним рухом у точку В. Формат циклу: G81(G82) X...Y...Z...A...B...(U)...F...;

У ПЦ G82 інструмент після виходу в точку Z деякий час (пауза U) обертається без переміщення. Це використовується в центрувальній операції для якіснішого формування прямої фаски.

Цикл G82 використовується також для свердління глухих отворів, оскільки можливість паузи наприкінці обробки створює умови для кращого відведення стружки з дна отвору.

Приклад програмування:

N20G81X5Y150Z-15A10B5F120;

Кадром N20 передбачено наступні рухи виконавчих органів:

N1G00X5Y150 — прискорений рух у координату свердління;

N2Z10 — прискорений рух у точку А;

N3G01Z-15S1200F120 — робочий рух свердління отвору;

N4G00Z5 — прискорений рух у точку В.

У циклі G82, з тими ж рухами свердла, наприкінці робочого ходу буде витримка U, значення якої вводиться з пульта ПЧПК.

Постійний цикл глибокого свердління G83 використовується для свердління отворів, глибина яких становить більше ніж 4÷5 діаметрів.

Формат циклу: G83X...Y...Z...A...B...Q...F...;

де Q — робочий хід інструмента, після якого він виходить з деталі в точку А для звільнення від стружки та стружколамання. Повернення до місця різання відбувається прискорено на величину Q-d; d — недобіг, вводиться з пульта ПЧПК, становить 1,0÷1,5 мм.

Приклад програмування:

N40G83X20Y100Z-40A10B10Q15F120;

Кадром передбачено наступні рухи виконавчих органів:

N1G00X20Y100;

N2Z10;

N3G01Z-15S1200F120;

N4G00Z10;

N5G00Z-15;

N6G01Z-30;

N7 G00Z10;

N8G00Z-30;

N9 G01Z-45;

N10G00Z10;

Постійний цикл нарізання різьби G84 включає нарізання різьби від точки А до точки Z з обертанням шпінделя за стрілкою годинника (різьба права (M03)); реверс шпінделя після досягнення точки Z (M04), вихід на робочій подачі в точку В, реверс шпінделя (M03). Для лівої різьби всі обертання шпінделя — у протилежний бік.

Формат циклу: G84X...Y...Z...A...B...F...;

Якщо оброблюється кілька отворів з однаковою різьбою і відстань між ними мала, то для того, щоб шпіндель встиг поміняти оберти в протилежному напрямі, програмують кадр з паузою:

G04 X...

Постійний цикл розвірчування G85 характеризується тим, що з точки Z у точку В розвертка виходить на робочій подачі, щоб не подряпати поверхню.

Формат циклу: G85X...Y...Z...A...В... F...;

Постійний цикл розточування G86 особливий тим, що, досягаючи точки Z, обертання шпінделя зупиняється. Використовується цикл для попередньої обробки. На поверхні отвору може залишитися слід від різця після його виходу з отвору.

Формат циклу: G86X...Y...Z...A...В... F...;

Постійний цикл чистове розточування G87. Після досягнення різцем точки Z обертання шпінделя зупиняється. Система автоматично переходить у режим «ручне управління». Оператор відводить різець від оброблюваної поверхні і вручну виводить його з деталі. Потім, натискаючи кнопку «пуск», переводить систему в автоматичний режим — інструмент повертається в точку А.

Формат циклу: G87X...Y...Z...A... F...;

Постійний цикл чистове розвірчування G88 аналогічний циклу G87, відрізняється тим, що перед зупинкою шпінделя інструмент упродовж паузи U обертається. Відбувається додаткове зачищення поверхні.

Формат циклу: G88X...Y...Z...A...В... F...;

Постійний цикл чистове розвірчування G89 аналогічний ПЦ G88, відрізняється тим, що після витримки паузи наприкінці ходу інструмент, не зупиняючись, в автоматичному режимі виходить у точку В.

Формат циклу: G89X...Y...Z...A...В... F...;

2.14.3. Налаштування обробки отворів, розробка програми

Налаштування обробки отворів відбувається в порядку:

1. Аналіз креслення або операційного ескізу, розробка технологічного регламенту обробки кожного виду отворів, запланованих до обробки, залежно від вимог до їх геометричної точності, шорсткості поверхні, відстані між ними й точності розташування. Складання плану операції, занесення до карти наладки.

2. Вибір інструменту, огляд, контроль на придатність, складання інструментальних блоків, вибір номерів гнізд (коректорів довжини), розміщення в гніздах інструментального магазину. В ручному режимі введення корекції по Z на

кожний інструмент («прив'язка» інструмента). Занесення до карти наладки.

3. Вибір послідовності обробки отворів (паралельна схема, послідовна, змішана) — на ескізі помічають опорні точки в послідовності обробки на всіх переходах.

4. Призначення системи координат, за потреби — розрахунок координат кожного отвору в обраній системі.

5. Розробка тексту програми, відпрацювання програми на комп'ютері, верифікація, заведення в пристрій ЧПК, відпрацювання на верстаті в ручному режимі.

6. Обробка в покадровому режимі першої деталі, контроль, здавання контролеру. Внесення поправок до програми та наладки (за потреби).

7. Обробка партії деталей.

Приклад 1. Потрібно виконати обробку п'яти отворів $\varnothing 20H7$ у плоскій деталі (див. рис. 2.22).

Складаємо технологічний регламент обробки, вибираємо інструмент:

1) центрування центральним свердлом $\varnothing 3,15$, гніздо в магазині T08;

2) свердління свердлом $\varnothing 19$, T11. Для визначення глибини свердління (координата Z) скористаємося відомою формулою:

$$Z = b + \frac{R}{2} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi} + d, \quad (2.3)$$

де b — довжина циліндричної частини отвору, в нашому випадку — 24 мм;

R — радіус свердла, $R = 19/2 = 9,5$ мм;

φ — кут при вершині свердла, стандартне значення 118° ; $\operatorname{tg} 59^\circ = 1,664$;

d — перебіг циліндричної частини свердла, приймають у межах $1,0 \div 1,5$ мм;

тоді $Z = 24 + 9,5/1,664 + 1,0 = 31$ мм;

3) зенкерування зенкером $\varnothing 19,90$, T17;

4) зенкування фаски зенківкою $\varnothing 24$, T28;

5) чорнове розвірчування розверткою $\varnothing 19,95$, T20;

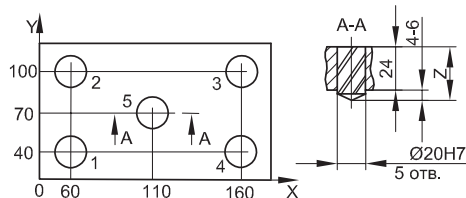


Рис. 2.22. Обробка отворів у плоскій деталі

- 6) напівчистове розвірчування розверткою $\varnothing 19,98$, T24;
 7) остаточне розвірчування $\varnothing 20H7$ розверткою $\varnothing 20H7$, T04.

Відбираємо інструмент, закріплюємо в базових оправках, розташовуємо в інструментальному магазині у призначених гніздах, заносимо до карти наладки.

Виконуємо «прив'язку» інструментів по Z, вносимо значення корекцій до коректорів і карти наладки.

Призначаємо режим обробки кожним інструментом. Заносимо в карту наладки.

Відстані між отворами незначні й не потребують переміщень підвищеної точності, тому обираємо паралельну схему обробки.

Визначаємо і програмуємо систему координат деталі в системі координат верстата (рис. 2.22).

Розробляємо і заносимо у ПЧПК текст програми (табл. 2.5):

Таблиця 2.5

Кадр	Програмовані дії
Обробка п'яти отворів $\varnothing 20H7$ у плоскій деталі	
Програма % 15; N10G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20G71X0Y0Z10;	Зміщення початку відліку. Встановлення нульової точки деталі
N30S0T08; (zentr. sverdlo D3.15)	Орієнтація шпінделя, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор інструмента
N40G28;	Виїзд в позицію заміни інструмента
N50M06;	Заміна інструмента (в шпінделі центрувальне свердло $\varnothing 3,15$), повернення попереднього інструмента в магазин
N60G91Y-80T11; (sverdlo D19.0)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — свердла $\varnothing 19$
N70G00G90G43D08Z10S1250M03;	Корекція довжини інструмента — центрувального свердла, призначення режимів обробки
N80G00X60Y40;	Вихід в координату отвору 1
N90G82Z-10A10B10 F100;	Центрування отвору 1
N100Y100;	Центрування отвору 2
N110X160;	Центрування отвору 3
N120Y40;	Центрування отвору 4

Продовження табл. 2.5

Кадр	Програмовані дії
N130X110Y70;	Центрування отвору 5
N140G80Z400S0;	Скасування циклу G82, кутова орієнтація шпінделя
N150G28;	Виїзд в позицію заміни інструмента
N160M06;	Заміна інструмента на свердло Ø19, повернення в магазин свердла Ø3,15
N170G91G00Y-80T17; (zenker D19.9)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор зенкера
N180G90G43D11Z10S800M03;	Корекція довжини інструмента — свердла Ø19, призначення режимів обробки
N190G00X60Y40;	Виїзд в координату отвору 1
N200G81Z-31A10B10 F80;	Свердління отвору 1 по циклу G81
N210Q100-160;	Повтор кадрів: повтор операції свердління отворів 2–5, скасування циклу G81, виїзд в позицію заміни інструмента, заміна свердла Ø19 на зенкер Ø19,9; повернення в магазин свердла Ø19
N220G91G00Y-80T28; (zenkovka D24)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — зенківки Ø24
N230G90G43D17Z10S400M03;	Корекція довжини інструмента — зенкера Ø19,9, призначення режимів обробки
N240G81X60Y40Z-28A10B10 F30;	Зенкерування отвору 1 за циклом G81
N250Q100-160;	Повтор кадрів: повтор операції зенкерування отворів 2–5, скасування циклу G81, виїзд в позицію заміни інструмента, заміна зенкера на зенківку Ø24, повернення зенкера в гніздо магазину
N260G91G00Y-80T20; (rozvertka D19.95)	Виїзд з позиції заміни інструмента, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор розвертки Ø19,95
N270G90G43D28Z10S400M03;	Корекція довжини інструмента — зенківки, призначення режимів обробки
N280G81X60Y40Z-2A10B10 F60;	Зенкування фаски отвору 1 за циклом G81
N290Q100-160;	Повтор кадрів: повтор операції зенкування отворів 2–5, скасування циклу G81, виїзд в позицію заміни інструмента, заміна зенківки на розвертку Ø19,95, повернення зенківки в магазин

Закінчення табл. 2.5

Кадр	Програмовані дії
N300G91G00Y-80T24; (rozvertka D19.98)	Виїзд з позиції заміни інструмента, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор розвертки Ø19,98
N310G90G43D20Z10S50M03;	Корекція довжини інструмента — розвертки, призначення режимів обробки
N320G86X60Y40Z-2A10B10 F60;	Розвірчування отвору 1 за циклом G86
N330Q100-160;	Повтор кадрів: повтор операції розвірчування отворів 2–5, скасування циклу G86, виїзд в позицію заміни інструмента, заміна розвертки Ø19,95 на розвертку Ø19,98, повернення розвертки Ø19,95 в магазин
N340G91G00Y-80T04; (rozvertka D20H7)	Виїзд з позиції заміни інструмента, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор розвертки Ø20H7
N350G90G43D24Z10S40M03;	Корекція довжини інструмента — розвертки Ø19,98, призначення режимів обробки
N360G86 X60Y40Z-28A10B10 F40;	Розвірчування отвору 1 за циклом G86
N370Q100-160;	Повтор кадрів: повтор операції розвірчування отворів 2–5, скасування циклу G86, виїзд в позицію заміни інструмента, заміна розвертки Ø19,98 на розвертку Ø20H7, повернення розвертки Ø19,98 у своє гніздо в магазині
N380G91Y-80G00T08; (zentr. sverdlo D3.15);	Виїзд з позиції заміни інструмента, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор центрального свердла для початку обробки наступної деталі
N390G90G43D04Z10S30M03;	Корекція довжини інструмента — розвертки Ø20H7, призначення режимів обробки
N400G89 X60Y40Z-28A10B10 F36;	Розвірчування отвору 1 за циклом G89
N410Q100-140;	Повтор кадрів: повтор операції розвірчування отворів 2–5, скасування циклу G89
N420M30;	Кінець програми з поверненням системи у стан початку обробки

Після розробки програму заводимо в ПЧПК, виконуємо покадрове відпрацювання, контролюємо обробку першої деталі, здаємо контролеру, обробляємо партію.

Приклад 2. Потрібно виконати свердління отворів у деталі «плита», виготовленої зі сталі Ст45, товщиною 15 мм, на верстаті 2254 МФ4 (рис. 2.23).

План операції: центрувати всі отвори; свердлити два отвори $\varnothing 9,5$ (7 і 8); свердлити шість отворів $\varnothing 13$ (1, 2, 3, 4, 5, 6), зняти фаски.

Після вибору системи координат обираємо і розташовуємо в магазині інструмент, визначаємо значення корекції довжини для кожного, заносимо до коректорів за номером гнізда в магазині.

Встановлюємо режими обробки. Складаємо керуючу програму:

```
% 29;
N10G29;
N20G71X0Y0Z10;
N30T29; (ZENTR. SVERDLO D2,5)
N40G28;
N50M06;
N60G91X50T02; (SVERDLO D9,5)
N70G90G43D02Z10S1250M03M08;
N80G82X20Y17,5Z-8A5B5 F160;
N90X80;
N100X110;
N110X140;
N120Y182,5;
N130X80;
N140X50;
N150X20;
N160G80G40Z200S0M09;
N170G28;
N180M06;
N190G91X50T10; (SVERDLO D13)
N200G90G43D10Z10S800;
N210G81X110Y17,5Z-20A5B5F30;
N220X50Y182,5;
```

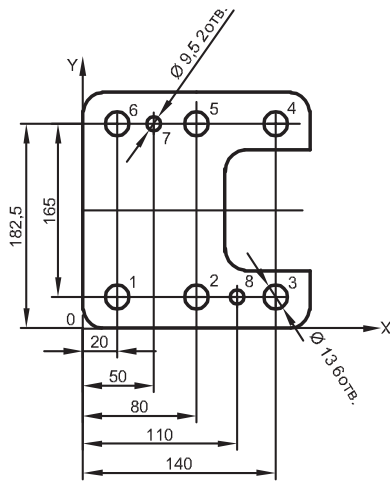


Рис. 2.23. Свердління отворів у деталі «плита»

N230G80G40Z200S0M09;
 N240G28;
 N250M06;
 N260G91X50T29; (ZENTR. SVERD. D2,5)
 N270G90G43D10Z10S630M08;
 N280G81X20Y17,5Z-20A10B10F25;
 N290X80;
 N300X140;
 N310Y182,5;
 N320X80;
 N330X20;
 N340G80G40Z200S0M09;
 N350M02;

Приклад 3. Розглянемо обробку отворів з різних сторін деталі на верстаті 2204ВМФ4 з використанням поворотного стола. В гладкій втулці (рис. 2.24) потрібно просвердлити три поперечні отвори $\varnothing 16$, розташовані на різній відстані від торця втулки і через 120° по колу від її осі.

Технологічний регламент обробки:

- 1) центрування отвору 1 центрувальним свердлом $\varnothing 3,15$;
- 2) свердління отвору 1 свердлом $\varnothing 16$.

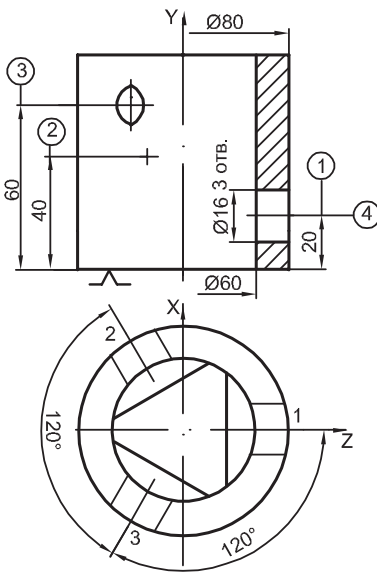


Рис. 2.24. Обробка отворів з різних сторін деталі

Переходи повторити в координатах отворів 2 і 3.

Для обробки закріплюємо деталь на розтискній оправці, де для виходу свердла відфрезеровані під кутом 120° лиски. Оправку попередньо встановлюємо й виставляємо співвісно зі столом, як у прикладі, розглянутому в параграфі 2.4. Лиска для виходу свердла виставлена паралельно осі X.

Щоб виставити деталь відносно осі X, підводимо закріплену в шпінделі оправку по осі Y на задану відстань (20 мм) від базової площини і перевіряємо цю відстань універсальними засобами. За результатами корегуємо положення початку

системи координат ХУ деталі. «Прив'язуємо» зібрані з базовою оправкою свердла по осі Z (в ручному режимі торкаємося кожним оброблюваною поверхні, показання монітора заносимо до відповідного коректора). Визначаємо положення шпінделя по осі Z перед початком робочого ходу (Z + 10).

Програму обробки наведено в табл. 2.6

Таблиця 2.6

Кадр	Програмовані дії
Обробка трьох отворів Ø16 на втулці	
(VTULKA) % 16;	
N10G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20G90G71B0X0Y20Z0;	Кутова орієнтація стола, призначення початку координат деталі по всіх осях, вихід в точку обробки отвору 1, відстань (1)
N30 M95;	Затискання стола
N40S0T08; (zentr. sverdlo D3.15)	Орієнтація шпінделя, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор інструмента
N50G28;	Виїзд в позицію заміни інструмента
N60M06;	Заміна інструмента (в шпінделі центрувальне свердло Ø3,15). Повернення вилученого зі шпінделя інструмента у своє гніздо в магазині
N70G00G91Y-80T11; (sverdlo D16.0)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — свердла Ø16
N80G90G43D08Z10S1250 M03;	Корекція довжини інструмента — центрувального свердла, призначення режимів обробки
N90G82Z-8A1B1F100;	Центрування отвору 1
N100G80G00Z400S0;	Зняття корекції, відведення стола
N120Q50-60;	Повторення кадрів 50–60. Заміна інструмента в шпінделі
N130 G00G91Y-80T08; (sverdlo D3.15)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — свердла Ø3,15
N140G90G43D11Z10 S1000F80M03;	Корекція довжини свердла Ø16, призначення режимів обробки
N150G81X0Y20Z-16;	Свердління отвору 1 Ø16 — поверхня (4)
N160 G80Z400S0;	Зняття корекції, відведення стола
N170G90B120;	Поворот стола на 120° за стрілкою годинника
N175 M95;	Затискання стола
N180G00G09G90Y40F300;	Виїзд в координату обробки отвору 2, відстань (2)
N190Q50-160;	Повтор кадрів — свердління отвору Ø16

Кадр	Програмовані дії
N200G90B240;	Поворот стола на 240° за стрілкою годинника
N205M95;	Затискання стола
N210G00G09G90Y60F300;	Виїзд в координату обробки отвору 3, відстань (3)
N220Q50-160;	Повтор кадрів — свердління отвору $\varnothing 16$ — поверхня (4)
N230M30;	Кінець програми з поверненням системи в стан початку обробки

Якщо оброблювані поверхні з різних сторін деталі розташовані на різних відстанях по осі Z, налагодження і «прив'язка» інструмента по довжині виконуються для кожної сторони окремо. Однакові інструменти або дублюють, якщо дозволяє кількість гнізд у магазині й наявність інструментів, або враховують довжину для кожної сторони значенням координати Z при підведенні до оброблюваної поверхні.

Якщо оброблювана деталь масивна, завантажується на стіл верстата підйомним механізмом, то найбільш раціонально виконувати налагодження на обробку кожної сторони такої деталі окремо, виставляючи її положення поворотом стола виходячи з реального розташування на столі верстата.

Виставивши корпусну деталь на верстаті, з однієї установки виконують усі види обробок, передбачені технологічним процесом.

Отвори обробляють послідовно, в напрямку від основних високоточних до кріпильних, інших допоміжних. На перших переходах (центрування, чорнове свердління) можуть оброблюватися паралельно всі отвори (рис. 2.25).

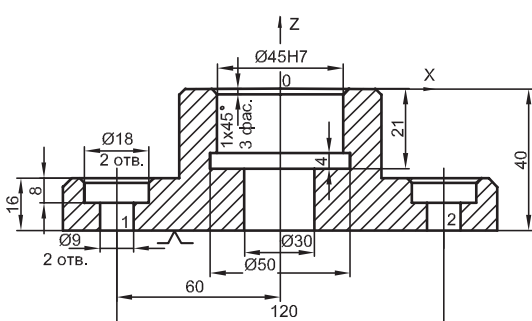


Рис. 2.25. Обробка отворів корпусної деталі

Приклад 4. Потрібно виконати обробку отворів корпусної деталі. Заготовка — остаточно оброблена по зовнішніх поверхнях деталь, виготовлена зі сталі Ст45.

Складаємо технологічний регламент обробки, вибираємо інструмент:

- 1) призначити початок координат на осі отвору $\varnothing 45H7$ (виставляємо по зовнішньому діаметру) в його верхньому торці;
- 2) центрувати всі отвори свердлом центрувальним $\varnothing 3,15$, T08;
- 3) свердлими $\varnothing 30$ остаточно, свердло $\varnothing 30$, T11;
- 4) фрезерувати $\varnothing 45H7$ до $\varnothing 40$ на глибину 20,5 фрезею циліндричною $\varnothing 20$, T17;
- 5) розточити $\varnothing 45H7$ до $\varnothing 44,2$ на глибину 20,8 різцем упорно-розточувальним, T18;
- 6) прорізати канавку $\varnothing 50$ остаточно, витримати глибину $21+0,3$ різцем самовисувним канавковим, T20;
- 7) розточити отвір $\varnothing 45H7$ на глибину 20 остаточно різцем упорно-розточувальним, T21;
- 8) свердлими два отвори $\varnothing 9$ свердлом $\varnothing 9$, T25;
- 9) цекувати два отвори $\varnothing 18$ цеківкою $\varnothing 18$, T27;
- 10) зенкувати фаски $1 \times 45^\circ$ на отворах $\varnothing 18$ зенківкою $\varnothing 20$, T29.

Програму обробки наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Кадр	Програмовані дії
% % 44; (FLANEZ)	
N10G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20G71X0Y0Z10;	Зміщення початку відліку. Встановлення нульової точки деталі
N30S0T08; (zentr. sverdlo D3.15)	Орієнтація шпінделя, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор інструмента
N40G28 M06;	Заміна інструмента (в шпінделі центрувальне свердло $\varnothing 3,15$)
N60G91Y-80T11; (sverdlo D30)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — свердла $\varnothing 30$
N70G00G90G43D08Z10 S1250M03 M08;	Корекція довжини інструмента — центрувального свердла, призначення режимів обробки
N80G82Z-10A5B5 F100;	Центрування отвору $\varnothing 30$
N90 G00X-60;	Виїзд в координату отвору 1
N100G82Z-35A-23B5F0,1;	Центрування отвору 1 $\varnothing 9$
N110G00X60;	Центрування отвору 2 $\varnothing 9$
N120G80Z400S0M09;	Відхід по Z, скасування циклу G82, кутова орієнтація шпінделя

Продовження табл. 2.7

Кадр	Програмовані дії
N130G28 M06;	Заміна інструмента на свердло $\varnothing 30$, повернення свердла $\varnothing 3,15$ в магазин
N140G91G00Y-80T17; (FREZA D20)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор фрези
N150G90G43D11Z10X0Y0 S150M03;	Корекція довжини інструмента — свердла $\varnothing 30$, призначення режимів обробки
N160G81Z-46A10B10 F100M08;	Свердління отвору $\varnothing 30$ за циклом G81
N170G80Z400S0M09;	Відхід по Z, скасування циклу G81, кутова орієнтація шпінделя
N180G28 M06;	Заміна інструмента на фрезу, повернення свердла $\varnothing 30$ в магазин
N190G91G00Y-80T18; (RIZEC UPORNO-ROZT.)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор упорно-розточувального попереднього різця
N200G90G43D17Z10 S500M03;	Корекція довжини фрези, призначення режимів обробки
N210 X10 Z5M08;	Підведення фрези у вихідну точку
N220 G12X10Y0 I0J0Z-20,5 K7F60;	Фрезерування отвору до $\varnothing 40$ гвинтовою інтерполяцією за стрілкою годинника
N230G00Z400S0M09;	Відхід по Z, кутова орієнтація шпінделя
N240G28 M06;	Заміна інструмента на упорно-розточувальний різець попередній, повернення фрези $\varnothing 30$ в магазин
N250G91G00Y-80T20; (RIZEC KANAVKOV.)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження канавкового різця
N260G90G43D18Z10X0Y0 S500M03;	Корекція довжини упорно-розточувального різця, призначення режимів обробки
N270G01G09X0; (R22,1) N271Z2F500M08;	Підведення різця в початок обробки
N280Z-20,8F120;	Розточування отвору до $\varnothing 44,2$ довжиною 20,8
N300G00Z400S0M09;	Відвід різця по Z, кутова орієнтація шпінделя
N310G28 M06;	Заміна інструмента на самовисувний канавковий різець, повернення упорно-розточувального різця в магазин
N320G91G00Y-80T21; (RIZEC UPORNO-ROZT.)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор упорно-розточувального остаточного різця
N330G90G43D20Z10;	Корекція довжини самовисувного канавкового різця
N340 G00X0Y0Z5M08;	Підведення різця до деталі
N350G01 Z-21 F200;	Підведення різця в точку початку обробки

Продовження табл. 2.7

Кадр	Програмовані дії
N360S800M03 F40; (R25)	Розточування канавки
N370M05;	Виведення різця з канавки
N380G00Z400S0M09;	Відвід по Z, кутова орієнтація шпінделя
N390G28 M06;	Заміна інструмента на упорно-розточувальний різець остаточний
N400G91G00Y-80T25; (SVERDLO D9)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження свердла Ø9
N410G90G43D21Z10 S500 M03;	Корекція довжини упорно-розточувального різця, призначення режимів обробки
N420 G00X0Y0Z5;	Підведення різця до деталі
N430 G01G09Z1 F100M08;	Підведення різця в початок обробки
N440Z-21,2F80;	Розточування отвору Ø45H7 остаточне
N460G00Z400S0M09;	Відвід різця по Z, кутова орієнтація шпінделя
N470G28 M06;	Заміна інструмента (в шпінделі свердло Ø9)
N480G91Y-80T27; (ZEKIVKA D18)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — цеківки Ø18
N490G00G90G43D25Z10 S1000M03 M08;	Корекція довжини інструмента — свердла Ø9, призначення режимів обробки
N500 G00X-60;	Виїзд в координату отвору 1
N510G81Z-45A-23B5 F0,1;	Свердління отвору 1 Ø9
N520G00X60;	Свердління отвору 2 Ø9
N530G80Z400S0M09;	Відхід по Z, скасування циклу G81, кутова орієнтація шпінделя
N540G28 M06;	Заміна інструмента на цеківку Ø18, повернення свердла Ø9 в магазин
N550G00G91Y-80T29; (ZENKIVKA D20)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — зенківки Ø20
N560G00G90G43D27Z10 S1000M03 M08;	Корекція довжини інструмента — цеківки Ø18, призначення режимів обробки
N570 G00X-60;	Виїзд в координату отвору 1
N580G81Z-32A-23B5 F0,1;	Цекування отвору 1 Ø18
N590G00X60;	Цекування отвору 2 Ø9
N530G80Z400S0M09;	Відхід по Z, скасування циклу G81, кутова орієнтація шпінделя
N540G28 M06;	Заміна інструмента на зенківку Ø20, повернення цеківки Ø18 в магазин

Закінчення табл. 2.7

Кадр	Програмовані дії
N550G91Y-80T08; (SVERDLO D3.15)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — центрувального свердла $\varnothing 3,15$
N560G00G90G43D29Z10 S1000M03 M08;	Корекція довжини інструмента — зенківки $\varnothing 20$, призначення режимів обробки
N570 G00X-60;	Виїзд в координату отвору 1
N580G81Z-25A-23B5 F0,1;	Зенкування фаски на отворі 1 $\varnothing 18$
N590G00X60;	Зенкування фаски на отворі 2 $\varnothing 18$
N600G80Z400S0M09;	Відхід по Z, скасування циклу G81, кутова орієнтація шпінделя
N610M05 X250;	Зупинка шпінделя, знімання деталі
N620M30;	Кінець програми

Якщо ОЦ обладнаний пристроєм ЧПК «FANUK», можна за спеціальною програмою виконувати обробку ланцюжка однакових отворів (див. рис. 2.26).

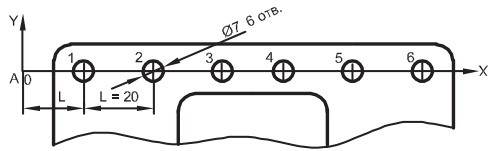


Рис. 2.26. Обробка ланцюжка отворів

Формат кадру: G91 G81 X...Y...Z...R...L...n...F;
 Позначення функцій, як у 2С-42, а параметри:
 R — відіграє роль А і В у 2С-42;
 L — відстань між отворами;
 n — кількість отворів.

Приклад 5. Розглянемо програму обробки шести отворів у плоскій деталі, виготовленій зі сталі Ст3, товщиною 10 мм.

Для використання можливості ланцюжкового програмування виносимо початок координат на відстань L від першого отвору, тоді програма буде такою:

```
% 3
N10 G29;
N20 G71 X20 Y0 Z10;
N30 S0 T08; (ZENTR. SVERDLO D3,15)
N40 G28;
N50 M06;
N60 G00G91 Y-80 T11; (SVERDLO D7)
N70 G90 G43 D08 Z10 S1250 M03;
N75 M08;
```

N80 G91 G82 X20 Y0 Z-8 R5 L20 n6 F80;
 N85 M09;
 N90 Z400 S0;
 N100 Q40-50;
 N110 G91G00 Y-80 T08; (ZENTR. SVERDLO D3,15)
 N120 G90 G43 D11 Z10 S1000 M03;
 N130 M08;
 N140 G91 G82 X20 Y0 Z-14 R5 L20 n6 F80;
 N145 M09;
 N150 Z400 S0;
 N160 G80;
 N170 M30;

Програмування обробки отворів у полярній системі координат на ОЦ 2204ВМФ4 з пристроєм ЧПК «FANUK» (див. рис. 2.27) найчастіше використовується для свердління кріпильних отворів на круглих деталях типу кришки. Для цього в ПЧПК «FANUK» передбачено спеціальну макропрограму з номером P9200, G65 — команда переходу до полярного відліку координат.

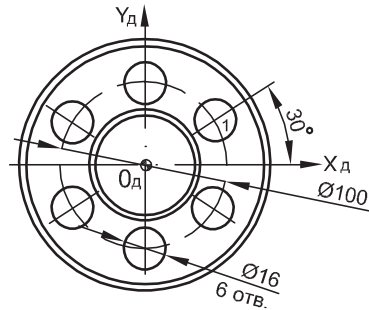


Рис. 2.27. Програмування обробки отворів у полярній системі координат

Формат кадру: G65P9200WАНCFZR;
 де P9200 — номер макропрограми;

W — радіус кола, на якому розташовані отвори;
 A — початковий кут між отвором 1 і віссю координат X;
 H — число отворів;

C — номер постійного свердлильного циклу, який треба застосувати;

F — подача;

Z — глибина свердління;

R — координата по Z підходу до оброблюваної поверхні прискореним рухом.

Початок координат завжди міститься на осі кола розташування отворів.

Приклад 6. З урахуванням викладеного розглянемо обробку деталі, виготовленої зі сталі Ст45, товщиною 6 мм. Враховуючи незначну товщину деталі й невелику точність розташування отворів, виконуватимемо відразу остаточне

свердління отворів $\varnothing 16$ мм без попереднього центрування.
Програма матиме вигляд:

% 17; (KRISHKA)
N10 G29;
N20 G71 X0Y0Z10;
N30 S0 T09; (SVERDLO D16)
N40 G28 M06;
N60 G00G91 Y-80;
N70 G90 G43 D09 Z10 S1000M03;
N80 M08;
N90 G65 P9200 W50 H6 C81 F100 Z-9 R5A30;
N100 M09;
N110 Z400 M05;
N120 G80;
N130 M30;

Приклад 7. Програмування обробки прямокутного масиву («решітки») отворів розглянемо для верстата з системою ЧПК «Sinumeric». В цій системі таку обробку можна виконати за допомогою циклу CYCLE801, згідно з яким в програмі вказуються координати опорної точки — вісь отвору масиву, від якої відраховуються відстані між стовпчиками та рядками (рис. 2.28, а), їх кількість та кут нахилу «решітки» до осі абсцис.

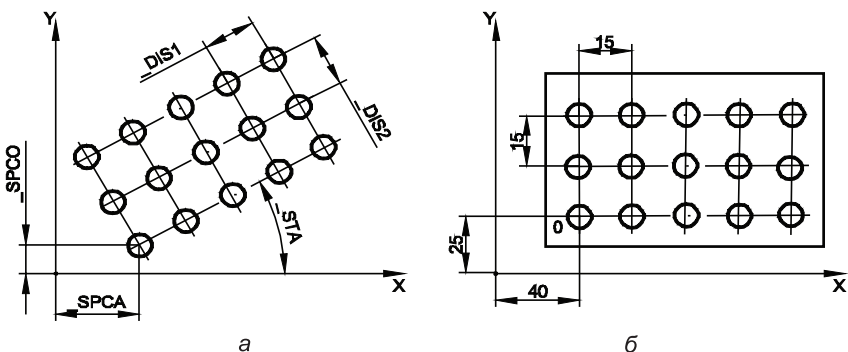


Рис. 2.28. Програмування обробки прямокутного масиву отворів

Формат циклу: CYCLE801 ($_SPCA$, $_SPCO$, $_STA$, $_DIS1$, $_DIS2$, $_NUM1$, $_NUM2$);

де `_SPCA` — абсциса опорної точки;
`_SPCO` — ордината опорної точки;
`_STA` — кут нахилу прямокутника масиву отворів до осі X, відраховується і програмується в градусах;
`_DIS1` — відстань між стовпчиками;
`_DIS2` — відстань між рядками;
`_NUM1` — кількість стовпчиків;
`_NUM2` — кількість рядків.

Розміри отвору і технічні вимоги забезпечуються через введення в програму модальних циклів його обробки. Якщо для обробки отвору треба задіяти кілька свердлильних циклів, вони використовуються в необхідній послідовності з обходом масиву кожним інструментом за циклом `CYCLE801`.

Цикл `CYCLE801` самостійно визначає послідовність обробки отворів так, щоб мінімізувати холості пробіги між ними. Координати опорної точки відраховуються від останньої координати в програмі перед початком обробки масиву.

В табл. 2.8 наведено фрагмент програми свердління прямокутного масиву з 15 отворів діаметром 6 мм (див. рис. 2.28, б) на верстаті з пристроєм ЧПК «Sinumeric-840», відстань до опорної точки $O(X40; Y25)$, кут нахилу до осі X — 0° , відстань між стовпчиками — 15 мм, між рядками — 15 мм, кількість стовпчиків — 5, рядків — 3.

Таблиця 2.8

Кадр	Програмовані дії
N10 T2 D1 G90 F900 S4000 M3; (SVERDLO 6)	Абсолютна система координат. Вибір інструмента, призначення режимів різання
N20 MCALL CYCLE82 (10, 0, 1, -18, 18, 0);	Свердлильний цикл G82. A=10, початок свердління Z=0, відступ від нульової площини на безпечну відстань 1 мм, глибина свердління 18 мм, витримка в кінці ходу 0 с
N30 CYCLE801 (40, 25, 0, 15, 15, 5, 3);	В дужках вказані вищезазначені параметри розташування отворів
N40 M30;	Кінець програми

2.15. Оптимізація програмування: повтор кадрів, підпрограма, поворот осей, віддзеркалювання та інші способи

Повтор кадрів. Якщо в тексті програми або підпрограми є частини, що програмуються однаковими кадрами, характерними тільки для даної деталі, то ця частина програми повторюється за допомогою адреси Q і номерів кадрів, що її обмежують (див. у прикладі програм %15 (Q100–160) і %16 (Q50–160)). Якщо послідовність кадрів має повторитися кілька разів, команду на повторювання позначають «Н» + кількість повторів. Наприклад, Q100–160Н4 — кадри з № 100 по № 160 будуть відпрацьовані чотири рази підряд.

Підпрограма (ПП) — частина програми, обмежена кадрами, які періодично повторюються за змістом і послідовністю. Через функцію підпрограми (L) головна керуюча програма може викликати з пам'яті пристрою ЧПК іншу програму (підпрограму) і виконувати її необхідну кількість разів. Якщо керуюча програма містить часто повторювані дії, то використання підпрограм дозволяє значно спростити її розробку і зменшити обсяг.

Математичне забезпечення пристрою ЧПК 2С-42 може викликати з тексту ПП наступну ПП. При цьому неодмінною умовою є виконання принципу вкладання (матрьошки), тобто ПП2, викликана із ПП1 після відпрацювання і команди кінця підпрограми M20, має повернути обробку ПП1 з наступного після того, що містить команду L02, кадру. Підпрограма ПП1 так само після команди M20 має повернути обробку головній програмі після кадру, що містить команду L01.

Описану схему наведено в табл. 2.9, де послідовність дій позначено стрілками.

Таблиця 2.9

Головна програма %A	Підпрограма L01	Підпрограма L02
N50G43T08D08Z5S630M03;	N10G01X5Y80 F80;	N10G01X4Y70 F80;
N60G00X40Y70;	N20G03X90R20;	N20 X90;
N65M08;	N30G01X90;	N30G00Y70;
N70G01X90F80;	N40X100Y20;	N40G01X100Y20;
N80X100Y20;	N50L02;	N50Z5;
N90L01;	N60 Z-5;	N60M20;
N100M09;	N70 X20Y100;	
N110Z400M05;	N80 M20;	
N120X200Y200;		
N130M30;		

Розглянутий у наведеному вище прикладі (див. табл. 2.5) повтор кадрів можна реалізувати через підпрограми L1 і L2:

L1	L2
N11Y100;	N17G28;
N12X160;	N18M06;
N13Y40;	N19M20;
N14X110Y70B0;	
N15G80Z400S0;	
N16M20;	

Тоді програма обробки тих самих п'яти отворів Ø20H7 матиме вигляд:

% 5;	N260G91Y-80T20; (rozvertka 19.95)
N10G29;	N270G90G43D28Z10S400F60M03;
N20G71(X350Y250Z400);	N280G81 X60Y40Z-2A10B10;
N30S0T08; (zentr. sverdlo D3.15)	N281L1;
N40G28;	N282L2;
N50M06;	N300G91Y-80T24; (rozvertka 19.98)
N60G91Y-80T11; (sverdlo D19.0)	N310G90G43D20Z10S50F60M03;
N70G90G43D08Z10S1250F100M03;	N320G86 X60Y40Z-2A10B10;
N80X60Y40;	N321L1;
N90G82Z-10A10B10;	N322L2;
N95L1;	N340G91Y-80T04; (rozvertka 20H7)
N96L2;	N350G90G43D24Z10S40F40M03;
N170G91Y-80T17; (zenker D19,9)	N360G86 X60Y40Z-28A10B10;
N180G90G43D11Z10S800F80M03;	N361L1;
N190X60Y40;	N362L2;
N200G81Z-31A10B10;	N380G91Y-80T08; (zentr. sverdlo D3.15)
N201L1;	N390G90G43D04Z10S30F36M03;
N202L2;	N400G86 X60Y40Z-28A10B10;
N220G91Y-80T28; (zenkivka D24)	N401L1;
N230G90G43D17Z10S400F30M03;	N420M30;
N240G81X60Y40Z-28A10B10;	
N241L1;	
N242L2;	

Підпрограми можуть бути *локальними* — такими, що належать лише до однієї програми (розглянутий приклад), і *глобальними* — частини програми спільні для багатьох програм. Глобальні програми можуть математично забезпечуватися через пристрій ЧПК (наприклад — свердлильні цикли, макропрограма обробки отворів у полярній системі координат та ін.). Підпрограма також може виконуватися кілька разів

підряд. Для повтору використовується та сама функція «Н» з однозначним числом повторів. Наприклад: N120L25H4;

У сучасних пристроях ЧПК, наприклад «FANUK», передбачено такі методи оптимізації, як **поворот координатних осей**. Використовується цей метод під час обробки великих масивних деталей, для яких легше і швидше повернути координатні осі по напрямку базових поверхонь, ніж втрачати час на виставлення деталі.

Для обробки осесиметричних елементів деталі (див. рис. 2.29) у тому ж «FANUK» передбачено функцію **віддзеркалювання G51**.

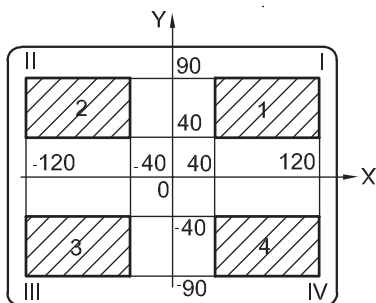


Рис. 2.29. Обробка осесиметричних елементів деталі з використанням функції віддзеркалювання

Використовуючи цю функцію, фрезерування по контуру чотирьох платиків (1, 2, 3, 4) висотою 4 мм можна запрограмувати так: призначити початок координат, як показано на рис. 2.29, розробити програму обробки 1-го платика у квадранті I і використовувати її як підпрограму; в головній програмі запрограмувати перехід між квадрантами з урахуванням знаків координат, наприклад, команда G51 X-1 Y1 M98 викличе обробку контуру з підпрограми

симетрично відносно осі Y (у квадранті II). Для цього математичне забезпечення ПЧПК автоматично перемножить значення координати X на «-1». Крім того, система після вводу в програму команди G51, залежно від знака при X і Y, автоматично переключить у потрібному напрямку команди корекції радіуса фрези G41 на G42 чи G42 на G41. Аналогічні дії відбудуться і з командами кругової інтерполяції G02 і G03. Тоді програма обробки чотирьох платиків набуде вигляду:

N10 G29;

N20 G00 G90 G71X0 Y0;

N30 S0 T03; (FREZA D16)

N40 G28 M06;

N45 G43 D01 Z10 G97 S630 M03;

N50 M08;

N55 M98 P110; — ввід підпрограми P110, обробка у квадранті I;

N70 G51 X-1 Y1; — віддзеркалення відносно осі Y;
N80 M98 P110; обробка у квадранті II;
N90 G51 X-1 Y-1; — віддзеркалення відносно осі X;
N100 M98 P110; обробка у квадранті III;
N110 G51 X1 Y-1; — віддзеркалення відносно осі Y;
N120 M98 P110; обробка у квадранті IV;
N125 M99;
N130 G00 Z150 M09;
N140 G70 G40;
N150 G00X250 M05;
N160 M30;

Підпрограма P110

N10 G64 G01 G90 X40 Y35 G41 D31 F100;
N20 Z-5;
N30 Y90;
N40 X120;
N50 Y40;
N60 X40;
N70 M99;

Розробляючи підпрограму, початок координат призначають такий, як у головній програмі. Якщо елемент віддзеркалювання має свою систему координат, її треба врахувати в головній програмі, — значення X і Y будуть результатом множення «-1» або «1» на координати початку системи координат елемента в головній програмі.

Для обробки деталей, однакових за формою, але різних за розмірами, у пристрої ЧПК «FANUK» передбачено функцію *масштабування* G38. Наприклад, фрезерування шестигранника на токарному верстаті з автономно приводним шпінделем (див. параграф 3.15). Розробивши програму обробки одного шестигранника, через масштаб можна перейти до обробки шестигранників усіх розмірів, використовуючи їх відношення до розміру шестигранника 20 (підпрограма 7020 буде для всіх спільною).

2.16. Параметричне програмування

У програмі замість числових значень біля адреси координати можуть використовувати їх параметричне позначення «P» із двозначним числом. Завдяки цьому з'являється можливість створення програм, які описують обробку контурів і повер-

хонь, що збігаються за формою, а відрізняються лише розмірами. У програмі можна вводити арифметичні дії між параметрами або між параметром і числом. Наприклад, програма обробки контуру (див. рис. 2.12) в параметрах буде такою:

```
% 5A;  
N5P1(10)P2(40)P3(40)P4(0)P5(20)P6(30)P7(40)P8(40);  
N10G00G90X0Y0;  
N20G43D01Z(-P1)F400S600;  
N30G01G44D32X(P2)G44D32Y(P3);  
N40G91G43Y(P5+P6);  
N50G43X(P7);  
N60Y(-P6);  
N70X(P8);  
N80G44Y(-P5);  
N90G44X(-P7-P8);  
N100D00X0D00Y0;  
N110G00Z0;
```

Параметри P2–P8 вказані на рис. 2.12, параметр P1 — переміщення фрези по Z для обробки контуру деталі.

Програма знімання заходів (% 12, табл. 2.2) в параметрах матиме вигляд:

```
% 3A  
(P1 — RADIUS VPADIN)  
N5P1(120.0);  
(P2 — RADIUS FREZI)  
N6P2(10.0);  
(P3 — NEDOYIZD)  
N7P3(10.0);  
(P4 — KROK RIZBI)  
N8P4(5.0);  
(KILCE — P2+P3)  
(PROBKA — P2-P3)  
N10G90G71XOY(-P1+P2+P3)E01;  
N20G43D01Z0S1500M03;  
N30G01Y(-P1+P2)F400;  
(PRAVIY — G12)  
(LEVIY — G13)  
N40G12X0Y(-P1+P2)I0J0K(P4)Z(-P4)F500;  
N50G01Y(-P1+P2+P3)F1000;  
N60G00Z150M05;  
N70X-150Y200;  
N80M02;
```

У програмі передбачено знімання заходів із внутрішньої (кільце) та із зовнішньої (пробка) різьби, правої і лівої. Арифметичні дії між параметрами забезпечують правильне позиціонування фрези під час обробки.

Значення параметрів задається з пульта або в тексті програми.

Недоліком параметричного програмування вважається неможливість перевірки програми в параметрах (без їх числових значень) через комп'ютерну програму бекплотом або верифікацією. Для цього потрібно ввести конкретні значення параметрів, отримати звичайну програму і виконати її перевірку відомими методами.

2.17. Обробка плоских поверхонь.

Підсумовуюча програма обробки на свердильно-фрезерно-розточувальному центрі

Обробка плоских поверхонь на верстатах з ЧПК проводиться переважно кінцевими і торцевими фрезами.

Залежно від розташування відносно інших елементів деталі оброблювані площини поділяються на:

— відкриті — фрезу для обробки можна заводити з усіх сторін оброблюваної поверхні. В таких випадках застосовують торцеві фрези зі змінними твердосплавними пластинами;

— напіввідкриті площини — є сторони, через які введення фрези для обробки неможливе. Фрезерування може виконуватися торцевими й кінцевими фрезами;

— закриті площини — обмежені з усіх сторін стінками, інструмент у зону обробки можна ввести лише зверху врізанням (шпонкові пази) або через заздалегідь підготовлений отвір. Для обробки використовують тільки кінцеві фрези.

Фрезерування відкритих площин виконують торцевими фрезами, оснащеними швидкозамінними квадратними, ромбічними, п'ятигранними, круглими твердосплавними пластинами. Для знімання великого об'єму металу рекомендовано застосовувати твердосплавні пластини круглої форми, які покращують процес різання за силовими характеристиками, дають змогу водночас працювати з великими глибинами різання і подачами, підвищують таким чином продуктивність обробки. Круглі пластини використовують під час фрезерування важко-оброблюваних матеріалів: титан, жароміцні сплави.

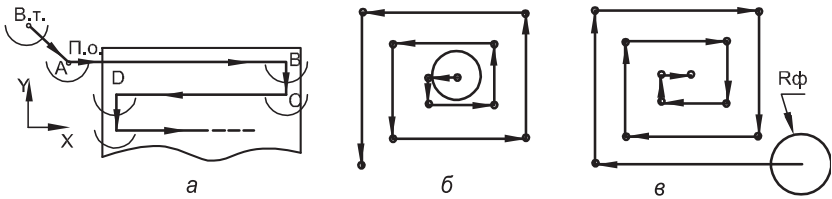


Рис. 2.30. Фрезерування відкритої поверхні:
a — зигзагоподібна схема; *б, в* — спіралеподібні схеми

Програмують обробку відкритої поверхні в параметрах. Вихідну точку по осях X і Y вибирають у зручному для оператора місці. Початок фрезерування по осі Z обирають так, щоб відношення повного припуску до призначеної глибини фрезерування на одному проході було кратним цілому числу, або, враховуючи вимоги до оброблюваної поверхні, останній прохід програмують зі зменшеною глибиною фрезерування і подачею. Щоб отримати поверхню з низькою шорсткістю, застосовують торцеві фрези із пластинами з мінералокераміки ВОК70 або ВОК71. Обирають напрям фрезерування — в одну чи дві сторони. У програму, розроблену в параметрах, підставляють їх значення залежно від оброблюваної поверхні деталі. Схему такої обробки наведено на рис. 2.30, *a* і в табл. 2.10.

Така схема знімання припуску називається *зигзагоподібною*. Через простоту програмування вона є найпоширенішою, хоча має певні недоліки: робочі рухи в процесі обробки здійснюються у протилежні сторони, створюючи змінний характер фрезерування — по і проти подачі, що негативно впливає на точність обробки і шорсткість поверхні.

Обробка за такою схемою можлива також лише в одну сторону, потім відбувається повертання фрези прискореним рухом з відводом по осі Z і наступний робочий хід (відома як Ш-схема). Незважаючи на очевидний недолік — збільшення трудомісткості процесу, значно покращується якість обробки, тому цю схему використовують для фінішних проходів.

Зигзагоподібна схема має багато зломів на траєкторії, розгонів, гальмувань, в результаті — збільшену трудомісткість.

Таблиця 2.10

Кадр	Програмовані дії
% 20; (Фрезерування відкритої плоскої поверхні торцевою фрезею)	
N10G00X(P10)Y(P11);	Вихідна точка. P10 і P11 — координати, вибрані довільно
N20G43D01Z0F300S500M03;	Корекція довжини інструмента, призначення режимів
N30G90G44D61X(P1)G43D61Y(P2);	Рух в точку початку обробки (П.о.), P1 і P2 — координати точки П.о. по X та Y (по Y фреза виходить за межі поверхні обробки на (0,15–0,20) Dф (діаметр фрези)
N40G00G91Z(-P8);	Набір глибини фрезерування на першому проході — P8
N60G90G01X(P4+20);	P4 — робочий хід в точку B, 2 мм — перебіг по осі X
N70G91Y(-P3);	Рух по Y на ширину фрезерування P3, що становить (0,7–0,8) від Dф
N80G90X(P1-20);	Робочий хід по X в точку D, 20 мм — перебіг
Так продовжується до закінчення обробки по першому шару припуску	
NnG00G90G44D61X(P1)G43D61Y(P2);	Повернення в точку П.о. по X і Y
N(n+1)Q40-80;	Знімання другого шару припуску. Повторюється до повної обробки
N(n+m)M30;	

Спіралеподібна схема фрезерування характеризується тим, що обробка ведеться круговими траєкторіями інструмента вздовж зовнішньої границі, змінюючи відстані між витками спіралі на крок, що дорівнює 0,8 від діаметра фрези, в напрямку до центру поверхні (рис. 2.30, а) або від центру до граничних обмежень (рис. 2.30, б). Ця схема вигідно відрізняється від зигзагоподібної більш плавним характером обробки. Вона забезпечує незмінний напрям фрезерування (по подачі або проти) і не викликає додаткових (крім тих, що на контурі) зламів траєкторії руху фрези. Для обробки «від центру» під захід фрези, як правило, свердлиться отвір.

Якщо оброблювана поверхня круга, то спіралевидна схема перетворюється у спіраль Архімеда, яку важко запрограмувати в ручному режимі математично, тому для круглих поверхонь, передусім вибірок, обробку виконують круговими траєкторіями у вигляді спряжених дуг, якщо програмування ручне.

Під час обробки потужними фрезами великих поверхонь важливо до закінчення процесу не виводити фрезу з металу, щоб не створювати додаткових ударів від врізання. В ході торцевого фрезерування треба також уникати поверхонь з пазами й отворами, бо в місцях зустрічі з ними різальні крайки працюватимуть у незадовільних умовах переривчастого різання. Тому бажано отвори й вибірки виконувати після фрезерування площини, а якщо це неможливо, при підході до такої поверхні треба знизити подачу до 50 % від рекомендованої.

Якщо діаметр фрези перевищує ширину оброблюваної поверхні, для обробки за один прохід вісь фрези треба змістити з осі симетрії, оскільки циклічність колювання сили різання під час врізання й на виході призведуть до вібрацій, унаслідок яких частіше ламаються пластини і погіршується шорсткість поверхні.

Фрезерування напіввідкритих площин виконується кінцевими фрезами за схемою «стрічка» (див. рис. 2.31). Під час обробки за такою схемою глибоких контурів чи високих уступів важливо забезпечити достатню жорсткість інструмента, щоб уникнути його відгинання і, як результат, отримати нахил оброблюваної поверхні, більший за допустимий. Тому бажано, щоб діаметр фрези D задовольняв таку умову: $H < 2,5D$, де H — максимальна висота оброблюваної стінки. Обробку кутів такої

поверхні по радіусу потрібно виконувати фрезою радіусом, меншим за радіус контуру, щоб виключити можливі вібрації в цьому місці через різке збільшення кута обхвату фрези.

Важливим моментом є врізання. Підведення фрези і набір глибини різання, особливо на чистових проходах і за високошвидкісної обробки, треба виконувати плавно, по радіусу, щоб не спричинити поломку фрези або значні дефекти поверхні. Найбільш технологічним є вхід фрези прямо або по дузі іззовні (програмується циклами G64, G65, G66 або командами G02, G03). Для обробки закритих поверхонь це виконати неможливо, і тому врізання здійснюється торцем

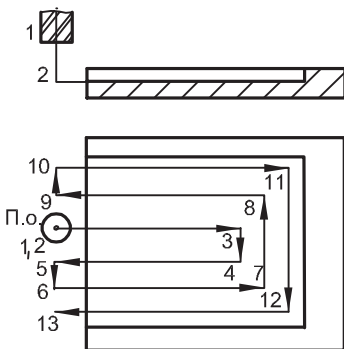


Рис. 2.31. Фрезерування напіввідкритої поверхні

фрези або через попередньо просвердлений отвір. Врізання торцем фрези не завжди можливе за її конструктивними можливостями. Крім того, цей метод неефективний, оскільки фрези погано працюють на свердління, тому застосовують попереднє засвердлювання поверхні або маятникове чи спіральне (кругла вибірка) врізання, за якого глибина різання поступово зростає впродовж проходу.

Фрезерування закритої поверхні розглянемо на прикладі фрезерування наскрізного вікна в стінці циліндричної втулки з товщиною стінки 5 мм (рис. 2.32). Вікно строго орієнтоване відносно інших елементів деталі. Деталь типова, вікна відрізняються лише розмірами B , L та кутом α , тому програму вигідно розробляти в параметрах.

З метою дотримання вимог до точності обробка виконується в послідовності:

1) «пробивання вікна» зворотно-поступальними рухами кінцевої фрези між точками а і б. Обробка починається з координати «0» — це найвища точка на циліндричній поверхні, таким чином забезпечується поступовість врізання фрези;

2) обхід тою ж фрезою контуру вікна. Для цього діаметр фрези зменшують на припуск під остаточну обробку обходом по контуру. Так, для вікна з розмірами $L = 24$, $B = 12$ вибираємо кінцеву фрезу $\varnothing 10,8$, щоб забезпечити припуск на остаточну обробку 0,6 мм на стороні.

Параметри траєкторії руху фрези вираховуємо від розмірів вікна через математичні залежності з рис. 2.32:

$$P3 = \frac{L - B}{2} \sin \alpha, P4 = \frac{L - B}{2} \cos \alpha, P5 = P3, P6 = P4,$$

$$P7 = \frac{B}{2} \cos \alpha, P8 = \frac{B}{2} \sin \alpha.$$

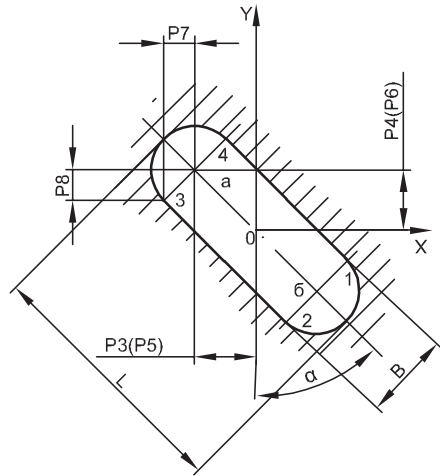


Рис. 2.32. Фрезерування закритої поверхні

Якщо програму розробляти у спеціальній комп'ютерній програмі, розрахунки виконуються автоматично, а програма обробки матиме вигляд:

% 32;
N40P3(8,076);
N45P4(4.679);
N50P5(P3);
N52P6(P4);
N54P7(2.700);
(FREZA 10.8)
N62G90X0Y0;
N64G43D01Z10S600F300M08;
N67G91G01X(-P3)Y(P4);
N68G90Z0;
N69G91G09X(P3+P3)Y(-P4-P4)Z-0.25F250;
N70G09X(-P3-P3)Y(P4+P4)Z-0.25;
N72Q69-70H20;
N73G90G01X0Y0;
N77Q200-212;
N200G91G01G64X(P7+P5)Y(-P6+P8)G42D32F25;
N202G02X(-P7-P7)Y(-P8-P8)I(-P7)J(-P8)F15;
N205G09 G01X(-P5-P5)Y(P6+P6)F25;
N206G02X(P7+P7)Y(P8+P8)I(P7)J(P8)F15;
N208G09G01X(P5+P5)Y(-P6-P6)F25;
N210G90X0Y0D00F300;
N212G00G90Z2;
N78G90G00Z200M05M09;
N80G90X200;
N82M02;

Фрезерування скосів та уклонів на верстатах з ЧПК, як і на універсальних верстатах, виконують:

- нахилом деталі на потрібний кут за допомогою спеціальних пристосувань;
- використанням, коли це можливо, спеціальних кутових фрез;
- на фрезерному верстаті зі шпінделем, поворотним у вертикальній площині, в тому числі й за програмою.

Розглянемо підсумковий приклад обробки деталі (рис. 2.33) на ОЦ 2254ВМФ4 із застосуванням розглянутих операцій.

Матеріал деталі — сталь 45, заготовка — попередньо оброблена по контуру плита товщиною 50 мм. Інструмент: кінцеві фрези, свердла.

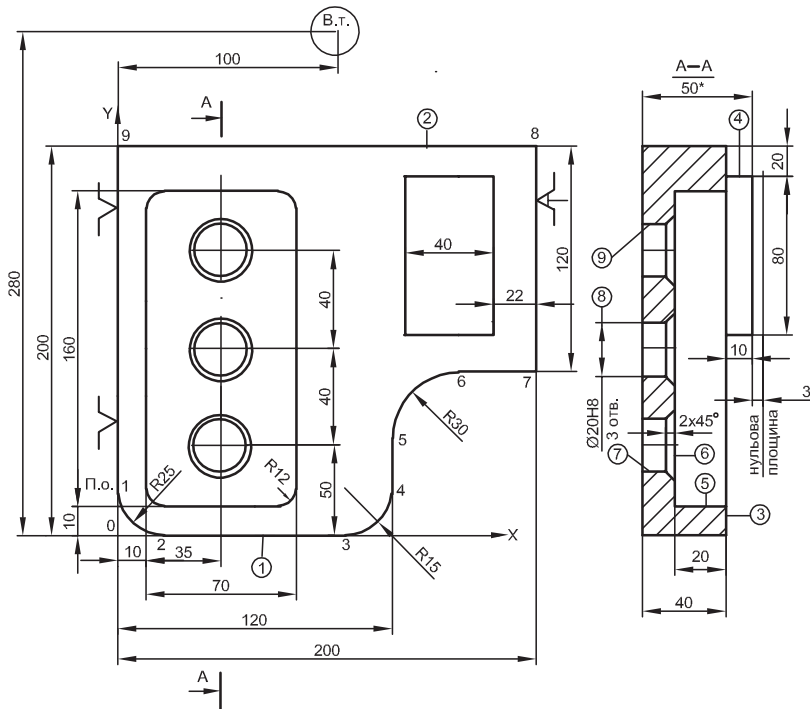


Рис. 2.33. Обробка комплексної деталі «плита»

Для обробки деталь затискуємо в лещатах за попередньо оброблені поверхні.

План операції:

1) обробку контуру: П.о—1—2—3—4—5—6—7 виконати за два проходи з глибиною різання на кожному 28 мм. Оберти шпінделя — 630 об./хв за стрілкою годинника, робоча подача — 60 мм/хв;

2) обробку контуру 8—9 (на рис. поверхня 2) виконати за тими самими режимами;

3) обробку плоскої поверхні 3 виконати за два проходи з глибиною різання на першому проході 7 мм, на другому — 3 мм. Врахувати положення нульової площини по Z — +3 мм. Оберти шпінделя — 630 об./хв за стрілкою годинника, подача — 60 мм/хв;

4) обробку контуру виступу 40×80 (поверхня 4) виконати за тими самими режимами;

5) обробку вибірки 70×160 (поверхні 5, 6) виконати попередньо за чотири проходи з глибиною різання 20 мм і ра-

діальною подачею 5 мм. Оберти шпінделя — 630 об./хв за стрілкою годинника, поздовжня робоча подача — 60 мм/хв;

6) виконати контурну обробку вибірки (поверхня 5) з глибиною різання 20 мм; оберти шпінделя — 630 об./хв за стрілкою годинника, поздовжня робоча подача — 60 мм/хв;

7) виконати обробку трьох отворів (поверхні 7, 8, 9) Ø20H8.

Для обробки зовнішнього контуру застосуємо кінцеву фрезу Ø30 (T01), для обробки площини і контуру виступу 40×80 попередньо і остаточно — кінцеву фрезу Ø60 (T02), для обробки вибірки — кінцеву фрезу Ø20 (T03), для формування технологічного отвору для заходу фрези під час фрезерування вибірки — свердло Ø20 (T10). Для обробки отворів Ø20H8 вибираємо: свердло Ø19 (T04), зенкер Ø19,95 (T05), розвертку Ø20H8 (T06), зенківку для знімання фасок Ø25 (T07).

Програму обробки наведено в табл. 2.11.

Таблиця 2.11

Кадр	Програмовані дії
% 22; (PLITA)	
N10G29;	Вихід в постійні (нульові) точки верстата
N20G71X0Y0Z5T01S0; (FREZAD30)	Вибір системи координат деталі, пошук інструмента T01, кутова орієнтація шпінделя
N30G28M06;	Вихід в позицію заміни інструмента. Заміна
N40G00X-50Y25;	Вихід в точку початку обробки контуру по X і Y
N45G43D01Z10S630M03;	Корекція довжини інструмента, призначення швидкості різання
N50Z-28;	Набір глибини фрезерування контуру
N60G90G01G65 X0Y25G42D31F60;	Вихід на еквідистанту, корекція радіуса фрези при обході контуру праворуч, робоча подача
N70G03X25Y0R25;	Обробка контуру 1 між опорними точками 1—2 радіусом R25 мм, кругова інтерполяція проти стрілки годинника
N80G01X105;	Між точками 2—3 лінійна інтерполяція
N90G03X120Y15R15;	Між точками 3—4 кругова інтерполяція R15 проти стрілки годинника
N100G01Y50;	Між точками 4—5 лінійна інтерполяція
N110G02X150Y80R30;	Між точками 5—6 кругова інтерполяція R30 за стрілкою годинника
N120G01X200;	Між точками 6—7 лінійна інтерполяція

Продовження табл. 2.11

Кадр	Програмовані дії
N130G66Y60F1000;	Відвід фрези по X, Y
N140G00Z10;	Відвід фрези по Z
N150Y250;	Перехід до обробки поверхні 2 від точки 8
N160Z-28;	Набір глибини по Z
N170G91G01 G65X0Y-50F60;	Вихід на обробку поверхні 2
N180G90X0;	Обробка поверхні 2 між точками 8 і 9
N190G66X0Y250F1000;	Вихід з еквідистанти
N200G00Z10;	Відвід фрези по Z
N210X-50Y25;	Вихід в точку початку обробки другого проходу по контуру
N220Z-55;	Набір повної глибини обробки
N230Q60-150;	Повтор кадрів обробки контуру до точки 8
N240Z-55T02; (FREZAD60)	Набір глибини пошук інструмента T02
N250Q170-200;	Обробка поверхні 2 між точками 8—9
N260S0;	Орієнтована зупинка шпінделя
N270G28M06;	Заміна інструмента
N280X-32Y-32;	Вихід в точку початку обробки поверхні 3
N290G43D0Z-10;	Корекція фрези по довжині, глибина фрезерування 7 мм
N300L1P1(17)P2(265)H4;	Обробка поверхні 3 за підпрограмою L1
N310G90G00X106Y70;	Вихід в точку початку обробки контуру виступу 40×80 (поверхня 4)
N320G01G64X138Y100 G42D32F60S630M08;	Вихід на еквідистанту, корекція радіуса фрези, обхід праворуч, призначення режимів обробки, подача ЗОР
N330X178G37;	Обхід поверхні 4 (виступу) по контуру. Обхід кутів за допомогою циклу G37 забезпечує їх гостровершинність
N340Y180G37;	
N350X138G37;	
N360Y100G30;	Зняття циклу обходу кутів
N370G66X100Y100F1000;	Вихід з контуру обробки виступу 4
N380G00X-32Y-32T10; (SVERDLOD20)	Повернення в точку початку обробки площини 3, пошук наступного інструмента
N390Z-13;	Набір глибини фрезерування на другому проході (3 мм)
N400Q300-370;	Фрезерування поверхні 3 і 4 повторно
N410S0;	Кутова орієнтація шпінделя
N420G28M06;	Заміна інструмента
N430X25Y25 T3; (FREZAD20)	Вихід в точку початку обробки вибірки (поверхні 5 і 6), пошук наступного інструмента

Продовження табл. 2.11

Кадр	Програмовані дії
N440G43D10Z10S500M03;	Корекція довжини свердла, призначення режимів обробки
N450G81A10B10Z-20F40;	Свердління отвору для входу фрези
N460G80;	Відміна циклу свердління
N470G28M06;	Заміна інструмента на фрезу
N475G01G43D03Z-20F30;	Корекція довжини фрези, подача на глибину фрезерування по отвору
N480G19Y155S630F30M08;	Обробка в площині YZ. Призначення режимів обробки, подача ЗОР
N490L2P3(5)P4(130)H4;	Обробка вибірки (поверхні 5 і 6) за підпрограмою L2, заданою параметрами, чотири повтори
N520GOOX45Y90;	Вихід в точку початку обробки вибірки по контуру 5
N530G65G01X80Y90 G41D33F20;	Вихід на контур, корекція радіуса фрези, призначення режимів обробки
N540Y158;	Обхід вибірки по контуру 5
N550G03X68Y170R12;	
N560G01X22;	
N570G03X10Y158R12;	
N580G01Y22;	
N590C03X22Y10R12;	
N600G01X68;	
N610G03X80Y22R12;	
N620G01Y90;	
N630G66X45Y90F1000;	Вихід фрези з контуру 5
N640S0T04; (SVERDLOD19,7)	Орієнтована зупинка шпінделя, пошук інструмента T04
N650G28M06;	Заміна інструмента
N660X45Y50F100S800T05; (ZENKERD19,9)	Вихід в точку свердління отвору 7, призначення режимів, пошук інструмента T05
N670G43D04Z10M08;	Корекція довжини свердла T04, подача ЗОР
N680G81Z-60A-20B-20;	Свердління отвору 7
N690Y90;	Свердління отворів 8 і 9
N700Y130;	
N710G80S0;	Відміна циклу свердління, кутова орієнтація шпінделя
N720G28M06;	Заміна інструмента
N730X45Y50F60S630T06; (ROZVERTKAD20H8)	Вихід в отвір 7, призначення режимів обробки, пошук розвертки, T06
N740G43D05Z10;	Корекція довжини зенкера

Закінчення табл. 2.11

Кадр	Програмовані дії
N750Q680-720;	Зенкерування отворів 7, 8, 9
N760X45Y50F40S80T07; (ZENKIVKAD25)	Вихід в отвір 7, призначення режимів обробки, пошук зенківки T07
N770G43D06Z10 M08;	Корекція довжини розвертки, подача ЗОР
N780G85Z-60A-18B-18;	Цикл розвірчування
N790Q690-710;	Розвірчування отворів 7, 8, 9
N800X45Y50F40S400T01; (FREZAD30)	Вихід в отвір 7, призначення режимів, пошук фрези T01
N810G43D07Z10 M08;	Корекція дожини зенківки, подача ЗОР
N820G81Z-22A-18B-18;	Знімання фасок на отворах 7, 8, 9. Відміна циклу. Кутова орієнтація шпінделя
N830Q690-710;	
N800M30;	Кінець програми
L1;	Підпрограма 1
N10G91G00X(P1);	Прискорений рух по X на P1 = 17 мм
N20G01Y(P2)S500F60;	Фрезерування за схемою «зигзаг» 1-го відрізка
N30G00X(P1);	Прискорене зміщення по X
N40G01Y(-P2);	Фрезерування 2-го відрізка у зворотному напрямі
N50M20;	Кінець підпрограми
L2;	Підпрограма 2
N10G91G01Y(P4)F40S400;	Фрезерування по схемі «зигзаг». Робочий рух по осі Y
N20X(P3);	Робочий рух по осі X
N30Y(-P4);	Фрезерування у зворотному напрямі
N40X(P3);	Робочий рух по осі X
N50M20;	Кінець підпрограми

Після розроблення та перед застосуванням програми обробки її слід перевірити на правильність і відсутність помилок випадкового характеру, використовуючи всі доступні методи (див. параграф 2.18).

2.18. Розробка програми вручну, її верифікація. Перевірка на верстаті

Програма керування процесом металообробки на верстатах з ЧПК може бути записана вручну двома способами:

- з клавіатури пристрою ЧПК;
- на персональному комп'ютері з подальшим передаванням до пристрою ЧПК.

Програмування з пристроєм ЧПК ефективно тільки для простих малокадрових програм, тому що:

— ручне введення фізично заважає оператору в роботі з іншими деталями, крім випадків вмонтованих САМ-систем (див. параграф 2.21);

— робота з клавіатури пульта незручна і має менше можливостей.

Сучасний розвиток систем ЧПК та вдосконалення їх інтерфейсу дають змогу оператору під час розробки програми за пультом верстата візуалізувати траєкторію руху інструмента, певною мірою виконати початкову перевірку програми. Є системи ЧПК, які пропонують свою діалогову мову програмування в режимі: «запитання — відповідь», яка полегшує процес спілкування оператора з ПЧПК. У сучасних пристроях ЧПК оператор може зберігати шаблони програм обробки однотипних деталей і поверхонь. Це активізувало процес розробки керуючої програми безпосередньо за верстатом.

Більш ефективним, особливо для великих за обсягом програм, є написання тексту програми на комп'ютері в одному з текстових редакторів. Існують текстові редактори, створені спеціально для роботи з кодом програми. В них передбачено автоматичне виконання ряду операцій, які полегшують набір та читання тексту, — наприклад, автоматична нумерація кадрів кроком через 2, 5 або 10, для позначення кінця кадру в них не потрібно ставити розділовий знак «;». Такі редактори мають інструменти для графічної перевірки програми та її трансляції на верстат, інші можливості.

Наприклад, найвідоміший текстовий редактор керуючих програм «*Cimco Edit*» використовується як для набору керуючих програм вручну, так і для перевірки готових.

Текст програми можна вводити в розділі «Editor» (редактор), безпосередньо набираючи його на клавіатурі або користуючись наведеним на екрані переліком G-кодів — клікнути двічі на потрібній команді. На правій половині екрана розроблюваний текст може візуалізуватися. Прискорити складання програми в «*Cimco Edit*» дозволяє набір макросів для типових фрагментів тексту і типових операцій обробки: початок і закінчення програми; фрезерування згідно з усталеною стратегією: контуру, площини, кармана, символів, літер або циклів; токарна обробка чистова і чорнова, підрізання торців, осьове свердління, нарізання різьби, канавок тощо.

У редакторі «Cimco Edit» для розробки програми можна спочатку створити в розділі «Drowing window» траєкторії руху інструментів, а потім їх конвертувати в текст програми для передачі у пристрій ЧПК. Для цього в «Drowing window» є достатня кількість графічних інструментів. Рух різального інструмента призначається згідно з алгоритмом:

- 1) вибір точки початку обробки;
- 2) вибір траєкторії і напрямку руху;
- 3) позначення напрямку руху стрілкою;
- 4) у точках перетину ліній уточнення напрямку подальшого руху;
- 5) завершення формування контуру поверненням у вихідну точку.

Натиснувши кнопку «Export Edit», у розділі «Editor» отримуємо текст програми.

Програміст або оператор проглядає текст, вносить режими обробки, інші необхідні доповнення й виправлення. Для полегшення читання при наведенні курсору на позначення команд виводяться підказки — призначення функції.

У редакторі «Cimco Edit» можна виконувати всі типові дії, характерні для редагування: копіювати, вставити або видалити будь-який фрагмент програми, автоматично змінювати одні дані на інші, переходити на потрібний номер кадру, змінювати нумерацію кадрів, швидко знайти відмінні у двох ідентичних програмах кадри тощо. Текст програми можна відтворити у різних кольорах: наприклад, кадри прискореного руху (G00) — червоні, лінійної інтерполяції — зелені, кругової інтерполяції — голубі, кадри підготовчих та допоміжних функцій — чорні.

Функція «прийом — передача» забезпечує передавання керуючої програми через постпроцесор RS-232 або USB на різні пристрої ЧПК верстатів, використовується для роботи в режимі прямого числового вводу програми з комп'ютера в пристрій ЧПК під час обробки (у разі великих за обсягом програм).

Функція «Статистика траєкторії» в «Cimco Edit» автоматично визначає максимальні й мінімальні координати програми, стрічковий час, машинний час роботи кожного інструмента, іншу важливу інформацію.

Функція «Backplot» візуалізує 3D-фрезерні і 2D-токарні програми: забезпечує об'ємне зображення траєкторій руху інструментів, контурів деталі з перевіркою на зіткнення і

зарізи. Вимірюванням на зображенні контролюється відповідність розмірів оброблюваних поверхонь запрограмованим значенням.

Останні версії редактора «Cimco Edit» мають навчальну вкладку, що на прикладах простих програм показує, як користуватись редактором (докладніше в Додатку 3).

Перевірка тексту керуючої програми на правильність є важливим етапом її розробки. Помилки під час написання тексту можуть спричинити: поломку інструмента, брак деталі, пошкодження верстата і, що найгірше, травмування оператора. Тому в ході розробки на комп'ютері програма зазвичай перевіряється візуалізацією траєкторій руху інструментів або цілковитою імітацією процесу обробки на верстаті, включаючи видалення стружки, — так звану симуляцію обробки, під час якої віртуальний інструмент оброблює віртуальну деталь. У редакторі «Cimco Edit» це передбачено.

Передусім помилку можна побачити, спостерігаючи за траєкторією руху інструмента. Така перевірка називається *бекплотом* (від англ. *Backplot*). Наприклад, у кадрі N80 (див. нижче) випадково не проставлено крапку, її в тексті можна й не побачити, особливо якщо програма об'ємна, а бекплот це відразу покаже на переміщенні інструмента, відмінному від очікуваного:

Правильно
N70G01X5Y50
N80X10Y5.0

Неправильно
N70G01X5Y50
N80X10Y50

Потужним інструментом перевірки керуючої програми на комп'ютері є твердотільна верифікація (від англ. *Verifikation* — перевірка). Ця перевірка демонструє процес видалення стружки, показує модель заготовки і результат обробки — модель готової деталі. «Віртуально» отриману на екрані деталь в об'ємному зображенні можна обертати, змінювати масштаб, щоб якомога детальніше роздивитися з усіх боків і переконатися, що всі елементи майбутньої деталі будуть виконані правильно, а на поверхні не виявиться дефектів від врізів або зіткнень інструмента з деталлю. Динамічна симуляція обробки дає змогу стежити за процесом покрокового видалення металу шар за шаром, поверхня за поверхнею. Застосовують

твердотільну верифікацію на завершальному етапі підготовки й перевірки програми. На окремих етапах відпрацювання використовують бекплот. Можливість порівняння розмірів отриманої після віртуальної обробки деталі з її конструкторською версією гарантує точність на стадії розробки програми.

Після розробки та комп'ютерної перевірки програма передається з комп'ютера в пристрій ЧПК верстата. Для цього існує спеціальне комунікаційне програмне забезпечення, наприклад RS-232 або USB. Комп'ютер і пристрій ЧПК з'єднуються через спеціальний провід. Синхронізують пристрій ЧПК із комунікаційною програмою відповідною настройкою їх параметрів.

У верстатах, обладнаних власними дисководами, програму можна передавати через дискету або флешку.

Розглянута перевірка програми у разі створення віртуальної ситуації обробки на екрані комп'ютера (симуляція обробки) є важливою, але не дає остаточної відповіді щодо її придатності для застосування, враховуючи поведінку системи верстат — пристосування — інструмент — деталь під час силових і теплових процесів різання, можливих відхилень у роботі пристрою ЧПК при зчитуванні тексту програми. На екрані комп'ютера також не можна побачити відсутність у програмі таких команд, як обертання шпінделя і його напрям, подачу ЗОР, помилки оператора під час внесення корекції на довжину й радіус інструмента, розташування у гніздах магазину. Все це може мати місце і призвести до небажаних наслідків — браку деталі.

Тому *остаточну перевірку програми виконують на верстаті призначення*. Для цього перед обробкою деталі здійснюють тестовий «прогін» програми холостим ходом. Якщо заблокувати рух по Z, то можна перевірити координати X і Y.

Режим покадрового відпрацювання дає змогу перевірити координати кожного кадру — система ЧПК зупиняє роботу в кінці кожного кадру до натискування клавіші «Пуск». Оператор перевіряє, чи прийшов інструмент у запрограмовану точку правильно. Покадрове відпрацювання може виконуватися в режимі холостого ходу або з «піднятою» нульовою площиною деталі.

Контроль правильності переміщень можна здійснювати через екранний режим, візуально, відстежуючи пройдені

інструментом відстані й відрізки, що залишилися до кінця кадру. Оператор спостерігає і зрівнює відстані до кінця кадру на екрані й реальні на верстаті. Наприклад, візуально фрези до оброблюваної поверхні лишилося пройти близько 50 мм, а на екрані висвітлюється 100 мм. Якщо фреза їх пройде, то вріжеться в деталь. Це є сигналом для негайної зупинки, виявлення і виправлення помилки, щоб запобігти аварії.

Програму можна перевірити, піднявши по Z нульову площину на висоту, більшу за найглибше переміщення інструмента під час обробки. В цьому разі хід виконання програми відповідатиме задуму програміста, з тією різницею, що інструмент різатиме повітря.

Найреалістичнішим способом перевірки програми є обробка деталі, де, крім зазначеного, враховуються всі можливі деформації системи верстат — пристосування — інструмент — деталь, а також дрібні за масштабом помилки програміста і відхилення в роботі пристрою ЧПК. Для цього бажано використати браковану заготовку. Якщо заготовок багато і вони переважно невеликі й прості, беруть саму деталь. Для складних, обмежених за кількістю деталей використовують заготовку з пластика, дерева або спеціального воску, хоча виявлені у цьому разі похибки можуть бути необ'єктивними через деформації від дії сили різання. Досвідчений програміст так досконало перевіряє не всю програму, а лише окремі її фрагменти, для аналізу яких можна використати заготовки, відмінні від цілої деталі.

У табл. 2.12 наведено перелік помилок, що трапляються найчастіше під час розробки програми, та їх можливі наслідки.

Після перевірки програми і виконання всіх налагоджувальних робіт оброблюють першу деталь. Якщо заготовка складна і коштує дорого, деталь, по можливості, не обробляють відразу остаточно, контролюючи результати пробних проходів. Першу виготовлену деталь здають контролеру, за потреби вносять поправки в карту наладки й керуючу програму і переходять до обробки партії. Якщо верстат не оснащений системою активного контролю, оператор, керуючись власним досвідом і зважаючи на умови обробки, встановлює періодичність контролю деталей, для чого використовує у програмі кадр із позначкою «/».

Таблиця 2.12

№ з/п	Сутність помилки	Можливі наслідки
1	Не ввімкнено вчасно подачу ЗОР (у тексті програми пропущено M08)	Знижена стійкість інструмента, погіршена шорсткість поверхні
2	Не ввімкнено оберти шпінделя (пропущено M03 або M04)	Зіпсовані інструмент і заготовка
3	Неправильні режими обробки	Якщо надто завищені, може зрушити з місця заготовка, зіпсуватися різальна крайка інструмента
4	Помилка в розташуванні інструмента в магазині	Неправильна деталь або аварійна ситуація в зоні обробки
5	Перекручена послідовність переходів (наприклад: спочатку нарізання різьби, потім обробка поверхні під різьбу)	Зіпсовані інструмент і заготовка
6	В коректорі введено неправильні значення	Зіпсовані інструмент і заготовка, неправильні розміри деталі
7	Рухаючись по G00, інструмент наїхав на пристосування	Зламаний інструмент, зіпсоване пристосування
8	Оператор неправильно «прив'язав» інструмент по Z	Зіпсовані інструмент і заготовка, неправильні розміри деталі

Розглянуте програмування і контроль називають ручним, тому що програму складає технолог-програміст, описуючи кадр за кадром рух задіяних інструментів для перетворення заготовки в заплановану деталь. Якщо програма за розмірами велика, то процес її створення кропіткий і тривалий, проте з технікою ручного програмування має бути обізнаний кожен програміст-технолог, незалежно від того, якими сучасними методами програмування він користується. Це як буквар школяру для подальшої освіти.

2.19. Програмування з пристрою ЧПК мовою діалогу фірми «Heidenhain»

Для полегшення розробки керуючих програм оператором або наладчиком з пристрою ЧПК фірма «Heidenhain» розробила спеціальну мову для діалогового програмування. Вона виявилась успішною. На багатьох її положеннях ґрунтується розробка нового міжнародного стандарту на програмування для верстатів з ЧПК — «STEP — NC» або ISO 14649. Особливість мови полягає в тому, що позначення функцій G і M замінили на більш зрозумілі оператору слова, які відображають суть команди. Розглянемо основні з них.

Лінійна інтерполяція відображена словом L (від англ. *Line* — лінія); наприклад, переміщення в точку з координатами 80; 90 запрограмується: L X80 Y90 F60;

Прискорений рух позначається FMAX — зрозуміло.

Кругова інтерполяція позначається словом C (від англ. *CIRCLE* — коло), а центр дуги позначається як CC (від англ. *CIRCLE CENTER*). Якщо дуга менша за 180°, кругову інтерполяцію позначають DR+, а якщо більша — DR-.

Наприклад, переміщення по дузі в координату (-40; 48) можна запрограмувати кадрами:

N10 CC X-30 Y+20; — координати центру дуги;

N20 CX-40 Y+48; — переміщення по дузі в кінцеву точку.

Корекція на радіус інструмента при обході контуру зліва позначається як RL, а справа — RR, наприклад, L X80 RL — лінійне переміщення, фреза зліва.

Замість вводу в програму корекції на довжину інструмента виконують його ініціалізацію — активацію геометричних параметрів у пам'яті ПЧПК.

Таблиця 2.13

Кадр	Виконувані дії
% 39; (KRYSHKA,KONTUR)	
N10 BEGIN PGM 0 MM;	Вихід в початок координат
N20 TOOL DEF 3; (FREZA D30)	Ініціалізація інструмента N3
N30 TOOL CALL 3 S800 M03;	Виклик інструмента N3, режими
N40 L X-20 Y140 FMAX;	Позиціонування по X і Y у точку початку обробки
N50 L Z10 FMAX;	Підхід фрези по Z до оброблюваного контуру прискореним рухом
N60 L Z-17 FMAX M08;	Опускання фрези в робочу позицію, подача ЗОР
N70 L X0 F80;	Підхід фрези в точку початку обробки
N80 CC X10 Y140;	Координати центру дуги
N90 CX10 Y150;	Обробка контуру 1—2—3—4—5—6—7—8—1 з рис. 2.34 і відвід фрези із зони обробки
N100 LX140;	
N110 CC X140 Y140;	
N120 CX150 Y140;	
N130 LY10;	
N140 CC X140 Y10;	
N150 CX140 Y0;	
N160 LX10;	
N170 CCX10 Y10;	
N175 CX0 Y10	
N180 LY170;	
N190 LZ400 FMAX M09;	Відвід фрези по Z
N200 X250 Y200 FMAX;	Відвід фрези по XY в точку заміни деталі
N210 M02;	Кінець програми
N210 END PGM 0 MM;	Повернення в початок обробки

Наприклад:

TOOL DEF 3 — ініціалізація даних інструмента №3,

TOOL CALL 3 — виклик інструмента №3.

Розглянемо приклад програмування обробки контуру деталі (рис. 2.34, табл. 2.13).

Як бачимо з програми, для англомовного оператора позначення багатьох команд схоже на слово, яким називається цей параметр або команда, що значно полегшує його роботу з розробки або читання програми.

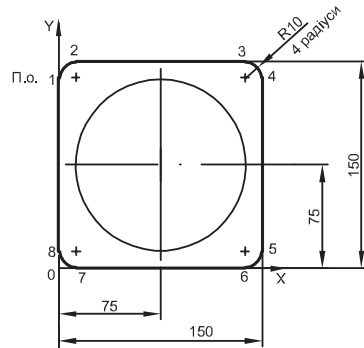


Рис. 2.34. Контурна обробка деталі «кришка» в «Heidenhain»

2.20. Точність обробки на верстатах з ЧПК. Контрольно-вимірjuвальні системи (КВС). Програмне базування

Головні показники якості обробки на верстаті з ЧПК — це точність дотримання розмірів оброблюваних поверхонь та їх геометричної орієнтації, шорсткість і хвилястість поверхні. Нижче розглянемо основні фактори, що на них впливають.

1. Точність верстата, яка визначається точністю геометричних форм і відносного положення опорних поверхонь, що базують заготовку й інструмент, точністю рухів по напрямних робочих органів верстата, точністю лінійного позиціонування робочих органів, точністю переміщень під час кругової інтерполяції, точністю повернення робочих органів у початкове положення, стабільністю виходу робочих органів у задану точку, стабільністю положення інструмента після автоматичної заміни.

2. Точність системи керування зумовлюється відхиленням відпрацьованої траєкторії від заданої; неточністю у передачі руху приводами подач, наприклад у ходових гвинтах, колесах зубчастих передач та ін.; похибкою апроксимації дуги кола прямими відрізками, яка перебуває в межах ціни імпульсу (для сучасних верстатів 0,001–0,002 мм), останнє може спричинити збільшення шорсткості поверхні, не впливаючи на геометричну точність.

3. Похибка установки і закріплення заготовки. Виникає в разі несуміщення установочних і вимірювальних баз. Для її мінімізації важливо вимірювальну базу обробити з тієї ж установки, що й установочну, розміри якої підлягають контролю. Наприклад, під час контролю поздовжніх розмірів, витримуваних на токарному верстаті з ЧПК від правого торця, бажано почати обробку з його підрізки.

Крім зазначеного, на точність обробки впливають якість базових поверхонь, спосіб і стабільність кріплення заготовки.

4. Похибка настроювання інструмента на розмір, визначається точністю застосовуваного вимірювального приладу і системою закріплення настроєного інструмента.

5. Похибка налагодження верстата на виконуваних розміри. Виникає через неможливість розташувати деталь та інструмент точно в розрахованому положенні, від якого відраховуються робочі переміщення. Для зменшення цієї похибки наладчик часто виконує пробні проходи для подальшого корегування координат обробки. Ця похибка виникає також по мірі зношування інструмента, нагрівання і деформації вузлів верстата. Для її зменшення наладчик періодично може виконувати так звану підналадку, вносячи корекцію в положення інструмента й деталі. Знаючи інтенсивність цих процесів, досвідчений наладчик чи оператор періодично вносить потрібну корекцію або передбачає її в тексті програми через певні проміжки часу або визначену кількість деталей.

6. Похибка виготовлення мірного інструменту. Такі інструменти, як свердла, шпонкові фрези, розвертки тощо, можуть давати погрішність обробки як через неточність діаметра, так і внаслідок їх биття при закріпленні в допоміжному інструменті.

У разі точної токарної обробки (чистові операції) слід враховувати радіус на вершині різця корекціями, в окремих випадках проводити його вимірювання в лабораторних умовах, розраховувати еквідистанту.

7. Жорсткість системи верстат — пристосування — інструмент — деталь. Жорсткість пружної системи — це її спроможність чинити опір діючим силам закріплення, різання та ін. — що більші сили різання, то більше навантаження на систему, то вище значення виниклих погрішностей. Для їх зниження зменшують припуск на один прохід (глибину різання). Повторювану частину похибок можна

компенсувати через корекції. Залишаються некомпенсованими ті, що викликані коливанням припуску заготовки, її твердості й ін. Верстати з ЧПК, порівняно з їх універсальними аналогами, жорсткіші на 40–50 %. Це зменшує вказані погрішності, хоча і не усуває їх остаточно.

8. Теплові деформації вузлів верстата й деформації від внутрішніх напружень деталі. Теплові деформації інтенсивно впливають на заготовку на початку обробки, поки рухомі вузли верстата не прогрілися до якогось стабільного значення. Для мінімізації їх впливу потрібно верстат перед початком оброблення прогріти роботою на холостому ході.

Теплові деформації заготовки під час обробки зменшують подачею в зону різання ЗОР. Знімаючи шари металу із заготовки, вивільняють її внутрішні напруження різного походження (спосіб отримання, додаткова термічна обробка, особливо гартуванням, тощо). Що більший об'єм металу знімається, то більше цих напружень вивільняється і збільшуються відхилення форми деталі після обробки. Зменшити вплив цього явища можна розділенням обробки на чорнову і чистову операції, між якими провести термічне старіння деталі.

Чимало із зазначених похибок мають систематичний характер, їх можна усунути або звести до мінімуму в ході налагодження верстата (див. параграфи 2.4 і 3.2) корекціями на траєкторію руху інструмента.

Під час обробки виникають пружні, температурні деформації, тертя, коливання, які спричиняють зміни розмірів і відносні повороти поверхонь. Це призводить до відхилення положення баз верстата та відхилення від заданої точності руху інструмента. Зазначені процеси нестабільні, тому зумовлені ними похибки мають розсіювальний характер і врахувати їх математично неможливо.

Завдання усунення цих похибок найкраще виконують системи адаптивного зв'язку (див. параграф 1.3). Під час процесу різання за допомогою датчиків силових параметрів (сили або моменту різання), датчиків температури, деформацій, вібрацій, зміщень тощо вимірюють параметри настроювання для забезпечення їх корекції. Керування точністю обробки здійснюється через датчики зворотного зв'язку приводами подач.

Система керування, яка працює на основі спільного використання інформації, що задається, та інформації зво-

ротного зв'язку, називається замкненою системою керування.

За даними сучасної статистики, точність і стабільність обробки на такому верстаті ЧПК порівняно з його універсальним аналогом на 20–25 % вища.

Наявність системи зворотного зв'язку ускладнює та здорожує верстат з ЧПК, хоча не завжди вирішує поставлене завдання точності обробки остаточно.

Контрольно-вимірювальні системи (КВС). Для подальшого підвищення точності і стабільності обробки на верстатах з ЧПК в сучасній металообробці застосовують спеціальні контрольно-вимірювальні системи, принцип дії яких базується на обході контрольованої деталі в робочій позиції на верстаті спеціальним щупом-датчиком (контактним або безконтактним), за результатами сигналів якого створюється геометричний образ вимірюваної поверхні. КВС порівнює цю геометрію з даними, введеними в пристрій ЧПК керуючою програмою, або даними креслення, імпортованого з САД-системи, і видає файл з результатами вимірювання та, за потреби, команду на введення корекцій. Система особливо ефективна для вимірювання й контролю закріплених на верстаті габаритних деталей великої ваги, зрушення з місця яких для вимірювання небажане, бо потім, за необхідності дообробки, розмістити важку деталь на верстаті абсолютно так само і в тому самому місці практично неможливо. Наприклад, якщо контроль показав, що до остаточного розміру залишився зовсім незначний шар металу, співмірний із точністю повторної установки на верстаті, виникає реальна небезпека браку.

Для контролю таких деталей у робочій позиції на верстаті створено спеціальні переносні координатно-вимірювальні машини (КВМ) [6], виконані у вигляді маніпулятора. Машина складається з плити, яка може через магніти кріпитися в довільній точці верстата до його металевої частини, і кількох з'єднаних між собою шарнірних колін (конструкція нагадує будову людської руки). В кожному шарнірі є датчик контролю кутових переміщень, який відстежує поворот коліна, в результаті цього програмне забезпечення прораховує координати вершини відкаліброваного щупа, що контактує з точками оброблюваної поверхні в заданій системі координат і фіксує їх у файлі вимірювальної програми комп'ютера. Це можуть бути або абсолютні значен-

ня вимірювання, або відхилення вимірюваного розміру від його значення в кресленні. Залежно від кількості колін КВМ може бути з шістьма або сімома ступенями свободи. Робоча зона такої КВМ — сфера діаметром, залежно від моделі, 1,2; 1,8; 2,4; 3,0; 3,7 метра (вказано для КВМ FARO). Завдяки шарнірним з'єднанням щуп може легко потрапити практично в кожну точку всередині сфери, тому всі розміри, що підлягають контролю (вимірюванню), можна опрацювати одним прибором — КВМ. Результати вимірювань можна отримати текстовим файлом або у графічному вигляді. Точність контролю такою КВМ, наприклад FARO — $\pm 0,016$ мм, стабільність — $\pm 0,006$ мм. Довжина вимірювання при цьому 1,2÷3,6 м. Машина стійка до вібрацій та ударів, має перезарядне безперебійне джерело живлення «FARO Powerhouse» (працює 8 годин без підзарядки). Це дозволяє використовувати її в жорстких умовах механічного цеху.

Існують також спеціальні програми контролю та вимірювання деталі на робочому місці верстата з ЧПК (ADEM-VX, PowerINSPECT OMV (від англ. *On-Machine Verification* — перевірка на верстаті) та ін., для роботи яких верстат оснащується спеціальною вимірювальною головкою. Розташовується вона, як і звичайний різальний інструмент, у гнізді інструментального магазину оброблювального центру чи револьверній головці токарного верстата. Для роботи так само встановлюється в шпінделі ОЦ чи індексується в револьверній головці токарного верстата. Пристрій ЧПК такого верстата повинен забезпечити набір стандартних і спеціальних циклів вимірювання. Прості вимірювання програмує та виконує з пристроєм ЧПК оператор.

Наприклад, для вимірювання (контролю) відстані між осями паза й отвору на рис. 2.35 оператору необхідно запрограмувати і виконати такі дії:

- 1) використати цикл вимірювання паза, виміряти і записати координату X_1 його осі;
- 2) використати цикл вимірювання отвору, виміряти і записати координату X_2 його центру;
- 3) знайти значення відстані A простим відніманням: $A = X_1 - X_2$.

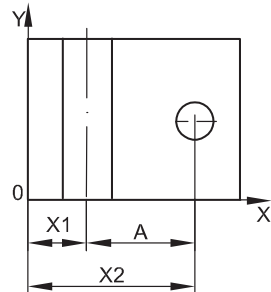


Рис. 2.35. Приклад вимірювання за програмою

Такий контроль оператор виконує періодично, через установлений проміжок часу чи кількість деталей, використовуючи для цього кадр керуючої програми з позначкою «/».

Для деталей, де елементи вимірювання розташовані в різних площинах, поверхні складні за формою, їх багато, процес програмування вимірювань значно ускладнюється. Розробку програми контролю (вимірювання) такої деталі виконує вже кваліфікований технолог-програміст в одній із призначених для цього комп'ютерних програм, використовуючи креслення, імпортовані з САД-системи, або створює їх самостійно в даній програмі.

Вимірювання та контроль можна виконувати як після повної обробки деталі, так і в довільному місці процесу обробки за керуючою програмою. Результат контролю (вимірювання) виводиться у спеціальний файл-звіт — текстовий або графічний.

Такі програми ефективно застосовуються для корегування або встановлення системи відліку деталі (початку координат). Найчастіше це відбувається за потреби дообробки деталі після вимірювання на стаціонарній КВМ, а також під час обробки деталей, що не мають установлених базових елементів, наприклад лопатки турбін, компресорних коліс, криволінійні тонкостінні деталі з аеродинамічним профілем, масивні деталі, які важко розташувати на столі верстата. Вимірявши таку деталь, КВС (наприклад, PowerINSPECT OMV) може визначити, наскільки місце її розташування і кут повороту не збігаються з передбаченими керуючою програмою. За отриманими даними корегують або положення системи координат деталі через пристрій ЧПК, або елементи наладки (див. рис. 2.36, а).

На рис. 2.36 наведено приклади визначення точки початку відліку (системи координат деталі), що зустрічаються найчастіше, за допомогою КВС і контактного датчика:

а) за програмою КВС щупом контактного датчика через координати точок 1 і 2 визначається кут нахилу базової сторони деталі α . Його компенсацію можна виконати поворотом системи координат деталі ($X'Y'$) або, якщо дозволяє обладнання, поворотом стола (ОЦ 2204ВМФ4);

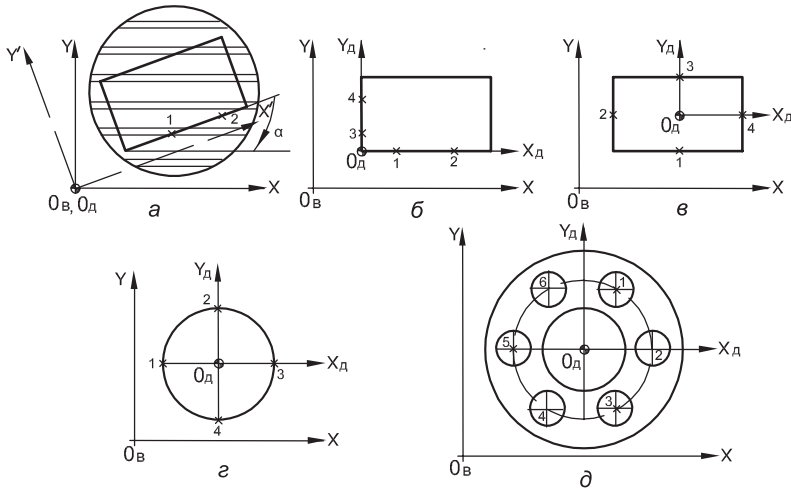
б) за допомогою щупа контактного датчика знімаються координати точок 1, 2, 3, 4. По них КВС визначає в координатній системі верстата координати вершини зовнішнього кута прямокутної деталі або її елемента (виступ, вибірка),

де призначено початок системи координат деталі під час розробки керуючої програми;

в) по координатах точок 1, 2, 3, 4, отриманих за допомогою щупа, КВС розраховує координати центру прямокутної деталі в системі координат верстата, прийняті за початок координат деталі під час розробки програми;

г) по координатах точок 1, 2, 3, 4, отриманих за допомогою щупа, КВС розраховує координати центру кола, що описує зовнішню чи внутрішню оброблювану поверхню, які прийняті за початок відліку під час розробки керуючої програми. Методику визначення координат універсальними засобами розглянуто в параграфі 2.4;

д) по координатах осей трьох (1, 3, 5) із шести отворів, що визначені за допомогою щупа вимірювальної головки, КВС розраховує координати центру кола, на якому отвори розташовані. Під час розробки керуючої програми даний центр прийнято за початок відліку.



x - точки контакту щупа

Рис. 2.36. Використання КВС у налагодженні деталі

Розглянуті методи визначення початку координат деталі називають **програмним базуванням** — положення деталі відносно базових точок верстата визначається не установочними елементами пристрою, а результатами вимірювання за програмою.

Метод можна використовувати також для вимірювання заготовки перед обробкою, з подальшим корегуванням початку відліку для найбільш сприятливого розподілу припуску, що зніматиметься на операції. Це робить процес обробки гнучкішим, дає можливість оператору, технологу і наладчику втручатися в обробку, поліпшуючи хід процесу в потрібному напрямі, що особливо актуально під час оброблювання відливок складної форми.

Для високоточного оброблення деталей на токарних верстатах з ЧПК використовують активний контроль поверхні під час знімання припуску за допомогою контактних або безконтактних датчиків. Найбільш поширеною є схема, де один з датчиків (вимірювальна головка інструмента), встановлений на передній бабці верстата, контролює положення різальної крайки інструмента, закріпленого в револьверній головці. Другий (вимірювальна головка деталі), встановлений у гнізді револьверної головки, контролює розмір і шорсткість оброблюваної поверхні. У разі виходу вершини різця за межі поля допуску або погіршення шорсткості поверхні датчики подають сигнал у пристрій ЧПК на зміну в керуючій програмі відповідної координати і режиму різання або зупиняють обробку для ручного вводу корекції.

2.21. CAD/CAM/CAE-системи. Адитивні технології

Як уже зазначалося, в сучасному машинобудуванні зростає кількість деталей складної тривимірної форми — пуансони, матриці, моделі точного литва, вимірювальні шаблони і контршаблони, лопатки турбін, лопасті, кулачки верстатів-автоматів тощо. Водночас ускладнюється конструкція верстатів для їх виготовлення. Нині впроваджені у виробництво фрезерні верстати три-, чотири- і п'ятикоординатної обробки. Ручне програмування в таких випадках неймовірно трудомістке, а інколи навіть неможливе, якщо йдеться про тривимірні поверхні, описані складними математичними відношеннями.

Розвиток комп'ютерних та інформаційних технологій зумовив появу CAD/CAM/CAE-систем, які сьогодні є найбільш продуктивним інструментом для вирішення зазначених завдань. Розглянемо їх.

CAD-система (англ. *Computer-Aided Design* — комп'ютерна підтримка проектування) — програмне забезпечення, яке значною мірою автоматизує працю конструктора. Проектування конструкцій, їх елементів і оформлення технічної документації виконується на екрані комп'ютера за допомогою спеціальних прийомів і стандартизованих елементів, що значно скорочує термін конструкторської розробки.

CAM-система (англ. *Computer-Manufacturing* — комп'ютерна підтримка виготовлення) автоматизує розрахунки траєкторії руху інструмента під час обробки на верстатах з ЧПК і забезпечує видачу керуючої програми з комп'ютера у пристрій ЧПК.

CAE-система (англ. *Computer-Aided Engineering* — комп'ютерна підтримка інженерних розрахунків, що супроводжують роботу двох попередніх систем).

CAD/CAM-система — об'єднання можливостей перших двох систем за наведеною нижче схемою.

1. У CAD-системі («Автокад», «Компас» та ін.) розробляється креслення деталі у двовимірній системі або її об'ємна 3D-модель. Для технологічної роботи CAM-системи об'ємна або 3D-модель, імпортована з CAD-системи, однозначно визначає геометрію і розміри оброблюваної поверхні за трьома координатами.

Для роботи з двовимірним кресленням CAM-системі потрібна інформація про третю координату на кожній оброблюваній поверхні, або «глибину геометрії». Якщо поверхня плоска, досить вказати значення Z або кількість проходів із заданою глибиною різання (оброблюваний контур міститься в площині XY). Під час обробки деталі складної конфігурації створюють *каркасну модель* (рис. 2.37, а), яка складається з оброблюваних поверхонь та граней, а також обмежувальних поверхонь, необхідних для запобігання зіткненням інструмента з деталлю.

Поверхнева модель відрізняється від каркасної тільки непрозорістю граней (рис. 2.37, б), що робить зображення зручнішим для читання, особливо якщо деталь складна і оброблюваних поверхонь багато. Таким чином, через розглянуті поверхні можна уявити всі — як прості, так і складні — поверхні. Сьогодні поверхневі моделі є до-

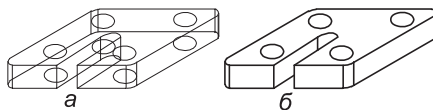


Рис. 2.37. Приклад каркасної (а) та поверхневої (б) моделі

силь поширеною формою зображення деталі в САМ-системі для розробки керуючої програми оброблювання складних поверхонь.

Для створення 3D-моделі в САD-програмах застосовують *твердотільне моделювання*, згідно з яким елементи конструкції зображують у вигляді окремих простих твердих тіл, в яких можна робити різні вирізки, видавлювання, витягування, нарощування. Деталь — це сума створених елементів. На відміну від поверхневої моделі твердотільна має об'ємну густину. Основною перевагою твердотільної моделі є можливість її параметризації, тобто можна міняти розміри окремих або всіх елементів моделі, заданих в параметрах, змінюючи таким чином розміри і конфігурацію деталі. Створення розглянутих тривимірних моделей можливе також безпосередньо в САМ-системі.

2. *Об'ємна 3D-модель деталі або одна зі спеціально створених об'ємних моделей імпортується в САМ-систему.* Існує значна кількість САМ-систем, які відрізняються інтерфейсами, можливостями й іншими характеристиками, але, незважаючи на це, алгоритм роботи в них, практично, однаковий. Розглянемо його.

2.1. Технолог-програміст відповідно до технологічного процесу на операцію в САМ-системі *вибирає описання верстата*, яке містить: тип верстата, наприклад горизонтально-фрезерний, кількість програмованих осей, наприклад три, пристрій ЧПК, наприклад «FANUK», інформація з якого потрібна для забезпечення постпроцесором редакції керуючої програми обробки в кодах цього пристрою. Вибір верстата змінює інтерфейс у САМ-програмі так, що залишаються доступними тільки ті функції та обмеження, які підтримуються цим верстатом, пристроєм ЧПК і постпроцесором.

2.2. Технолог *визначає оброблювані поверхні, їх конфігурації та послідовність обробки.* Вибирає початок системи координат, методику (стратегію) обробки кожної поверхні. САМ-система містить набір рекомендованих методик обробки і траєкторій інструмента залежно від конфігурації оброблюваної поверхні, шару металу, який підлягає зніманню, застосовуваних режимів обробки, зокрема високошвидкісної, що дозволяє вибрати кілька способів обробки для однієї і тієї самої поверхні. Основні з них такі:

2.2.1. Плоска обробка. Застосовується при 2,5-координатній обробці, яка включає:

- фрезерування площини або торцювання;
- обхід контуру — інструмент рухається по контуру серіями горизонтальних ходів (для вертикального верстата), які різняться між собою тільки рівнем горизонтальної площини (координати Z);
- обробку карманів, напіввідкритої або відкритої вибірки;
- обробку отворів різного призначення. Бібліотека САМ-системи містить такі самі цикли обробки отворів, що й система ЧПК верстата. Якщо в системі ЧПК верстата такого циклу немає, САМ-система описує операцію обробки покроково, від чого розмір програми значно збільшується. Програміст може розроблювати та заносити в бібліотеку САМ-системи свої робочі цикли або підпрограми.

2.2.2. Об'ємна обробка. Включає велику кількість підходів, які можна розділити на чорнові й чистові. Методики чорнкової обробки націлені на швидке знімання пошарово великого об'єму металу та підготовку деталі до наступної чистової обробки. У процесі чистової обробки тривимірної поверхні, наприклад фрезеруванням, інструмент (як правило, сферична фреза) рухається одночасно мінімум по трьох координатах. Розрахувати його траєкторії вручну майже неможливо. В сучасних САМ-системах створено для цього спеціальні методики.

Типовими прикладами об'ємної обробки є:

- обробка закритих та напіввідкритих карманів залежно від їх розміру і конфігурації відомими схемами — зигзаг, фрезерування в одну сторону, стрічкове фрезерування, спіраль. САМ-система сама вибирає оптимальну схему, яка забезпечує максимальну продуктивність обробки з мінімальною кількістю холостих ходів. Спочатку відбувається пошарове знімання основного припуску, а потім виконується заключний чистовий обхід контуру на глибині, заданій кресленням;
- чорнова вертикальна вибірка, що складається з рухів, подібних до свердління. Продуктивність такої обробки надзвичайно висока, але вимагає застосування спеціальних плунжерних фрез, які мають підвід ЗОР через осьовий отвір. Використовується для обробки глибоких карманів у серійному виробництві;
- фрезерування залишків (дообробка), спрямоване на видалення металу, який залишився від попередньої оброб-

ки. Залишки утворюються, коли для підвищення продуктивності спочатку фрезерують вибірку інструментом великого діаметра, а потім виконують фрезерування у важкодоступних місцях інструментом меншого діаметра, який вибирають, наприклад, залежно від допустимого радіуса переходу в місцях стиків двох поверхонь (див. рис. 2.12). САМ-система аналізує об'єм знятого і залишеного металу й автоматично генерує траєкторію для вибірки металу, який не був видалений попередньою фрезою;

— контурна обробка, що застосовується для чорнового та чистового оброблювання деталей з попередньо сформованими поверхнями литвом, штамповкою й іншими методами. Ця методика передбачає видалення припуску рухом інструмента траєкторіями, еквідистантними оброблюваній поверхні з конструкторськими розмірами, з поступовим наближенням до них.

Сучасні САМ-системи орієнтують різальний інструмент не тільки відносно оброблювальної поверхні, а й відносно інших геометричних елементів. Це використовується, щоб обійти елементи, яких інструмент не повинен торкатися, забезпечуючи таким чином інструмент і деталь (заготовку, пристрій, верстат) від можливого зіткнення. Деякі системи враховують геометрію заготовки на початку проектування обробки. Це значить, що система розраховуватиме траєкторії робочих рухів з урахуванням реального припуску. Якщо система не враховує геометрію заготовки на цьому етапі, заготовка не бере участі в процесі розподілу припуску і формуванні траєкторій обробки, а використовується тільки на етапі верифікації. Такий варіант менш ефективний, адже під час розрахунків система виходитиме із заготовки правильної форми (паралелепіпед, циліндр). Якщо заготовка неправильної форми або попередньо сформована, то система виконуватиме зайві траєкторії, на яких метал, практично, не зніматиметься.

3. Призначаються інструмент і режими обробки. Для цього використовується бібліотека САМ-системи інструментів і матеріалів. САМ-системи постачаються на виробництво зі сформованими бібліотеками інструментів за видами обробки (фрезерна, свердлильна, токарна), які містять стандартний інструмент загального призначення. За потреби технолог-програміст або наладчик може доповнити бібліотеку своїми спеціальними інструментами або створити

власну одну чи кілька бібліотек інструментів, «прив'язаних» до конкретних верстатів. Можна задавати додаткові параметри, наприклад стійкість інструмента в годинах. Після відпрацювання заданого терміну в керуючій програмі виводиться команда на заміну інструмента або надходить сигнал про це оператору в іншій формі.

У САМ-системі існує бібліотека матеріалів, з якої програміст-технолог обирає потрібний матеріал. На базі цих даних (інструмент і матеріал) САМ-система пропонує швидкість різання (число обертів шпінделя за хвилину), робочу подачу на зуб та хвилинну. Технолог-програміст може підтвердити ці дані або внести свої, подати команду на подачу ЗОР. У ході експлуатації програміст поступово технологічно адаптує САМ-систему до умов конкретного виробництва, спираючись на власний досвід.

Система містить бібліотеку шаблонів траєкторій, які визначають методикку обробки, параметри, геометрію. Набір шаблонів залежить від виду обробки.

Для фрезерних верстатів: 2,5 D-траєкторії; поверхневі траєкторії; багатоосові; ВШО 2D і 3D-траєкторії; допоміжні.

Для токарних верстатів: типові токарні операції; токарні цикли; операції з програмуванням осі С; допоміжні; токарно-фрезерувальні операції.

4. *Призначаються траєкторії та послідовність їх обробки.* Це завершальна фаза підготовки, після чого операція вважається сформованою, вона об'єднує всю інформацію, потрібну для виконання конкретної обробки. САМ-система генерує нову технологічну операцію, що з'явиться у вкладці «Toolpath Manager» нижче від заголовка активної групи операцій. Система виконує розрахунок траєкторій руху обраних інструментів в операції з великою швидкістю — одна з основних переваг САМ-системи.

5. В САМ-системі виконуються попередня, в міру розробки керуючої програми, *перевірка траєкторій руху окремих інструментів* (бекплот, див. параграф 2.18) і остаточна перевірка програми — *верифікація* — після її остаточної розробки. Верифікатор показує модель деталі в об'ємному зображенні, може обертати її з усіх сторін, збільшувати або зменшувати, залежно від потреби, та переміщати по екрану. Якщо на поверхні є зарізи або сліди зіткнення, система їх фарбує в інший колір. Є можливість виконати вимірювання та редагування траєкторій, за потреби — експорту-

вати отримані дані в САD-системі для доопрацювання конструкції, усунення помилок.

Усю цю інформацію САМ-система акумулює своєю мовою в проміжному файлі, який називається СL-файлом (Cutter Location) або СLDATA-файлом. Це дає змогу технологу-програмісту вести розробку програми, не «прив'язуючись» до конкретного верстата чи пристрою ЧПК.

6. Остаточним продуктом САМ-системи є *керуюча програма*, сформована під вимоги конкретного верстата кодами його системи ЧПК за допомогою спеціального постпроцесора, який вибирається залежно від конкретного комплексу верстат — пристрій ЧПК.

Постпроцесор — програма, яка перетворює проміжний СL-файл у файл керуючої програми для вибраного верстата мовою його пристрою ЧПК. Схематично це показано на рис. 2.38.

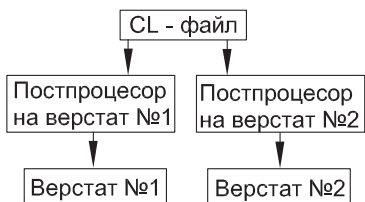


Рис. 2.38. Схеми передачі керуючої програми в пристрій ЧПК

Отже, САD/САМ-система забезпечила безперервну передачу інформації від креслення деталі до команд керуючої програми

верстата з ЧПК на її обробку.

Можлива ситуація, коли геометрія деталі створена в САD-системі, яка не працює із запропонованою САМ-системою. В такому разі використовують спеціальні транслятори — конвертери.

Найбільш відомими й потужними САМ-системами, в які можлива передача моделі з «Компасу» і «Автокаду», є «ESPRIT», «Sprut САМ», «Feature САМ», «Master САМ», додаток до САD-системи «Компас» САМ-система «Компас». Відрізняються ці системи галуззю застосування і рівнем можливостей. Наприклад, САМ-системи для фрезерної обробки відмінні від систем для токарної обробки і різняться між собою, чому сприяє модульність їх побудови. Завдяки цьому можна вибрати систему лише для потрібної конкретної обробки. Так, для свердлильно-фрезерно-розточувальних ОЦ існує система для:

— 2,5-координатної обробки. На такому рівні система виконує розрахунки траєкторії руху інструмента для двокоординатного контурного фрезерування на різних рівнях по Z і обробку отворів;

— тривісної обробки з позиціонуванням четвертої осі. Ця система спроможна скласти програму об'ємного фрезерування складної поверхні;

— багатовісної обробки. Така система працює із сучасним обладнанням, спроможна створити керуючу програму для п'ятивісного фрезерування надскладних поверхонь.

Об'ємна п'ятикоординатна обробка має свої особливості і специфічні технології знімання припуску. На чорнових операціях для вибору основного об'єму металу застосовуються такі види обробки: радіальна, вертикальна вибірка металу, контурна, за потоковими лініями, проєкційна та ін. [11].

У ході чистової обробки, щоб виконати вимоги креслення щодо точності й шорсткості поверхні, різальний інструмент здійснює рух мінімум по трьох координатах водночас, як правило, сферичним торцем кінцевої фрези або її циліндричною боковою поверхнею. Контакт у точці різання, відповідно, точковий або лінійний.

Існує два види п'ятикоординатної обробки: безперервна і з індикацією. У першому випадку в кожному кадрі керуючої програми буде зазначено п'ять адрес переміщення, наприклад: X, Y, Z, A, B.

У другому випадку в кожному кадрі наявні лише три координати, решта — допоміжні й використовуються для повороту інструмента або деталі в положення для подальшої трикоординатної обробки.

Такі програми створюються виключно CAD/CAM-системами.

Подібно до двокоординатної обробки, під час чотири- або п'ятикоординатної можуть виникати незначні відхилення оброблюваної поверхні від заданих розмірів. Ввести корекцію тут значно складніше: треба визначити точку на поверхні деталі і знайти її в тексті програми, що важко через велику кількість кадрів, тому зазвичай вводять тільки загальну корекцію на радіус в « + » або « - ». Перед цим використовують верифікацію програми, порівнюючи об'ємну модель обробки з моделлю, створеною в CAD-системі.

Серед сучасних САМ-систем однією з універсальних і пристосованих до обробки на токарних, свердлильних, фрезерних верстатах і ОЦ на їх базі є система «Master CAM». Розробка керуючої програми для верстата з ЧПК у такій системі, наприклад для 2,5-координатної обробки на свердильно-фрезерно-розточувальному ОЦ, відбувається в наведеній нижче послідовності.

1. Технолог-програміст активізує в програмі верстат для обробки і його пристрій ЧПК. Після цього, завдяки постпроцесорній комунікації, текст розробленої програми для вказаного верстата буде сформований кодом пристрою ЧПК.

2. У програму переноситься 3D-модель, каркасна або поверхнева модель деталі, наприклад, з «Компасу» або «Автокаду». Можливе створення тривимірного ескізу деталі за операційним ескізом або двовимірним кресленням безпосередньо у цій програмі. Технолог-програміст визначає початок координат, оброблювані поверхні, їх конфігурації, висоту контурів, послідовність оброблювання.

3. Технолог призначає інструмент з бібліотеки програми, за потреби вносить свій оригінальний. Позначає через бібліотеку матеріал. Аналізує запропоновані програмою або призначає свої режими обробки: подача, швидкість різання, глибина різання на прохід, подача ЗОР. Визначає нульове положення площини XY по Z і точку, з якої почнеться обробка.

4. У визначеній в п. 2 послідовності програмуються траєкторії інструментів для обробки поверхонь, для чого їх активізують одна за одною у міру просування обробки. Якщо обробка високошвидкісна (ВШО), в «Master CAM» передбачено спеціальні функції для реалізації особливостей ВШО (автоматизована обробка по спіралі торця, петлеподібні переходи між Z-шарами тощо).

5. Після завершення програмування обробки кожної поверхні виконують її перевірку через візуалізацію траєкторії руху інструмента (бекплот).

Після закінчення повної розробки програми здійснюють її верифікацію — на екрані віртуальний інструмент, рухаючись по запрограмованих траєкторіях, фарбує перепони, що виникають під час обробки віртуальної деталі, в червоний колір.

Основними причинами таких перепон (помилки), що можуть призвести до дефектів обробки або аварії, можуть бути:

- неправильний порядок проходів;
- некоректна точка врізання;
- зіткнення із заготовкою або нерухомим органом верстата;
- неправильний вибір інструмента;
- зміни в конструкції деталі;
- зміни в конструкції і розмірах заготовки;
- використання іншого обладнання або оснащення.

Завдання технолога-програміста разом із наладчиком — ввести необхідні зміни до програми або карти наладки на обробку деталі для усунення виявлених недоліків.

Далі керуючу програму пересилають у пристрій ЧПК. Технолог-програміст перевіряє її на відповідність коду пристрою ЧПК.

Для прикладу розглянемо програмування обробки в «Master CAM» елементарної поверхні — прямокутного паза з рис. 2.39, а (САМ-системи ефективно використовувати під час обробки складних деталей з багатьма поверхнями).

1. Призначаємо верстат обробки трикоординатний фрезерний з вертикальним шпінделем із пристроєм ЧПК «FANUK».

2. До САМ-системи переносимо або створюємо ескіз обробки (рис. 2.39, б) і задаємо глибину по Z 3 мм з глибиною різання 0,5 мм або замість глибини різання вказуємо кількість проходів — 6. Система сама розрахує глибину на прохід.

3. Призначаємо початок координат в точці «0». Інструмент — твердосплавна кінцева фреза діаметром 10 мм. Швидкість різання 180 м/хв (5500 об./хв).

4. Призначаємо методику (стратегію) обробки — обхід по контуру (точки 1—2—3—4).

5. Виконуємо верифікацію обробки. Відстежуємо рухи фрези в ході формування паза на екрані комп'ютера.

6. Пересилаємо в пристрій ЧПК керуючу програму. На екрані пристрою пересвідчуємось у відповідності тексту програми (% 30, табл. 2.14) коду пристрою ЧПК «FANUK»:

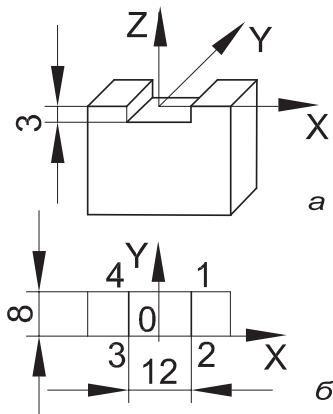


Рис. 2.39. Приклад програмування в САМ-системі

Таблиця 2.14

% 30; Кадр	Програмовані дії
(FREZA 10) T1 M06	Установка інструмента
G90 G71 X0 Y0	Встановлення початку координат
G00 X1 Y21	Вихід в точку початку обробки
D01 Z10 S5500 M3 M08 F500	Призначення режимів обробки, корекція довжини інструмента

% 30; Кадр	Програмовані дії
G01 Z0	Підхід по Z у початок обробки
L01 H6	Обхід контуру за підпрограмою шість разів
G90 G00 Z150	Відвід фрези по Z
G53 X-450 Y-10	Скасування всіх команд і корекцій
M30	Кінець програми
L01	Підпрограма
N10 G91 G01 Z-0,5 F1000	Набір глибини різання по Z
N11 G90 G01 Y-12	Робочий хід уздовж паза по Y
N12 X-1	Перехід по X на 2 мм
N13 Y21	Робочий хід по Y у зворотному напрямку
N14 X1	Перехід по X на першу траєкторію
N15 M20	Кінець підпрограми

Розглянемо інший приклад — нанесення на поверхню деталі тексту гравіруванням за програмою на фрезерному верстаті. Програмувати елементарні рухи, наносячи кожену букву, — це всього лише трудомісткий процес.

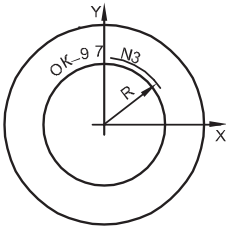


Рис. 2.40.
Програмування
тексту

1. Використовуючи програму «Master CAM», вводимо дані про верстат і пристрій ЧПК, на якому виконуватиметься обробка.

2. На екрані комп'ютера зображуємо (або переносимо з CAD-програми) ескіз поверхні, на якій треба зробити напис (рис. 2.40).

3. Призначаємо початок координат у центрі кола, інструмент, режими обробки, глибину фрезерування, переміщення по Z.

4. Нехай треба гравірувати напис «OK-97 N3». Набираємо на клавіатурі текст, призначаємо висоту літер, радіус, на якому їх розташовують, інтервал між ними, глибину контуру фрезерування.

5. Дивлячись на екран, змінюємо «картинку» в бажаному напрямі.

6. Після вводу всіх даних програму передаємо відомими засобами в ПЧПК верстата. Переглядаємо текст на екрані пристрою ЧПК на відповідність коду. В табл. 2.15 наведено програму нанесення тексту, запропоновану «Master CAM»:

Таблиця 2.15

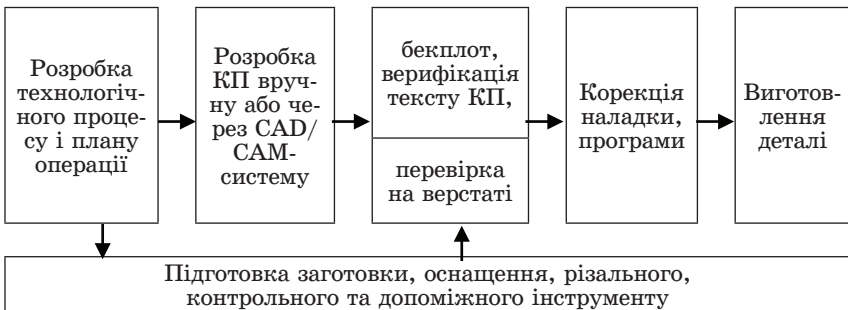
% 30а; Програмування тексту	
N1G90G00G71E01	N202G00Z10
N100X-11.35Y9.47S1500	N204X-2.44Y12.32
N102G43D1Z10.	N206Z1.
N104Z1. N106G01Z0.F30	N208G01Z0.F30 N210G03X-.57Y12.73I-1.59J12.93F100
N108G03X-9.91Y8.09I- 8.59J10.92F100	N212X-.73Y14.72I-3.6J13.49 N214X-2.73Y14.56I-1.71J14.36F100
N110X-8.52Y9.54I-9.42J9.01	N216X-.73Y14.72I-1.71J14.36
N112X-9.97Y10.92I-11.29J8.09	N218G01Z1.
N114X-11.35Y9.47I-10.45J10.	N220G00Z10.
N116G01Z1.	N222X.84Y15.51
N118G00Z10.	N224Z1.
N120X-7.96Y10.59	N226G01Z0.F30
N122Z1.	N228X2.93Y15.26F100
N124G01Z0.F30	N230G03X1.46Y11.91I7.77J11.14
N126X-7.3Y9.57F100	N232G01Z1.
N128Z1.	N234G00Z10.
N130G00Z10.	N236X5.7Y10.61
N132X-7.96Y10.59	N238Z1.
N134Z1.	N240G01Z0.F30
N136G01Z0.F30	N242X7.62Y13.54F100
N138X-9.2Y12.52F100	N244X7.49Y9.43
N140Z1.	N246X9.42Y12.36
N142G00Z10.	N248Z1.
N144X-7.78Y11.94	N250G00Z10.
N146Z1.	N252X10.25Y10.99
% 30а; Програмування тексту	
N148G01Z0.F30	N254Z1.
N150X-7.55Y13.57F100	N256G01Z0.F30
N152Z1.	N258G02X11.22Y10.71I0.48J10.0 1F100
N154G00Z10.	N260G01X11.3Y10.61
N156X-7.78Y11.94	N262G02X11.6Y9.89I10.5J9.85
N158Z1.	N264X11.35Y9.28I10.8J9.86
N160G01Z0.F30	N266X10.21Y9.22I10.75J9.92
N162X-5.66Y10.63F100	N268G01X10.03Y9.41F100
N164Z1.	N270Z1.
N166G00Z10. N168X-5.62Y12.59	N272G00Z10. N274X10.21Y9.22
N170Z1.	N276Z1.

Закінчення табл. 2.15

N172G01Z0.F30	N278G01Z0.F30
N174X-3.74Y13.27F100	N280G02X10.11Y8.04I9.5J8.69F100
N176Z1.	N282X9.48Y7.83I9.56J8.63
N178G00Z10.	N284X8.79Y8.17I9.59J8.93
N180X-3.98Y13.18	N286G01X8.63Y8.34
N182Z1.	N288G02X8.4Y9.32I9.36J9.03
N184G01Z0.F30	N290G01Z1.0
N186X-5.39Y12.67F100	N292G00Z10.
N188Z1.	N294M05M09
N190G00Z10.	N296M02
N192X-7.78Y11.94	
N194Z1.	
N196G01Z0.F30	
N198X-7.96Y10.59F100	
N200Z1.0	

Незважаючи на короткий текст напису, на відміну від попередньої, програма для гравірування вийшла досить великою, її складання вручну не виправдовує себе за жодних обставин. Існує спеціальний стандарт на шрифт зі спрощеним зображенням літер — спеціально для гравірування на верстатах з ЧПК. Це трохи скорочує наведену вище програму, але не суттєво. Тому літерні позначення й написи на верстатах з ЧПК, як і п'ятикоординатне програмування, до появи САМ-систем практично не виконувалися. Для гравірування текстів, складних тривимірних узорчатих поверхонь існує спеціальна програма «Art САМ».

Підсумовуючи викладене, можна скласти такий алгоритм підходу до розробки та впровадження керуючої програми обробки на верстатах з ЧПК:



Адитивні технології (АТ). Адитивні технології (від англ. *add* — додати, *Additive Manufacturing*) забезпечують виготовлення деталі або її фізичного макета по 3D-моделі шляхом пошарового нарощування матеріалу в адитивній установці або на спеціальному 3D-принтері різними методами — напилюванням або наплавленням порошку, нанесенням рідких полімерів, композитних матеріалів тощо.

В основі адитивних технологій — використання CAD/CAM/CAE-систем.

Для виготовлення деталі адитивна технологія передбачає певну послідовність операцій.

1. Розробка в CAD-програмі об'ємної моделі деталі, виробу. Зчитування та передавання до CAM-програми.

2. Створення STL-файла (від англ. *Stereolithography*) — формат файла для зберігання тривимірних моделей.

3. За допомогою спеціальної програми, що може постачатися з адитивною установкою, поділ об'ємної моделі на шари, паралельні площині робочого стола, через заданий по глибині інтервал (до 0,02 мм), визначення геометрії перерізу деталі кожним шаром, передача даних у пристрій керування виконавчим органом нанесення та закріплення шару. По команді від програми стіл покривається надтонким шаром порошку (якщо будівельний матеріал порошок, а не розчин) — кілька десятків мікрон. Лазерний промінь по заданій траєкторії виконує спікання порошку, після чого робочий стіл опускається на висоту шару і процес повторюється шар за шаром до повного формування виробу. Так можна «виростити» деталі найскладнішої форми і навіть одну деталь всередині іншої. В ливарній промисловості АТ на основі CAD/CAM/CAE-систем дозволяють проектувати й виготовлювати форми і стержні складних конфігурацій як одне ціле, що неможливо у класичній технології. Якщо форма містить консольні конструкції, в об'ємній моделі CAD-програми передбачають спеціальні підтримувальні елементи. Після виготовлення виріб дістають з установки і очищують від залишків порошку.

Властивості матеріалу виробу після спікання залежать від технологічних можливостей камери, за потреби — практично відповідають властивостям такого самого монолітного. Якщо в зону спікання позмінно подавати різний порошок, наприклад мідний і з нержавіючої сталі, можна отримати біметалічні вироби.

Точність «вирощеної» деталі залежить від технології нанесення шарів, може бути досить високою — до 10÷15 мкм. Продуктивність вирощування залежить від потужності й розміру адитивної установки або 3D-принтера, швидкості нанесення матеріалу, інших чинників. Більш точними, потужними і досконалими є спеціальні адитивні установки, кількість моделей яких, що відрізняються можливостями, технологією нарощування, призначенням, стрімко зростає. За розмірами камери найбільші з відомих сьогодні — до 400 мм × 600 мм × 400 мм.

Перевага 3D-принтера полягає в тому, що завдяки своїй компактності він може розташовуватися безпосередньо біля робочого місця конструктора, виконувати перевірку проекту або його елементів відразу після проектування на фізичній моделі.

Такі можливості визначили два основні напрями використання адитивних технологій.

1. Виготовлення виробів складної конструкції з криволінійними зовнішніми та внутрішніми поверхнями, каналами, отворами в одиничному і дрібносерійному виробництві. Це — деталі літаків, космічних апаратів, підводних човнів, робочі органи турбін, інструменти, протези, імплантанти, ювелірні вироби. В машинобудуванні — це вставки термопласт-автоматів, шаблони, майстер-моделі для литва тощо. Така технологія різко скорочує підготовку їх виробництва, час і собівартість виготовлення.

2. Створення прототипів, зразків і моделей виробу за максимально коротким терміном. Прототип — це прообраз виробу, потрібний для оптимізації його форми, перевірки функціонального призначення, можливості складання в механізм призначення і розбирання, виконання інших вимог. Виготовлення першого фізичного зразка або прототипу виробу є найбільш вузьким місцем в освоєнні випуску нової продукції. У класичній технології витрати на розробку необхідного оснащення, технології виготовлення часто співмірні з вартістю виготовлення самого виробу. Використання АТ остаточно усуває ці проблеми, значно скорочує термін виготовлення і, відповідно, термін освоєння випуску продукції.

Адитивні технології різняться залежно від:

- застосування лазера;
- способу скріплення печатних шарів між собою (теплова дія, опромінення ультрафіолетом або видимим світлом, спеціальними з'єднувальними сумішами);

- способу утворення шару;
- способу подачі формоутворюючого матеріалу;
- виду формоутворюючих матеріалів — порошки металів із заданими властивостями після спікання, синтетичні смоли, пластмаса, цемент, гіпс, пісок тощо.

Нині використання адитивних технологій на базі CAD/CAM/CAE-систем є найбільш прогресивним напрямом розвитку металообробки, який інтенсивно розвивається, часом кардинально змінюючи наші уявлення про способи виготовлення та обробки. Згідно з даними проведених досліджень [18] рівень застосування АТ-технологій у різних галузях такий:

- 21 % — виробництво товарів споживання та електроніки;
- 20 % — автомобілебудування;
- 15 % — медицина, стоматологія включно;
- 12 % — авіабудування і космічна галузь;
- 11 % — верстатобудування та інструментальне виробництво;
- 8 % — військова техніка;
- 3 % — будівельна галузь.

2.22. Призначення та програмування швидкості різання й подачі

Основним параметром, що впливає на вибір швидкості різання V , мм/хв, є стійкість інструмента до заміни, T . Між цими параметрами існує залежність:

$$V \text{ (мм/хв)} = \frac{C}{T^m \text{ (хв)}}, \quad (2.4)$$

де C , m — постійні числа. Для кожної трійки: верстат — інструмент — деталь ці числа свої — результат практичного досвіду налагодчика, оператора;

T залежить від вимог виконуваної операції. При фрезеруванні оцінюють стійкість T до заміни інструмента величиною стирання задньої поверхні фрези, як правило, це $0,15 \div 0,30$ мм. V призначають залежно від необхідного значення T .

Щоб перейти від швидкості різання до чисел обертів шпінделя, використовують відому залежність:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/хв, звідки: } n = \frac{1000v}{\pi D} \text{ об/хв.} \quad (2.5)$$

Середня швидкість різання під час фрезерування відомими на пострадянському просторі різальними матеріалами: сталі — фрезою із Р6М5 — $25 \div 30$ м/хв; чавуну — 40 м/хв;

сталі — фрезою з твердосплавними пластинами (Т15К6) — 50 м/хв; чавуну (ВК8) — 50÷70 м/хв.

Використовуючи сучасні різальні матеріали й відповідну геометрію різальної частини інструмента, а також сучасні верстати з підвищеною жорсткістю, швидкість різання можна істотно збільшити (до 200÷300 м/хв і більше), підвищивши таким чином інтенсивність і якість обробки. Така обробка називається високошвидкісною, має свої особливості (див. параграф 2.24).

Наладчик має призначати швидкість різання (оберти шпінделя), беручи до уваги такі параметри:

— оптимальний діапазон обертів шпінделя під час роботи на даному верстаті;

— стійкість інструмента, необхідну для оброблюваної деталі чи партії (можлива обробка за програмою кількома однаковими інструментами — після відпрацювання за показником стійкості одного інструмента програмою задається наступний);

— властивості оброблюваного матеріалу, його стан перед обробкою (після поставки, попередньої чи остаточної термічної обробки тощо);

— характеристику різального інструмента.

Після цього за значенням наведених вище параметрів відшукати у каталогах фірм — виробників відповідного інструменту рекомендований діапазон швидкостей різання.

Для визначення робочої подачі використовують дані того ж каталогу, з урахуванням особливостей деталі й верстата. Зазвичай застосовують емпіричне співвідношення: $F = S/10$ мм/хв.

Команда швидкості різання (числа обертів шпінделя) запам'ятовується пристроєм ЧПК до відміни новою командою S. Якщо задати $S = 0$, відбудеться кутова орієнтація шпінделя під заміну інструмента або перед роботою по команді C в режимі стеження.

Швидкість різання може бути скорегована під час обробки на ± 20 % тумблером на пульті пристрою ЧПК.

Програмування подачі відбувається адресою F та чотиризначним числом у мм/хв для лінійних переміщень і адресою B (верстат 2204ВМФ4) у град./хв — для кутових переміщень. «0» перед першою значущою цифрою опускають. Наприклад: 50 мм/хв → F50; 0050 мм/хв → F50;

Після прискороного руху на якомусь відрізку траєкторії (команда G00) відновлюється робоча подача, що діяла раніше.

В межах, закладених у пристрої ЧПК і механізмах верстата, при змінах подач відбувається розгін на початку руху, а в кінці кадру — гальмування подачі до мінімальної, закладеної в параметрах верстата. За підвищених вимог до точності позиціонування в кадрі додатково використовують команду G09 — гальмування на підході до точки обробки. Корегування подачі на $\pm 20\%$, як і швидкості різання, можливе безпосередньо під час обробки тумблером на пульті ЧПК. Спеціальною адресою E і двозначним числом через програму можна корегувати подачу в широкому діапазоні.

Основні команди корекції режимів обробки:

E00 — заборона корекції S і F, виконується за замовчуванням;

E01 — дозвіл корекції S і F від тумблера на пульті, заборона корекції від програми;

E02 — дозвіл корекції швидкості шпінделя від тумблера, заборона корекції подачі;

E03 — дозвіл корекції подачі тумблером, заборона корекції швидкості різання;

E11–E40 — введення корекції подачі через програму і коректори на пульті (в програмі зазначають E і номер коректора, а в коректор з пульта вносять значення корекції у процентах від основної подачі). При цьому корекція подачі з пульта можлива.

Для визначення корекції подачі в ручному режимі обробляють всі поверхні деталі і встановлюють для кожної прийнятне значення подачі. Аналізуючи результат, призначають основне значення подачі, далі вираховують від прийнятого основного значення процент корекції, заносять його до відповідних коректорів.

2.23. Різальний та допоміжний інструмент. Робота інструментального магазину

Як здійснюється вибір інструменту для обробки отворів, описано в параграфі 2.14.

Розглянемо послідовність вибору інструменту для фрезерування.

Тип фрези вибирається залежно від схеми знімання припуску. Для обробки плоскої поверхні використовують торцеву фрезу, контуру — кінцеву. Якщо плоска поверхня напіввідкрита або закрита, обробку виконують також кінцевою фрезою.

Діаметр фрези вибирають виходячи з міркувань найвищої продуктивності та стійкості інструмента. Для фрезерування відкритої поверхні вибирають торцеву фрезу якомога більшого діаметра з твердосплавними швидкозамінними, непереточуваними пластинами. Обмеженням служить технічна можливість верстата. У випадку знімання великого шару металу перспективно використовувати торцеві фрези з круглими пластинами, які дають змогу працювати з великими подачами і глибиною різання водночас. На фінішній обробці, щоб отримати поверхню низької шорсткості, при невеликому припуску застосовують торцеві фрези з пластинами з мінералокераміки. Кінцевими фрезами відкрита плоскість оброблюється тоді, коли цю ж фрезу використовують для фрезерування ще й інших поверхонь (уступів, пазів).

Для обробки контурів, а також напіввідкритих та закритих поверхонь застосовують кінцеві фрези, максимальний діаметр яких обмежується мінімальним радіусом на оброблюваному контурі (див. рис. 2.12).

Для забезпечення жорсткості інструмента бажано, щоб його діаметр D задовольняв умову: $H \leq 2,5D$, де H — максимальна висота стінки оброблюваної поверхні. Якщо ця умова не виконується, вибирають фрезу з найближчим більшим стандартним значенням діаметра або виконують обробку за кілька проходів.

Довжина різальної частини інструмента для обробки напіввідкритих і закритих поверхонь, L , має дорівнювати: $L = H + r + 5$, де r — радіус заокруглення біля торця фрези. Якщо стінка висока, міняють фрезу або операцію виконують за два і більше проходів.

Обробляючи пази, для підвищення точності ширини паза діаметр фрези вибирають меншим його ширини. Такою фрезою спочатку фрезерують середину, а потім обходять сторони паза по контуру з використанням корекцій (див. параграф 2.17, рис. 2.32).

Матеріал різальної частини, напрям та нахил спіралі, число зуб'їв, параметри заточування вибирають, залежно від

оброблюваного матеріалу та його стану, за каталогами фірм-виробників згідно з рекомендаціями ISO. Для підвищення стійкості, поліпшення умов відводу стружки при обробці глухих пазів застосовують кінцеві фрези зі збільшеним кутом нахилу спіралі й полірованими канавками. Зменшення вібрації досягається застосуванням три- і чотиризубих фрез із різними відстанями між зуб'ями (різнокрокові фрези).

Кругове фрезерування або фрезерування з гвинтовою інтерполяцією (див. параграф 2.7), що можливе на трьох координатних ОЦ, дедалі більше витісняє розточування в корпусних деталях. Продуктивність кругового фрезерування значно вища за розточування і нема потреби в точному налагоджуванні інструмента на розточуваний діаметр. Обмеженнями для кругового фрезерування є глибина отвору (залежно від довжини кінцевої фрези — 60–80 мм), його діаметр і точність обробки.

Об'ємне фрезерування (інструмент рухається водночас по трьох координатах) найчастіше виконують фрезами зі сферичною поверхнею на торці. За заданих параметрів оброблюваної поверхні подача і глибина фрезерування визначаються допустимою висотою гребінця на поверхні після обробки такою фрезою (допуск на обрєбріння). Використовуються сферичні фрези передусім під час виготовлення штампів та прес-форм.

Конічні кінцеві фрези застосовуються для обробки нахилів плоскої поверхні, внутрішніх вибірок.

На вибір фрези для обробки впливають також форма і розміри кріпильної частини, враховується наявний допоміжний інструмент.

Допоміжний інструмент. Основне завдання допоміжного інструменту — надійна і точна (співвісна з віссю обертання шпінделя) фіксація різального інструменту в шпінделі верстата і передача йому крутильного моменту. Установку й закріплення різального інструменту в шпінделі ОЦ забезпечує система компоновки спеціальних функціональних одиниць — інструментальних блоків, комбінацій різального і допоміжного інструментів.

Для цього різальний інструмент безпосередньо або через перехідні елементи (оправки, втулки, цангові патрони, розточувальні головки, свердлильні патрони, втулки для закріплення фрез, різьбонарізні патрони тощо) установлюють і укріплюють в спеціальних базових оправках. Як перехідні для кінцевих фрез і отвороутворюючого інструменту

найчастіше використовують цангові патрони. В кінцевий отвір цангового патрона вставляють змінні цанги. Цанга має циліндричний отвір, куди вставляється циліндричний хвостовик різального інструменту. Діаметр хвостовика має відповідати номеру цанги. Основна перевага цангового патрона — це можливість закріплення широкого діапазону різальних інструментів за допомогою комплекту змінних цанг. Один патрон містить цанги для інструментів від 6 до 30 мм. Цанга добре й надійно центрує і закріплює інструмент, але через недостатню збалансованість маси не рекомендується для високошвидкісної обробки.

Базові оправки, щоб забезпечити якісну і надійну роботу різального інструменту, теж повинні відповідати ряду жорстких вимог, тому вони стандартизовані на міжнародному рівні, а їх виробництво організоване на спеціалізованих підприємствах.

Базова оправка повинна мати такі стандартизовані приєднувальні поверхні (рис. 2.41):

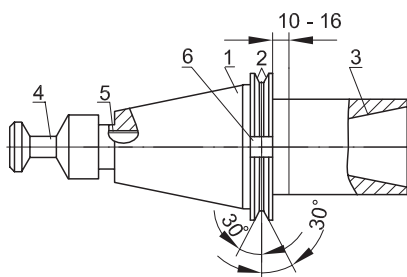


Рис. 2.41. Базова оправка

цеві пази 6 для шпонкового з'єднання зі шпінделем. Перед фланцем обов'язково має бути вільний простір для руки маніпулятора: не менше 10 мм для хвостовика № 40 і 16 мм для хвостовика № 50;

3 — поверхня для установки і закріплення різальних та допоміжних інструментів;

5 — різьбова поверхня для установки захвата 4 механізму осевого кріплення базової оправки.

Кожен верстат у достатній кількості комплектується базовими оправками. Випускаються також готові комплекти, що включають базову оправку і набір необхідних перехідних елементів до різального інструменту. Від якості допоміжного інструменту залежить стійкість різального,

1 — поверхня базування в шпінделі верстата, хвостовик (згідно з ISO існує два номери конусів хвостовика — 40 і 50);

2 — поверхні для установки на них «руки» маніпулятора, виконані як кільцева виточка на фланці оправки з кутом конуса в ній 60°. На фланці прорізані два торцеві пази

стабільність і точність обробки. Для якісного зберігання базових оправок, зібраних з різальним інструментом і не зібраних, оброблювальні центри оснащуються спеціальними стандартизованими інструментальними тумбами, на конічній поверхні яких розташовані гнізда під базові оправки.

Організація інструментального забезпечення програми

1. Після відбору необхідного для обробки інструменту виконується його перевірка по масі, діаметру та довжині на відповідність обмежень технічною характеристикою верстата.

2. Відібраний і оглянутий на відповідність всім вимогам інструмент збирають у блоки з базовими оправками, розміщують у гніздах магазину з урахуванням вимог до розташування (рівномірно по колу, поряд з інструментами великого діаметра бажано, щоб були порожні гнізда тощо). Записують і переносять у текст програми і карту наладки адреси кожного.

3. Визначають корекції на кожний інструмент по довжині та радіусу. Заносять до коректорів пристрою ЧПК, записують у карту наладки. Номер коректора відповідає номеру гнізда інструмента.

4. Інструмент Т30 вставляють у шпіндель. Це може бути довільний, навіть не задіяний у роботі, інструмент або просто оправка. Такої дії вимагає система ЧПК у вихідному положенні перед початком роботи, тому найбільша кількість інструментів у 30-місному магазині — 29 (30-й завжди в шпінделі).

Заміна інструмента програмується кількома кадрами:

1) пошук інструмента — відбувається через обертання барабана магазину після зчитування в програмі кадру Txx. Гніздо з інструментом стає навпроти автооператора («руки»), інструмент переводиться з магазину в гніздо автооператора;

2) орієнтація шпінделя в положення заміни інструмента — команда S0;

3) вихід верстата в позицію заміни інструмента — команда G28;

4) заміна інструмента, команда M06: автооператор виймає інструмент зі шпінделя, обертається на 180°, вставляє в шпіндель новий інструмент.

Одночасно відбувається пошук гнізда магазину, в яке потрібно повернути вилучений зі шпінделя інструмент (обертається барабан магазину), відпрацьований інструмент повертається у відповідне гніздо магазину;

5) виїзд з позиції заміни інструмента.

2.24. Високошвидкісна обробка (ВШО)

Завдяки конструктивному удосконаленню металорізальних верстатів та розвитку технології обробки деталей швидкість обертання шпінделя може сягати 60 000 об./хв, а швидкість подачі — 30 м/хв. Це дає змогу реалізувати високошвидкісну обробку, теоретичні основи якої були відомі фахівцям давно. Експериментально встановлено, що зі збільшенням швидкості різання температура в зоні різання спочатку зростає, досягає максимального значення, а потім, з подальшим підвищенням швидкості різання, на деякому відрізку швидкостей поступово знижується і через певний інтервал знову зростає (рис. 2.42).

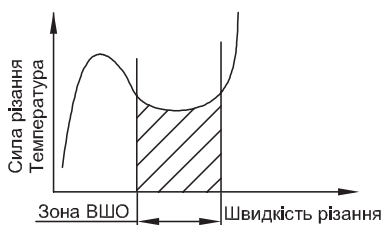


Рис. 2.42. Діапазон ВШО

Це пояснюється зменшенням кількості тепла, яке встигає зі стружки перейти в деталь та інструмент.

Водночас падає крутильний момент або потужність різання, зменшуються сили різання. Тобто існує область високих швидкостей обробки, де різання відбувається у сприятливіших умовах порівняно

з рекомендованими режимами. Оскільки при цьому зменшується навантаження на інструмент, різальна крайка зберігає свої параметри довше, якість обробки поверхні зростає, підвищуються стійкість інструмента і продуктивність обробки. Зменшення кількості тепла, що попадає в оброблювану деталь, дає змогу обробляти гартовані поверхні без загрози зниження їх твердості через відпускання поверхневого шару.

Поки що ця область швидкостей різання для кожного інструмента і оброблюваного матеріалу визначається експериментально.

Робота з високою швидкістю різання ставить свої умови до програмування траєкторії руху інструмента на верстаті з ЧПК і розподілу припуску між проходами. Співвідношення подач при ВШО значно менше, ніж за звичайного фрезерування. Траєкторія робочого руху має бути плавною, без різких змін напрямку і швидкості подачі. У зв'язку з цим лінійні переміщення часто замінюються на петлеподібні. Врізання в метал виконують не вертикальною подачею по Z, а по спіралі або під невеликим кутом. Ці прийоми роб-

лять стабільнішими умови різання, зменшують навантаження на інструмент і небезпеку його поломки.

Оскільки складова сили різання по Z не міняється, то ВШО поки що застосовують, в основному, для чистових операцій. Рекомендована глибина різання — не більше 10 % від довжини робочої частини фрези. Замість свердління доцільно, по можливості, використовувати розфрезеровування по спіралі (див. гвинтову інтерполяцію).

Обладнання з ЧПК, на якому виконується ВШО, має відповідати вимогам:

- частота обертання шпінделя до 15 000 об./хв і подача — не менше 15 000 мм/хв;

- механізми верстата повинні встигати за програмою, оперативно змінюючи швидкість і напрям подачі;

- верстат конструктивно має бути настільки жорстким, щоб не викликати вібрації на високих швидкостях;

- застосований патрон має бути ідеально відбалансованим, найменший дисбаланс зумовить биття, вкрай небезпечне у таких випадках;

- виліт інструмента має бути мінімально можливим;

- верстати з можливістю ВШО повинні мати механізм швидкого постійного видалення стружки;

- при ВШО рекомендується попутне фрезерування для отримання кращих результатів щодо шорсткості поверхні, швидшого відведення стружки, підвищення стійкості фрези;

- стійкість фрези збільшується при охолодженні обдувом. У разі застосування охолоджувальної рідини стійкість різального інструмента нижча, ніж за її відсутності. Це пояснюється циклічним температурним навантаженням різальної крайки, в результаті чого вона викришується.

Обмежувачем швидкості при ВШО виступає різальний і допоміжний інструмент. Для покращання показників на поверхню різального інструменту наносять спеціальні зносостійкі покриття, підвищують вимоги до биття допоміжних інструментів (за даними різних досліджень, залежність стійкості інструменту від биття практично лінійна). З огляду на це, спеціально для високошвидкісної обробки спроектовано і стандартизовано ISO конуси HSK, призначені для більш жорсткого кріплення інструменту:

HSK A 100 — рекомендовано до 20 000 об./хв;

HSK A 63 — до 25 000 об./хв;

HSK A 50 — до 35 000 об./хв;

ISO 30 — до 45 000 об./хв;

ISO 40 — до 30 000 об./хв;

ISO 50 — до 15 000 об./хв;

Умови їх застосування:

для силового шпінделя потужністю 45 кВт — частота обертання 15 000 об./хв, конус ISO 50, діаметр 100 мм;

для середнього шпінделя потужністю 20 кВт — частота обертання 24 000 об./хв, конус ISO 40, діаметр 70 мм;

для швидкісного шпінделя потужністю 12 кВт — частота обертання 40 000 об./хв, конус ISO 30, діаметр 45 мм.

Щоб забезпечити відповідність режимам і умовам різання ВШО, робочі органи верстата налагоджують на виконання значно більших і швидших переміщень, обсяг керуючої програми зростає і може перевищувати обсяг звичайної в десятки, а то й сотні разів. Система ЧПК повинна встигати відпрацьовувати кадри і мати достатній програмний буфер для підготовки наступних переміщень, має «дивитися вперед» зі швидкістю 100–200 кадрів у секунду, щоб встигнути зробити розрахунки для гальмування при підході до вершини кута і розгону після повороту. Деякі фірми («Power Mill») під час програмування обходу кутів, виконуючи подібні розрахунки, орієнтуються на досвід гонщиків при обході віражу. Якщо пам'яті системи недостатньо, користуються DNC-режимом, який забезпечує роботу верстата від комп'ютера через пристрій ЧПК. При цьому ставляться особливі вимоги до персонального комп'ютера щодо швидкодії та надійності комунікаційного забезпечення.

З огляду на викладене, чорнову обробку виконують із дотриманням звичайних режимів, крім випадків гартованої поверхні, а ВШО застосовують для фінішної обробки.

Менші крок подач та глибина фрезерування за великих обертів шпінделя, крім підвищення точності і зменшення трудомісткості обробки, істотно покращують якість поверхні. Це дозволяє уникнути ручної доводки для деталей зі складними поверхнями, такими, наприклад, як прес-форми. Використання інструментів малого діаметра дає змогу обробити дрібні елементи поверхні, гострі внутрішні кути й под.

Прикладом високошвидкісної обробки може бути охоплює фрезерування гартованих ходових гвинтів спеціальною фрезою, різальні елементи якої розташовані на внутрішній стороні корпусу. Щоб уникнути спотворення про-

філю різьби, корпус розташований на супорті, який має змогу повертатися на кут підйому гвинтової лінії. Зона різання — у вертикальній осьовій площині виробу зверху. Подача на врізання — зверху вниз. Різальний матеріал фрези — кубічний нітрид бору (кубоніт, ельбор, CNB). Оберти фрези розраховуються виходячи зі швидкості різання до 200 м/хв і подачі на зуб, залежно від твердості й марки оброблюваного матеріалу, в межах 0,03÷0,08 мм. Від подачі на зуб розраховуються оберти шпінделя виробу і поздовжня швидкість руху супорта з фрезою.

Операція використовується в реальному виробництві на машинобудівних заводах.

2.25. Роботизовані технологічні комплекси (РТК)

Роботизований технологічний комплекс (РТК) — це виробнича система, в якій діюче обладнання, пристрої, оснащення, транспортні, контрольні механізми і роботи реалізують усю технологію виробництва, за винятком функцій управління та контролю, які виконує людина. Керування РТК відбувається за програмою від єдиного центру і здійснюється тим самим G-кодом. Сучасні РТК призначені для виконання багаторазово повторюваних операцій. Розглянемо найбільш поширені галузі застосування РТК.

1. Зварювання. Зварювальний робот — це пристрій з механічною рукою, яка виконує основну роботу зварювання. Керування «рукою» дистанційне. Крім основного достоїнства — звільнення людини від небезпечної роботи, зварювальні роботи мають ще такі переваги:

- краща якість зварювання;
- більша швидкість, тобто вища продуктивність обробки;
- точніше прокладання шва, отже, менший процент браку;
- вища стабільність результату — виключено вплив на якість людського чинника;
- можливість зварювати в недоступних для людини місцях.

2. Автомобільна промисловість. Уздовж складального конвеєра розташовані роботи-маніпулятори, які виконують захоплення та переміщення в потрібну точку деталей і вузлів. Застосовуються також вимірювальні пристрої — автомати для контролю якості та пристрої — автомати для сортування.

3. Виробництво підшипників здійснюється, практично, заводом-автоматом, де всі процеси — від заготовки до вихідного контролю, складання та пакування — автоматизовані.

4. У металургійні промисловості широковідомі лінії безперервного литва, роботизовані комплекси литва під тиском, різання й розкром металу, роботи-формульовальники, маніпулятори рознесення ковшів з рідким металом тощо.

5. Хімічна й нафтогазова промисловість через особливу небезпеку праці мають високий ступінь автоматизації контролю навколишнього середовища, вловлювання газів, пилу, контролю стану продуктопроводів. Корозія труб від агресивних речовин може призвести до витоків, тому науковці впроваджують нанороботи з мікроскопічними камерами нагляді і датчиками, які, самостійно рухаючись по трубах, передають інформацію про їх стан.

6. Відома роль роботів у легкій промисловості — фасування, пакування, складування продукції, автоматизовані технологічні лінії виробництва. Тут найбільше автоматизованих ліній з маніпуляторами-роботами.

Розглянута роботизація стала можливою завдяки високому програмному забезпеченню, яке, постійно удосконалюючись, практично, створило механізми, наділені інтелектом, що замінили людину в найбільш трудомістких, важких і небезпечних галузях.

Розглянемо найпоширеніші випадки використання РТК у механообробці.

Організація роботи двох токарних верстатів із переміщенням маніпулятором заготовки з одного верстата на другий. Усі механізми працюють від одного пристрою ЧПК. Верстати розташовані один навпроти одного. На першому деталь оброблюється з однієї сторони, на другому — з другої. Завдання програміста-технолога і наладчика — розподілити обробку за стрічковим часом так, щоб він був приблизно однаковим для обох верстатів. Відомі токарні РТК на базі двошпіндельних токарних верстатів з ЧПК із двома восьмипозиційними револьверними головками, які одночасно оброблюють дві деталі. За такт з верстата сходять повністю оброблена з двох сторін деталь. Для цього спеціальний маніпулятор забезпечує установку та переустановку деталі. Поворотний пристрій маніпулятора повертає заготовку на 180° під час переміщення з першого на другий шпіндель.

Роботизований комплекс РТК 16К20Ф3Р132 призначений для обробки деталей типу «вал» або «фланець» вагою до 5 кг, діаметром 20÷150 мм, довжиною до 500 мм з двох установок. Роботи виконуються за допомогою промислового робота М10П.62.01. Система ЧПК ПР — «Контур 1.03». Кількість програмованих координат робота — шість [21].

Робота лінії, що складається з двох ОЦ 2254ВМФ4, для обробки корпусних деталей. Розподіл роботи між оброблювальними центрами: чорнова і чистова обробка. Стрічковий час приблизно однаковий. Між верстатами і столом операційного накопичувача рухається керований від програми маніпулятор з позиційним поворотом на 360°. Деталі обробки укріплені на спеціальних палетах або супутниках.

Ці палети-супутники проходять шлях від позиції завантаження міжопераційного столика накопичувача до першого верстата, після обробки на ньому — до другого, з другого повертаються на той самий стіл накопичувача в позицію вивантаження. Програмне забезпечення централізоване. Схему обробки зображено на рис. 2.43. Вся система працює за програмою таким чином:

1. Маніпулятор, керований програмою, спеціальними захватами переміщує супутник із заготовкою від столика накопичувача до першого верстата, установлює в позицію завантаження.

2. По команді від програми з позиції вивантаження стола ОЦ1 маніпулятор знімає оброблену начорно заготовку і, обертаючись, установлює її в позицію завантаження на стіл верстата чистової обробки ОЦ2.

3. Знімає палету з деталлю з позиції вивантаження верстата чистової обробки ОЦ2 і переміщує на стіл накопичувача в позицію вивантаження 4.

Далі рухи повторюються. Повороти в позиції зміни і укріплення палет-супутників на верстатах програмуються командами G31 і G32. Завантаження на верстат і вивантаження в перевантажувач програмуються командами M60 і M61 відповідно. M64 — завантаження з накопичувача в пе-

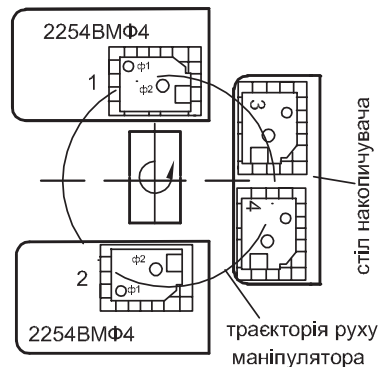


Рис. 2.43. Обробка на РТК з двох ОЦ 2254ВМФ4

ревантажувач; М65 — вивантаження з перевантажувача в накопичувач.

Точність обробки деталі залежить від точності її установки на палеті й точності установки самої палети на столі верстата, що може створити певні проблеми, шляхи розв'язання яких такі:

1) палети установлюються на верстаті по спеціальних напрямних і двох базових фіксаторах з наступним кріпленням. Похибка, яка тут може виникнути, — це зазори у з'єднанні з фіксаторами (зношені фіксатори та базові отвори палети);

2) контроль положення палети або безпосередньо самої деталі після закріплення на столі верстата з наступним вводом корекції в керуючу програму. Застосовується контрольно-вимірвальна система.

Закріплюють палети на столі за допомогою спеціального пристрою з гідрозатискувачем або спеціальними Г-подібними прихоплювачами через потужні тарільчасті пружини.

Використання палет-супутників, особливо для складних корпусних деталей з великою масою, виправдане навіть без організації РТК, оскільки налагодження деталі на обробку виконується на столі накопичувача під час обробки на верстаті другої деталі, економлячи таким чином машинний час.

У табл. 2.16 наведено приклад програмування обробки на ОЦ 2254ВМФ4 з установленням деталей на палетах-супутниках.

Таблиця 2.16

Кадр	Програмовані дії
% 23; (KORPUS)	
N10G90S0E01;	Кутова орієнтація шпінделя, абсолютна система, дозвіл на корекцію режимів під час обробки
N20G29;	Вихід в постійні точки верстата
N30M64;	Завантаження перевантажувача
N40M60;	Завантаження верстата 1 з перевантажувача
N50M64;	Завдання на пошук наступної палети-супутника
N60 — N790;	Обробка деталі на верстаті (кадри умовні)
N800M61;	Вивантаження палети-супутника з обробленою деталлю
N810M60;	Завантаження верстата 2
N820M65;	Вивантаження палети-супутника з обробленою деталлю в накопичувач
N825 Q50-820H11;	Повтор кадрів програми 11 разів — за кількістю місць у накопичувачі
N830M02;	Кінець програми

2.26. Робота пристрою ЧПК 2С-42

Модернізований ПЧПК 2С-42 дозволяє вводити програму безпосередньо з комп'ютера або через електронний носій (для цього використано вхід для фотозчитувального пристрою). У пристрої ЧПК 2С-42 передбачено режими й підрежими роботи, описані нижче.

1. *Режим «Автомат»* — призначений для організації роботи верстата за керуючою програмою, що заведена в ПЧПК. Для виклику та запуску програми на клавіатурі пульта набирають її номер і натискають кнопку «Пуск». У кінці відпрацювання програми на екрані висвічується «кінець КП». У режимі «Автомат» функціонують підрежими:

1.1. *«Основна програма»* — не відпрацьовує кадри, помічені навскісною рисою. Для їх активації потрібно натиснути відповідну кнопку;

1.2. *«Прискорена програма»* — прискореним рухом відпрацьовує всі переміщення робочих органів;

1.3. *«Пуск з підтвердженням»* — при першому натискуванні на кнопку «Пуск» оператор має можливість побачити на моніторі координати кінця кадру, при повторному натискуванні починається відпрацювання кадру;

1.4. *«Зупинка з підтвердженням»* — наявність у програмі кадру М01 зупиняє програму. Для відновлення роботи треба натиснути кнопку «Пуск»;

1.5. *«Зупинка в кінці кадру»* — відпрацювання програми відбувається із зупинками в кінці кожного кадру. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск»;

1.6. *«Зупинка по елементах циклу»* — зупинка програми відбувається після кожного кадру підпрограми або в кінці циклу. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

2. *Режим «Ручне керування»* забезпечує такі підрежими:

2.1. *Переміщення виконавчих органів* верстата по всіх координатах із фіксованою швидкістю або мірні переміщення;

2.2. *Переміщення на задану відстань*;

2.3. *Ручне керування механізмами верстата*: виїзд у позицію заміни інструмента, віджимання-затискання інструмента, віджимання-затискання координати, заміна інструмента, заміна деталі, керування обертами шпінделя, відпрацювання М-функцій по преднабору; переміщення ви-

конавчих органів у координату, набрану на клавіатурі; повернення на траєкторію.

3. *Режим «Вихід у вихідне положення».* Якщо верстат знаходиться в позиції заміни інструмента, потрібно через ручний режим вийти з неї, потім — у вихідне положення (постійні координати верстата).

4. *Режим «Вихід у кадр»* забезпечує пошук потрібного кадру і вихід у точку, що відповідає його початку. Для цього потрібно набрати номер програми і номер кадру (наприклад, %2; N360) і натиснути кнопку «Пуск». Відбудеться прискорений рух по всіх задіяних координатах у координату точки початку кадру N360. Треба мати на увазі, що рух нескоординований, аби не створити аварійної ситуації.

5. *Режим «Редактор керуючої програми»* служить для корекції програм, що містяться в пам'яті ПЧПК, а також для розробки нових. Має два підрежими: командний і екранний. Розробка та редагування керуючих програм відбувається в екранному режимі.

6. *Режим «Редактор коректорів та параметрів»* використовують для редагування з пульта ПЧПК верстатних параметрів, коректорів і параметрів підпрограм у пам'яті пристрою.

7. *Ввід керуючої програми* служить для вводу інформації з незалежного носія: перфострічки, комп'ютера безпосередньо чи по мережі, дискети, флешки тощо.

8. *Допоміжні підрежими* — передбачена можливість оперативної (під час роботи) корекції подачі, прискореного руху, швидкості різання, а також можливість блокування руху по вказаних координатах.

9. *Скасовування.* У ПЧПК передбачено кілька режимів скасовування: поточних позицій, накопичувачів по координатах, відпрацювання програми, загальне скасовування, скасовування корекцій на інструмент, корекцій зміщення нуля, корекції швидкості.

10. *Індикація.* У ПЧПК передбачено такі формати індикації:

– *геометричні:* поточні й кінцеві координати, відвід і залишок шляху, «плаваючий нуль» та зміщення нуля, абсолютні та неузгоджені координати верстата;

– *діючі G, M та T-функції:* у цьому форматі індикуються дії G і M-функцій, поточне положення інструментально-го магазину, номер інструмента в первантажувачі, номер

інструмента в шпінделі, неузгодженість інструментального магазину, заблокований стан, фактичні оберти шпінделя (об./хв), загальний термін роботи, термін роботи програми в режимі «автомат», термін витримки по G04;

– *оперативна інформація*: у цьому форматі індикуються: поточне положення по координатах, величина і знак корекції по координатах, кінцеві положення по координатах, кадри, що відпрацьовуються;

– *каталог керуючих програм та підпрограм*: у цьому форматі індикуються номери всіх програм, що зберігаються в пам'яті ПЧПК, та підпрограм;

– *коректори і параметри* — індикація та керування маркером такі самі, як у режимі «Редактор коректорів та параметрів», але тут коректори й параметри можна лише переглянути, не змінюючи їхніх значень.

Перелік режимів роботи пристрою ЧПК з їх номерами виводиться на екран натискуванням спеціальної кнопки на клавіатурі.

2.27. Програмування обробки на верстатах з ЧПК за стандартом ISO 14649

На відміну від ISO 6983 (система кодування координатних переміщень осі інструмента, G01, G02, G03, та прості команди логічного змісту виконавчим органам верстата), стандарт ISO 14649 пропонує концепцію числового програмного керування обробкою деталі шляхом видалення із заготовки типових форм (feature), які складають частину оброблюваної поверхні, виконуючи для цього необхідні переходи (workingsteps). Керування переходами та їх послідовністю здійснюється виконавчими блоками (executable), необхідним інструментом із заданою точністю. Таке програмування відповідає сучасним технологіям металообробки, націленим на автоматизацію виробничих процесів через створення інформаційної моделі деталі, що використовується від комп'ютерного проектування до завершального етапу обробки на верстаті з ЧПК або складання. Відповідна модель окреслена комплексом стандартів STEP-Standard for the Exchange of Product model data (стандарти обміну даними моделі і виробу), які склали основу ISO 14649 або стандарту STEP-NC, згідно з яким в циклі існування деталі

від проектування до завершення її виготовлення розрізняють такі фази:

- проектування CAD (Computer-Aided Design) — створення деталі в графічному вигляді;

- макропланування технологічного процесу виготовлення CAPP (Computer-Aided Process Planning) — розробка технологічного маршруту обробки деталі із закріпленням операцій за верстатами з ЧПК, де можуть бути використані комп'ютерні програми технологічної підготовки;

- мікропланування операцій CAM (Computer-Aided Manufacturing) — розробка керуючих програм обробки деталі в САМ-програмі з їх передачею через постпроцесор у пристрій ЧПК конкретного верстата (розглянуто в параграфі 2.21);

- керування обробкою NC (Numerical Control).

На сьогодні перехід від автоматичного проектування виробу (CAD) до автоматичного програмування його обробки (CAM) в достатній мірі відпрацьований, узгоджений і не викликає значних проблем. Слабкою ланкою є перехід САМ — CNC (ЧПК). Керуючу програму, створену в CAD/САМ-системі, передати в пристрій ЧПК і трансформувати в елементарні переміщення робочих органів верстата для знімання стружки можливо тільки через спеціально для цього призначені постпроцесори, які для кожного пристрою ЧПК, практично, індивідуальні. Крім того, відсутня можливість двостороннього обміну інформацією — зміни в КІ неможливо автоматично відобразити в САМ/CAD-системі, а деталізація знімання припуску до елементарних переходів часто робить програму громіздкою і незручною для читання та редагування.

В ISO 14649 створена узагальнена STEP-NC-модель, згідно з якою пристрій ЧПК отримує великий обсяг інформації, що об'єднує тривимірні геометричні дані заготовки, деталі та інструмента, допуски, технологічні параметри і сам хід процесу, а інтелектуальні системи ЧПК самостійно розраховують траєкторії руху інструмента для обробки деталі.

Складається ISO 14649 з наступних частин:

Частина 1. Огляд та основні принципи.

Частина 10. Загальні дані процесу.

Частина 11. Дані процесу для фрезерування.

Частина 12. Дані процесу для токарної обробки.

Частина 111. Інструменти для фрезерних верстатів.

Частина 112. Інструменти для токарної обробки.

Розглянемо детальніше частину 11. В ній представлено числове програмне керування функціями верстата, необхідними для здійснення різноманітних схем фрезерування та циклів обробки отворів. Для цього запропоновано спеціальну структуру керуючої програми (programstructure) та встановлено сім компонентів функціональності (Unit of Functionality, UOFs): проект (project), деталь (workpiece), типова форма (feature), виконавчий блок (executable), операція (operation), траєкторія інструмента (toolpath), вимірювання (measure). Концепцію програмування та взаємозв'язок між компонентами в КП показано на рис. 2.44. Розглянемо призначення кожної складової.

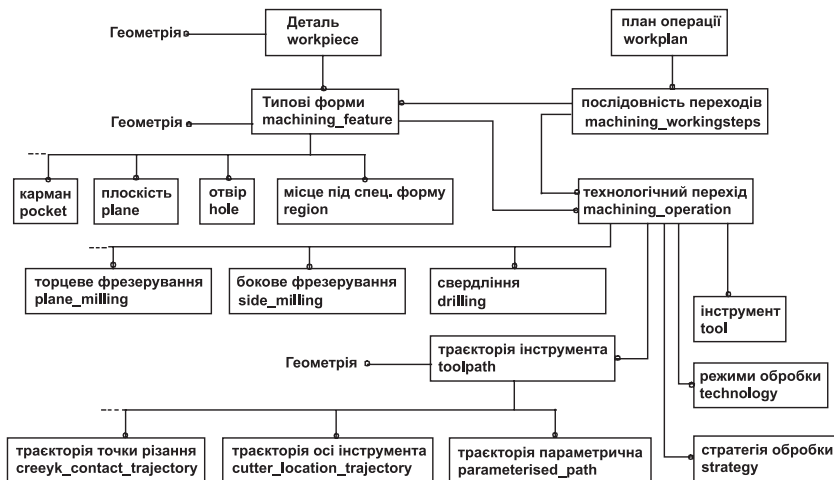


Рис. 2.44. Керуюча інформація (компоненти функціональності) відповідно до стандарту ISO 14649

Деталь (workpiece) — наводяться назва та конструкторський номер деталі, матеріал, його властивості, розробник, дата.

Типові форми (feature) — визначають область заготовки, звідки видаляється матеріал, а їх зовнішня поверхня є частиною зовнішності деталі. Задають типові форми в параметричному вигляді як сукупність твірної та прямої. Якщо поверхня не «вписується» в типову форму, задають область на заготовці, в межах якої вона розташована. Приклади типових форм: плоскість, отвір, карман, вибірка, паз, радіусний випуклий або вгнутий профіль, куля тощо.

План операції (workplans) — це ядро програми STEP-NC, являє собою послідовність переходів (*workingsteps*). Кожен перехід відповідає операції, що виконується для якоїсь з типових форм деталі. Операція містить дані про інструмент, режими оброблення, технологічний алгоритм, включаючи стратегію врізання та виходу інструмента з металу, вказівки щодо налаштувань, має чорнову і чистову версію.

Виконавчий блок (executable) описує хід керування і послідовність переходів, пов'язаних з операціями і типовими формами, технологічно незалежний. Містить кроки програми, що не передбачають переміщень (повідомлення на екрані тощо), кроки програми з координатними переміщеннями (робочий хід, прискорений рух, підвід-відвід та под.), структуру програми та команди керування в ній.

Траєкторія інструмента (toolpath) встановлює точне переміщення по координатах, містить зупинки у визначеному положенні, рух по заданих траєкторіях відносно встановлених базових точок, рух, що генерує сама система ЧПК.

Вимірювання (measure) визначає засоби й методи вимірювання (контролю), допуски на розміри та розташування оброблюваних поверхонь моделі.

Узагальнюючим компонентом функціональності служить *проект (project)*. Загальна модель програми може описувати кілька споріднених за певними ознаками деталей і мати множину планів операцій. Проект ідентифікує план операції для конкретної деталі.

У стандарті, як і в САМ-програмах (див. параграф 2.21), пропонуються всі можливі типові переходи і стратегії чистової та чорнової обробки. Це — чорнове та чистове фрезерування торцевих закритих, напівзакритих і відкритих поверхонь; фрезерування стінок, карманів, прямолінійних, радіусних, зигзагоподібних, паралельних контурів, пазів; формування зовнішніх, внутрішніх і торцевих різьб, складних тривимірних зовнішніх та внутрішніх поверхонь; свердлильні цикли різноманітного призначення.

Мова програмування не містить G- і M-команд. Програмування здійснюється за повною або скороченою назвою виконуваних переходів. Нижче наведені найбільш вживані з них та їх можливе скорочення при використанні в програмі: ADAPTIVE_CONTROL (адаптивне керування) — ADPCNT; ALONG_PATH (поздовжнє переміщення) — ALNPTH; AP_RETRACT_ANGLE (відвести під кутом) — APRTAN;

AP RETRACT TANGENT ТАНГЕНС (відвести по дотичній) — APRTTN;
APPROACH RETRACT STRATEGY (стратегія підводу із заглибленнями) — APRTST;
BACK BORING (вивід свердла) — BCKBRN;
BIDIRECTIONAL (зигзагоподібний) — BDRCTN;
BIDIRECTIONAL CONTOUR (зигзагоподібний контур) — BDRCNT;
BORING (розточування) — BORING;
BORING OPERATION (операції формування отвору) — BRNOPR;
BOTTOM AND SIDE FINISH MILLING (фінішне фрезерування торцем і боковою поверхнею фрези одночасно) — BASFM;
BOTTOM AND SIDE MILLING (фрезерування торцем і боковою поверхнею фрези одночасно) — BASM;
BOTTOM AND SIDE ROUGH MILLING (чорнове фрезерування торцем і боковою поверхнею фрези одночасно) — BASRM;
CENTER DRILLING (центр свердління) — CNTDRL;
CENTER MILLING (центр фрезерування) — CNTMLL;
CONTOUR PARALLEL (паралельний контур) — CNTPRL;
CONTOUR SPIRAL (спіральний контур) — CNTSPR;
COUNTER SINKING (заглиблений контур — контурна вибірка) — CNTSNK;
DRILLING (свердління) — DRLLNG;
DRILLING OPERATION (свердлильна операція) — DRLOPR;
DRILLING TYPE OPERATION (операція вибору металу інструментами свердлильної групи) — DRTYOP;
DRILLING TYPE STRATEGY (стратегія вибору металу на зразок свердління) — DRTYST;
EXCHANGE PALLET (зміна палети) — EXGPLL;
EXPLICIT STRATEGY (точна стратегія) — EXPSTR;
FIVE AXES CONST TILT YAW (п'ятивісна обробка з фіксованим нахилом осі торкання інструментом оброблюваної поверхні) — FACTY;
FIVE AXES VAR TILT YAW (п'ятивісна обробка зі змінюваним нахилом осі торкання інструментом оброблюваної поверхні) — FAVTY;
FREEFORM OPERATION (обробка нетипової форми) — FRFOPR;
FREEFORM STRATEGY (стратегія обробки нетипової форми) — FRFSTR;
INDEX PALLET (індексація палети) — INDPLL;
INDEX TABLE (індексація стола) — INDTBL;
LEADING LINE STRATEGY (головна лінія стратегії) — LDLNST;

LOAD_TOOL (завантаження інструмента) — LDTL;
MILLING_MACHINE_FUNCTIONS (функції фрезерного верстата) — MLMCFN;
MILLING_MACHINING_OPERATION (операції фрезерного верстата) — MLMCOP;
MILLING_TECHNOLOGY (технологія фрезерування) — MLLTCH;
MILLING_TYPE_OPERATION (фрезерувальний тип операції) — MLTYOP;
MULTI_STEP_DRILLING (багатокрокове свердління) — MLTDRL;
PLANE_FINISH_MILLING (фінішне фрезерування площини) — PLFNML;
PLANE_MILLING (фрезерування площини) — PLNMLL;
PLANE_ROUGH_MILLING (чорнове фрезерування площини) — PLRGML;
PLUNGE_HELIX (нахил спіралі) — PLNHLX;
PLUNGE_RAMP (уклон) — PLNRMP;
PLUNGE_STRATEGY (стратегія обробки уклонів) — PLNSTR;
PLUNGE_TOOL_AXIS (нахил осі інструмента) — PLNTLX;
PLUNGE_ZIGZAG (вибірка зигзагом) — PLNZGZ;
PROCESS_MODEL (технологічний регламент обробки моделі) — PRCMDL;
PROCESS_MODEL_LIST (технологічний регламент обробки списку моделей) — PRMDLS;
REAMING (розвірчування) — RMNG;
SIDE_FINISH_MILLING (остаточне бокове фрезерування) — SDFNML;
SIDE_MILLING (бокове фрезерування) — SDMLL;
SIDE_ROUGH_MILLING (бокове чорнове фрезерування) — SDRGML;
TAPPING (нарізання різьби мітчиком) — TPPNG;
THREAD_DRILLING (нарізання внутрішньої різьби) — THRDRL;
THREE_AXIS_TILTED_TOOL (нахил інструмента до трьох осей) — TATT;
TOLERANCES (допуски) — TLRNCS;
TOOL_DIRECTION_FOR_MILLING (напрямок інструмента для фрезерування) — TDFM;
TWO5D_MILLING_OPERATION (здвоєне п'ятивісне фрезерування) — TWMLOP;
TWO5D_MILLING_STRATEGY (здвоєна п'ятивісна фрезерувальна стратегія) — TWMLST;
UNIDIRECTIONAL (однонаправлений або з одним ступенем свободи) — UNDRCT;

UNLOAD_TOOL (вивантаження інструмента) — UNLTL та інші стратегії.

Щоб виконати такий різкий перехід від однієї системи програмування до іншої, хоч і більш досконалої, необхідні нові сучасні пристрої ЧПК, створити які та забезпечити ними виробництва в достатній кількості за короткий термін практично неможливо. Тому здійснюється поступовий перехід від існуючої системи програмування до запропонованої. Відповідно до цього сьогодні за стандартом ISO 14649 працюють три типи систем ЧПК:

Тип 1 — базується на традиційному використанні G- та M-кодів (ISO 6983), тобто побудований на базі звичайної системи ЧПК без будь-яких внутрішніх доопрацювань та змін. Тут керуюча програма за ISO 14649 конвертується в формат ISO 6983 через постпроцесування. Якщо бути точним, цей тип не можна назвати STEP-NC-CNC.

Тип 2 — пристрій ЧПК має вмонтовану додаткову частину, яка інтерпретує керуючу програму, розроблену за ISO 14649, в ISO 6983 самотужки, при цьому будь-який штучний інтелект відсутній.

Тип 3 — повномасштабний варіант STEP-NC-CNC, за яким інтелектуальні функції системи ЧПК підтримують ланку STEP-NC-CNC, виконану на базі стандарту ISO 14649. Штучний інтелект системи уможливорює автономне керування обробленням деталі від наладки до контрольного вимірювання.

Контрольні запитання

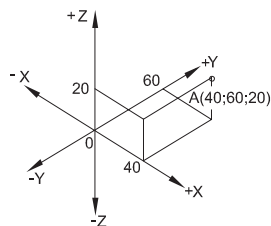
1. Як визначається напрям осей координат верстата?
2. Як призначити систему координат деталі в системі координат верстата?
3. Охарактеризуйте абсолютну та відносну систему відліку.
4. Поясніть сутність зміщення системи координат деталі.
5. Що таке вибір баз? Наведіть приклади.
6. Назвіть функції G для позиціонування, лінійної, кругової та гвинтової інтерполяції.
7. Охарактеризуйте службові функції. Наведіть приклади.
8. Назвіть функції корекції довжини та радіуса інструмента, їх місце в кадрі. Наведіть приклади використання кожної та застереження щодо їх застосування.
9. Що таке цикл? Охарактеризуйте застосування циклів G65 та G66.

10. Які Ви знаєте схеми обробки отворів на верстатах з ЧПК?
11. Напишіть формат кадру свердлильного циклу та покажіть схему рухів.
12. Назвіть відомі Вам свердлильні цикли. Прокоментуйте кадри програми %29.
13. Охарактеризуйте особливості програмування в полярній системі. Наведіть приклад.
14. Наведіть приклад ланцюжкового програмування обробки отворів.
15. Назвіть особливості програмування фрезерної обробки відкритих, напіввідкритих та закритих площин.
16. Наведіть приклади повтору кадрів та підпрограм.
17. Що таке віддзеркалення, поворот осей, масштабування?
18. Поясніть сутність параметричного програмування.
19. Опишіть можливості та порядок ручного програмування на верстаті з пульта, на комп'ютері в спеціальній програмі («Cimco Edit»).
20. Які Ви знаєте способи перевірки правильності керуючої програми? Охарактеризуйте кожний.
21. Назвіть особливості програмування в CAD/CAM-системах.
22. Що таке адитивні технології?
23. Назвіть фактори, які найбільше впливають на точність обробки на верстаті з ЧПК.
24. Охарактеризуйте контрольно-вимірвальну систему для верстатів з ЧПК.
25. Поясніть сутність програмного базування, наведіть приклади.
26. Розкажіть про вибір різального інструменту, вибір та можливу корекцію режимів різання для обробки на свердлильно-фрезерно-розточувальних центрах.
27. Охарактеризуйте призначення та вибір допоміжного інструменту.
28. Поясніть особливості ВШО.
29. Назвіть основні режими роботи пристрою ЧПК 2С-42.

Завдання для самостійних занять

Завдання 2.1. За вказаним на рисунку зразком накресліть систему координат та позначте в ній точку з координатами Вашого варіанта з табл. 2.1.1

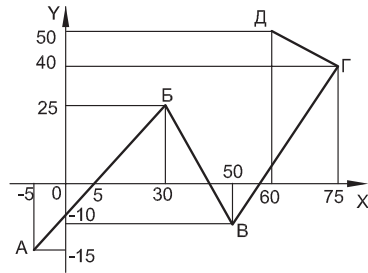
Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів 2.2 і 2.3.



Таблиця 2.1.1

Варіант	Координати точки			Варіант	Координати точки		
	X	Y	Z		X	Y	Z
1	10	-30	20	9	-50	-20	30
2	50	20	-40	10	45	30	-20
3	-20	10	-50	11	-30	-40	-50
4	-40	-40	-20	12	50	40	30
5	30	20	-40	13	25	25	50
6	20	10	50	14	-30	20	40
7	45	25	-30	15	-30	-30	-40
8	-20	40	10	16	10	20	50

Завдання 2.2. Накресліть за вказаним на рисунку зразком систему координат. Перенесіть туди координати точок Вашого варіанта з табл. 2.2.1, з'єднайте прямими відрізками, як показано на рисунку. Відповідно до наведеного прикладу опишіть рух з точки А у точку Д в абсолютній і відносній системі.



Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів 2.2 і 2.3.

Лінійні переміщення.
Абсолютний та відносний відлік

Приклад програмування переміщень в абсолютній та відносній системі:

Абсолютна система	Відносна система
N10 G90 G00 X-5 Y-15;	N10 G91 G00 X-5 Y-15;
N20 G01 X30 Y25 S500 F0,5;	N20 G01 X35 Y40 S500 F0,5;
N30 X50 Y-10;	N30 X20 Y-35;
N40 X75 Y40;	N40 X25 Y50;
N50 X60 Y50;	N50 X-15 Y10;

Таблиця 2.2.1

Варіант	А	Б	В	Г	Д
1	-10;-30	-10;-5	40;10	60;10	50;20
2	-5;0	10;20	40;-10	50;30	40;50
3	10;-10	50;40	70;0	80;30	20;60
4	-40;-50	5;10	40;-20	70;0	65;10
5	5;5;	25;25;	40;5	60;25	50;50
6	0;-10	10;30	40;-5	70;40	50;60
7	-5;-20	30;20	50;-50	80;10	80;40
8	10;10	30;30	60;-5	80;40	60;50
9	-10;10	40;30	60;-10	80;30	60;60
10	0;-20	5;-10	30;-20	60;-10	60;40
11	5;5;	60;10	70;-5	80;10	60;40
12	0;0	20;20	50;-5	70;40	80;70
13	-10;-5	30;10	40;-5	60;60	40;90
14	5;5	20;40	60;-5	80;80	60;80
15	10;-5	30;50	60;0	70;40	60;40
16	-20;10	25;15	50;0	60;30	50;50

Завдання 2.3. Кругова інтерполяція. Користуючись даними табл. 2.3.1, напишіть два варіанти програмування переходу лінійного переміщення в заокруглення в абсолютній і відносній системах для деталі з рисунку. Розгляньте рух інструмента в кожному випадку за стрілкою годинника і проти неї. Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів 2.3 і 2.7.

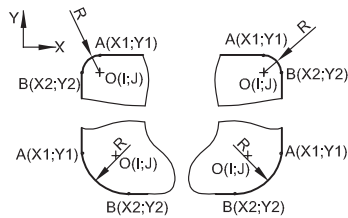
Таблиця 2.3.1

Координата точки	1	2	3	4	5	6	7	8
А	40;90	60;110	80;40	70;30	50;65	75;90	100;50	50;40
В	50;80	70;100	60;20	50;10	65;50	90;75	75;25	25;15
О	50;90	60;100	80;20	50;30	50;50	75;75	75;50	25;40
Р	10	10	20	20	15	15	25	25

Наприклад, інструмент виконує прямолінійний робочий рух у точку $A(40;90)$, а з точки A у $B(50;80)$ виконує заокруглення радіусом 10 мм з центром в точці $O(40;80)$. Ці рухи програмуються в абсолютній системі так:

```

N10 G90 G01X40 Y90 F0,3;
N20 G02 X50 Y80 I40 J80;
    або через радіус:
N10 G90 G01X40 Y90 F0,3;
N20 G02 X50 Y80 R10;
    У відносній системі:
N20 G91 G02 X10 Y-10 I0 J-10;
    або через радіус:
N20 G91 G02 X10 Y-10 R10;
    
```

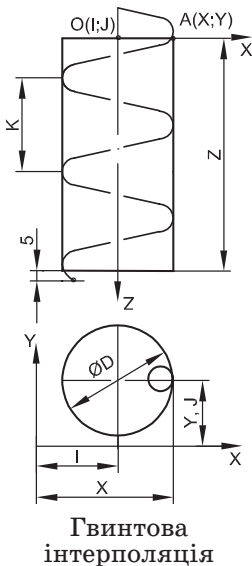


Кругова інтерполяція

Завдання 2.4. Гвинтова інтерполяція. Користуючись даними табл. 2.4.1, напишіть кадр програми руху по гвинтовій лінії за стрілкою годинника і проти неї в абсолютній і відносній системах для деталі, зображеної на рисунку.

$$D \text{ — діаметр різьби;} \\ I = X - D/2; Y = J.$$

Таблиця 2.4.1

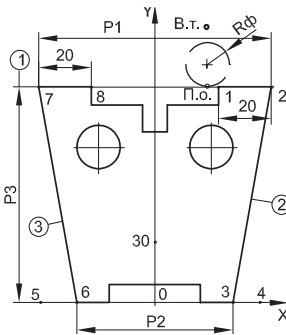


Гвинтова інтерполяція

Варіант	A	Z	K	D
1	90;90	-60	10	80
2	80;80	-30	5	100
3	110;110	-80	10	90
4	120;120	-90	6	75
5	60;60	-30	3	50
6	50;50	-25	5	60
7	140;140	-60	4	100
8	70;70	-50	5	80
9	100;100	-70	10	100

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів 2.3 і 2.7.

Наприклад, для варіанта 9:
 N10 G17 G90 G12 X100 Y100 I50 J100 Z-75 K10 F0,2 S400;
 N10 G17 G91 G12 X0 Y0 I-50 J0 Z-75 K10 F0,2 S400;



Обробка контуру деталі

Завдання 2.5. Контурна обробка. Користуючись даними табл. 2.5.1 для свого варіанта, розробіть програму фрезерування контуру деталі, зображеної на рисунку, циліндричною кінцевою фрезою діаметром 32 мм. Висота фрезерування 17 мм.

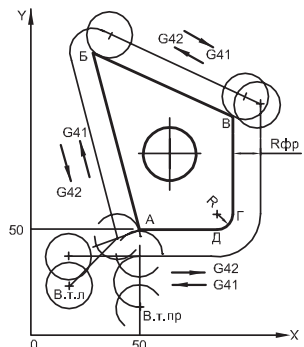
Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.11, 2.12, 2.13.1, 2.13.2, 2.13.3.

Таблиця 2.5.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P1	118	140	150	162	170	178	220	248	325	275	305	340
P2	82	105	125	148	145	140	215	240	320	265	298	320
P3	96	116	127	140	128	132	90	90	90	95	95	95

Завдання 2.6. Корекція праворуч і ліворуч. Користуючись даними табл. 2.6.1, розробіть програму фрезерування контуру деталі, зображеного на рисунку, циліндричною кінцевою фрезою при обході його ліворуч (функція корекції G41) та праворуч (функція корекції G42).

У програмі використайте команду підходу до поверхні обробки G64 та команди плавного врізання і відводу фрези (G65 і G66). Використайте команди обходу кутів, вважайте, що вершина В може бути технологічно заокругленою, а вершина Б має бути гострою. Товщина пластини 4 мм.



Корекція при обході контуру ліворуч і праворуч

Таблиця 2.6.1

Варіант	А	Б	В	Г	Д	Р	Дфр	Z
1	50;50	40;130	100;100	100;60	90;50	10	30	5
2	45;45	30;120	90;95	90;55	70;35	20	20	6
3	40;40	35;125	95;90	95;60	65;30	30	16	4
4	60;60	55;125	85;95	85;55	70;40	15	24	3
5	55;55	45;130	105;85	105;60	80;35	25	16	6
6	30;30	25;110	80;90	80;60	45;25	35	20	4
7	35;35	30;140	100;120	100;80	90;70	10	40	5
8	50;50	40;135	110;100	110;70	80;50	20	30	4

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.12, 2.13.1, 2.13.2, 2.13.3 та розгляньте наведені нижче приклади.

Таблиця 2.6.2

Обробка деталі обходом контуру ліворуч (G41)	
Кадр	Виконувані дії
N10 G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20 G90 G71 X50 Y50;	Встановлення «0» деталі
N30 M00;	Перевірка відстані до «0»
N40 S0 T03; (FREZA D30)	Підготовка інструмента
N50 G28 M06;	Установка в шпіндель
N60 G00 G91 Y40;	Виїзд з позиції заміни інструмента
N70 G00 X30 Y30;	Підведення фрези до контуру
N80 G00 G43 D03 Z10 S500 M03;	Підведення фрези по Z, введення корекції на довжину, призначення режимів
N90 G01 Z-7 F60M08;	Подача фрези на робочу глибину, ЗОР
N100 G64 G01 G90 X50 Y50 G41 D41;	Підведення фрези до оброблюваної поверхні циклом G64, корекція на радіус при обході ліворуч
N110 G37 X40 Y130 F60;	Обробка сторони А—Б, цикл обходу гостровершинного кута
N120 G36 X100 Y100;	Обробка сторони Б—В, цикл обходу кута дугою
N130 Y60;	Обробка сторони В—Г
N140 G02 X90 Y50 R10;	Кругова інтерполяція за стрілкою годинника, обробка заокруглення Г—Д
N150 G01 X47;	Обробка сторони Д—А, вихід фрези
N160 G00 Z150 M05 M09;	Відвід фрези по Z, зупинка шпінделя
N170 G40 G70;	Скасування корекцій і зміщення «0»
N180 G00 X250;	Відхід в позицію перезавантаження
N190 M30;	Кінець програми

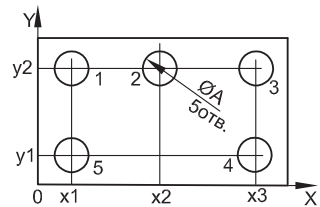
Таблиця 2.6.3

Обробка деталі обходом контура праворуч (G42)	
Кадр	Виконувані дії
N10 G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20 G90 G71 X50 Y50;	Встановлення «0» деталі
N30 M00;	Перевірка відстані до «0»
N40 S0 T03; (FREZA D30)	Підготовка інструмента
N50 G28 M06;	Установка в шпіндель
N60 G91 Y40;	Виїзд з позиції заміни інструмента
N70 G00 X50 Y10;	Підведення фрези до контуру
N80 G00 G43 D03 Z10 S500 M03;	Підведення фрези по Z, введення корекції на довжину, призначення режимів
N90 G01 Z-7 F60 M08;	Подача фрези на робочу глибину, ЗОР
N100 G65 G01 G91 X0 Y40 G42 D41;	Підведення фрези до оброблюваної поверхні циклом G65, корекція на радіус при обході праворуч
N110 G90 X90 F60;	Обробка сторони А—Д
N120 G03 X100 Y60 R10;	Обробка заокруглення Д—Г, кругова інтерполяція проти стрілки годинника
N130 G01 G36 Y100;	Обробка сторони Г—В, обхід кута
N140 G37 X40 Y130;	Обробка сторони В—Б, обхід гостровершинного кута
N150 X50 Y50;	Обробка сторони Б—А
N155 G66 X50 Y10 M09;	Плавний відвід фрези по дузі
N160 G00 Z150 M05 M09;	Відвід фрези по Z
N170 G40 G70;	Скасування корекцій і зміщення «0»
N180 G00 X250;	Відхід в позицію перезавантаження
N190 M30;	Кінець програми

Завдання 2.7. Обробка отворів на свердлильно-фрезерному ОЦ.

Завдання 2.7.1. У плиті товщиною 40 мм за розробленою Вами програмою просвердліть отвори. Дані для варіантів подано в табл. 2.7.1.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.14.1, 2.14.2, 2.14.3.



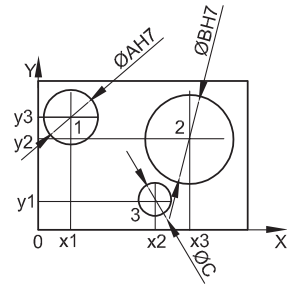
Свердління неточних отворів

Таблиця 2.7.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	15	10	6	8	16	20	18	4	5	15	12	10
X1	30	35	28	27	36	40	42	0	-5	-10	-4	-2
X2	60	55	68	70	70	80	75	50	45	50	46	58
X3	80	75	95	100	96	110	108	90	80	85	90	100
Y1	30	40	25	10	5	8	15	20	32	40	38	35
Y2	60	70	60	50	38	45	50	55	68	78	80	70

Завдання 2.7.2. Запрограмуйте обробку трьох отворів, зображених на рисунку, попередньо склавши технологічний регламент обробки кожного. Товщина плити 30 мм. Дані для варіантів подано в табл. 2.7.2.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.14.1, 2.14.2, 2.14.3.



Обробка отворів різного діаметра і точності

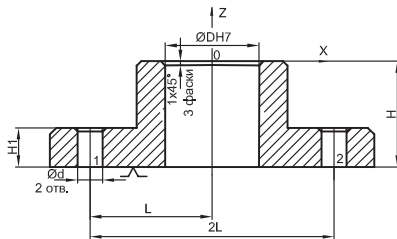
Таблиця 2.7.2

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AH7	80	75	70	65	60	85	90	70	75	80	85	80
BH7	40	30	25	30	40	50	45	50	55	40	40	40
C	20	15	15	20	25	20	15	25	25	20	20	20
X1	50	40	40	60	50	65	60	55	50	45	40	50
X2	100	80	75	100	80	100	90	100	80	90	75	80
X3	140	120	110	130	120	140	160	180	155	140	150	180
Y1	30	20	25	20	30	25	15	25	30	35	20	30
Y2	80	70	75	70	80	75	70	80	85	90	80	75
Y3	110	100	105	170	150	140	145	155	170	165	155	180

Завдання 2.7.3. Складіть програму обробки трьох отворів, зображених на рисунку, попередньо склавши технологічний регламент обробки кожного.

Дані для варіантів подано в табл. 2.7.3

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.14.1, 2.14.2, 2.14.3.

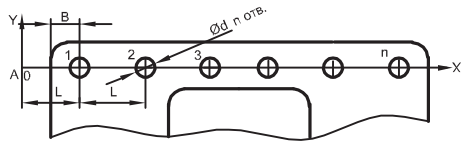


Обробка отворів у корпусі

Таблиця 2.7.3

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DN7	45	48	50	52	54	56	58	60	55	52	48	46
d	9	8	7	10	11	12	9	8	7	6	8	7
H1	16	13	12	10	12	14	15	16	14	12	14	16
H	40	35	36	29	34	35	38	40	36	37	39	40
L	60	50	55	58	62	64	56	54	62	60	58	56

Завдання 2.7.4. Складіть програму обробки отворів, зображених на рисунку, використавши метод програмування отворів, розташованих ланцюжком. Товщина деталі 15 мм.



Обробка ланцюжка отворів

Дані для варіантів подано в табл. 2.7.4.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.14.1, 2.14.2, 2.14.3.

Таблиця 2.7.4

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
d	5	6	7	8	9	10	9	8	7	6	5	4
L	20	35	44	25	45	36	43	55	42	34	44	50
B	17	4	8	7	35	13	21	27	44	39	29	40
n	5	8	3	4	7	13	17	8	7	13	3	4

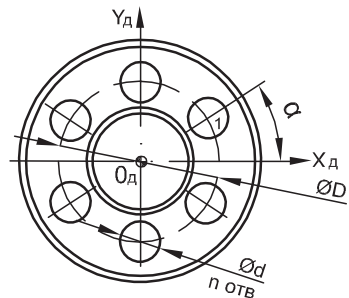
Завдання 2.7.5. Складіть програму обробки отворів на деталі, зображеній на рисунку, використавши метод програмування обробки в полярній системі координат для отворів, розташованих по колу. Товщина фланця 15 мм.

Дані для варіантів подано в табл. 2.7.5, де:

α° — кут зміщення першого отвору з осі X;

D — діаметр кола, на якому розташовані осі отворів;

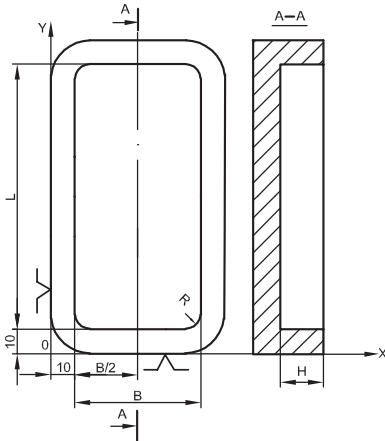
n — кількість отворів по колу.



Обробка отворів у полярній системі координат

Таблиця 2.7.5

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D	80	90	100	110	120	130	140	145	155	160	170	180
d	5	6	7	8	9	4	5	6	7	8	9	10
α°	10	20	0	30	40	50	55	60	75	90	0	25
n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	17



Обробка вибірки

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.14.1, 2.14.2, 2.14.3.

Завдання 2.8. Обробка вибірки. Використовуючи дані табл. 2.8.1, складіть програму обробки вибірки на деталі, зображеній на рисунку.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів 2.15, 2.17, а також проаналізуйте наведений нижче приклад.

Таблиця 2.8.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L	160	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	170
B	70	60	62	65	67	68	70	72	74	70	80	78
H	20	13	17	19	21	23	24	25	26	27	29	27
R	12	7	8	9	10	12	13	17	19	21	27	29

Розглянемо приклад програми обробки деталі по варіанту 1 (табл. 2.8.2)

Таблиця 2.8.2

% 2.08.1 Кадр	Виконувані дії
N10 G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20 G90 G71 X0 Y0;	Встановлення «0» деталі
N30 S0 T03; (SVERDLO D20)	Підготовка інструмента
N35 G28 M06;	Установка в шпіндель
N40 G00 Y40; (FREZA D20)	Вихід з позиції заміни, підведення фрези
N50 G00 X25 Y25;	Підхід свердла у вихідну точку

Закінчення табл. 2.8.2

% 2.08.1 Кадр	Виконувані дії
N80 G00 G43 D03 Z10 S500 M03 M08;	Підведення свердла по Z, введення корекції на довжину, призначення режимів, подача ЗОР
N90 G01G81 Z-20A5B5 F80;	Свердління отвору Ø20 на глибину 20
N100G80S0;	Відміна циклу свердління, кутова орієнтація шпінделя
N110G28M06;	Заміна інструмента на фрезу
N120 G00 Y40;	Вихід з позиції заміни
N130G19Y25S630F30M08;	Перехід на обробку в площині YZ. Призначення режимів
N140L2P3(5)P4(110)H4;	Обробка вибірки за підпрограмою L2, заданою параметрами P3 і P4, 4 повтори
N150G00X45Y90;	Вихід в точку початку обробки вибірки по контуру 5
N160G65G01X80Y90G41D33 F20;	Вихід на контур по дузі, корекція радіуса фрези, призначення режимів обробки
N170Y158;	Обхід вибірки по контуру 5
N180G03X68Y170R12;	
N190G01X22;	
N200G03X10Y158R12;	
N210G01Y22;	
N220C03X22Y10R12;	
N230G01X68;	
N240G03X80Y22R12;	
N250G01Y90;	
N260G66X45Y90F1000 M09;	Вихід фрези з контуру 5
N270G00G70G40Z150S0;	Відвід фрези по Z, відміна корекцій і зміщення
N280M30;	Кінець програми
L2;	Підпрограма 2
N10G91G01Y(P4)F40S400;	Фрезерування по схемі «зигзаг». Робочий рух по осі Y
N20X(P3);	Робочий рух по осі X
N30Y(-P4);	Фрезерування у зворотному напрямі
N40X(P3);	Робочий рух по осі X
N50M20;	Кінець підпрограми

Завдання 2.9. Обробка контурів

Завдання 2.9.1. Нижче наведено програму обробки контуру деталі «кришка» і чотирьох отворів (див. рисунок).

Товщина деталі 14 мм.

Уважно прочитайте програму, прокоментуйте письмово кожний кадр. Напишіть технологічний регламент обробки, зобразіть траєкторії руху інструментів.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.11, 2.12, 2.13, 2.14.

% 2.09.1; (KRISHKA)

N10G29;

N20G00G90G71X0Y0;

N22S0T03; (FREZA D32)

N24G28M06;

N30G00G91Y-80T08; (ZENTR. SVERDLO D3.15)

N40G00G90G09X-60Y90;

N45G43D03Z10S800M03;

N48G01Z-17F200M08;

N50G65G91X0Y90G41D31F60;

N60G02X10Y10R10;

N70G01G90X90;

N80G02X100Y90R10;

N90G01Y10;

N100G02X90Y0R10;

N110G01X10;

N120G02X0Y10R10;

N130G01Y90;

N140G66X-60Y90M09;

N145 G00Z150S0;

N150G28 M06;

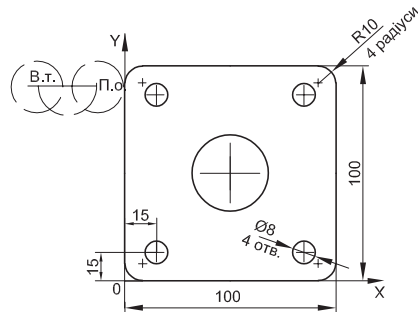
N160G00G91Y-80T11; (SVERDLO D8)

N170G00G90G43D08Z10S1250M03;

N180G00G09X15Y15;

N190G82Z-8A10B10 F100;

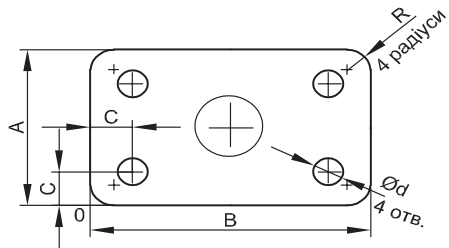
N200Y85;



Обробка контуру деталі «кришка»

N210X85;
 N220Y15;
 N230X15;
 N240G80Z400S0;
 N250G28 M06;
 N260G91G00Y-80T17; (ZENKIVKA D10)
 N270G90G43D11Z10S1000M03;
 N280G00X15Y15;
 N290G81Z-19A10B10 F80;
 N300Q200-250;
 N310G91G00Y-80T03; (FREZA D32)
 N320G90G43D17Z10S400M03;
 N325X15Y15;
 N330G81Z-1A10B10 F30;
 N340Q200-240;
 N160X250;
 N170M30;

Завдання 2.9.2. Призначте початок координат, напишіть технологічний регламент обробки, розробіть самостійно керуючу програму обробки контуру і чотирьох отворів деталі «кришка» (див. рисунок) для свого варіанта (табл. 2.9.1). Товщина деталі 8 мм. Розташування контуру і отворів осесиметричне.



Завдання на обробку деталі «кришка»

Таблиця 2.9.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	100	110	105	95	90	115	120	125	110	115	120	125
B	60	70	75	70	70	70	70	70	65	65	65	80
C	15	16	17	21	22	20	19	18	15	15	15	17
R	10	8	9	12	8	10	12	7	8	5	12	7
d	4	5	6	7	8	7	6	5	4	9	8	7

Завдання 2.9.3. Нижче наведено програму обробки контуру панелі і двох отворів (див. рисунок).

Опишіть на прикладі базування в координатний кут. Прокоментуйте кадри. Напишіть технологічний регламент обробки, зобразіть траєкторії руху інструментів. Визначте початок системи координат у програмі.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.11, 2.12, 2.13, 2.14.

% 2.09.3; (PANEL)

N10G29;

N20G00G90G71X0Y0;

N22S0T03; (FREZA D32)

N24G28M06;

N30G00G91Y-80T08; (ZENTR. SVERDLO D3.15)

N40G00G09X0Y-20;

N45G43D03Z10S800M03;

N48G01Z-5F200M08;

N50G64G90G01X20Y-3G41D31F60;

N60Y100G37;

N70X60G37;

N80Y20G37;

N90X15;

N91Y-3;

N94Z-8 F120;

N95X20;

N96 Q60-90;

N100 G00Z150S0;

N110G28 M06;

N120G00G91Y-80T11; (SVERDLO D6)

N130G00G90G43D08Z10S1250M03;

N140G09X40Y40;

N150G82Z-8A10B10 F80;

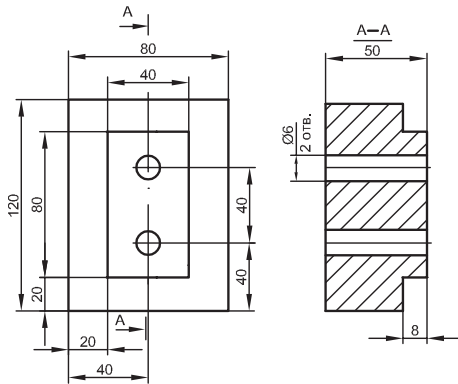
N160Y80;

N170G00Z400S0;

N180G28 M06;

N190G91G00Y-80T17; (ZENKIVKA D8)

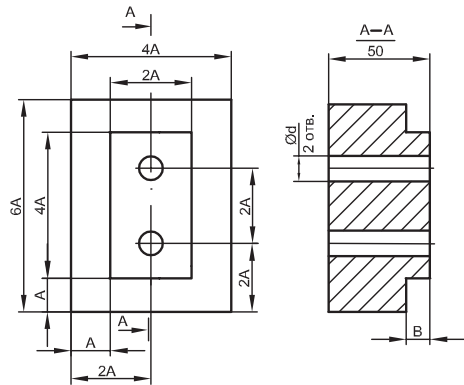
N200G00G90G43D11Z10S1000M03;



Завдання на обробку панелі 1

N210X40Y40;
 N220G83Z-53Q9A10B10 F100;
 N230Y80;
 N240G00Z400S0;
 N250G28 M06;
 N260G91G00Y-80T03; (FREZA D32)
 N270G00G90G43D17Z10S1000M03;
 N280X40Y40;
 N290G81Z-1A10B10 F100;
 N300Y80;
 N310G00G80Z400S0M09;
 N320X250;
 N330M30;

Завдання 2.9.3. Розробіть самостійно програму обробки контуру $2A \times 4A$ і двох отворів панелі (див. рисунок) для свого варіанта (табл. 2.9.2). Виберіть початок координат, розробіть технологічний регламент.



Завдання на обробку панелі 2

Таблиця 2.9.2

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	13	16	17	18	19	20	21	22	29	24	25	27
B	8	10	5,5	9,5	6	9	6,5	8,5	7	8	7,5	8
d	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6

РОЗДІЛ III

ПРОГРАМУВАННЯ ОБРОБКИ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Токарні верстати з ЧПК становлять найбільшу групу у верстатному парку. Незважаючи на велику кількість модифікацій, типорозмірів та інших відмінностей, об'єднує їх те, що для програмування обробки потрібно лише дві осі, щоб задати рух інструмента відносно деталі, що обертається.

Інструмент установлюється в спеціальній 4-, 6-, 8-, 12-, 16-позиційній револьверній головці. Револьверна головка може оснащуватися, крім традиційних інструментів (нерухомо закріплених в головці), інструментами з автономним приводом, розташованими паралельно, перпендикулярно або з нахилом до осі обертання деталі.

Вісь Z верстата збігається з віссю обертання деталі, а вісь X визначає радіальне положення формоутворюючого (різального) інструмента (рис. 3.1).

Токарні верстати оснащуються пристроями ЧПК з контурними системами. Найбільш поширеними з них є: «Електроніка-НЦ-31», «Електроніка НЦ-80-31» (МС-21), «2Р 22», «FANUK», «Сінумерік», «Міллтронікс», «Маяк» та ін.

Принципової відмінності між ними немає. Програмування відбувається тією самою мовою міжнародного стандарту ISO 6983 з «діалектами», які виникають у виробників пристроїв ЧПК та верстатів.

Пристрій ЧПК, програмування для якого розглянемо далі, — НЦ-80-31 (МС-21). Завдяки нескладній модернізації він може отримувати програми безпосередньо з комп'ютера або через флешку (як і в пристрої ЧПК 2С-42, це зроблено замість входу для фотозчитувального пристрою). Керуюча програма може задаватися також і в ручному режимі з

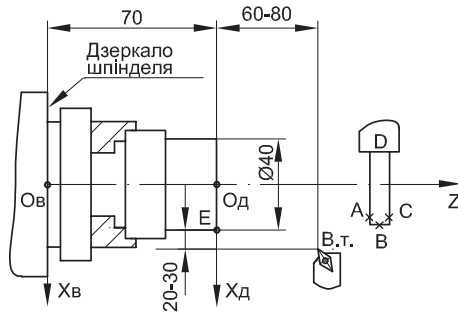


Рис. 3.1. Осі координат.
«Прив'язка» інструмента

клавіатури пульта пристрою ЧПК, закріпленого на супорті верстата.

Режими роботи пристрою НЦ-80-31 такі самі, як і пристрою 2С-42: автомат, ручний, вихідне положення, вихід у кадр, редактор керуючої програми, редактор коректорів і параметрів. В усіх режимах є такі самі підрежими. Ці режими роботи ПЧПК забезпечують введення та редагування керуючої програми, її перевірку прискореним рухом, по-кадрово та ін.

3.1. Заготовки, деталі для обробки на токарному верстаті з ЧПК. Вимоги до них

На верстатах з ЧПК обробка відбувається з мінімальним втручанням оператора, тому до заготовок ставляться підвищені вимоги щодо їх точності та правильності геометричної форми. Найбільш поширеним видом заготовок для токарної обробки є прокат (діаметральна точність залежно від діаметра — $0,4 \div 1,0$ мм). Для верстатів з отвором у шпінделі заготовкою відразу для кількох деталей може слугувати прут з максимальним діаметром, на $3 \div 4$ мм меншим діаметра отвору (до 55 мм для 16К20Ф3).

Для деталей більшого діаметра заготовки із прокату штучні. Під час обробки їх закріплюють у трикулачковому патроні з пневмо- або електромеханічним затискуванням.

Залежно від серійності, конфігурації та габаритних розмірів деталі, заготовками можуть бути також поковки, виливки, штамповки.

Поверхні, по яких базується заготовка на верстаті, як правило, обробляють окремою операцією попередньо. Якщо виробництво дрібносерійне, частіше це виконують на універсальному верстаті.

Перед чистовою обробкою, за підвищених вимог до розташування оброблюваних поверхонь, кулачки патрона обточують зверху на діаметр розтиснення (деталь кріпиться розтисненням в отворі) або розточують на діаметр затиску (база в деталі — зовнішній діаметр). Кулачки перед розточуванням попередньо фіксують — затискуючи коротку деталь з діаметром, трохи меншим від того, за який кріпиться заготовка. Програмують обробку в послідовності —

від жорсткішого більшого діаметра до зони малої жорсткості — малих діаметрів.

Кількість інструментів для обробки деталі на токарному верстаті з ЧПК з однієї установки обмежена кількістю гнізд у різцетримаючій головці — 6, 8, 12, 16 (у верстатах з інструментальним магазином — до 30, 40), тому до деталей для обробки на токарному верстаті з ЧПК ставляться підвищені вимоги щодо технологічності.

Технологічність — це комплекс особливостей конструкції деталі, що дозволяє застосувати найбільш досконалі сучасні технології її виготовлення. Оцінюється за такими ознаками:

- можливість групової обробки, що знижує кількість потрібного оснащення й інструменту; може використовуватись одна базова комплексна керуюча програма, в результаті редагування якої отримують програми на деталі групи;

- ступінь уніфікації елементів деталі — визначається кількістю інструментів, застосованих для обробки;

- інструмент має бути стандартним; використання спеціального інструменту можливе тільки як виняток;

- мінімальна кількість перестановок у ході обробки;

- жорсткість деталі — мінімальна деформація під час обробки;

- оброблюваний контур деталі має складатися з відрізків прямої, дуг кола, відрізків параболи, іншої кривої, яку можна описати математично.

Підготовку обробки деталі починають, як і на ОЦ, з аналізу її конструкції на технологічність.

3.2. Технологічна підготовка

3.2.1. План операції. Опорні точки. Еквідистанта

План операції обробки деталі на токарному верстаті з ЧПК розробляють за такою самою схемою, як на ОЦ.

1. Аналізують креслення, виділяють поверхні обробки та базові поверхні, за потреби — узгоджують конструктивні зміни, наносять розташування притискувачів, зон кріплення деталі, призначають додаткову обробку базових поверхонь.

2. Встановлюють вимоги до оброблюваних поверхонь після обробки: точність виконуваних розмірів та геометрич-

ного розташування поверхонь, шорсткість, припуски й допуски на поверхні, які оброблюються на верстаті з ЧПК не остаточно тощо.

3. Складають план операції: послідовність обробки поверхонь і технологічний регламент обробки кожної. Якщо в різцевій головці недостатньо позицій для встановлення всіх необхідних інструментів, то операцію ділять на дві або програмують зупинку для заміни інструмента, що відпрацював, на наступний, потрібний за програмою.

На відміну від універсальних верстатів, де технологічний процес (особливо в дрібносерійному виробництві) не завжди деталізується (спеціаліст знає, як операцію виконати найкраще), для верстатів з ЧПК технологія деталізується до елементарних рухів. Основна структурна одиниця технологічного процесу, від якої починається розробка програми, — перехід, що може містити кілька проходів. Виконує цю детальну розробку технологічного процесу технолог-програміст або наладчик у дрібносерійному виробництві, для чого розробляє ескіз обробки, який вносить у карту наладки. Аналізуючи характер траєкторії руху різця й умови роботи, розробник вибирає геометрію його різальної частини.

Відпрацювання переміщень відбувається: прискореним рухом по команді G0, на контурній робочій подачі за командами G1, G2, G3. При цьому слід дотримуватися правил:

- довжина холостих переміщень має бути мінімальною;
- неприпустимими є зупинка інструмента і різка зміна подачі в процесі різання, коли різальна крайка торкається оброблюваної поверхні, інакше неминуче пошкодження і оброблюваної поверхні, і різальної крайки різця;

- перед зупинкою інструмент потрібно на робочій подачі відвести від оброблюваної поверхні;

- щоб виключити вплив на точність обробки люфтів, деформацій від сили різання тощо, слід передбачити додаткові петлеподібні переходи для вибору зазорів або уникнення удару від різкої зміни величини чи напрямку дії сили різання.

Залежно від вимог до точності обробки та якості поверхні токарні операції поділяють на чорнові й чистові. Під час *чорнової обробки*, завдання якої — зняти основний припуск і підготувати деталь до чистової операції, рекомендована така приблизна послідовність переходів:

- 1) підрізка торця, щоб підготувати базу для виконання і контролю поздовжніх розмірів;

2) свердління центрального отвору. Перед свердлінням бажано зацентрувати торець, особливо якщо довжина свердла велика, щоб уникнути зміщення і викривлення осі отвору. Отвір бажано свердлити до зовнішнього поздовжнього обточування, тому що потужні сили різання під час свердління можуть спричинити деформації деталі, особливо якщо деталь тонкостінна. Якщо діаметр отвору перевищує 30 мм, щоб знизити сили різання, його свердлять за кілька переходів, застосовуючи набір сверدل із перепадом діаметрів $10 \div 15$ мм;

3) чорнова обробка зовнішніх поверхонь;

4) чорнове розточування внутрішніх карманів.

Точність чорнкової обробки забезпечується «прив'язкою» інструментів перед обробкою по осях, періодичним контролем деталі та підналадкою верстата, на верстатах із сучасними пристроями ЧПК — через програму.

Якщо обробка поверхні остаточна, з жорсткими вимогами до точності розмірів і розташування поверхонь, програміст-технолог розглядає і програмує рух центру вершини різця по еквідистанті.

В токарній обробці еквідистанта розташована на відстані радіуса вершини різця від оброблюваної поверхні.

Для поверхні з прямолінійною твірною (циліндрична, конічна, торцева) еквідистанта — теж відрізок прямої, паралельний оброблюваному. Радіус вершини різця у цьому разі враховують корекцією з пульта ПЧПК під час наладки (див. параграф 3.3, «прив'язка» інструмента). Одночасно вводять корекцію на оброблюваний розмір (залежно від розташування поля допуску), вносять поправку на відтискування технологічної системи дією сили різання, інші можливі радіальні корекції. У програмі зазначають номінальне значення розміру. Відбувається паралельне зміщення еквідистанти до потрібного значення радіальних розмірів деталі.

Якщо поверхня складається з послідовно розташованих конічних, циліндричних ступенів, торців, карманів, вибірок, криволінійних ділянок, то для дотримання усіх заданих розмірів розраховують опорні точки еквідистанти, залежно від попередньо визначених опорних точок контуру деталі.

Наприклад, розглянемо побудову еквідистанти для обробки деталі, зображеної на рис. 3.2, а. Починаємо з опорних точок контуру деталі: 1—2—3—4—5—6—7—8—9—10—11.

Точка 3 — опорна технологічна, в ній не змінюється напрям руху різця, а через підвищені вимоги до шорсткості поверхні змінюється робоча подача.

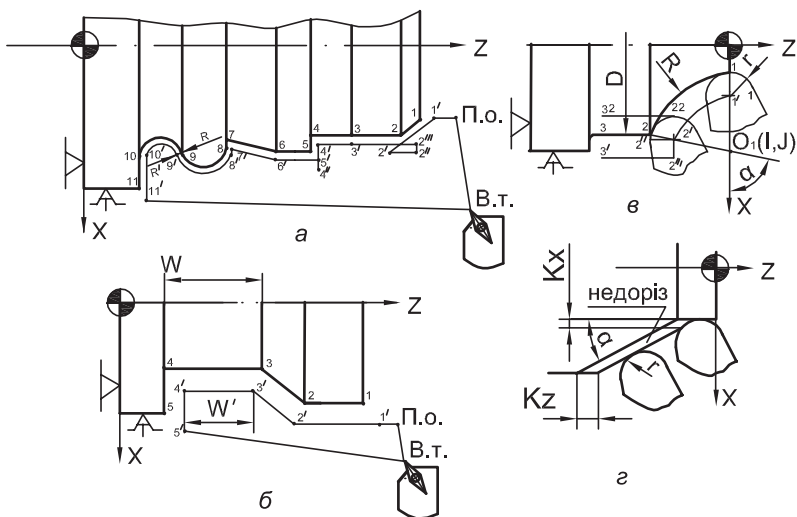


Рис. 3.2. Опорні точки. Еквідистанта

Після цього призначаємо необхідні переміщення центру вершини різця і фіксуємо опорні точки еквідистанти.

Обробка деталі починається з фаски, яка програмується як переміщення одночасно по осях X і Z . У такому разі вхід і вихід різця програмується із запасом, щоб не лишити уступ, якщо наступний діаметр або довжина будуть більшими за очікувані, а опорні точки еквідистанти $1'$ — $2'$ розташуються, як показано на рис. 3.2, *a*. Далі, щоб перейти після фаски до обробки діаметра із заданою точністю, потрібно відійти по Z , потім повернутися по X до потрібного значення для обробки циліндра. У точці 3 на контурі ($3'$ на еквідистанті) для забезпечення підвищених вимог до шорсткості поверхні необхідно змінити режими обробки, обточувати до точки 4 на контурі ($4'$ на еквідистанті). Далі знов змінити режими до попередніх, підрізати торець і продовжити рух до точки $4''$, повернутися в точку $5'$ на еквідистанті, обточувати діаметр на відріжку деталі 5—6. Така «петля» у траєкторії руху інструмента необхідна для забезпечення одностороннього підведення різця, вибору можливих зазорів у системі. Крім того, різка зміна напрямку обробки, величини

та напрямку дії сили різання може призвести до «зарізів» на оброблюваній поверхні.

Якщо твірна контуру — дуга, то еквідистанта — концентрична їй дуга з тим самим центральним кутом (точки 8, 9, 10). Причому, якщо дуга радіусом R на деталі вгнута, радіус еквідистанти буде $R - r$ (рис. 3.2, а, в). Радіус еквідистанти випуклого контуру — $R + r$ (рис. 3.2, а), де r — радіус вершини різця.

При переході контуру з прямої на радіус або навпаки опорна точка еквідистанти ($7'$ на рис. 3.2, а і $2'''$ на 3.2, в) у разі ручного програмування розраховується за математичними залежностями (див. приклад нижче).

Якщо оброблювана поверхня криволінійна і переходить з випуклості на вгнутість або навпаки, опорною точкою еквідистанти буде точка її перетину лінією, що з'єднує центри дуг кривизни ($9'$), яку також треба розраховувати математично.

З урахуванням цих особливостей обробки, опорні точки еквідистанти для деталі (рис. 3.2, а) будуть: П.о.— $1'-2'-2''-2'''-3'-4'-4''-5'-6'-7'-8'-9'-10'-11'$, тобто 15 опорних точок на еквідистанті при 11 на контурі деталі.

Під час обробки східчастої поверхні радіус вершини різця r впливає на значення координати Z (довжину) відповідного відрізка контуру. Наприклад, у ході обробки заниження на зовнішньому діаметрі (рис. 3.2, б) або кармана на внутрішній поверхні, щоб витримати значення довжини відрізка на деталі $3-4$ рівним W , треба стежити за значенням довжини відповідного відрізка еквідистанти $3'-4'$, яке має дорівнювати $W' = W - 2r$.

Якщо цього не врахувати на чистовій операції, деталь може піти в брак.

У ході чистової обробки радіус вершини різця потрібно враховувати і при переходах з обробки циліндричної поверхні на конічну або навпаки (див. рис. 3.2, з). Через зміну точки контакту на радіусній поверхні вершини різця можуть виникати «недорізи» K_x і K_z , які враховують залежно від значення

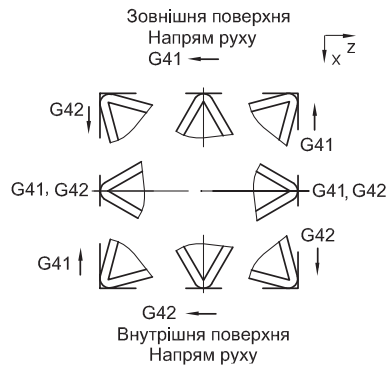


Рис. 3.3. Корекція на радіус вершини різця

радіуса на вершині різця r і кута нахилу α . Для цього існують спеціальні таблиці [16].

У сучасних пристроях ЧПК («FANUK», «Sienumeric» та ін.) в токарній обробці передбачено систему корекцій радіуса вершини різця (див. рис. 3.3): G41 — різець зліва від оброблюваної поверхні, G42 — різець з правого боку від оброблюваної поверхні.

Розглянемо приклад обробки вгнутої поверхні 1—2 (рис. 3.2, *в*) різцем з радіусом вершини r . Відомі: координати опорних точок деталі 1 і 2, координати центру дуги $I = I_i$ і $J = 0$, радіус вершини різця r .

Координати опорної точки еквідистанти $1'$ будуть:

$$X_{1'} = X_1 + r; Z_1 = 0. \quad (3.1)$$

Опорній точці контуру 2 відповідає опорна точка еквідистанти $2'$, яка лежить на радіусі $R - r$. Її координати треба розраховувати. Для цього розглянемо трикутник $2-2'-2''$, скористаємось відомими геометричними залежностями. Із трикутника:

$$X_{2'} = X_2 + b; b = 2-2'' = r \cos \alpha; \quad (3.2)$$

$$Z_{2'} = Z_2 + c; c = 2'-2'' = r \sin \alpha,$$

де α — кут дуги оброблюваного контуру. Якщо він невідомий, його знаходять за геометричним співвідношенням (рис. 3.2, *в*):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(J - Z_2)}{(I - X_2)}, \quad (3.3)$$

де I і J — координати центру дуги (рис. 3.2, *в*).

Якщо відомий радіус кривизни відрізка 1—2, R , кут дуги визначають зі співвідношення

$$\cos \alpha = \frac{R - (X_2 - X_1)}{R}. \quad (3.4)$$

Якщо далі задати рух інструмента вздовж циліндричної твірної, то різець знімить зайвий припуск з діаметра D , рухаючись вершиною по лінії 22—32. Тому, щоб витримати відстань до еквідистанти r , треба відвести різець по X на величину h в точку $2'''$. $h = r - b$ (довжина відрізка $2'-2'''$ з рис. 3.2, *в*).

Як бачимо, математичні розрахунки кропіткі, а їх якість визначається здібностями та уважністю програміста.

З використанням графічного моделювання в САМ- або САД-програмі координати опорних точок визначаються прорисовуванням з високою точністю. Знижується ймовірність помилки в розрахунках і скорочується час підготовки керуючої програми.

У комп'ютеризованих пристроях ЧПК, в САМ-програмах, а також у спеціальних комп'ютерних програмах для обслуговування верстатів з ЧПК (наприклад, «Cimco Edit») еквідистанта розраховується автоматично по контуру деталі й заданому радіусу інструмента. Приклад обробки подібної деталі наведено в параграфі 3.9.

3.2.2. Технологічні бази

На рис. 3.4 наведені найбільш поширені методи установа та кріплення деталі для обробки на токарному верстаті з ЧПК:

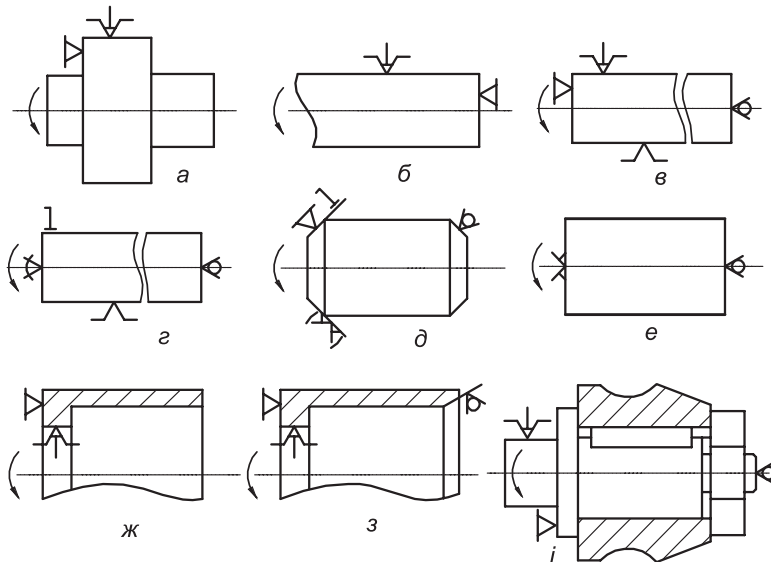


Рис. 3.4. Базування та кріплення деталі: *a, б* — затиск у патроні; *в* — затиск у патроні з підпором заднім центром; *г* — установка в центрах з поводком; *д* — в «рюмках» тертя; *е* — передній «йорш» і задній обертальний центр; *ж* — в патроні «на розтиснення»; *з* — в патроні «на розтиснення» з підпором заднім обертальним грибоквим центром; *і* — на оправці, виставлений і закріпленій в патроні

a, б — затиск у патроні з пневмо- чи електромеханічним приводом за зовнішній діаметр з упором в торець: (*a*) — лівий, (*б*) — правий, якщо прут проходить через шпіндель. Використовують для коротких деталей: $l \leq 5d$, де l — довжина деталі, d — діаметр (кришка, короткий валик, фланець, втулка тощо);

в — затиск у патроні з підпором обертальним заднім центром — використовується для дліномірних деталей типу ходових гвинтів, гребних валів тощо: $l \geq 15d$. Для збільшення жорсткості кріплення таких деталей можна установити додатковий нерухомий люнет, в якому вал підтримується трьома центруючими його вісь упорами, виконаними для зменшення тертя з чавуну, фторопласту або у вигляді спеціальних обертальних гартованих і шліфованих роликів;

г — у центрах з поводком або в центрах і патроні — використовують, якщо підвищені вимоги до співвісності оброблених поверхонь;

д — передній поводок — «рюмка» тертя, задній — обертальний центр, також «рюмка» тертя. Застосовують за потреби обробки деталі з великими фасками (4 мм і більше) з однієї установки на всю довжину;

е — передній зубчастий торцевий поводок («йорш») і задній обертальний центр. Сфера застосування така сама, як і для «рюмок» тертя, а також для коротких деталей типу диск: $l < d$. Таким поводком може слугувати затиснута і виставлена в патроні торцева фреза;

ж — в патроні «на розтиснення» з упором деталі в передній торець, використовують для обробки коротких порожнистих деталей ($l \approx d$);

з — в патроні «на розтиснення», з базуванням ідентично позиції «ж», з підпором грибковим обертальним центром. Сфера застосування — довгі порожнисті деталі: $l \geq 3d$;

і — порожнисті деталі, внутрішній діаметр яких недостатній для установки «на розтиснення» кулачками універсального патрона. Їх установлюють і закріплюють на спеціальних технологічних оправках, а самі оправки установлюють, вивіряють та закріплюють в патроні верстата. Залежно від серійності випуску, деталь на оправці може кріпитися через шпонку на жорсткій точній оправці по посадці ковзання, на цанговій оправці або спеціальній гідропластовій, а також у спеціальному патроні «на розтиснення».

3.2.3. Режими обробки

Призначення режимів різання (глибини, подачі, швидкості різання) залежить від багатьох чинників, основні з яких:

- заготовка — розміри та їх коливання, форма, матеріал та його стан, інше;
- вимоги до деталі — вказані у кресленні або операційному ескізі;
- вибраний інструмент;
- загальний стан системи верстат — пристрій — інструмент — деталь (ВПД).

Зазначені чинники взаємно впливають один на одного, це враховується корекцією режимів уже під час обробки.

Якщо операція чорнова, режими призначаються з міркувань якомога повнішого використання потужності верстата і можливостей різального інструмента (обробка з максимальною продуктивністю). Глибину різання призначають максимально можливою, уточнюючи її розподілом припуску по проходах.

Для поверхні з допуском 0,3 мм і менше слід планувати після чорнової обробки чистову операцію. На чистовій операції глибина різання вибирається залежно від вимог креслення або операційного ескізу до точності і шорсткості поверхні, в межах 0,2–2,0 мм.

Максимально допустима подача обмежується низкою факторів: жорсткість оброблюваної деталі, різальний матеріал різця та геометрія його заточки, жорсткість різця, потужність і жорсткість верстата, точність і шорсткість оброблюваної поверхні. Наприклад, для деталі зовнішнього діаметра 60 мм, довжиною 70 мм зі сталі Ст45 у стані поставки і вимогою шорсткості $Rz \leq 20$ мкм раціональна глибина різання на чистовому проході 0,25÷0,40 мм, а подача 0,1 мм.

Подача на чорнових проходах призначається виходячи із жорсткості системи ВПД та потужності головного приводу верстата.

Швидкість різання призначається передусім залежно від закладеної стійкості інструмента, його різальної характеристики.

Для призначення режимів різання можна користуватися загальновідомими довідниками для токарних універсальних верстатів. Враховуючи те, що верстати з ЧПК на 15–20 % жорсткіші від своїх універсальних аналогів, рекомендовані там режими можна відповідно збільшувати.

3.2.4. Вибір інструменту. Допоміжний інструмент

Для обробки деталей на верстатах з ЧПК, де є час неконтрольованої роботи, до якості інструменту ставляться більш жорсткі вимоги:

- стабільна різальна характеристика — для прогнозованого періоду заміни;
- задовільний відвід та подрібнення стружки;
- забезпечення точності обробки;
- максимальна універсальність геометрії;
- швидкозамінність.

Тому металорізальний інструмент повинен мати:

- високу твердість — щоб різати метал;
- високу зносостійкість — інструмент зазнає великого тертя і зношується;
- теплостійкість — інструмент не повинен втрачати різальних властивостей за високої (до 700°C) температури в зоні різання;
- високу механічну міцність — інструмент під час роботи сприймає значні сили різання.

Крім того, для збереження різальних властивостей інструменту на тривалий період у ході розробки програми необхідно програмувати кінець підведення інструменту до оброблюваної поверхні та початок відведення не з максимальною швидкістю руху (G0), а на збільшеній подачі лінійною чи круговою інтерполяцією.

Неприпустима різка зміна подачі під час різання, коли поверхні інструменту в металі. Це може призвести до зарізів на оброблюваній поверхні та ушкодження різальної крайки.

Оптимізуючи призначення характеристики різального інструменту і режимів обробки, ISO (міжнародною організацією по стандартизації) розроблено класифікацію характеристик оброблюваних матеріалів для вибору інструменту (ISO 513), згідно з якою оброблювані матеріали поділяються на шість груп:

ISO P — найбільша за складом група, включає різні сталі: від простих до високолегованих, у вигляді прокату, литва, поковок. Як правило, матеріали цієї групи характеризує гарна оброблюваність, хоча це залежить значною мірою від марки сталі;

ISO M — включає нержавіючі сталі з аустенітною, ферітною та мартенсітною структурою, жароміцні й титанові ста-

лі. Характерним при обробці таких матеріалів є інтенсивне термічне зношування різальної крайки, наростування;

ISO K — включає чавуни з різною оброблюваністю, залежно від їх складу. Оскільки до складу легованих білих чавунів входять карбіди хрому, титану, молібдену, кремнію (твердість HB 800–850), це визначає абразивний характер зношування різальної крайки;

ISO N — кольорові метали, алюміній, мідь, латунь та под. Оброблюються інструментом з гострими різальними крайками, з високою швидкістю різання і великим терміном стійкості;

ISO S — жароміцні сплави — високолеговані матеріали на основі заліза, нікелю, кобальту й титану. Всі вони вирізняються високою в'язкістю, що спричинює наростування у процесі обробки, виділенням великої кількості тепла і, внаслідок цього, — невеликий термін служби різальної пластини;

ISO H — матеріали високої твердості: гартовані сталі (45–65 HRC), відбілений чавун (400–600 HB) — важко оброблюються різанням, виділяють багато тепла при обробці, різальна крайка швидко зношується.

Для обробки матеріалів цих груп класифікація ISO рекомендує тверді сплави, що поділяються на групи, позначені так само, як і відповідна група матеріалів.

Тверді сплави — це найбільш поширений інструментальний матеріал. Завдяки наявності в їх структурі тугоплавких карбідів, твердість інструменту досягає 73–76 HRC, а теплостійкість — (800–1000)°C. Це робить можливою обробку з швидкостями різання, що в рази перевищують можливості швидкорізальних сталей.

Недоліком твердих сплавів є їх обмежена шліфуємість — тільки алмазними кругами. Тому тверді сплави, в основному, застосовуються у вигляді непереточуваних твердосплавних пластин з механічним кріпленням, інколи напайних. У сучасному металообробному виробництві 80–85 % різців оснащені пластинами з твердих сплавів. Найпоширенішими і для верстатів з ЧПК є різці з багатограничними непереточуваними пластинами, в яких після затуплення різальної крайки пластинка повертається наступною гранню, а після затуплення всіх крайок підлягає переробці.

Більшість пластин покриті карбідом титану, оксидом алюмінію, нітридом або карбонітридом титану.

Карбід титану і оксид алюмінію — надтверді матеріали. Вони забезпечують високу зносостійкість, хімічно інертні, тому створюють хімічний і термічний бар'єри між інструментом та оброблюваним матеріалом.

Нітрид титану не такий твердий, але він забезпечує низький коефіцієнт тертя на поверхні інструменту і стійкість до кратерного зношування.

Покриття на твердих сплавах надтонкі — не перевищують 2–12 мкм. Склад і технологія нанесення покриття безперервно удосконалюються, поліпшуючи різальні якості інструменту. Наприклад, відоме нано-текстуроване покриття «Mitsubishi» (пластина за класифікацією ISO MC 6015) підвищує довговічність інструменту на стирання і водночас покращує твердосплавну основу пластини, зменшуючи вірогідність сколів різальної крайки, що вкрай важливо при високошвидкісній обробці.

Крім твердих сплавів, для обробки гартованої поверхні (HRC \geq 50) застосовуються надтверді композитні матеріали: кубоніт (ельбор, CNB), гексоніт, мінералокераміка BOK70, BOK71.

Для обробки твердих білих чавунів та кольорових металів використовують штучний і природний алмаз.

Поєднання в композитних матеріалах високої твердості з високою теплостійкістю зробило можливою остаточну лезвийну обробку точних гартованих поверхонь, виключивши операцію шліфування.

Сьогодні класифікація ISO є відправною точкою вибору інструменту для роботи в усіх визначених умовах.

1	2	3	4	5	6	7	8
C	N	M	G	12	04	12	PM
<i>a</i>							
1	2	3	4	5	6	7	8
P	C	L	N	L	32	25	P12
<i>б</i>							

Рис. 3.5. Приклад позначення в ISO:
a — непереточуваної пластини; *б* — державки

Правильний вибір марки твердого сплаву і геометрії передньої поверхні інструменту (F — для чистової обробки, M — для універсальних випадків, R — для чорнової об-

робки) оптимізує обробку залежно від умов. Позначення непереточуваних пластин стандартизоване в міжнародному масштабі (див. рис. 3.5, а):

- 1 — форма пластини; С — ромбічна з кутом при вершині 80°;
- 2 — задній кут, N — задній кут відсутній;
- 3 — визначає точність пластини по товщині та діаметру вписаного кола. М — пластина розміром 12 мм з допуском на вписаний діаметр $\pm 0,08$ мм і допуском на товщину $\pm 0,13$ мм;
- 4 — визначає конструктивні особливості пластини (може бути плоскою або зі стружколамальною канавкою, з отвором чи без нього, за кількістю робочих сторін (одно- чи двосторонні). G — двостороння пластина зі стружколамальною канавкою;
- 5 — розмір різальної крайки, 12;
- 6 — товщина пластини, 4.
- 7 — вказує на радіус при вершині, 12 — 1,2 мм.
- 8 — описує геометрію, РМ — призначається для обробки сталей групи Р. Ця геометрія універсальна, забезпечує додатні передні кути для пластин без задніх кутів, надійне стружколамання під час обробки на подачах 0,15–0,5 мм/об. і глибиною різання 0,5–5,5 мм. Можуть бути й інші відомості про пластину.

Радіус на вершині пластини вибирають залежно від призначеної подачі [15] (див. табл. 3.1). При виборі радіуса подача не повинна бути більшою за радіус.

Таблиця 3.1

Вибір радіуса при вершині твердосплавної пластини					
Діапазон подач, мм/об.	0,25–0,35	0,4–0,7	0,5–1,0	0,7–1,3	1,0–1,8
Радіус при вершині пластини, мм	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4

Позначення державок також регламентується ISO. Наприклад (рис 3.5, б):

1 — спосіб укріплення різальної пластини на корпусі державки: С — притиск зверху, М — притиск зверху і підтискання за отвір, Р — притиск важелем за отвір, S — кріплення гвинтом;

2 — визначає форму пластини. Існує всього вісім форм. С — ромбічна пластина з кутом 80° при вершині, універсальна, може працювати у двох напрямках;

3 — L — головний кут у плані в державки 95° . Існує 18 різних типів державок;

4 — визначає величину заднього кута пластини. Символ N означає, що пластина без задніх кутів, її потрібно нахилити в корпусі державки;

5 — L — державка ліва (існують ще праві й нейтральні);

6 — 32 — ширина державки;

7 — 25 — висота державки;

8 — P — довжина державки 170 мм, 12 — довжина різальної крайки.

Допоміжний інструмент для токарної обробки

Для встановлення різального інструменту на токарних верстатах з ЧПК найчастіше використовують револьверні головки на 4, 6, 8, 12 та 16 позицій. Як правило (до 70 % заготовок), токарна обробка потребує не більше восьми інструментів, тому найбільш поширеними є верстати з восьмипозиційними револьверними головками. Відомі також верстати з двома револьверними головками з незалежним програмуванням обробки кожної, що дає змогу задіяти в обробці водночас два різальні інструменти. Токарні верстати з багатоінструментними магазинами, на зразок оброблювальних центрів (ОЦ), дозволяють під час обробки однієї деталі комплектувати набір інструментів у магазині під наступну, економити таким чином час на наладку. Такі магазини, інколи вкупі з револьверною головкою, використовуються на токарних ОЦ — верстатах з додатковим заднім або верхнім супортом з можливістю фрезерної і свердлильної поперечної та позацентрової обробки (див. параграф 3.15).

Револьверні головки відносно осі шпінделя верстата бувають з вертикальною, горизонтальною та нахиленою віссю обертання, розташованими відносно робочого місця верстатника перед або за віссю Z. Заміна інструмента в робочій позиції головки відбувається її позиційним поворотом з наступною фіксацією (індексація). Під час обробки револьверна головка, як та, що несе різальний інструмент, сприймає доволі потужні сили різання, тому вона відповідає жорстким вимогам щодо міцності елементів, жорсткості конструкції, високої точності позиціонування. Інструменти в робочих гніздах повинні розташовуватися так, щоб не заважати один одному (для внутрішньої та зовнішньої оброб-

ки), легко й швидко з високою точністю встановлюватися й зніматися, надійно кріпитися. Має бути можливість настроювання інструмента поза верстатом.

В револьверних головках сучасних токарних верстатів з ЧПК передбачені гнізда для установки інструмента з автономним приводом. Це створює можливість фрезерної і свердлильної перпендикулярної та позацентрної обробки в торці деталі. Залежно від призначення вісь такого інструмента може бути паралельною або перпендикулярною осі Z верстата, за спеціальним замовленням — нахиленою під заданим кутом.

Різальний інструмент може встановлюватися і кріпитися безпосередньо в гнізді револьверної головки або через допоміжний інструмент, так звані блоки, які одними поверхнями жорстко з'єднані з головкою, а в гніздах протилежної сторони орієнтується і не менш жорстко кріпиться різальний інструмент. Допоміжний інструмент, як і різальний, залежно від його точності, жорсткості, інших характеристик, суттєво впливає на процес обробки, його точність та надійність. Конструктивно способи установки, базування та кріплення допоміжного інструменту в револьверній головці можуть бути різними: центрування по конусному або циліндричному хвостовику з кутовою орієнтацією по лисці та закріпленням гвинтами за фланець або в лиску хвостовика. На лисці можуть бути рифлення, по яких відбувається кріплення рифленим клином. Використовується базування та кріплення по напрямних типу «ластівчин хвіст», прямокутні пази, шпонкові з'єднання тощо.

Як і в ОЦ, різальний інструмент з допоміжним можна складати в блоки окремо від верстата із заздалегідь визначеними розмірами розташування різальної крайки. Заміна різального інструменту в таких випадках відбувається разом з блоком, що скорочує час підготовки операції.

На рис. 3.6 наведено приклади конструкцій допоміжного інструменту, згідно з ГОСТ 24900, яким найчастіше укомплектовані верстати 16К20ФЗ:

a — блок для установки призматичних різців або спеціальних різцевих вставок під твердосплавні пластини, орієнтується і кріпиться в револьверній головці за допомогою циліндричного хвостовика *1* та лиски з рифленою рейкою *2*. Кріплення відбувається рифленим клином. Поздовжнє базування здійснюється упором в торець *A* (рис. 3.6, *a*, *b*).

В тілі блока передбачено спеціальний канал 5 для подачі змащувально-охолоджувальної рідини.

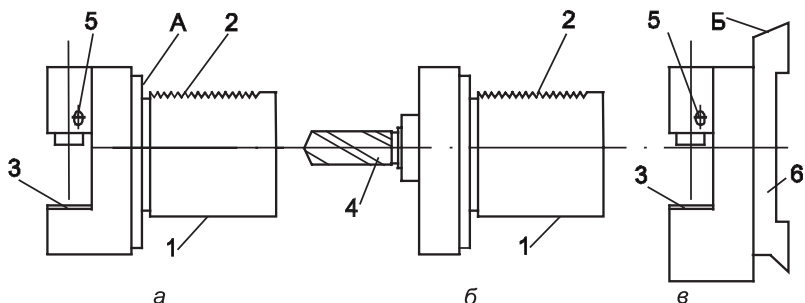


Рис. 3.6. Допоміжний інструмент: *а, в* — під призматичні різці; *б* — під інструмент для внутрішньої обробки

Спеціальні різцеві вставки (рис. 3.7), якими комплектується верстат з ЧПК, мають сферичну упорну поверхню, розташовану на головці гвинта 4, поворотом якого в певних межах можна регулювати довжину вставки «L», а гвинтом зі сферичною упорною поверхнею 2 можна регулювати положення вершини різальної крайки відносно базової бокової стінки 3, незначно міняючи кути в плані ϕ і $\phi 1$. Настроювання вставок, як правило, відбувається поза верстатом. Твердосплавні пластини 1 можна міняти або повертати на наступну робочу грань безпосередньо в місці установки в револьверній головці, але треба мати на увазі, що точність такої заміни чи повороту знаходиться в межах 0,2 мм. Регулювання різальної крайки по висоті виконується, як і на універсальному верстаті, за допомогою підкладок 3 (рис. 3.6, *а* і *в*). Кріплення тіла різця здійснюється спеціальними гвинтами зверху.

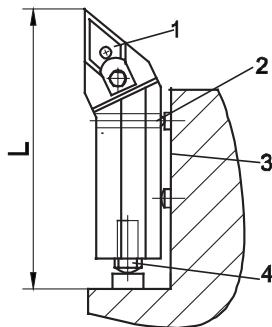


Рис. 3.7. Різцева вставка

За потреби в таких блоках можуть встановлюватись універсальні різці без попереднього настроювання окремо від верстата, тоді настроювання виконується під час наладки, як розглянуто в параграфі 3.3. Гнізда під призматичні різці можуть виконуватись і безпосередньо в корпусі револьверної головки з оснащенням розглянутими спеціальними

вставками або без них. Наладка на обробку виконується аналогічно;

б — блок під інструмент для внутрішньої обробки може кріпитись в револьверній головці так само, а замість гнізда під призматичні різці виконується отвір для кріплення розточувальних різців, свердл 4, інших інструментів для обробки внутрішніх поверхонь. Як і в різцевих вставках, можливе регулювання вильоту інструмента за допомогою спеціальних гвинтів у торці. Кутова орієнтація розточувальних різців здійснюється через лиску на оправці інструмента з кріпленням гвинтами в корпусі головки. Встановлення мірного різального інструменту (свердла з конічними та циліндричними хвостовиками, зенкери, розвертки, мітчики, плашки тощо), як і в ОЦ, може супроводжуватися додатковими перехідними втулками під цангові патрони, конуси різного значення, циліндри тощо;

в — інструментальні блоки з базуючою призмою Б. Корпус допоміжного інструмента базується спеціальними призматичними поверхнями на корпусі та револьверній головці, закріплюється гвинтами, має отвір для подачі ЗОР через корпус. Частина блока для установки та кріплення різального інструменту така сама, як і в попередніх випадках.

3.3. Програмування для верстата 16К20Ф3 з ЧПК «Електроніка НЦ-80-31» (МС-21). Системи координат, основні положення. «Прив'язка» інструмента

Верстат 16К20Ф3 з пристроєм ЧПК «Електроніка НЦ-80-31» призначений для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання з прямолінійним, східчастим і криволінійним профілем, для нарізання зовнішніх і внутрішніх конічних та циліндричних різьб. На верстаті можна виконувати обробку з використанням багатопрохідних циклів. У верстаті вирізняють три системи координат: верстата, деталі та інструмента.

Система координат верстата, X, Z. Z збігається з віссю обертання деталі та напрямом поздовжньої подачі: «+» — від патрона, «-» — до патрона. X збігається з поперечною подачею, напрям осі залежить від розташування різцетримача — за віссю обертання деталі чи перед нею.

Рух врізання — до оператора або від нього. В усіх випадках «+» — у бік збільшення діаметра деталі. Для токарних верстатів, оснащених заднім або верхнім супортом, є додаткова вісь Y , яка завжди направлена вгору і призначена для програмування обробки фрезеруванням шпонкових пазів, лисок, шліців, інших подібних елементів деталі, свердління поперечних отворів.

Початок системи координат верстата — в центрі торця шпінделя перед посадочним конусом, що центрує планшайбу патрона. Початок координати Y (якщо така є) знаходиться на осі Z на визначеній для кожного окремого випадку відстані від дзеркала патрона.

Система координат інструмента. Її початок знаходиться в центрі різцетримача. Технолог-програміст, наладчик та оператор не використовують її. Ними відстежується відносне розташування різальної крайки інструмента і оброблюваної поверхні в системі координат деталі. Різцетримаюча головка відводиться при індексації на безпечну відстань, щоб інструмент при повороті не врізався в деталь. З іншого боку, ця відстань не має бути надто великою, щоб не втрачати час на позиціонування, яке теж відбувається в системі координат деталі. Координати точки індексації вибираються під час наладки, експериментально. Є верстати з фіксованою точкою індексації інструмента.

Система координат деталі. Її вибирають під час розробки програми так, щоб зберегти максимальну кількість розмірів, призначених конструктором — взятих безпосередньо з креслення деталі без перерахунку. Осі X і Z деталі збігаються з осями X і Z верстата за напрямом, а початок координат вибирає наладчик або технолог-програміст. Найчастіше це правий торець деталі. В такому разі обробка відбуватиметься у квадранті II системи координат: значення X завжди буде додатним, а Z — від'ємним.

Система координат розташовуватиметься у квадранті I, якщо початок координат — у лівому торці деталі (в напрямку від нього конструктор проставив лінійні розміри). Таке ж розташування системи координат характерне для верстатів, оснащених субшпінделем (другим робочим шпінделем замість заднього центру). Розглянемо це на прикладах.

На рис. 3.8, *a* лінійні розміри проставлені в напрямку від лівого торця. Траєкторія руху різця при цьому буде та-

кою, як зображено на рисунку. Напрямок координати Z завжди від патрона. Оскільки різцетримач знаходиться з боку оператора, а додатний напрямок руху завжди від деталі, координата X направлена на оператора (вниз на рис. 3.8, а). Траєкторія руху інструмента буде такою: В.т.—П.о.—1—2—3—4—5—6—7—8—9—10—11—В.т.

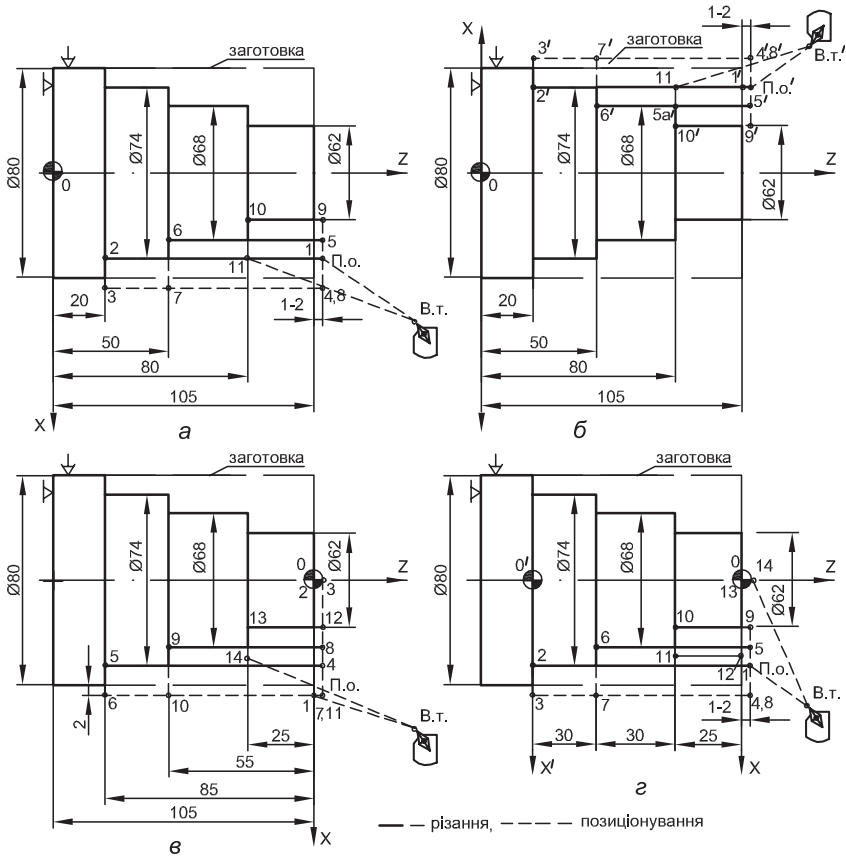


Рис. 3.8. Системи координат деталі: а, б — початок у лівому торці; в, г — початок у правому торці і на деталі

Якщо різцетримач знаходиться за віссю обертання (Z), то з тих же міркувань вісь X буде направлена вгору (рис. 3.8, б). Траєкторія руху інструмента буде такою: В.т.—П.о.—1'—2'—3'—4'—5'—6'—7'—8'—9'—10'—11'—В.т. В обох випадках контроль поздовжніх розмірів виконується від патрона.

Якщо розміри в кресленні проставлені від меншого торця, то правильним буде розташувати початок координат у правому торці деталі і обробку почати з його підрізки — від нього витримуватимуться поздовжні розміри (рис. 3.8, *в*) під час обробки, а також виконуватиметься їх контроль. Траєкторія руху інструмента буде такою: В.т.—П.о.—1—2—3—4—5—6—7—8—9—10—11—12—13—14—В.т.

Якщо поздовжні розміри проставлені ланцюжком (рис. 3.8, *г*), то, щоб повторити конструкторські розміри, доцільно програмувати обробку у відносній системі. Значення прирощення переміщень будуть, залежно від напрямку руху інструмента, з «+» або «-». Як і при фрезерній обробці, у відносній системі є більша небезпека помилки, тому її використовують рідше, окремою частиною програми.

В табл. 3.2 наведено приклад керуючої програми обробки деталі, зображеної на рис. 3.8, для розглянутих різних початкових умов обробки. Обробка однакових відрізків профілю запрограмована, по можливості, кадрами з однаковими номерами.

Таблиця 3.2

Рис. 3.6, а, б	Рис. 3.6, в	Рис. 3.6, г, 0(X,Z)	Рис. 3.6, г, 0'(X',Z)
N10T1M6;	N10T1M6;	N10T1M6;	N10T1M6;
N15G90G97S630M3;	N15G90G97 S630M3;	N15G90G97S630 M3;	N15G90G97S630M3;
N20G0X84Z107;	N20G0X84Z2;	N20G0X84Z2;	N20G0X84Z87;
N30G1X74F2M8;	N21G1Z0F2M8;	N24X74F2M8;	N30G1X74F2M8;
N40Z20F0,3;	N22X-1F0,2;	N40Z-85F0,3;	N40Z0F0,3;
N50X84;	N23Z2F2;	N50X84;	N50X84;
N60G0Z107;	N24X74;	N60G0Z2;	N60G0Z87;
N70X68F2;	N40Z-85F0,3;	N70X68F2;	N70X68F2;
N80Z50F0,3;	N50X84;	N80Z-55F0,3;	N80Z30F0,3;
N90X76;	N60G0Z2;	N90X76;	N90X76;
N100G0X84Z107;	N70X68F2;	N100G0X84Z2;	N100G0X84Z87;
N110X62F2;	N80Z-55F0,3;	N110X62F2;	N110X62F2;
N120Z80F0,3;	N90X76;	N120Z-25F0,3;	N120Z60F0,3;
N130X70;	N100G0X84Z2;	N130X70;	N130X70;
N140X84Z107M9M5;	N110X62F2;	N131Z0F2;	N131Z85F2;
N150M30;	N120Z-25F0,3;	N132X-1F0,2;	N132X-1F0,2;
	N130X70;	N133Z2F2;	N133Z2F2;
	N140X84Z2M9M5;	N140G0X84M9M5;	N140G0X84M9 M5;
	N150M30;	N150M30;	N150M30;

Як бачимо з програми, у випадку (а) і (б) програмування відбувається у квадранті I. Незалежно від розташування різцевої головки, Z завжди додатне. У випадку (в) і (г) — у квадранті II, Z завжди від'ємне.

Якщо розміри проставлені ланцюжком, то у випадку (г) по приросту їх програмувати неможливо, доведеться перераховувати в абсолютну систему і враховувати 1 мм на підрізку правого торця, щоб витримати поздовжній розмір 25 мм.

Початок координат може бути не в крайньому торці деталі, якщо того вимагають проставлені конструктором розміри (рис. 3.8, з, $O'(X',Z)$).

Вихідна точка обробки (В.т.) є початком і закінченням траєкторії руху інструмента під час обробки. Вибирають її з міркувань:

— переміщення інструмента з вихідної точки до початку обробки і з кінцевої точки обробки у вихідну мають бути мінімальними;

— положення інструмента у вихідній точці має бути добре видимим оператору;

— інструмент у вихідній точці не повинен заважати контрольним операціям, якщо такі потрібні впродовж обробки;

— інструмент не повинен заважати установленню, вивірненню, закріпленню та зніманню деталі.

З урахуванням зазначених обмежень, це — 60÷80 мм від торця та 10÷30 мм від зовнішнього діаметра деталі (див. рис. 3.1).

Початок обробки (П.о.), як правило, вибирають на відстані 2–3 мм від торця та діаметра. Він може «плавати» вздовж осі Z при заміні патрона, пристосувань, відхиленні довжини деталі. У цьому разі передбачено корекцію по осі Z (G56 — внести корекцію, G53 — відмінити).

«Прив'язка» інструмента. Орієнтація кожного інструмента, задіяного в обробці, у системі координат деталі називається «прив'язкою» інструментів. Залежно від оснащення верстата її виконують вручну або за допомогою спеціального приладу в розглянутій нижче послідовності.

1. До закріпленої в патроні деталі в ручному режимі підводять різець. Підрізають торець і проточують зовнішній діаметр. З належною точністю заміряють проточений діаметр та відстань від торця деталі до дзеркала патрона. Наприклад, $\varnothing 40$, відстань 70 мм.

Для даного різця (Т *i*-го) ці координати вводять у пристрій ЧПК, тобто коли вершина різця торкається зовнішнього діаметра в площині торця, її координати будуть: 40;70. Якщо «0» по Z вибирають не на дзеркалі патрона, а в правому торці деталі, то координати точки будуть: 40;0.

Якщо в обробці задіяні кілька або всі позиції різцетримаючої головки, то різець кожної позиції підводять почергово до координат X40 і Z70 (або X40 і Z0), для впевненості — підводять різець, допоки на поверхні циліндра і торця не з'явиться слід від вершини різця (риска), потім у програму заводять цю координату для кожного різця. Таким чином, під час обробки всі різці рухатимуться траєкторіями від точки відліку E (40;70) або (40;0), дотримуючись заданих картою наладки розмірів з точністю нанесення риски: 0,01÷0,02 мм.

2. Експериментальним шляхом визначають точку відводу різцетримаючої головки для індексації. Для цього в ручному режимі проводять індексацію всіх інструментів. Відстежуючи їх положення відносно деталі, переконуються у правильності вибору точки або вносять поправку. Точку індексації вносять до програми як координату заміни інструмента. В одній програмі таких точок може бути кілька для різних інструментів. Після цього можна розпочинати обробку.

Сучасні токарні верстати оснащують спеціальним приладом для налагоджування різців на розміри обробки. Прилад особливо ефективний при налагодженні на обробку внутрішніх закритих поверхонь (кармани, канавки), заміні твердосплавних пластин при точній обробці, в інших подібних випадках.

Розглянемо приклад — заміна зношеної пластини.

1. Вершину різця зі зношеною пластиною підводять до стикання з елементом датчика приладу, встановленого на верстаті (D на рис. 3.1), до сигнального засвічування лампочки — окремо по X і Z, записують координати.

2. Заміняють пластину.

3. Так само підводять новий різець під датчик по кожній осі до світлового сигналу. Змінюють значення X і Z на екрані на ті, що були зі зношеним різцем. За потреби вводять корекцію на величину зношування.

3.4. Формат кадру

Формат кадру має вигляд:

N04G02X±053Z±053R±053I±053±053K±053F023(F05)
E034S04T04D02M02 P02Q02H04L04;

Формат додаткових адрес:

A±053B±053C±053U±053V±053W±053J±053Y±053.

N — номер кадру, 04 — максимальна кількість кадрів — 9999 (найбільше чотиризначне число);

G — підготовчі (технологічні) функції, постійні цикли; максимальна кількість — 99, нуль перед другою цифрою можна не ставити (G01→G1);

X, Z — дані по осях X і Z в абсолютній або відносній системах, ±053 — 5 значущих цифр до крапки, 3 — після крапки. «0» перед першою значущою цифрою цілої частини числа та після останньої значущої цифри в дробовій частині можна не ставити;

U, W — дані по осях X і Z відповідно в абсолютній системі в приростах координат;

R — радіус дуги, мм;

I, K — координати центра дуги по осях X і Z;

S — швидкість різання, м/хв, або кількість обертів шпінделя, п/хв;

H — кількість повторів частини керуючої програми;

T — номер інструмента і номер коректора інструмента;

M — допоміжні функції (команди);

L — номер підпрограми;

P, Q — номер першого та останнього кадру частини програми, що повторюється;

F, E — функції подачі, крок різьби, F — модальна, E — діє тільки в тому кадрі, де задана;

A, B, C, I, V, Y, Q — додаткові параметри циклів та керуючої програми;

% 02 — початок та номер програми. Бібліотека програм зберігається в електронній пам'яті ПЧПК на жорсткому диску, що забезпечує енергонезалежність, зокрема в разі довготривалих відключень верстата від живлення. Максимальна кількість програм — 99.

3.5. Підготовчі (технологічні) функції G і цикли

Функції G визначають технологічні можливості комплексу: верстат — пристрій ЧПК, можуть діяти до відміни — модальні (м) або тільки в одному кадрі. Нижче наведено перелік основних функцій G в токарній обробці.

G0 — позиціонування, прискорений рух на максимальній швидкості, закладений у технічній характеристиці верстата (м);

G1 — лінійна інтерполяція (м);

G2, G3 — кругова інтерполяція за стрілкою годинника та проти неї (м);

G04 — програмована витримка часу;

G25, G26 — встановлення та відміна, відповідно, заборонної зони переміщень;

G27 — однопрохідний поздовжній цикл точіння (м);

G28 — однопрохідний поздовжній цикл різенарізання (м);

G29 — однопрохідний поперечний цикл точіння (м);

G33 — цикл нарізання різьби з постійним кроком (м);

G37 — вихід у фіксовану точку (м);

G38 — повернення з фіксованої точки (м);

G39 — однопрохідний цикл поперечного різенарізання (м);

G56 — лінійне зміщення по осі;

G53 — відміна лінійного зміщення;

G60 — однопрохідний поздовжній чистовий цикл;

G61 — багатопрохідний чорновий поздовжній цикл;

G62 — багатопрохідний чорновий поперечний цикл;

G65 — цикл нарізання поперечних канавок;

G66 — багатопрохідний чорновий цикл поздовжнього різенарізання;

G67 — багатопрохідний чорновий цикл поперечного різенарізання;

G68 — багатопрохідний чорновий копіювальний цикл;

G69, G70 — цикли нарізання торцевих канавок;

G82, G83 — цикли глибокого свердління;

G84 — цикл нарізання різьби мітчиком або плашкою;

G90 — абсолютна система відліку (м);

G91 — відносна система відліку: розміри у приращеннях від попереднього значення (м);

G94 — подача, мм/хв (м);

G95 — подача, мм/об. (м);

G96 — постійна швидкість різання, м/хв (м);

G97 — відміна постійної швидкості різання, постійні оберти шпінделя — кількість обертів за хвилину (м);

У технологічних функціях для пристрою ЧПК НЦ-80-31«0» після G перед значущою цифрою можна не ставити. (Це правило діє також для пристрою ЧПК НЦ-31.)

3.6. Допоміжні функції M

Поділяються на ті, що виконуються до переміщення, й ті, що виконуються після переміщення, діють до відміни іншою функцією M та лише в одному кадрі (див. табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Допоміжні функції M					
1	2	3	4	5	6
M00	Програмована зупинка	-	+	-	+
M01	Зупинка з підтвердженням	-	+	-	+
M02	Кінець програми	-	+	-	+
M03	Оберти шпінделя за стрілкою годинника	+	-	+	-
M04	Оберти шпінделя проти стрілки годинника	+	-	+	-
M05	Зупинка шпінделя	-	+	+	-
M06	Заміна інструмента	+	-	-	+
M08	Включення змащувально-охолоджувальної рідини	+	-	+	-
M09	Виключення змащувально-охолоджувальної рідини	-	+	+	-
M12	Реверс головного приводу	+	-	+	-
M17	Кінець підпрограми з поверненням в основну програму	-	+	-	+
M19	Орієнтована зупинка шпінделя	+	-	-	+
M30	Кінець програми з поверненням системи у стан перед першим кадром	-	+	-	+

Позначення в табл. 3.3:

- 1 — код допоміжної функції;
- 2 — призначення допоміжної функції;
- 3 — функція починає діяти до початку переміщення;
- 4 — функція починає діяти після переміщення;
- 5 — функція діє до відміни іншою;
- 6 — функція діє лише в одному кадрі.

Так само, як і в G-функціях, «0» перед другою значущою цифрою можна не ставити.

3.7. Програмування лінійних переміщень, G0, G1

Виконується як в абсолютній системі (G90), так і у відносній (G91) за адресами X і Z. Крім того, в абсолютній системі з командою G90 можливе програмування за приростами координат з використанням адрес U і W. Поперечне переміщення з U, на відміну від X, програмується тільки на радіус. По команді G91 пристрій ЧПК X і Z зчитує у відносній системі, а U і W не зчитує.

G0-позиціонування забезпечує, на відміну від ОЦ із пристроєм ЧПК 2С-42, лінійну інтерполяцію, тобто виконавчий орган рухається в точку призначення по прямій на максимально можливій для даного верстата швидкості.

Формат кадру функції: G0{X/U} {Z/W};

Параметри:

X, U — координата точки призначення прискореного руху по осі X або приріст U по осі X від попередньої до наступної точки;

Z, W — координата точки призначення прискореного руху по осі Z або приріст W по осі Z від попередньої до наступної точки;

Лінійна інтерполяція G1 у токарній обробці застосовується для програмування оброблення поверхонь з лінійною твірною: циліндричних, конічних, торцевих.

Формат кадру функції: G1{X/U} {Z/W} F(E);

Параметри:

X, U — координата наступної точки переміщення по осі X або приріст U по осі X від попередньої до наступної точки;

Z, W — координата наступної точки переміщення по осі Z або приріст W по осі Z від попередньої до наступної точки.

Траєкторія руху по команді G1 показана на рис. 3.9, може бути відпрацьована кадром:

N10G01X100Z100F200; або

N10G01U-100W-150F200;

Якщо одна з координат у кадрі відсутня, відбувається рух вздовж координати, вказаної у кадрі: X — поперечний напрям, Z — поздовжній. Відсутність у кадрі команди подачі призводить до відпрацювання руху з останньою, вказаною в тексті програми раніше, подачею F як модаль-

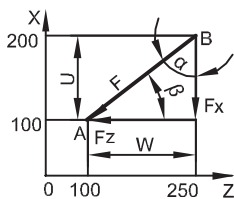


Рис. 3.9. Лінійна інтерполяція

ною. Програмується подача F у мм/об. (обертна подача, обов'язкова при різенарізанні) або в мм/хв (хвилинна подача). За замовчуванням у програмі після коду F автоматично спрацьовує обертна подача (команда G95) у дискретах (ціна дискрети 0,01 мм) або міліметрах. У сучасних ПЧПК подача задається лише в міліметрах ($F0,3$). Якщо доцільніше вказати хвилинну подачу, її вводять командою G94 ($G94 F18$ мм/хв). При нарізанні різьби подача може бути тільки обертною і дорівнювати кроку різьби. Вирізняють контурну і осьову подачі, між якими існує таке співвідношення (див. рис. 3.9):

$$F = \frac{F_x}{\cos\alpha} \quad \text{або} \quad F = \frac{F_z}{\cos\beta}. \quad (3.5)$$

Як правило, використовують контурну подачу, а осьову — в спеціальних випадках, наприклад нарізання різьби на конічних поверхнях із кроком, заданим паралельно осі. Подача, позначена командою E, діє тільки в тому кадрі, де вона задана.

На рис. 3.10 наведено приклад чорнової обробки прямолінійних поверхонь східчастої деталі з використанням лінійної інтерполяції без розрахунку руху осі вершини різця по еквідистанті. Корекція введена «прив'язкою» різця під час налагоджування операції. Програму обробки подано в табл. 3.4.

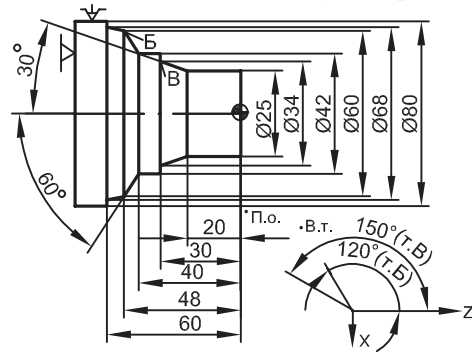


Рис. 3.10. Лінійна інтерполяція, чорнова обробка

Таблиця 3.4

Кадр	Програмовані дії
% 40; (STUPIN. VALIK)	
N10 T1 M6;	Виведення в робочу позицію різця T1
N20 G90 G97 S800 M4;	Призначення режимів обробки
N30 G0 X82 Z5 M8;	Підведення різця до оброблюваної поверхні прискореним рухом
N40 G1 Z0 F2;	Підведення різця в точку початку обробки на збільшеній подачі
N50 X-1 F0,2;	Підрізання торця
N60 Z2 F2;	Відвід різця по Z
N70 G0 X82;	Відвід різця по X

Закінчення табл. 3.4

Кадр	Програмовані дії
N80 G61 P200 Q280 U0,5 W0,5 B1 F0,5;	Обробка контуру деталі багатопрхідним чорновим поздовжнім циклом G61 (детальніше — див. параграф 3.13.6)
N200 G0 X25 Z2;	Опис оброблюваного контуру
N210 G1 Z1;	
N220 Z-20;	
N230 X34 Z-30;	
N240 X42;	
N250 Z-40;	
N260 X60 Z-48;	
N270 X68 Z-60;	
N280 X82;	
N80 X84 F2 M09;	Відвід різця по X, відміна подачі ЗОР
N90 G0 X200 Z200;	Вихід в позицію заміни інструмента
N100 M05;	Зупинка шпінделя
N110 M30;	Кінець програми

Початок координат — у правому торці. Для обробки застосовано універсальний прохідний різець з твердосплавною непереточуваною пластиною.

В сучасних пристроях ЧПК («FANUK», «Siemens») координати точок перетину нахилених до осі твірних (Б і В на рис. 3.10) розраховуються автоматично, якщо задати кут нахилу твірної до додатного напрямку осі Z. Тоді кадри програми обробки N230 і N260 будуть такими:

N230 Z-30 A150;

N260 X60 A120;

A150 і A120 — кути між додатним напрямом осі Z і твірною оброблюваних поверхонь.

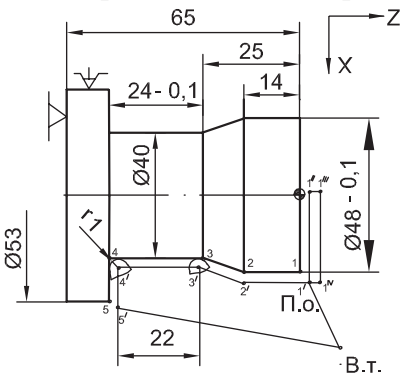


Рис. 3.11. Лінійна інтерполяція чистової обробки деталі

Така можливість програмування звільняє технолога-програміста чи наладчика, оператора від додаткових обчислень координат перетину поверхонь (точки Б і В на рис. 3.10: $\varnothing 34$ і довжина 48).

Розглянемо приклад програмування через лінійну інтерполяцію чистової обробки деталі (рис. 3.11).

Заготовка — деталь після чорнової обробки з припуском 1 мм.

Для обробки виберемо прохідний різець з непереточуваною пластиною CNMG120410PM, геометрія якої дозволяє виконати обробку зовнішнього діаметра і підрізки торця, радіус на вершині 1,0 мм. Початок координат вибираємо в центрі правого торця обробленої деталі. Щоб на точність поздовжніх розмірів не вплинули коливання довжини деталі, обробку починаємо з підрізки правого торця в розмір згідно з кресленням. Програму обробки наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Кадр	Програмовані дії
% 21; (VALIK)	
N10T1M6;	Виведення в робочу позицію інструмента T1
N20G97G90S800M3;	Призначення режимів. Абсолютна система відліку, 800 обертів шпінделя за стрілкою годинника
N30G0X70Z40;	Підведення інструмента у вихідну точку обробки (В.т.)
N40G1G09X50Z0F2M8;	Підведення інструмента в точку початку обробки (П.о.), подача ЗОР
N50X-1F0,2;	Підрізання торця
N60Z1F2;	Відвід різця по Z
N70 X48;	Підведення різця в точку початку обробки зовнішнього діаметра
N80Z-14F0,2;	Точіння $\varnothing 48-0,1$
N90Z-(25+1)X40;	Точіння конуса з врахуванням в переміщенні по Z радіуса вершини різця 1 мм
N100W-(24-1-1);	Точіння заниження $\varnothing 40$ (відрізок 3—4), хід різця 22 мм, довжина еквідистанти скорочена на 2 радіуси вершини різця (праворуч і ліворуч по 1 мм)
N110X57;	Підрізання торця (відрізок 4—5)
N120G0X70Z40M9M5;	Відвід різця у вихідну точку. Відміна подачі ЗОР. Зупинка шпінделя
N130M30;	Кінець програми

3.8. Обробка фасок і галтелей

Якщо у форматі кадру функції G1 замість $\frac{Z}{W}$ задати $\frac{K}{R}$, то формат кадру набуде вигляду:

$$G1 \left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{K}{R} \right\} F(E);$$

а в кінці основного руху по осі X відбудеться додатковий рух по закону фаски катетом K під кутом 45° або галтелі радіусом R . Напрямок фаски визначається напрямком обробки по перпендикулярній координаті, а напрям галтелі чи радіуса — рухом годинникової стрілки (за стрілкою — «+»; проти — «-»). Значення параметра K завжди відпрацьовується на радіус.

Схему рухів на рис. 3.12, *а* можна відпрацьовувати такими кадрами:

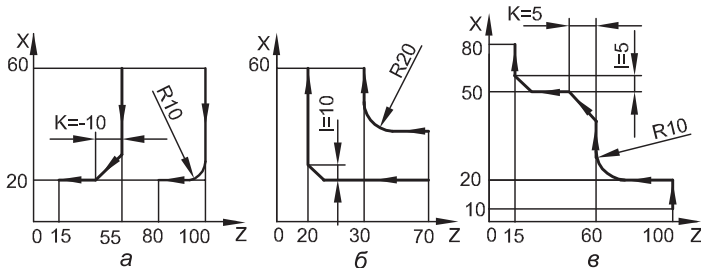


Рис. 3.12. Обробка фасок і галтелей: *а* — поперечний рух; *б* — поздовжній; *в* — послідовні ступені

Абсолютні значення
 N10G90G1X20K-10;
 N20Z15;
 N40G90G1X20R10;
 N50Z80;

У прирощеннях
 N10G90G1U-40K-10;
 N20W-40;
 N40G90G1U-40R10;
 N50W-20;

У разі одночасного задання параметрів K та R пристрій ЧПК зчитує тільки R .

Якщо у форматі кадру функції G1 замість $\frac{X}{U}$ задати $\frac{I}{R}$, то формат кадру набуде вигляду:

$$G1 \left\{ \frac{Z}{W} \right\} \left\{ \frac{I}{R} \right\} F(E);$$

тоді в кінці основного руху по осі Z відбудеться додатковий рух по закону фаски катетом I під кутом 45° або галтелі радіусом R .

Схема рухів на рис. 3.12, *б* буде відпрацьована кадрами:

Абсолютні значення
 N10G90G1Z20I10;
 N20X60;
 N40G90G1Z30R20;
 N50X60;

У прирощеннях
 N10G90G1W-50I10;
 N20U40;
 N40G90G1W-40R20;
 N50U30;

Значення параметра I завжди відпрацьовується на радіус. У разі одночасного задання параметрів I та R пристрій ЧПК зчитує лише R. Якщо помилково задати I, K та R, система ЧПК зчитає тільки R. Якщо величина фаски (I, K) більша за переміщення, відбувається аварійний збій, що висвітлюється на екрані монітора пристрою ЧПК. Наприклад, кадри G1U20K25; G1W50I-70; неправильні, система їх не відпрацьоє, бо фаски K та I більші за переміщення U та W.

Крім того, використовуючи в програмі кадр із функцією G1, що задає кінцеву фаску чи галтель, потрібно передбачити наступний кадр програми, який містив би переміщення, задане командою G0 або G1, направлене перпендикулярно основному рухові першого кадру, інакше система знову висвітлить на екрані «збій програми». Наприклад, послідовність рухів:

N120G1U-18K2F250;
N130W300R-15;
N140U- 25K-10;
N150G0W400;

є коректною, а послідовність:

N120G1U-18K2F250;
N130U-25K5;

є некоректною: після поперечного переміщення, що закінчується фаскою, відсутнє переміщення поздовжнє.

Під час програмування контуру обробки у вигляді послідовності ступенів і торців з фасками (галтелями) за допомогою функції G1 розміри ступенів і торців задаються повними, тобто без врахування розмірів фасок і галтелей. Наприклад (рис. 3.12, в):

Абсолютні значення	У прирощеннях
N10G90G1X20;	N10G90G1U10;
N20G1Z60R10;	N20G1W-40R10;
N30G1X50K5;	N30U30K5;
N20G1Z15I5;	N40G1W-45I5;
N50X80;	N50U30;

Якщо кут фаски відмінний від 45°, фаску програмують як обробку окремої конічної поверхні. В таких випадках зручно для основного контуру використовувати абсолютну систему координат з координатами X і Z, а для фасок — з U і W.

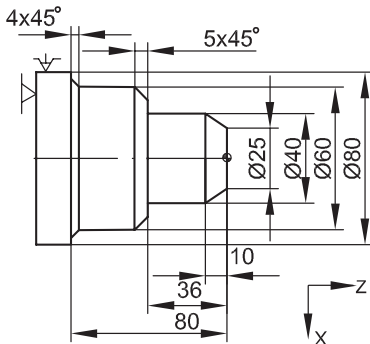


Рис. 3.13. Приклад обробки фасок

Розглянемо приклад програмування обробки фасок на деталі (рис. 3.13). Заготовка попередньо оброблена з припуском під остаточну обробку 2 мм. Початок координат призначимо в правому торці деталі.

Для обробки візьмемо універсальний прохідний різець. Оскільки кут першої фаски не 45°, програмуватимемо її обробку як конічної поверхні. Аналізуємо дотримання умов знімання фаски, використовуючи команду G1 в наступних точках (рис. 3.13):

— після знімання обох фасок напрям руху змінюється на перпендикулярний;

— розміри обох фасок менші за переміщення, що слідує за ними.

Це відповідає необхідним умовам, і програма обробки деталі набуває вигляду:

```
%6; (STUP. VALIK)
N10 T1 M6;
N20 G90 G96 S800 M3;
N30 G0 X42 Z5;
N40 G1 Z0 F2 M8;
N50 X-1F0,2;
N60 Z1 F2;
N65X23;
N68X25Z0;
N70 X40 Z-10 F0,2;
N80 Z-36;
N90 X60 K5;
N100 Z-80 I4;
N110 X82;
N120G0 Z2 M9 M5;
N130 X200 Z200;
N140 M30;
```

Розглянемо приклад програмування обробки галтелей і заокруглень на деталі (рис. 3.14).

Заготовка попередньо оброблена з припуском під остаточну обробку 2 мм. Початок координат призначимо в

правому торці деталі. Для обробки візьмемо універсальний прохідний різець. Аналізуємо дотримання умов програмування галтелей і заокруглень, використовуючи функцію G1: після обох заокруглень і галтелі напрям руху міняється на перпендикулярний. Це відповідає необхідній умові. Тоді програма обробки буде такою:

```
%7; (STUP. VALIK)
N10 T1 M6;
N20 G90 G96 S800M3;
N30 G0 X42 Z5;
N40 G1 Z0 M8 F2;
N50 X-1F0,2;
N60 Z2 F2;
N65X38;
N68X40 F0,5;
N70 Z-24 F0,2;
N90 X60 R6;
N100 Z-48 R-8;
N110 X80R2;
N115 X84;
N120G0 Z2 M9 M5;
N130 X200 Z200;
N140 M30;
```

Розглянемо приклад програмування обробки галтелі на внутрішній поверхні деталі (рис. 3.15, а).

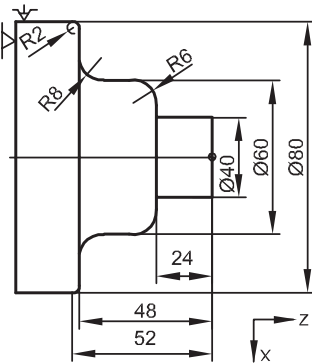


Рис. 3.14. Приклад обробки галтелей і заокруглень

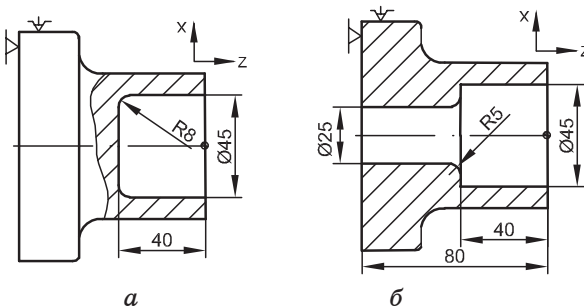


Рис. 3.15. Обробка на внутрішній поверхні деталі: а — галтелі; б — заокруглення

Заготовка попередньо оброблена з припуском під остаточну обробку 2 мм. Початок координат призначимо в правому торці деталі. Для обробки візьмемо універсальний розточувальний різець. Аналізуємо дотримання умов програмування галтелей, використовуючи функцію G1: після заокруглення напрям руху змінюється на перпендикулярний. Це відповідає необхідній умові. Тоді програма обробки буде такою:

```
% 9; (NASADKA)  
N10 T4 M6;  
N20 G90 G97 S800 M4;  
N30 G0 X-40 Z3 M8;  
N40 G1 X-45F2;  
N50 Z-40 F0,2;  
N60 X1 R8;  
N70Z3 F2 M9;  
N80 G0 X200 Z200 M5;  
N90 M30;
```

Розглянемо приклад програмування обробки заокруглення на внутрішній поверхні деталі (рис. 3.15, б).

Заготовка попередньо оброблена з припуском під остаточну обробку 2 мм. Початок координат — в правому торці деталі. Для обробки візьмемо універсальний розточувальний різець. Умови програмування заокруглень, використовуючи функцію G1, витримані: після заокруглення напрям руху змінюється на перпендикулярний. Програма обробки буде такою:

```
% 14; (VTULKA)  
N10 T4 M6;  
N20 G90 G97 S800 M4;  
N30 G0 X-40 Z3 M8;  
N40 G1 X-45 F2;  
N50 Z-40 F0,2;  
N60 X-25 R-5;  
N62 Z-82;  
N64 X-23;  
N70Z3 F2 M9;  
N80 G0 X200 Z200 M5;  
N90 M30;
```

3.9. Кругова інтерполяція (G2, G3)

Обробка сферичних поверхонь — один зі складних видів оброблення та програмування. Сферична або, для випадку токарної обробки, опукла торова поверхня описується кривою, яка є дугою кола. Поверхні з твірною у вигляді дуги кола можуть бути також вгнутими. Програмування обробки таких поверхонь здійснюється функціями кругової інтерполяції G2 і G3. Попередня вибірка металу виконується за допомогою чорнових циклів G61 або G62. Якщо заготовка є поковкою або відливкою (має попередньо сформовану поверхню), то застосовують чорновий цикл G68.

Рух по дузі кола за стрілкою годинника забезпечується командою G2 або, якщо проти стрілки годинника, — G3 на контурній робочій подачі.

Формат кадру $\{ \frac{G2}{G3} \} \{ \frac{X}{U} \} \{ \frac{Z}{W} \} \{ \frac{I, K}{R} \} F;$

Параметри:

X, U — координата X кінцевої точки переміщення по осі X або приріст координати X від початкової до кінцевої точки дуги;

Z, W — координата Z кінцевої точки переміщення по осі Z або приріст координати Z від початкової до кінцевої точки дуги;

I, K — координати відповідно по осі X і Z центру дуги відносно координат точки початку обробки по дузі, тобто завжди задаються в прирощенні;

R — радіус дуги оброблюваного контуру;

F — контурна робоча подача.

При використанні функцій G2, G3 діють обмеження:

— дуга, задана параметрами I і K, не має дорівнювати або перевищувати 360° ;

— дуга, задана радіусом R, не має дорівнювати або перевищувати 180° .

У разі помилкового одночасного задання параме-

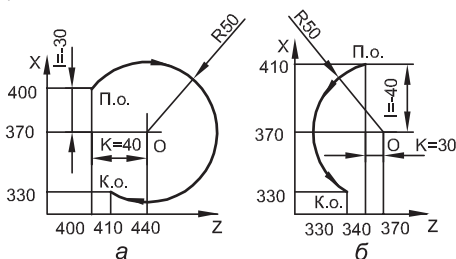


Рис. 3.16. Кругова інтерполяція:
а — за стрілкою годинника;
б — проти стрілки годинника

трів I, K, R пристрій ЧПК зчитає лише R. Відсутність цих параметрів у кадрі призведе до аварійної зупинки з відповідною індикацією на екрані. Якщо помилка виникне в розрахунку координат кінцевої точки дуги, теж відбудеться аварійна зупинка верстата.

Наприклад, якщо початкова точка має координату X400Z400, то переміщення по дузі радіусом 50 мм за стрілкою годинника (рис. 3.16, а) у програмі може бути задане кадром:

N20G2X330Z410I-30K40; або

N20G2U-70W10I-30K40;

Програмування через радіус R50 неможливе — кут більший за 180°.

Переміщення проти стрілки годинника (рис. 3.16, б) можна задати одним із чотирьох кадрів (кут менший за 180°):

N20G3X330Z330R50;

N20G3U-80W-10R50;

N20G3X330Z330I-40K30;

N20G3U-80W-10I-40K30;

Розглянемо на прикладі чистову обробку деталі із вгнутою поверхнею радіусом R25 (рис. 3.17, а).

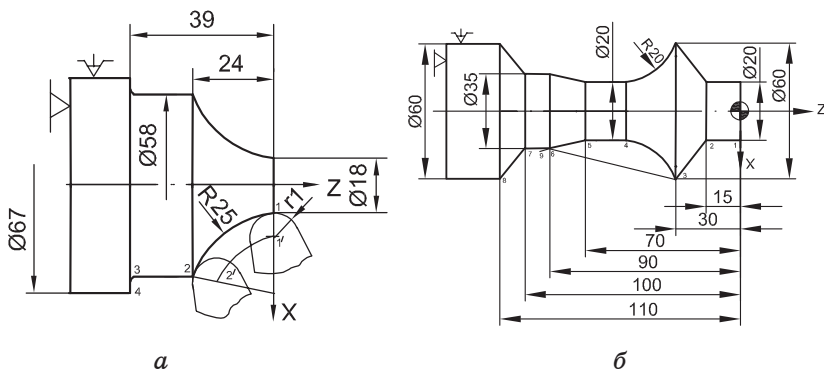


Рис. 3.17. Обробка з круговою інтерполяцією вгнутої поверхні:
а — вгнутість праворуч; б — вгнутість ліворуч

Для обробки використаємо різець з непереточуваною пластиною CNMG120410PM, радіус на вершині 1,0 мм. Заготовка попередньо оброблена з припуском 2 мм. Початок координат призначаємо в центрі правого торця деталі. При налагоджуванні, виконуючи «прив'язку» різця, враховуємо радіус його вершини і вводимо координати еквідистанти.

У програмі зазначаємо координати траєкторії руху центру вершини різця по еквідистанті. Програму обробки наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Кадр	Програмовані дії
% 23; (VALIK)	
N10T1M6;	Виведення в робочу позицію різця T1
N20G97G90S800M3;	Призначення режимів обробки
N30G0X70Z40;	Підведення різця у вихідну точку прискореним рухом
N40G1X61Z12F5;	Підведення різця в точку початку обробки з поступовим зниженням швидкості F. Подача ЗОР
N50G9X60F1M8;	
N60 Z-38F0,2;	Обточування $\varnothing 58$ на довжину $(38 + 1)$, 1 — радіус вершини різця
N70X70;	Підрізання торця 3—4
N80G0X60Z1;	Підведення різця в точку початку обробки дуги вгнутості прискореним рухом
N90G1X(18 + 2)F5;	Подальше підведення різця в точку початку обробки вгнутої поверхні зі зниженням швидкості в кінці руху
N100G9Z0,2F1;	
N110G3X60,68 Z23,19R(25-1);	Обробка вгнутої поверхні
N120G1X62F1M9;	Відвід різця по X, відміна подачі ЗОР
N130G0X70Z40M5;	Відвід різця у В.т. Зупинка шпінделя
N140M30;	Кінець програми

Якщо обробка виконується різцем, корекцію на радіус якого було враховано під час його «прив'язки», то ним можна обробити лише циліндричну частину деталі. Тоді кадр N50 запишеться як: N50G9X58F1M8; а після кадру N80 з пульта ПЧПК потрібно буде ввести корекцію на діаметр +2 мм, необхідну для обробки вгнутої частини поверхні.

Розглянемо приклад обробки лівосторонньої радіусної вгнутої поверхні (рис. 3.17, б), програму обробки наведено в табл. 3.7).

Розробляємо план операції:

1) обробити універсальним правостороннім різцем контур 0—1—2—3—6—7—8;

2) обробити лівостороннім різцем контур 9—6—5—4—3. При переході до лівосторонньої обробки передбачити зупинку для підтискання деталі заднім центром.

Таблиця 3.7

Кадр	Програмовані дії
% 8; (LIV.WIS)	
N10 T1 M6;	Виведення в робочу позицію різця T1
N20 G90 G96 S80 M3;	Призначення режимів
N30 G0 X62 Z2 M8;	Підведення різця до деталі, подача ЗОР
N40 G1 G29 X-1 Z0 F0,2;	Підрізання торця поперечним чистовим циклом
N50 G61 P60 Q68 U0,5 W0,5 B1F0,3;	Обробка контуру 1—2—3—6—7—8 поздовжнім чорновим циклом
N60 X20;	Опис контуру обробки
N61 Z-15;	
N62 X60 Z-30;	
N63 X35 Z-90;	
N65 Z-100;	
N67 X60 Z-110;	
N68 X62 M9;	
N70 G0 X200 Z200;	Вихід в точку заміни інструмента
N80 T2 M6;	Виведення в робочу позицію різця T2
N90 M5 M0; (ZADNYA BAVKA)	Підтискання деталі центром задньої бабки
N100 G90 G96 S800 M4;	Призначення режимів
N110 G0 X35,8 Z-95 M8;	Підведення різця у вихідну точку циклу
N120 G61 P121 Q125 U0,5 W0,5 B1F0,3;	Обробка контуру 9—6—5—4—3 поздовжнім чорновим циклом
N121 X35 Z-90;	Опис контуру обробки
N122 X20 Z-70;	
N123 Z-50;	
N124 G2 X60 Z-30 R20;	
N125 X62;	
N140 M9 M5;	Зупинка шпінделя, відміна подачі ЗОР
N150 G0 X200 Z200;	Відвід інструмента від деталі
N160 M30;	Кінець програми

Розглянемо приклад кругової інтерполяції при витоцванні сфери на зовнішній поверхні (рис. 3.18, а). Початок координат призначаємо на вершині сфери в правому торці деталі. Вибираємо різець — прохідний універсальний з ра-

діусом на вершині, виходячи з точності обробки, 0,8 мм. Координату 39,8 розраховуємо як точку перетину радіуса R20 з кінчною поверхнею або знаходимо її графічно за допомогою прорисовки в одній з комп'ютерних програм.

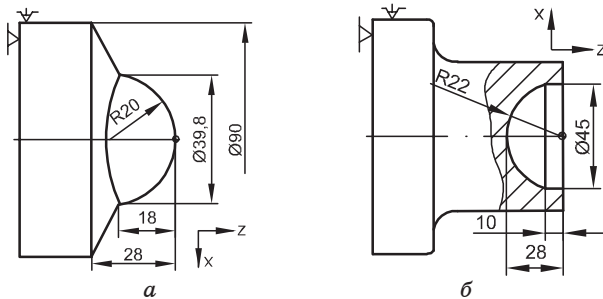


Рис. 3.18. Обробка з круговою інтерполяцією сфери: *а* — зовнішньої; *б* — внутрішньої

Розроблюємо текст керуючої програми (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Кадр	Програмовані дії
% 17; (ZOVN. SFERA)	
N10 T1 M6;	Виведення в робочу позицію різця T1
N20 G90 G96 S800 M3;	Призначення режимів
N30 G0 X94 Z2 M8;	Підведення різця до деталі, подача ЗОР
N40 G62 P200 Q205 U0,3 W0,3 B1 F0,2;	Обточування оброблюваної поверхні чорновим поперечним багатопрохідним циклом
N200 X92 Z0;	Опис оброблюваного контуру
N201 X-0,5;	
N202 G2 X39,8 Z-18 R20;	
N203 X90 Z-28;	
N205 X94;	
N50 G60 P200 Q205;	Чистова обробка контуру
N55 G0 X200 Z200 M09 M5;	Відвід різця
N60 M30;	Кінець програми

Розглянемо приклад кругової інтерполяції при розточуванні внутрішньої сфери (рис. 3.18, б).

Початок координат призначаємо в правому торці деталі. Заготовка — попередньо оброблена деталь з припуском 3 мм.

Вибираємо різець — розточувальний універсальний.

Розроблюємо текст керуючої програми:

% 9; (NASADKA)
N10 T3 M6;
N20 G90 G97 S800 M4;
N25 G0 X0 Z5;
N30 G1 X-40 Z2 F5 M8;
N40 X-45 F2;
N50 Z-10 F0,2;
N60 G2 X0,2 Z-28 R22;
N70 Z3 F5 M9;
N80 G0 X200 Z200 M5;
N90 M30;

3.10. Нарізання різьби (G33)

Функція G33 виконує синхронізацію лінійного переміщення різця з обертами шпінделя, що забезпечує при нарізанні різьби за декілька проходів «попадання в нитку». Крок різьби дорівнює подачі на оберт в міліметрах. Використовується ця функція в процесі обробки деталей, на яких послідовно розташовані відрізки різьби з різними кроками, конусністю.

Наприклад, нехай початкова точка обробки різьби кроком 2 мм має координати: X30Z90, а кінцева — X30Z50, тоді запрограмувати її обробку можна одним з таких кадрів:

G33X30Z50F2 або G33W-40F2 або
G33X30Z50E2 або G33W-40E2. Подача скрізь дорівнює 2 мм.
Послідовність кадрів:
N80G33W-40E2;
N90W-25F1;
N100U6W-35E4;

забезпечує нарізання циліндричної різьби кроком 2 мм на відрізьку 40 мм, потім циліндричної різьби кроком 1 мм на відрізьку 25 мм і нарешті конічної різьби кроком 4 мм на довжині 35 мм.

Якщо різьбу нарізають на конічній поверхні, контурна подача дорівнюватиме $\frac{Fz}{\cos \alpha}$, де α — кут нахилу твірної конуса до осі Z.

Наприклад, якщо контурна подача 2 мм, $\alpha = 30^\circ$, тоді осьова $F(E) = 1,74$ мм/об.

Якщо під час формування різьби з використанням функції G33 натиснути на кнопку «Стоп подачі» на пульті пристрою ЧПК, відбудеться аварійний вихід різця з різьби під кутом 45° до осі Z без втрати кроку.

3.11. Службові функції G04, G25, G26, G37, G38, G56, G53, G94–G97

Розглянемо призначення службових функцій в програмуванні обробки на токарних верстатах з ЧПК.

Витримка часу — функція G4 забезпечує витримку часу в секундах.

Формат функції: G4P, де P — термін витримки, с. Наприклад, витримка 10 с програмується кадром: G4P10.

Встановлення, G25, та відміна, G26, заборонної зони переміщень. G25 і G26 враховуються програмою при відпрацюванні робочих переміщень.

Формат функцій: G25(G26)PQIKXZ,

де P — номер зони (1, 2, 3, ...); Q — тип зони (0 — внутрішня, 1 — зовнішня);

I, K — координати відповідно по осях X і Z, точки 1 зони в системі координат верстата;

X, Z — координати точки 2 в системі координат верстата (рис. 3.19).

Зазначені дані можуть бути введені через програму або з пульта.

Пристрій ЧПК контролює проходження через заборонну зону прямої траєкторії (функції G0, G1, G33). Якщо виконується робочий рух по дузі (G2, G3), ПЧПК контролює перетин заборонної зони хордою цієї дуги між її початковою та кінцевою точками. Це може спричинити попадання лінії хорди в заборонну зону, хоча дуга її огинає, і помилково викликати аварійну зупинку верстата. В подібних випадках дугу розбивають на декілька і описують її такою ж кількістю кадрів, це дає можливість обійти заборонну зону. Функція G26 скасовує заборонну зону.

Наприклад, обробку фрагмента деталі (рис. 3.19) з використанням заборонної зони можна запрограмувати кадрами:

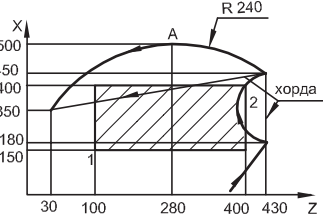


Рис. 3.19. Заборонна зона

N40G25P2Q0I150K100X400Z400S800F0,3; — введення заборонної зони.

N50G1X180Z430; — лінійний рух в точку.

N60G2X450R200; — рух по дузі радіусом 200, під час якого різець входить у заборонну зону, проте оскільки хорда дуги не перетинає заборонної зони, сигнал на аварійну зупинку в ПЧПК не надійде, і аварія може статися.

N70G26P2;

N80G3X350Z30R240; — рух в точку 3 по дузі R240 не перетинає заборонної зони, але хорда дуги її перетинає, тож відбудеться аварійна зупинка. Щоб запобігти цьому, кадром N70 відключають дію заборонної зони або розбивають точкою А (рис. 3.19) переміщення по дузі на два кадри:

N70G3X500Z280R240;

N80G3X350Z30R240;

Вихід у фіксовану точку, G37, повернення з фіксованої точки в роботу, G38 — функція G37 забезпечує позиціонування в задану фіксовану точку верстата через можливу проміжну (рис 3.20), де:

ф. т. — фіксована точка верстата, координати якої задані в системі координат верстата параметрами ПЧПК;

п. т. — проміжна точка, координати якої задані в системі координат деталі.

Формат функції: G37 { $\frac{X}{U}$ } { $\frac{Z}{W}$ } P, де

P — номер фіксованої точки верстата (1, 2, ... 8);

X, Z — координати п. т. у системі координат деталі;

U, W — приріст координат по осях X і Z відповідно від початкової точки позиціонування до проміжної.

Відсутність параметрів X, Z, U, W призведе до позиціонування відразу у фіксовану точку, що у випадку, зображеному на рис. 3.20, може зумовити аварійну ситуацію. Відсутність параметра P призведе до аварійної зупинки верстата.

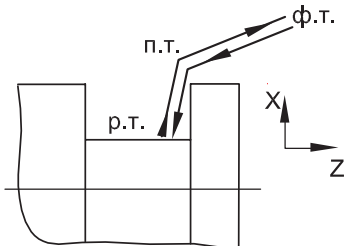


Рис. 3.20. Вихід у фіксовану точку верстата і повернення

Функція G37 використовується для відводу інструмента у ф. т. верстата через проміжну, в разі, коли потрібно обійти виступи на деталі під час обробки, з метою заміни інструмента, контрольних вимірів, установки оснащення

тощо. Відпрацювання функції G37 відбувається переміщеннями в системі координат деталі.

Функція G38 виконує дії, зворотні щодо G37, тобто здійснює позиціонування з ф. т. у кінцеву через п. т.

Формат функції: G38 Q $\left\{\frac{X}{U}\right\} \left\{\frac{Z}{W}\right\}$;

Параметри:

X, Z — координати кінцевої точки;

U, W — приріст координат, відповідно по осях X і Z, від початкової точки до кінцевої;

Q — ознака врахування (0) чи блокування (1) проміжної точки (п. т.).

За проміжну використовують точку, задану функцією G37. Якщо п. т. раніше не задавалася або заблокована (Q=1), переміщення виконується відразу з фіксованої в кінцеву точку.

Встановлення (G56) та відміна (G53) лінійного зміщення по Z використовується у разі коливань початку відліку по Z (зміна довжини оброблюваної деталі, використання іншого патрона, інших пристосувань), зміщуючи його на задану відстань. Діє в одному кадрі. Щоб запрограмувати наступне зміщення, необхідно відмінити діюче, якщо таке є. Приклад використання функції наведено в параграфі 3.14, де розглядається програмування послідовної обробки кількох деталей з одного прутка — основна обробка виконується за підпрограмою, а перехід до обробки наступної деталі здійснюється зміщенням початку відліку через G56.

Встановлення розмірності робочої подачі відбувається функціями:

G94 — хвилинна, встановлює подачу в мм/хв;

G95 — обертна, встановлює подачу в об./хв.

Встановлення розмірності швидкості різання відбувається функціями: G96 — постійна швидкість різання, м/хв, з адресою S. ПЧПК відстежує кількість обертів шпінделя за хвилину для забезпечення постійної швидкості різання.

G97 відмінює постійну швидкість різання, встановлює постійні оберти шпінделя за хвилину, з тою ж адресою S. До функції G97 переходять у разі обробки конусних поверхонь з великим перепадом діаметрів, торців, в інших подібних випадках. Стрімке зменшення діаметра за дотримання постійної швидкості різання може зумовити різке збіль-

шення обертів шпінделя до неможливого. У верстатах із сучасними пристроями ЧПК є команда обмеження обертів шпінделя за хвилину. Завдяки їй під час підрізання торців або обробки крутого конуса з досягненням обмежувальної частоти обертання шпінделя верстат автоматично перейде в режим роботи з граничною частотою обертання. Наприклад, у верстатах із пристроєм ЧПК «FANUK» це запрограмується так:

N10 G92 2000; — обмеження обертів шпінделя, не більше 2000 об./хв;

N20 G90 G96 S120 F0,2 M8; — робота з постійною швидкістю різання;

N30 X20 Z-30; — якщо на якійсь координаті X для 120 м/хв частота обертів шпінделя має збільшитися понад 2000 об./хв, вона залишиться на рівні 2000.

3.12. Багатоінструментна обробка

Розглянемо приклад програмування обробки деталі з використанням кількох інструментів — обробки східчастої втулки, зображеної на рис. 3.21.

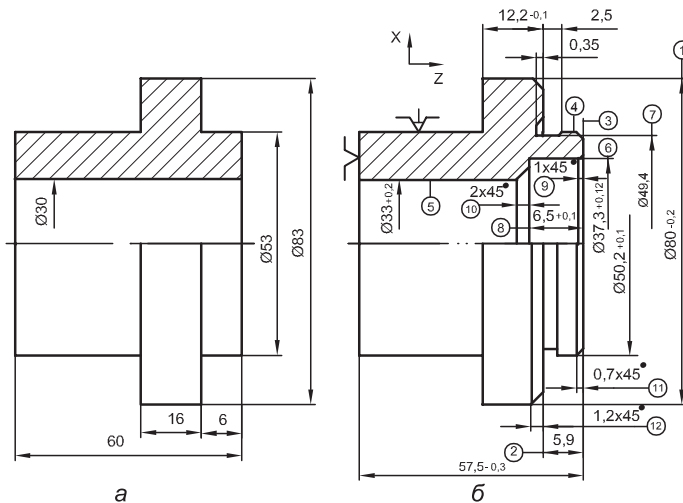


Рис. 3.21. Східчаста втулка: *a* — ескіз заготовки після чорної токарної обробки; *б* — ескіз деталі після чистої токарної обробки

1. Вивчаємо ескіз заготовки (рис. 3.21, *a*), попередньо обробленої на верстаті з ЧПК (чорнова токарна операція), і ескіз деталі після обробки (чистова токарна операція, рис. 3.21, *б*).

Із розмірів заготовки і готової деталі вираховуємо припуски на кожну поверхню. Аналізуючи вимоги до точності і шорсткості поверхонь деталі, розробляємо технологічний регламент обробки кожної поверхні й послідовність обробки всіх поверхонь — план операції. Вибираємо інструмент, закріплюємо за гніздами в інструментальній головці, фіксуємо це в карті наладки. Оскільки поздовжні розміри на деталі проставлені від її правого торця, вибираємо початок координат у центрі правого торця (на відстані довжини деталі 57,5 мм від упорного торця). Після розміщення наладичиком інструментів у відповідні гнізда експериментальним шляхом визначаємо координати індексації головки для кожного інструмента. Якщо вони майже не відрізняються одна від одної, призначається одна точка індексації для всіх інструментів (у нашому випадку: X250; Z250;).

У протилежному разі кожен інструмент матиме свою координату відводу для заміни. Визначені таким чином координати вводимо в керуючу програму і записуємо в карту наладки.

2. Вибираємо інструмент. Враховуючи великий обсяг обробки й вимоги до точності, обробку зовнішніх поверхонь виконуємо двома різцями — Т5 (попередньо) і Т6 (остаточно). Різець Т5 прохідний універсальний зі змінною твёрдосплавною пластинкою CNMG120410PM, державка PCLNL3225P12. Вибираємо його згідно з правилами (див. параграф 3.2). Різець Т6 вибираємо так само, з меншим кутом різання та радіусом на вершині 0,8. За тими ж правилами вибираємо всі потрібні для обробки різці: Т7 — канавковий спеціальний для зовнішньої канавки (7) $\varnothing 49,4$; Т1 — розточувальний для наскрізного отвору (5) $\varnothing 33+0,2$; Т3 — розточувальний, з можливістю підрізання внутрішнього торця (8) та знімання фасок (9) і (10), для кармана (6) $\varnothing 37,3+0,12$.

3. Розроблюємо технологічний регламент.

Різець Т5. Точити поверхні: (1) — $\varnothing 80-0,2$ до $\varnothing 80,4$ за два проходи, глибина різання на кожному 1,3 мм. Підрізати торець (2) — $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$ в розмір 5,6 за два проходи з глибиною різання 1,3 мм і 0,7 мм відповідно. Підрізати торець (3) — $\varnothing 50,2-0,1 / \varnothing 37,3+0,12$, за два проходи з глибиною різання 1,6 мм і 0,6 мм відповідно. Зали-

шити припуск на чистову обробку 0,3 мм. Точити поверхню (4) — $\varnothing 50,2-0,1$ до $\varnothing 50,6$ за два проходи з глибиною різання 1,3 мм і 1,1 мм відповідно.

Різець Т6. Підрізати торець (2) — $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$ до номінального значення, підрізати торець (3) — $\varnothing 50,2-0,1$ остаточно. Точити зовнішні фаски (11) і (12) остаточно. Точити поверхню (4) — $\varnothing 50,2-0,1$ остаточно, підрізати торець (2) — $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$ в розмір середини поля допуску. Точити $\varnothing 80-0,2$ остаточно.

Різець Т7. Точити канавку (7) на $\varnothing 50,2-0,1$, дотримуючись вимог креслення.

Різець Т1. Розточити отвір (5) — $\varnothing 33+0,2$ багатопрхідним циклом остаточно. Глибина різання на прохід 0,5 мм. Припуск на чистовий прохід 0,5 мм.

Різець Т3. Розточити карман (6) — $\varnothing 37,3+0,12$ багатопрхідним циклом остаточно. Глибина різання на прохід 0,5 мм, припуск на чистовий прохід 0,5 мм. Точити зовнішню (9) та внутрішню (10) фаски $1 \times 45^\circ$ остаточно.

4. Виконуємо «прив'язку» кожного інструмента діаметрально та по довжині. За потреби вводимо корекції. Призначаємо координати точки заміни інструмента.

5. Розробляємо траєкторію руху кожного інструмента. Встановлюємо координати опорних точок.

Траєкторії руху інструментів зображено на рис. 3.22. Координати опорних точок зведено в табл. 3.9, 3.10.

Таблиця 3.9

Т5			О.т	X _{ММ}	Z _{ММ}	Т6			Т7		
О.т	X _{ММ}	Z _{ММ}	15	55,0	-4,0	О.т	X _{ММ}	Z _{ММ}	О.т	X _{ММ}	Z _{ММ}
1	88,0	0,0	16	—	0,9	1	85,0	0,0	1	55,0	0,0
2	81,7	-3,0	17	27,0	—	2	82,0	-5,9	2	50,8	-2,83
3	—	-24	18	—	2,0	3	50,8	—	3	49,4	-5,44
4	83,0	—	19	55,0	—	4	52,0	0,0	4	—	-6,25
5	—	-3,0	20	—	0,3	5	28,0	—	5	50,5	-4,0
6	80,4	—	21	27,0	—	6	—	1,0	6	55,0	0,0
7	—	-24	22	—	1,0	7	47,6	—	Т1		
8	83,0	—	23	51,7	—	8	—	0,1	О.т.	X _{ММ}	Z _{ММ}
9	—	-4,9	24	—	-5,6	9	50,2	-1,2	1	-25,0	7,0
10	53,5	—	25	53,0	—	10	—	-5,93	2	-30,5	2,0
11	—	-4,0	26	—	1,0	11	80,0	К-1,2	3*	-33,0	-60,0
12	83,0	—	27	50,6	—	12	—	-23,0	4	—	10,0
13	—	-5,6	28	—	-5,6	13	81,0	—	* Багатопрхідний цикл		
14	53,5	—	29	58,0	5,0	14	85,0	0			

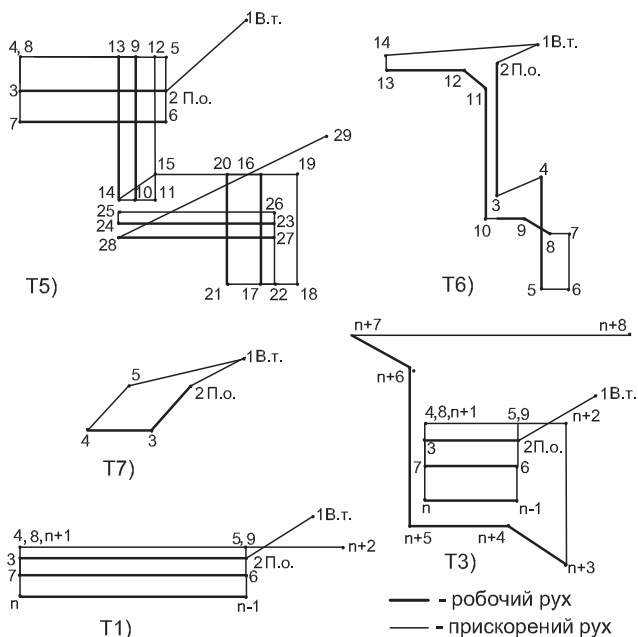


Рис. 3.22. Траєкторії руху різців Т1, Т3, Т5, Т6, Т7

Таблиця 3.10

ТЗ	О.т.	1	2	3*	4	5	6	7	8	9	10
	X _{ММ}	-28	-32	-37	-35	-39,7	-37,3	—	-36,7	-33,3	—
	Z _{ММ}	7,0	2,0	-6,5	1,0	0,1	-1,1	-6,53	—	-7,55	10,0

* Багатопрохідний цикл.

Обробку виконуємо з подачею змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР).

6. Програму обробки наведено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Кадр	Програмовані дії
Програма обробки східчастої втулки	
(STUP. VTULKA) % 3;	
N10T5M6;	Виведення в робочу позицію різця Т5
N20G97G90S270M4;	Призначення режимів обробки. Постійні оберти шпінделя проти стрілки годинника, абсолютна система відліку
N30G0X88Z0M8;	Підведення різця у вихідну точку прискореним рухом, подача ЗОР

Продовження табл. 3.11

Кадр	Програмовані дії
N40G1X81.7Z-3F2;	Підведення різця в точку початку обробки на збільшеній подачі
N50Z-24F0.3;	Точіння фланця (1) — $\varnothing 80-0,2$ до $\varnothing 81,7$ (перший прохід)
N60X83F0.5;	Відвід різця по X
N70Z-3F3;	Відвід різця по Z в точку початку обробки
N80X80.4F2;	Підведення різця по X до $\varnothing 80,4$ на збільшеній подачі
N90Z-24F0.3;	Точіння фланця (1) — $\varnothing 80-0,2$ до $\varnothing 80,4$ (другий прохід)
N100X83F0.5;	Відвід різця по X
N110Z-4.9F3;	Підведення різця в точку підрізання торця (2) — $\varnothing 80-0,2/ \varnothing 50,2-0,1$
N120X53.5F0.25;	Підрізання торця (2) — перший прохід
N130Z-4;	Відвід різця по Z
N140X83F3;	Відвід різця по X
N150Z-5.6F2;	Підведення різця для підрізання торця (2) $\varnothing 80-0,2/ \varnothing 50,2-0,1$
N160X53.5F0.25;	Підрізання торця (2) — другий прохід
N170X55Z-4F0.5;	Відвід різця
N180Z0.9F3;	Відвід різця для підрізання торця (3) — $\varnothing 50,2-0,1$
N190X27F0.25;	Підрізання торця (3) — перший прохід
N200Z2F0.5;	Відвід різця по Z
N210X55F3;	Відвід різця по X
N220Z0.3F2;	Підведення різця для підрізання торця (3) — $\varnothing 50,2-0,1$
N230X27F0.25;	Підрізання торця (3) — другий прохід
N240Z1F0.5;	Відвід різця по Z
N250X51.7F2;	Підведення різця в точку початку обробки поверхні (4) — $\varnothing 50,2-0,1$
N260Z-5.6F0.3;	Точіння поверхні (4) — $\varnothing 50,2-0,1$ до $\varnothing 51,7$ (перший прохід)
N270X53;	Відвід різця по X
N280Z1F3;	Відвід різця по Z
N290X50.6F2;	Підведення різця в точку початку другого проходу обробки поверхні (4) $\varnothing 50,2-0,1$
N300Z-5.6F0.3;	Точіння поверхні (4) — $\varnothing 50,2-0,1$ до $\varnothing 50,6$ (другий прохід)
N320X58Z5F3M9;	Відвід різця з робочої зони, відміна подачі ЗОР
N330G0X250Z250M9;	Відвід різцетримача в точку індексації
N340T6M6;	Виведення в робочу позицію різця T6

Продовження табл. 3.11

Кадр	Програмовані дії
N350S280M4;	Призначення режимів різання
N360G0X85Z4M8;	Підведення різця у вихідну точку прискореним рухом, подача ЗОР
N370G1X82Z-5.9F3;	Підведення різця в точку початку обробки на збільшеній подачі
N380X50.8F0.2;	Підрізання торця (2) — $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$ до номінального значення
N390X52Z0F3;	Підведення різця в початок обробки торця (3) $\varnothing 50,2-0,1 / \varnothing 37,3+0,12$
N410X28F0.2;	Підрізання торця (3) — $\varnothing 50,2-0,1 / \varnothing 37,3+0,12$ остаточно
N420Z1F0.5;	Відвід різця по Z
N430X47.6F2;	Відвід різця по X у точку, звідки почнеться робочий рух по зніманню фаски на (4) — $\varnothing 50,2-0,1$
N440Z0.1F0.5;	Відвід різця по Z у точку, звідки почнеться робочий рух по зніманню фаски на (4) — $\varnothing 50,2-0,1$
N450X50.2Z-1.2F0.15;	Точіння фаски $1,2 \times 45^\circ$ на $\varnothing 50,2-0,1$
N460Z-5.95F0.25;	Точіння поверхні (4) — $\varnothing 50,2-0,1$ остаточно
N470G1X80K-1.2F0.2;	Підрізання торця (2) — $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$ до значення середини поля допуску. Точіння фаски $1,2 \times 45^\circ$
N490Z-23;	Точіння фланця (1) — $\varnothing 80-0,2$ остаточно
N500X81F0.5;	Відвід різця від оброблюваної поверхні по X
N510X87Z-4F3 M9;	Відвід різця у вихідну точку, відміна подачі ЗОР
N520G0X250Z250M5;	Відвід різцетримача в точку індексації
N530T7M6;	Вивід в робочу позицію різця T7 для формування канавки (7)
N540S250M4;	Призначення режимів різання
N550G0X55Z0M8;	Підведення різця у вихідну точку проходу прискореним рухом; подача ЗОР
N560G1X50.8Z-2.83F3;	Підведення різця в точку початку обробки поверхні (7) на робочій збільшеній подачі
N570X49.4Z-5.44F0.06;	Точіння канавки (7)
N580Z-6.25;	Завершення формування канавки (7) на відповідність кресленню
N590X50.5Z-4F0.3;	Виведення різця з канавки
N600X55Z0F3M9;	Відвід різця в точку початку обробки, відміна подачі ЗОР
N610G0X250Z250;	Відвід різцетримача в точку індексації
N620T1M6;	Виведення в робочу позицію розточувального різця
N630S260M3;	Призначення величини й напрямку швидкості різання

Закінчення табл. 3.11

Кадр	Програмовані дії
N640G0X-25Z7M8;	Виведення різця у вихідну точку переходу прискореним рухом, подача ЗОР
N650G1X-30.5Z2F3;	Підведення різця в початок обробки отвору на збільшеній подачі
N670G61P800Q820B0.5I0 F0.25;	Розточування отвору багатопрхідним циклом, виконання чистового проходу
N800G1X-33;	Опис контуру: заданий діаметр отвору, довжина розточування
N810G1Z-60;	
N820Z10F5 M9;	Відвід різця, відміна подачі ЗОР
N690G0X250Z250;	Відвід різцетримача в точку індексації
N695T3M6;	Виведення в робочу позицію різця ТЗ для формування кармана (6) — $\varnothing 37,3+0,12$
N700S270M3;	Призначення режимів різання
N705G0X-28Z7M8;	Виведення різця у вихідну точку переходу прискореним рухом, подача ЗОР
N710G1X-32Z2F3;	Підведення різця в початок обробки кармана (6) на збільшеній подачі
N720G61P900Q920V-34B0.5I0 F0.25;	Розточування кармана багатопрхідним циклом. Глибина різання 0,5 мм, подача 0,25 мм, виконання чистового проходу
N900G1X-37;	Опис контуру. Діаметр, глибина
N915Z-6.5;	
N920X-35Z1F3;	Виведення різця на збільшеній подачі з кармана (6)
N730X-39.7 Z 0.1F2;	Підведення різця в точку початку знімання зовнішньої фаски
N740X-37.3Z-1.1F0.15;	Точіння фаски
N745Z-6.53F0.2;	Розточування кармана (6) — $\varnothing 37,3+0,12$ остаточно
N750X-36.7 F0,2;	Підрізання внутрішнього торця до точки початку знімання фаски на поверхні (5) — $\varnothing 33 \pm 0,10$
N755X-33.3Z-7.55F0.15;	Точіння фаски
N760Z10F5 M9;	Виведення різця за деталь, відміна подачі ЗОР
N765G0X250Z250M5;	Відвід різцетримача в точку індексації
N770M30;	Кінець програми

Наведений приклад розробки програми оброблення східчастої втулки ще раз демонструє високу трудомісткість процесу розробки програми вручну і велику вірогідність випадкових помилок. Сучасні комп'ютеризовані методи програмування обробки на верстатах з ЧПК, використання САД/САМ-систем багаторазово його скорочують, роблять надійнішим, виконують попередню перевірку траєкторії руху

кожного інструмента і обробки деталі в цілому на екрані комп'ютера до установки її на верстат (див. параграф 2.19).

3.13. Цикли

Циклом у токарній обробці називається замкнута послідовність більше ніж двох елементарних переміщень. Розглянемо зміст найпоширеніших циклів, використовуючи такі позначення:

В.т. — вихідна точка циклу;

П.о. — початок обробки;

1, 2, 3, ... — номери елементарних рухів циклу в порядку виконання;

R — прискорений рух;

F — рух на робочій подачі.

Однопрохідний поздовжній цикл G27 працює за схемою, наведеною на рис. 3.23: інструмент прискореним рухом переміщається з В.т. в П.о. (1), виконує робочий рух точіння (2), підрізку торця (3), прискореним рухом (4) повертається у В.т. Застосовується для чистової обробки циліндричних або конічних поверхонь з підрізкою торця. Чорнова обробка при цьому може виконуватись одним із циклів: G61 або G68.

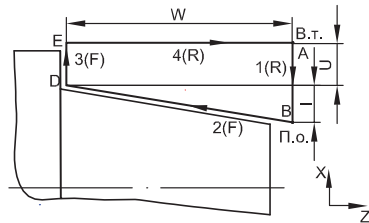


Рис. 3.23. Однопрохідний поздовжній цикл G27

Формат циклу:

$$G27 \left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} I F;$$

Параметри:

X, U, Z, W — координати точки D (X, Z) або приріст від вихідної точки до D (U, W);

I — розмір конуса, приріст по X від точки B до D, задається на радіус.

Якщо параметр I дорівнює нулю або відсутній, поверхня оброблюється як циліндрична.

Якщо більший діаметр оброблюваного конуса розташований зліва (ближче до патрона), значення I від'ємне, і навпаки;

F — робоча подача в мм (або мкм) на оберт.

Відсутність якогось з параметрів призведе до врахування ПЧПК їх модальних (заданих раніше) значень.

Наприклад, обробка поверхні на рис. 3.23 при $U = -100$, $I = -75$, $W = -300$, може бути запрограмована таким одним кадром:

G27U-100W-300I-75S800F500M3;

замість чотирьох:

N1 G0 U-175 S800 M3;

N2 U75 W-300 F500;

N3 U100;

N4 G0 W300;

Рухи 3 і 4 забезпечуються ПЧПК автоматично.

Однопрохідний цикл поздовжнього різенарізання G28 виконує чистове різенарізання на циліндричних або конічних ступенях деталі. Працює за схемою, наведеною на рис. 3.24, а: інструмент прискореним рухом переміщається з В.т. у П.о. (1), виконує робочий рух нарізання різьби (2), збіг (3), прискореним рухом (4, 5) повертається у В.т. Якщо потрібно виконати кілька проходів, кожен програмують окремо. Чорнова обробка може виконуватися багатопрохідним циклом G66.

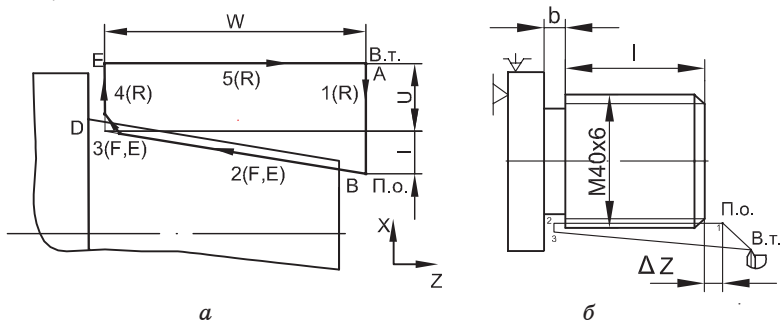


Рис. 3.24. Однопрохідний цикл поздовжнього різенарізання G28

Формат циклу:

G28 $\left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} I \left\{ \frac{F}{E} \right\};$

Параметри:

X , U , Z , W — абсолютні координати точки D (рис. 3.24, а) або приріст від вихідної точки до D ; координати модальні — відсутність якогось з них призведе до врахування ПЧПК попереднього значення;

I — розмір конуса — приріст по осі X від D до B , задається на радіус. Якщо $I = 0$ або відсутнє, оброблювальна різьба циліндрична (рис. 3.24, б);

F , E — крок різьби.

Схема обробки, наведена на рис. 3.24, *a*, при $U = -75$, $I = -25$, $W = -200$, $F = 5$ може бути запрограмована таким кадром:

G28 U-75 W-200 I-25 F5;

Різенарізання — відповідальна операція, потребує високої кваліфікації робітника, особливо під час нарізання крупномодульних різьб з великим кроком, яке супроводжується великими швидкостями поздовжнього руху — токар повинен встигнути «вихопити» різець перед патроном. Цю проблему усунуто завдяки виконанню операції на верстаті з ЧПК. Система своєчасно і чітко виводить різець з різьби, працюючи на обертах шпінделя значно вищих, порівняно з універсальним верстатом, чим додатково підвищує продуктивність обробки. Збільшення швидкості різання дало також змогу під час різенарізання використовувати стандартизовані ISO твердосплавні пластини. Кут профілю різьби забезпечується формою пластини (60° — метрична різьба, 55° — дюймова).

Хід різця L визначається відношенням:

$$L = l + \Delta Z + b/2, \quad (3.6)$$

де l — довжина різьби (рис. 3.24, *б*);

ΔZ — підхід різця — відстань від його вершини до початку різьби на деталі, зазвичай це $1,5 \div 2,0$ кроки різьби;

b — ширина зарізьбової канавки.

Якщо зарізьбову канавку в деталі не передбачено, тобто різьба збігає (рис. 3.24, *a*), хід різця $L = l + \Delta Z$.

При нарізанні лівої різьби врізання перед обробкою відбувається в зарізьбовій канавці, яку передбачають обов'язково, якщо конструкція деталі не дозволяє різати від патрона.

Якщо різьба багатозахідна, програмують кожен захід окремо, з осьовим зміщенням кожного проходу на $\frac{F}{n}$, де F — крок різьби, n — кількість заходів.

Наприклад (рис. 3.24, *б*), нехай треба нарізати різьбу метричну $M40 \times 6$, однозахідну, довжиною $l = 50$ мм, ширина зарізьбової канавки $b = 6$ мм. ΔZ призначаємо рівним 9 мм. Хід різця програмуємо: $L = 50 + 9 + 3 = 62$ мм.

Якщо різьба буде двозахідною, то початок обробки другого витка різьби потрібно змістити від початку різенарізання першого на півкроку: $6:2 = 3$ мм праворуч і врахувати це для виходу різця в центр зарізьбової канавки.

Тоді: $\Delta Z_2 = 3 + 9 = 12$ мм, а $L_2 = 50 + 12 + 3 = 65$ мм;

Якщо різьба тризахідна, то перший виток нарізається так само, як в однозахідній різьбі.

Для другого витка $\Delta Z2 = 6:3 + \Delta Z = 2 + 9 = 11$ мм, а довжина ходу:

$$L2 = 50 + 11 + 3 = 64 \text{ мм.}$$

Друге зміщення для нарізання третього витка різьби відраховується від другого витка $\Delta Z3 = 6:3 + \Delta Z2 = 13$ мм, а довжина ходу:

$$L3 = 50 + 13 + 3 = 66 \text{ мм.}$$

Якщо для повного нарізання різьби необхідно виконати кілька проходів, цикл G28 програмується кожного разу. Глибина різання від проходу до проходу, з урахуванням зрізуваної площі припуску, має прогресивно падати і на останньому проході становити не більше 0,1–0,12 мм.

У ПЧПК передбачено автоматичний кінцевий збіг різьби «від металу», який діє також у разі непередбачуваних аварійних зупинок верстата, крок різьби при цьому витримується.

Однопрохідний поперечний цикл G29 використовується для чистової обробки торців, зокрема конічних та прилеглих до них циліндричних ступенів. Схему обробки наведено на рис. 3.25: прискорений рух з В.т. у П.о. (1), робочі рухи (2 і 3), прискорений рух (4) у В.т. Попередня обробка при цьому може виконуватися багатопрохідним циклом G62 або G68. Якщо треба виконати кілька проходів, цикл програмується кожного разу заново.

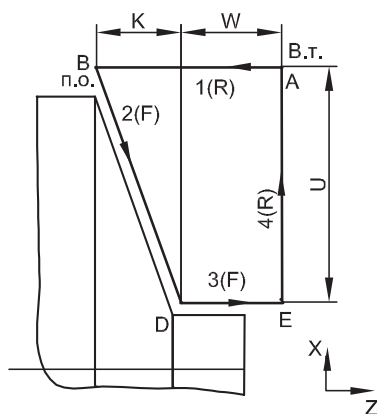


Рис. 3.25. Однопрохідний поперечний цикл G29

Формат циклу:

$$G29 \left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} K F;$$

Параметри:

X, U, Z, W — абсолютні координати точки D (рис. 3.25) або приріст по координатах від вихідної точки до точки D.

Якщо не вказати якийсь з параметрів, ПЧПК врахує його попереднє значення;

K — розмір конуса, приріст по осі Z від точки D до B. Якщо параметр K дорівнює нулю або відсутній в кадрі, від-

будеться обробка перпендикулярної до осі Z торцевої поверхні;

F — контурна робоча подача для рухів 2 і 3 циклу.

Якщо $U = 100$, $W = -50$, $K = -25$, схема обробки, наведена на рис. 3.25, може бути запрограмована таким кадром:

G29U-100W-50K-25F500;

Якщо K задати додатним, відбудеться обробка конічної впадини в торці.

Однопрохідний цикл поперечного різенарізнання G39 використовують для чистового нарізнання торцевих (спіральних) різьб, а також конічних різьб з великим значенням конусності (≥ 1). Схему обробки наведено на рис. 3.26: прискорений рух з В.т. у П.о. (1), робочий рух нарізнання різьби (2), вихід (3), прискорений рух (4) у В.т. Якщо треба виконати декілька проходів, кожен програмують окремо. Попередня обробка може виконуватися багатопрхідним циклом G67.

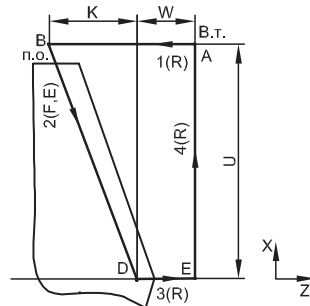


Рис. 3.26. Однопрохідний цикл поперечного різенарізнання G39

Формат циклу:

G39 $\left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} K \left\{ \frac{F}{E} \right\}$;

Параметри:

X, U, Z, W — абсолютні координати точки D (рис. 3.26) або приріст по координатах від вихідної точки до точки D;

K — розмір конуса, приріст по осі Z від точки D до B (П.о.);

F, E — крок різьби.

Відсутність якогось з параметрів призведе до врахування ПЧПК його попереднього значення. Відсутність K або його рівність нулю зумовить нарізнання торцевої (спіральної) різьби.

Аварійний збіг різьби «від металу» ПЧПК розраховує автоматично, заданий крок при цьому витримується.

Якщо $U = -100$, $W = -50$, $K = -25$, схема обробки, наведена на рис. 3.24, відпрацьовується кадром:

G39U-100W-50K-25F5;

Якщо K додатне (G39U-100W-50K25F5), оброблювана поверхня набуде вигляду конічної різьбової воронки в торці.

Однопрохідний чистовий цикл G60 забезпечує обробку складних монотонних контурів — без гострих піків та

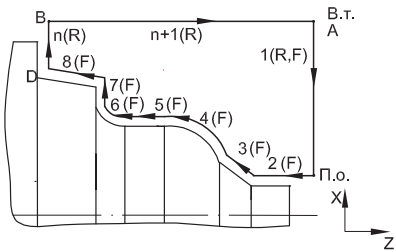


Рис. 3.27. Однопрохідний чистовий цикл G60

канавок (рис. 3.27). Рух по контуру 1, 2, 3, ... n задають програмою, що складається з послідовності елементарних команд (G0, G1, G2, G3, G33). Рухи 1-й та $(n+1)$ -й не входять до керуючої програми, ПЧПК виконує їх автоматично циклом G60. Вони являють собою вихід в робочу позицію (П.о.) та повернення прискореним

рухом у вихідну точку циклу (В.т.). Цикл враховує всі модальні команди, задані раніше (функції M, S, F, E, T, L, G25, G26, G90, G91, G92, G94, G95, G96, G97), хоча ці функції можуть задаватися і всередині циклу.

Формат циклу: G60 P Q;

де: параметри P і Q — номери початкового і кінцевого кадру циклу відповідно. Відсутність P і Q в кадрі з G60 спричинить зупинку верстата з індикацією на екрані ПЧПК «помилка програми». Цикл G60 використовують для чистової обробки довільного контуру деталі чи його частини. Попередня обробка може виконуватися з використанням чорнових багатопрохідних циклів G61, G62, G68. Схема рухів, поданих на рис. 3.27, з використанням циклу G60, може бути відпрацьована такою частиною програми:

```
N50G60P300Q309;
N300G0U-145;
N301G1U-3F500;
N302W-15;
N303U10W-15;
N304G3U30W-50R60;
N305G1W-30;
N306G2U20W-20R20;
N307G1U20;
N308U15W-30;
N309U30;
```

Якщо під час виконання циклу G60 перейти в режим «Покадровий», то відбуватиметься зупинка після кожного простого (між двома сусідніми опорними точками) руху циклу. Для продовження роботи треба натиснути кнопку ПЧПК «Пуск». Якщо на оброблюваній поверхні є канавки, різкі виступи й под., то, щоб уникнути їх

пошкодження врізанням, контур ділять в екстремальних точках на монотонні частини і обробляють кожну за окремою програмою.

Цикл G60 може використовуватися з повторами, наприклад: N200G60P100Q170H5 — обробка контуру, описаного кадрами P100Q170, повториться п'ять разів.

Багатопрохідний чорновий поздовжній цикл G61 забезпечує знімання великого припуску в поздовжньому напрямі, обмеженому «монотонним» контуром — на якому немає локальних максимумів (гостровершинних виступів) або мінімумів (канавок). Контур, що містить такі екстремальні точки, для запобігання їх зрізання розбивають на «монотонні» відрізки, які обробляють окремо за тими ж циклами.

Формат циклу:

G61 P Q U W V I (F);

Параметри:

P, Q — номери першого та останнього кадру частини програми відповідно, що задає переміщення по чистовому контуру (рис. 3.28).

U, W — припуск на чистовий прохід по осях X і Z відповідно;

V — глибина різання по осі X на чорнових проходах, програмується тільки на радіус;

I — ознака виконання (I = 0) або блокування (I = 1) напівчистового проходу;

F — контурна робоча подача.

e — параметр циклу, що вводиться з ПЧПК, задає відвід різця по осі X у кінці проходу, щоб уникнути його контакту з обробленою поверхнею при поверненні в точку, з якої почнеться наступний робочий прохід.

Відсутність у циклі параметрів P, Q і V спричинить аварійну зупинку обробки. Відсутність параметрів U та W виключає наступну чистову обробку, наприклад циклом G60, за тою самою програмою. Відсутність параметра I призведе до відпрацювання напівчистового проходу. В циклі можна використовувати G-функції тільки елементарного типу (G0–G3, G33). Функції G25, G26, G92 в циклі G61 спричинять аварійну зупинку обробки. Функції G53, G56, G91, G94–G97, M, S, T, L, F, E в циклі G61 не зчитуються на чорнових проходах, але виконуються на напівчистовому проході.

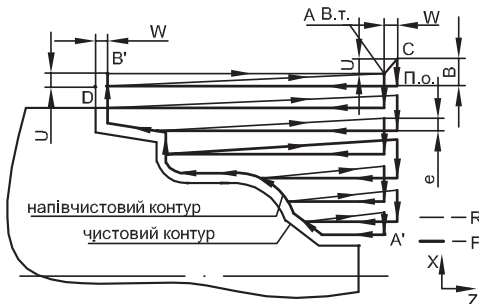


Рис. 3.28. Багатопрхідний чорновий поздовжній цикл G61

Цикл G61 реалізує таку послідовність рухів (рис. 3.28):

1 — вихід прискореним рухом у вихідну точку напівчистового контуру (A → C);

2 — рух вздовж осі X на глибину різання B у напрямку до деталі;

3 — рух різання на робочій подачі вздовж

осі Z до перетину напівчистового контуру;

4 — відхід прискореним рухом на «e» по осі X, відхід по Z прискореним рухом до початку обробки по Z (кінець першого проходу);

5 — рух на врізання по осі X на величину «e+B», далі рух різання і відхід (другий прохід);

6 — чорнові проходи продовжуватимуться доти, поки залишок чорнового припуску не буде меншим за глибину різання B;

7 — якщо параметр I відсутній або дорівнює нулю, після чорнових проходів виконується обробка напівчистового контуру, який зміщений відносно остаточного по X та Z на U і W відповідно (A' → B' на рис. 3.28);

8 — якщо параметр I не дорівнює нулю, то після останнього чорнового проходу інструмент прискореним рухом повертається у вихідну точку. Напівчистовий прохід не виконується.

Контур, поданий на рис. 3.28, може бути відпрацьований циклом G61 кадрами:

N200G61P500Q509U1W1B1.3I0F300S800;

N500G0U-145;

N501G1U-3F500;

N502W-15;

N503U5W-10;

N504G3U30W-50R60;

N505G1W-30;

N506G2U20W-20R20;

N507G1U20;

N508U15W-30;

N509U30;

У розглянутому прикладі чорновий припуск розділено на 11 чорнових проходів з глибиною різання 1,3 мм та 12-й прохід — напівчистовий із залишеним припуском на чистову обробку –1 мм по кожній осі.

Якщо перейти в режим «Покадровий», то під час виконання циклу G61 зупинка відбуватиметься після кожного чорнового проходу (після руху відводу різця) та після кожного простого руху (пряма, дуга) під час напівчистового проходу. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Багатопрохідний чорновий поперечний цикл G62 забезпечує знімання в поперечному напрямі чорнового припуску, обмеженого «монотонним» контуром без екстремумів типу виступів, канавок і под., щоб не пошкодити поверхню зрізами або залишити недорізи.

Формат циклу: G62 P Q U W V I (F);

Параметри:

P, Q — номери, відповідно, першого та останнього кадру частини керуючої програми, що описує рух по чистовому контуру. За відсутності параметрів P і Q ПЧПК генерує аварійну зупинку обробки;

U, W — припуск на чистовий прохід по осях X та Z відповідно. Якщо параметри U і W відсутні, чистовий прохід не виконується;

V — глибина різання по осі Z на чорновому проході. Відсутність параметра V спричинить аварійну зупинку обробки;

I — ознака виконання (I = 0 або відсутнє) або невиконання (I = 1) напівчистового проходу;

F — контурна робоча подача.

«e» — відхід різця по осі Z після відпрацювання робочого руху різання, задається ПЧПК.

У циклі можна використовувати G-функції тільки елементарного типу (G0–G3, G33). Функції G25, G26, G92 в циклі G62 зумовляють аварійну зупинку обробки. Функції G53, G56, G91, G94–G97, M, S, T, L, F, E в циклі G62 не зчитуються на чорнових проходах, але виконуються на напівчистовому проході.

Цикл G62 складається з такої послідовності рухів (рис. 3.29):

1 — вихід прискореним рухом інструмента у вихідну точку напівчистового проходу (A → C);

2 — вихід вздовж осі Z у початкову точку різання з глибиною різання B;

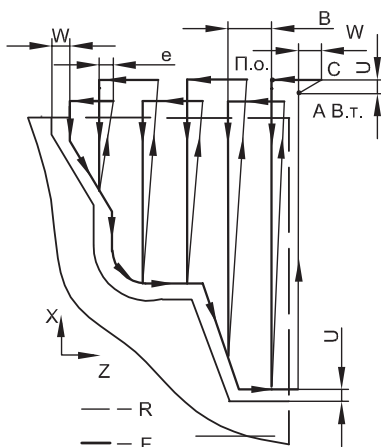


Рис. 3.29. Багатопохідний чорновий поперечний цикл G62

3 — основний рух чорнового проходу на робочій подачі вздовж осі X до перетину з напівцистивим контуром;

4 — відхід прискореним рухом по осі Z на величину «e», а по осі X — до координати точки П.о. Рухи 2, 3 і 4 становлять перший чорновий робочий прохід;

5 — другий чорновий прохід: подача вздовж осі Z на «e+B», рух різання вздовж осі X до перетину з напівцистивим контуром, прискорений рух по Z на величину «e», а по X — до координати точки П.о.;

6 — чорнові проходи виконуються доти, поки залишок чорнового припуску не буде меншим за глибину різання B;

7 — якщо параметр I відсутній або дорівнює нулю, то виконується напівцистивий прохід;

8 — якщо параметр I дорівнює 1, то після останнього чорнового проходу інструмент повертається у вихідну точку циклу без напівцистивого проходу.

8 — якщо параметр I дорівнює 1, то після останнього чорнового проходу інструмент повертається у вихідну точку циклу без напівцистивого проходу.

Схема рухів, наведених на рис 3.29, може бути відпрацьована кадром:

N300G62P600Q607U2W2B4I1F0.5S1000;

N310G60P600Q607S1200;

N600G0W-21;

N601G1U-5;

N602U-7W4;

N603U-3;

N604G3U-5W5R5;

N605G1W2;

N606U-10W4;

N607W6;

Цей кадр передбачає поділ чорнового припуску на п'ять чорнових проходів з глибиною різання 4 мм, із блокуванням напівцистивого проходу, з припуском 2 мм по кожній осі на чистовий прохід, який відпрацьовується кадром N310.

Якщо перейти в режим «Покадровий», то під час виконання циклу G62 буде виконуватися зупинка після кожного чорнового проходу (після відводу) і після кожного простого руху в напівчистовому проході. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Багатопохідний чорновий копіювальний цикл G68.

На відміну від циклів G61 та G62, які застосовують під час обробки деталей із заготовок з великим припуском (круглий прокат), цикл G68 застосовують для обробки деталей із заготовок, близьких за формою до остаточного контуру (поковки, штамповки, виливки), тобто з незначним припуском. Робочий рух різання в циклі G68 відбувається по траєкторії, еквідистантній остаточному оброблюваному контуру. Можливе застосування циклу G68 після попередньої обробки деталі з використанням циклу G61 чи G62 або обох відразу до того моменту, поки оброблюваний контур не стане подібним за формою до готової деталі.

Формат циклу:

G68 P Q U W I K B (F);

Параметри:

P, Q — номери, відповідно, першого та останнього кадру частини керуючої програми руху по чистовому контуру;

U, W — припуск на чистовий прохід по осі X та Z відповідно;

I, K — повний припуск по осі X та Z відповідно. Параметр I задається на радіус;

B — кількість чорнових проходів;

F — контурна робоча подача.

Відсутність параметрів U та W зумовить чорнову обробку до чистового контуру. Відсутність якогось з параметрів P, Q, I, K, B призведе до аварійної зупинки програми.

В циклі G68 можна використовувати G-функції тільки елементарного типу (G0–G3, G33), враховуються встановлені раніше функції G25, G26, G92 G53, G56, G91, G94–G97, M, S, T, L, F, E. Ці функції також можуть встановлюватися в самому циклі G68.

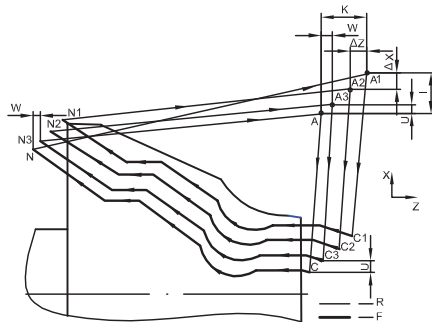


Рис. 3.30. Багатопохідний чорновий копіювальний цикл G68

Якщо припуск на чистовий прохід передбачено, зона чорнового зняття припуску в циклі G68 дорівнюватиме:

по $X = |I| - U$, по $Z = |K| - W$;

А глибина різання становитиме:

$$\Delta X = \frac{X}{B-1}; \quad \Delta Z = \frac{Z}{B-1}. \quad (3.7)$$

Повна глибина різання $\Delta = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Z^2}$.

Розглянемо приклад обробки контуру за циклом G68 (рис 3.30).

Перший робочий прохід здійснюється з вихідної точки циклу за траєкторією $A1 \rightarrow C1 \rightarrow N1$ паралельно чистовому контуру, після чого виконується вихід прискореним рухом у вихідну точку другого проходу $A2$, яка від $A1$ на відстані глибини різання Δ і наближена до оброблюваного контуру.

Другий прохід реалізується траєкторією $A2 \rightarrow C2 \rightarrow N2$, також паралельною чистовому контуру з тою ж глибиною різання і наступним виходом у вихідну точку третього проходу і т. д. Після відпрацювання останнього B проходу інструмент повертається прискореним рухом у вихідну точку циклу $A1$. Схему рухів, подану на рис 3.30, можна відпрацювати кадром:

N300G68P500Q508U2W3I-10K-15B4F0.3S800;

де N500G0U-60W-5;

N501G1U2W-10;

N502W-10;

N504G2U2W-16R20;

N505G1W-27U20;

506W-15;

N508U15W-17;

Якщо перейти в режим «Покадровий», під час виконання циклу G68 відбудуться зупинки після кожного простого руху (рух між двома послідовними опорними точками). Для подальшої роботи треба натиснути кнопку «Пуск» на ПЧПК.

Багатопрохідний чорновий цикл поздовжнього різання G66 забезпечує знімання в поздовжньому напрямку чорнового припуску циліндричної або конічної різьби за кілька проходів.

Формат циклу: G66 $\left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} I R B \left\{ \frac{F}{E} \right\} A P$;

Параметри: X, U, Z, W — координати кінцевої точки різання в абсолютній або відносній системі;

I — розмір конуса (завжди на радіус) — нахил до осі Z (визначається як різниця діаметрів у крайніх точках конічного відрізка, поділена на 2). Якщо параметр I відсутній, різьба циліндрична;

R — глибина різбової канавки або висота профілю різьби, задається на радіус;

B — глибина різання, задається на радіус, по осі X на один прохід;

F, E — крок різьби;

A — кут врізання по осі X . При $A = 0$ (рис. 3.31, *a*) відбувається врізання строго по осі X з однаковим навантаженням сторін різця. Така схема застосовується для нарізання різьби кроком до 2,5 мм. Якщо $0 \leq A \leq \xi/2$, де ξ — кут різця або профілю різьби, нарізання різьби відбувається одною стороною різця більше, ніж другою (рис. 3.31, *в*).

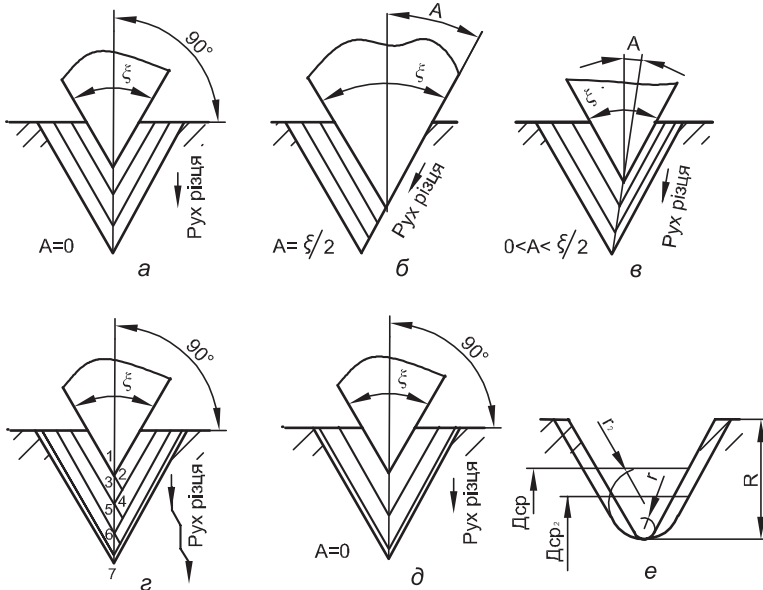


Рис. 3.31. Розподіл припуску між проходами при нарізні різьби

У крайньому разі, коли A дорівнює половині кута профілю різьби ξ , працює лише одна сторона різця (рис. 3.31, *б*). Таку схему бажано застосовувати для різьби кроком, більшим за 2,5 мм. Недоліком схеми є нерівномірне зношування різальної крайки різця, тому для формування крупномодульних різьб рекомендована схема «вробивку» (рис. 3.31, *з*),

де обидві сторони різальної крайки працюють. Розбивку здійснюють шляхом почергового заглиблювання по осі X і під кутом $\xi/2$. Зміщення різця може бути як вправо (рис. 3.31, z), так і вліво. Перемінність значення A між проходами (1-й прохід: $A = 0$; 2-й прохід: $A = \xi/2$; 3-й прохід: $A = 0$; 4-й прохід: $A = \xi/2$ і т. д.) викликає незручність під час програмування, оскільки в більшості пристроїв ЧПК значення A вводиться вручну з пульта, тобто необхідне втручання оператора перед кожним проходом. При нарізанні крупномодульних різьб на довгомірних деталях (ходові гвинти, гвинти підйомних механізмів, шнеки тощо) це себе виправдовує. Останній прохід, як правило, виконується прямим врізанням.

Якщо розподіл припуску між проходами передбачено за потужністю різання, схема може бути такою, як показано на рис. 3.31, d — площа поперечного перерізу стружки на всіх проходах однакова, взята з останнього фінішного проходу.

Важливим параметром при нарізанні гостровершинних різьб є радіус у дні різьби, його значення вказується в кресленні деталі. За чорнового різенарізання цей радіус потрібно обмежувати залежно від припуску на середній діаметр різьби ($D_{\text{ср}}$ — діаметр, на якому ширина зуба і впадини різьби однакові). Наприклад (див. рис. 3.31, d), параметр контролю операції різенарізання — глибина різьбової канавки R . Якщо радіус на вершині різця перевищуватиме допустимий, то значення $D_{\text{ср}}$ буде меншим для зовнішньої різьби ($D_{\text{ср}2}$) і, аналогічно, більшим для внутрішньої різьби, за тієї самої висоти профілю, настільки, що деталь може бути забракованою;

P — характеризує силовий режим різання — з однаковою глибиною чи однакоvim зусиллям різання.

Якщо $P = 4$ при $A = 0$, відбувається різання з однаковою глибиною на всіх проходах. Кількість проходів $n = \frac{R}{B}$.

Якщо $P = 2$ при $A = 0$, відбувається різання з однаковою потужністю на кожному проході. При цьому площа поперечного перерізу знятої стружки однакова на всіх проходах, тобто, задаючи оптимальну глибину різання для останнього проходу, на першому її можна істотно збільшити. В результаті кількість проходів зменшиться, а продуктивність обробки підвищиться. Якість оброблюваної поверхні у другому випадку також поліпшиться, оскільки режими призначаються на останньому проході залежно від вимог до

якості обробки. Процес оптимізується і щодо стійкості різця. Тобто, цей метод розподілу припуску досконаліший, хоча частіше, через простоту реалізації, перевагу надають першому.

P1 і P3 використовують при несиметричному зніманні припуску.

Відсутність в кадрі циклу параметрів R, B, A спричинить аварійну зупинку верстата.

Чистовий прохід циклом G66 не виконується. За його потреби застосовують цикл G28 або G33.

У циклі G66 чорнові проходи реалізуються послідовністю рухів, схему яких наведено на рис. 3.32 (а — $A = 0$; б — $A = \xi/2$):

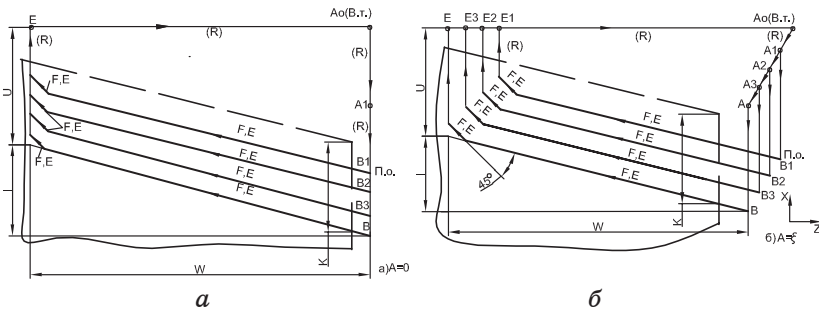


Рис. 3.32. Багатопрохідний поздовжній чорновий цикл різенарізаня G66

1) вихід прискореним рухом у вихідну точку проходу A_i (i — номер проходу);

2) вихід прискореним рухом у початкову точку різенарізаня B_i ;

3) основний рух — робочий хід нарізаня різьби кроком F(E) із точки B_i ;

4) вибіг з різьби в кінці ходу. Крок різьби при цьому зберігається. При аварійних зупинках або натисненні оператором кнопки «Стоп подачі» ПЧПК автоматично відпрацьовує вибіг з різьби «від металу» зі збереженням кроку різьби в будь-якому місці проходу. Рухи 3 і 4 виконуються із синхронізацією поздовжнього переміщення і обертів шпінделя верстата;

5) вихід прискореним рухом по осі X до координати вихідної точки E_i ;

6) повернення прискореним рухом по осі Z у вихідну точку циклу A_0 ;

7) повторювання таких проходів відбувається до остаточного зняття припуску, закладеного циклом G66.

Якщо перейти в режим «Покадровий», під час виконання циклу G66 зупинки відбуватимуться після кожного чорнового проходу. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск». Приклад запису кадру обробки:

G66 U-2.7 W-10 I 0 R1,4 B0.2 F2,54 A0 P2;

Цим кадром відпрацьовуються сім чорнових проходів нарізання циліндричної різьби кроком 2,54 з рівномірним навантаженням сторін різця, з однаковою потужністю різання по проходах, на відрізьку 10 мм.

Розглянемо приклад обробки такої різьби на деталі (рис. 3.33). Потрібно обробити кінчну поверхню і нарізати на ній різьбу за розмірами, вказаними на рисунку. Різьбова частина заготовки попередньо оброблена до $\varnothing 76$ мм (штрихова лінія на рис. 3.33, а). Зарізьбова канавка та базові поверхні фланця оброблені остаточно. Параметри профілю різьби зазначені на рис. 3.33, в. Напрямок осей координат вказано. Вибираємо початок координат у правому торці деталі. Деталь закріплюємо в патроні за фланець з упором у лівий торець. Елементи контролю — зовнішній, середній та внутрішній діаметр різьби, радіус у дні різьбової канавки.

На рис. 3.33, б показано схему обробки: над осью ліній — зовнішнього діаметра — інструментом T6, нижче осью ліній — різьбової поверхні — інструментом T7. Відстань від П.о. до оброблюваної поверхні й перебіг для обробки гладкої поверхні приймаємо рівними 2 мм, для різьбонарізання (1,0÷1,5 кроку) — 3 мм. Розраховуємо координати опорних точок руху вершини різця, по-

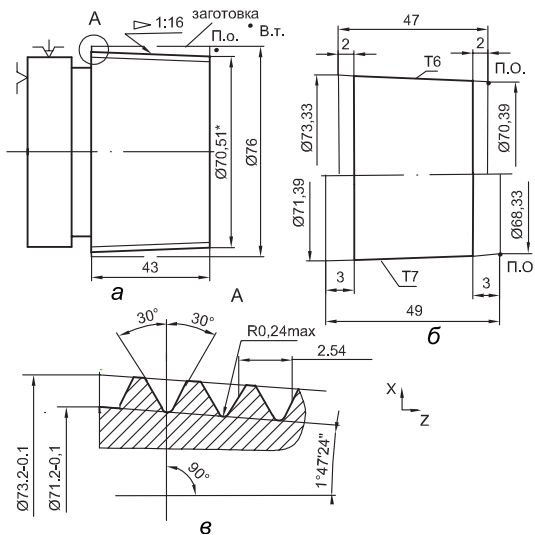


Рис. 3.33. Нарізання зовнішньої різьби на деталі

значаємо їх на схемі обробки. Керуючу програму, розроблену згідно з цією схемою, наведено в табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Кадр	Програмовані дії
% 18; (risbova probka)	
N10T6M6;	Виведення в робочу позицію інструмента T6 — прохідного різця
N15G90G97S350M4;	Абсолютна система відліку, постійні оберти шпінделя проти стрілки годинника
N20G0X82Z5M8;	Підведення інструмента прискореним рухом у вихідну точку обробки, подача ЗОР
N25X76Z2G1F0.3;	Підведення інструмента на робочій подачі в точку початку обробки
N30G61P100Q200 U0.4B0.6I0;	Багатопрхідним чорновим поздовжнім циклом зняття основного припуску із зовнішнього діаметра, залишаємо припуск 0,4 мм на чистовий прохід
N100G0X70,39;	Описування контуру. Вихід прискореним рухом в точку початку обробки. Виконання чорнових проходів
N200G1X73,33Z-43F0.25;	
N35G60 P100Q200;	Чистовий прохід
N40G1X77Z-35F5M9;	Відвід інструмента в зручне для оператора місце, відміна подачі ЗОР
N45G0X250Z250M5;	Відвід інструмента в точку індексації
N50T7M6;	Вивід в робочу позицію інструмента T7 — різьбового різця
N55S60M3;	Призначення режимів різання різби
N60G0X80Z7M8;	Підведення інструмента прискореним рухом у вихідну точку обробки, подача ЗОР
N70G1X68,47Z3F5;	Підведення інструмента на робочій збільшеній подачі в точку початку обробки
N75G66X71.39Z-44 I-1.47 F2.54K1.05A0 B0.03P4;	Багатопрхідним різенарізним циклом формування різьбової поверхні
N80G1X80Z3F5M9;	Відвід інструмента в зручне для оператора місце, відміна подачі ЗОР
N85G0X250Z250M5;	Відвід інструмента прискореним рухом у позицію заміни, зупинка обертів шпінделя
N90M30;	Кінець програми

Розглянемо приклад обробки внутрішньої конічної різби на деталі (рис. 3.34). Потрібно обробити внутрішню конічну поверхню розточувальним різцем (Т3) і нарізати на ній різьбу (різець Т1), параметри якої наведено на рисунку.

Заготовка попередньо оброблена по внутрішньому діаметру ($\text{Ø}64$ мм, штрихова лінія на рис. 3.34, а). Зовнішній діаметр і торці оброблені остаточно — як базові поверхні та площина початку відліку по Z.

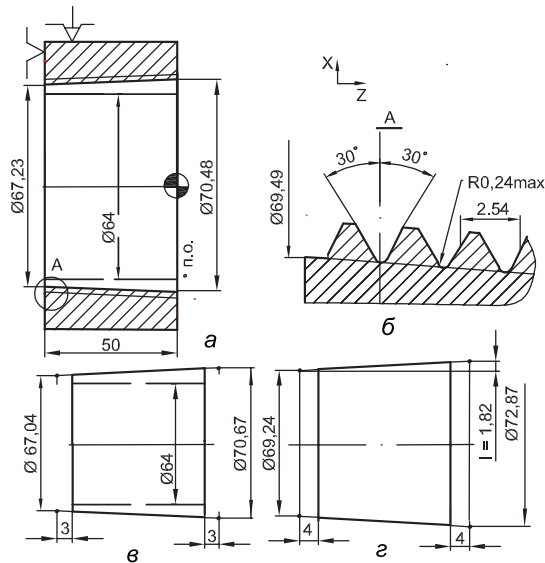


Рис. 3.34. Нарізання внутрішньої різьби

Деталь закріплюємо в патроні за зовнішній діаметр з упором в лівий торець. Призначаємо початок координат у правому торці деталі. Відступ перед початком обробки і перебіг в кінці призначаємо з тих же міркувань: $2 \div 3$ мм для гладкої поверхні і $1,0 \div 1,5$ кроку для різьбарізання. Складаємо схему для розрахунку координат траєкторії руху різців при обробці (рис. 3.34, в і 3.34, г), розраховуємо координати, позначаємо на схемі, заносимо до програми обробки.

Елементи контролю — внутрішній, середній та зовнішній діаметр різьби, радіус у дні різьби.

Програма обробки:

% 40; (Rizbove kilze)

N10 T3 M6;

N20 G90 G97 S300 M3;

N30 G0X-60 Z5 M8;

N40 G61 P300 Q301 U0.4 B0.5 F0.25;

N300 G0 X-70.67;

N301 G1X-67.04 Z-54;

N50 G60 P300 Q301 S350;
 N60 G1 Z20 F5 M9;
 N70G0X250Z250M5;
 N80T1M6;
 N90 G90 G97 S65 M3;
 N100 G0 X-60 Z50;
 N110 G1X-72.87 F5 M8;
 N120 G66 X-69.24 Z-54 I1.82 R1.1 F2.54 B0.05A0 P4;
 N130 Z50 M9 F5;
 N140 G0 X250 Z250 M5;
 N145 M30;

Під час обробки внутрішньої різьби виникають певні незручності, пов'язані з відсутністю візуального спостереження за процесом різання, а також потребою заміни різця в середині циклу у разі його аварійного виходу з ладу. Точне попадання в різбову канавку новим різцем можливе тільки з використанням спеціального приладу.

Розглянута програма, як і попередня, є типовою. Досвідчені наладчики й оператори для обробки таких поверхонь користуються ескізом-шаблоном обробки, виконаним на зразок зображеного на рис. 3.35, а в бібліотеці пристрою ЧПК зберігається шаблон програми, який має вигляд:

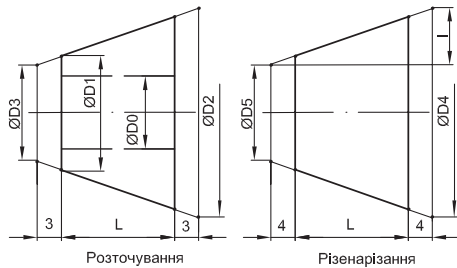


Рис. 3.35. Ескіз-шаблон обробки внутрішньої поверхні

% A; (KILZE GLADKE, RIZBOVE, KONICHNE, ZILINDRICHNE)

N10 T3 M6;
 N20 G90 G97 S300 M3;
 N30 G0X-(D0 — 4) Z5 M8; (D0 — D ZAGOTOVKI)
 N40 G61 P300 Q301 U0.4 B0.5 F0.25;
 N300 G0 X-D2; (D2 — ROZRAH. D — 3MM VID BILSHOGO TORZA)
 N301 G1X-D3 Z-(L+3); (D3 — D — 3MM VID MENSHOGO TORZA, L — DOVZHINA POVERHNI)

N50 G60 P300 Q301 S350;
 N60 G1 Z20 F5 M9;
 N70G0X250Z250M5;
 N80T1M6;

N90 G90 G97 S65 M3;
 N100 G0 X-(D0 — 4) Z5 M8;
 N110 G1 X-D4 F5; (D4 — ROZRAH. D — 4MM VID
 BILSHOGO TORZA)
 N120 G66 Z-(L +4) I $\frac{D1-D5}{2}$ R(K) F B0.05 A0 P4; (D5 —
 ROZRAH.D — 4MM VID MENSшого TORZA)
 N130 Z20 M9 F5;
 N140 G0 X250 Z250 M5;
 N145 M30;

Діаметр **D1** в ескізі зазначений для контролю операції як найбільш зручний для вимірювань універсальним інструментом. Маючи такий шаблон програми і шаблон-ескіз обробки, оператор або наладчик розраховує значення параметрів з ескізу і вставляє їх в кадри N30, 300, 301, 100, 110, 120, після чого програма готова для використання.

За таким самим зразком виконується шаблон для обробки зовнішньої гладкої і різьбової, конічної та циліндричної поверхні (%B).

Нарізання багатозахідних різьб виконується тими ж циклами з осьовим зміщенням між проходами на величину $\frac{E}{n}$, де E — крок різьби, n — кількість заходів. Розрахунки координати початку обробки та довжини ходу різця такі ж, як при однопроходовому різьбарізанні.

Багатпрохідний чорновий цикл поперечного різьбарізання G67 забезпечує зняття припуску в поздовжньому напрямку торцевої або конічної різьби з великою конусністю.

Формат циклу:

$$G67 \left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} K R B \left\{ \frac{F}{E} \right\} A P;$$

Параметри:

X, U, Z, W — координати кінцевої точки різьбарізання в абсолютній або відносній системі;

K — висота конуса. Якщо K = 0 або відсутнє, різьба торцева — спіраль;

R — висота профілю різьби;

B — глибина різання по осі Z на один прохід;

A — кут вривання по осі Z. При A = 0 відбувається вривання строго по осі Z з однаковим навантаженням сторін різця. Якщо $0 \leq A \leq \xi/2$, де ξ — кут різця, нарізання різьби відбувається одною стороною різця більше, ніж другою.

У разі $A = \xi/2$ працює тільки одна сторона різця. Значення A задається з пульта параметрами ПЧПК. Так само, як в циклі G66, можливе різенарізання «врозбивку».

Параметр P , як і в циклі G66, характеризує силовий режим різання — з однаковою глибиною чи однаковою потужністю різання.

Якщо $P = 4$ при $A = 0$, відбувається різання з однаковою глибиною по усіх проходах. Кількість проходів $n = \frac{R}{B}$ (параграф 3.7).

Якщо $P = 2$ при $A = 0$, відбувається різання з однаковою потужністю на всіх проходах. P1 і P3 використовують за несиметричного знімання припуску.

Відсутність у кадрі хоча б одного з параметрів: R , B , A спричинить аварійну зупинку верстата. Чистовий прохід циклом G67 не відпрацьовується. За потреби виконується циклом G39.

У циклі G67 проходи відпрацьовуються такими послідовними рухами (рис. 3.36):

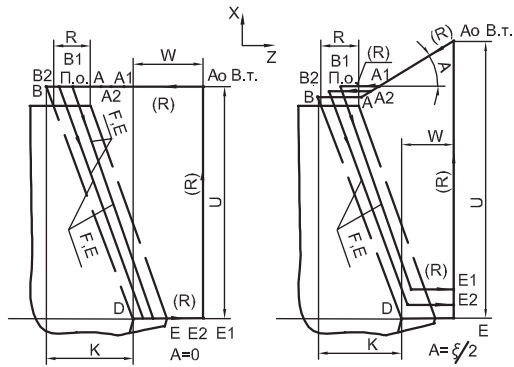


Рис. 3.36. Багатопрхідний поперечний чорновий цикл різенарізання G67

1) вихід прискореним рухом у вихідну точку проходу A1;

2) вихід прискореним рухом в початкову точку нарізання різьби B1;

3) основний рух — нарізання різьби з подачею, яка дорівнює кроку із синхронізацією поперечного переміщення та обертів шпінделя: B1 — E1;

4) вибіг з різьби в кінці проходу. Крок різьби при цьому зберігається. При аварійних зупинках або натисненні оператором кнопки «Стоп подача» ПЧПК автоматично відпрацьовує вибіг з різьби «від металу» зі збереженням кроку різьби;

5) вихід прискореним рухом по осі Z до координати вихідної точки циклу A;

6) повернення прискореним рухом у вихідну точку по осі X. Це перший прохід;

7) такі проходи повторюються до остаточного зняття припуску, закладеного циклом G67. Якщо перейти в режим «Покадровий», у ході виконання циклу G67 зупинки відбуватимуться після кожного чорнового проходу. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Приклад: G67 U-100 W 27 K20R1.4 B0.2 F2 A0 P4;

Відпрацьовуються 7 чорнових проходів нарізання торцевої конічної різьби шириною 100 мм, висота конусу 20 мм, кроком 2 мм з рівномірним навантаженням сторін різця, з однаковою потужністю різання на проходах.

Цикл нарізання поперечних канавок G65 використовується для нарізання групи рівновіддалених одна від одної поперечних канавок або многопрохідного нарізання однієї широкої канавки на циліндричній поверхні з подрібненням стружки.

Формат циклу:

$$G65 \left\{ \frac{X}{U} \right\} I \left\{ \frac{Z}{W} \right\} K F;$$

Параметри:

X, U — абсолютна або відносна координата по осі X дна канавки;

I — глибина різання по осі X до відводу різця для подрібнення стружки, задається на радіус.

За відсутності параметра I подрібнення стружки не відбувається, канавка на всю глибину прорізається безперервно;

Z, W — в абсолютній або відносній системі координат по осі Z початкової точки останньої канавки або останнього проходу різця під час формування широкої канавки. За відсутності в циклі Z або W нарізається одна канавка проти координати вихідної точки;

K — крок канавок або кількість врізань при формуванні однієї широкої;

F — поперечна подача;

α — відвід по осі X прискореним рухом після врізання на глибину I, задається з ПЧПК, в мікронах на радіус;

«B» — ширина канавки, задається шириною канавкового різця.

Схему різання групи канавок зображено на рис 3.37.

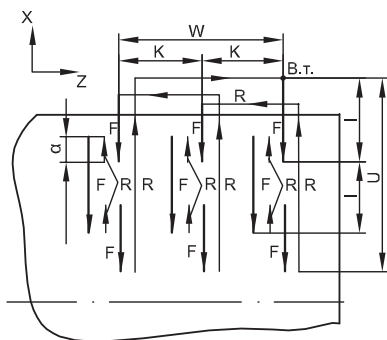


Рис. 3.37. Цикл нарізання поперечних канавок G65

Послідовність рухів, які для цього виконуються циклом G65, така:

1) вихід інструмента в початкову точку нарізання першої канавки (П.о.);

2) врізання на глибину I;

3) відвід прискореним рухом на величину α для подрібнення і виводу з канавки стружки;

4) друге врізання на глибину 2I, прискорений відвід на α , і так до набору повної глибини канавки;

5) витримка часу в дні канавки (задається з пульта ПЧПК);

6) повернення прискореним рухом в точку П.о. 1-ї канавки;

7) прискорений рух в початок обробки другої канавки, повторення рухів 2–5, повернення в точку П.о. другої канавки. Далі, в такій же послідовності рухів виконується обробка решти канавок, після чого — вихід у вихідну точку циклу.

Розглянемо приклад нарізання на деталі п'яти канавок шириною 4 мм, глибиною 5 мм, кроком 10 мм (рис. 3.38).

Призначаємо технологічний регламент обробки: канавку нарізаємо канавковим різцем шириною 4 мм. Через кожні 2 мм врізання передбачаємо «відскок» різця на величину α для подрібнення стружки. Програма обробки буде такою:

% 4; (VALIK)

N10 T4 M6;

N20 G90 G96 S80 M4;

N30 G0 X48 Z3 M8;

N40 G1 X40 Z-8 F2;

N50 G65 X25 Z-50 I2 K10 F0.2;

N70 Z3 F2 M9;

N80 G0 X200 Z200 M5;

N90 M30;

Якщо ці ж канавки мають глибину 3 мм і нарізаються відразу на всю глибину, то кадр N50 матиме вигляд: N50 G65 X29 Z-50 K10 F0.2; (Подрібнення стружки не відбувається, параметр I в кадрі відсутній.)

Якщо перейти в режим «Покадровий», під час виконання циклу G65 відбудуться зупинки обробки перед кожним ру-

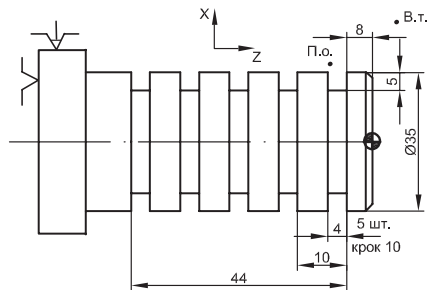


Рис. 3.38. Приклад нарізання поперечних канавок

хом на врізання, а також після кожного виходу з канавки. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Цикли нарізання торцевих канавок G69, G70 забезпечують нарізання на торці деталі концентричних канавок (або однієї широкої) з подрібненням стружки. Цикл G69 застосовується для стружкоподрібнення з частковими відводами різця, G70 — з повним виводом різця з канавки. Схему обробки за даними циклами наведено на рис. 3.39.

Формат циклів:

$$\{G69\} \{G70\} \{Z\} \{W\} K \{X\} I F S;$$

Параметри:

Z, W — координата по осі Z dna канавки в абсолютній або відносній системі;

K — глибина врізання по осі Z до відходу на α для подрібнення стружки. Якщо K відсутнє або дорівнює нулю, відхід для подрібнення стружки не відбувається, канавка відразу ріжеться на повну глибину;

X, U — координати по осі X початкової точки першої канавки або першого врізання широкої канавки в абсолютній чи відносній системі;

I — крок канавок (врізань для широкої канавки) по осі X;

F — робоча подача різання по Z;

S — оберти шпінделя;

α — величина відходу по осі Z прискореним рухом після врізання на величину K для забезпечення стружкоподрібнення, задається з пульта ПЧПК;

Витримка часу в дні канавки також задається з пульта.

Ширина канавки, «w» задається шириною різця.

Послідовність рухів під час нарізання групи торцевих канавок або однієї широкої така:

1) вихід інструмента в початкову точку нарізання першої канавки;

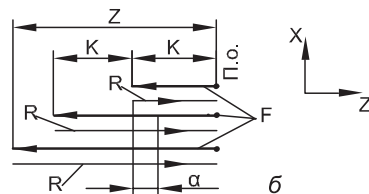
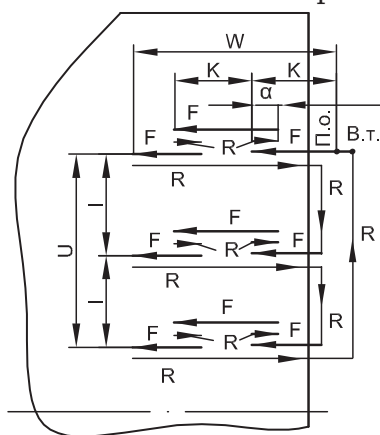


Рис. 3.39. Цикли нарізання торцевих канавок: а — G69; б — G70

- 2) врізання на глибину K в першій канавці;
- 3) відхід прискореним рухом на величину α для подрібнення і виводу з канавки стружки (G69) або повний вихід різця з канавки прискореним рухом (G70);
- 4) друге врізання на величину $2K$, відхід на α (G69) або повний вихід різця з канавки прискореним рухом (G70), прискорений рух на глибину $(2K - \alpha)$, врізання на $3K$, і так — до набору повної глибини канавки;
- 5) витримка часу в дні канавки (задається з пульта ПЧПК);
- 6) повернення прискореним рухом у вихідну точку першої канавки;
- 7) прискорений рух у вихідну точку другої канавки, повторення рухів 2–5, повернення у вихідну точку другої канавки. Далі в такій же послідовності рухів обробка решти канавок, після чого відхід у вихідну точку циклу.

Розглянемо приклад програмування обробки на торцевій поверхні деталі (рис. 3.40) діаметром 140 мм п'яти торцевих канавок шириною 4 мм, глибина кожної 5 мм, крок 10 мм. Рух на подрібнення стружки запрограмуємо командою G69, для цього з пульта введемо значення «відскоку» $\alpha = 0,1$ мм після кожного врізання на 2 мм. Ширина робочої частини різця — 4 мм. Програма обробки матиме вигляд:

```
% 4; (DISK)
N10 T4 M6;
N20 G90 G97 S400 M4;
N30 G0 X124 Z3 M8; X — координата передньої вершини різця
N40 G1 Z1 F2;
N50 G69 X46 Z-5 K2 I10 F0.2;
N70 Z3 F2 M9;
N80 G0 X200 Z200 M5;
N90 M30;
```

Якщо глибина тих самих канавок 3 мм, їх ріжуть відразу на всю глибину, подрібнення стружки не відбувається, кадр N50 матиме вигляд:

N50 G69 X46 Z-5 I10 F0.2; — параметр K відсутній.

Якщо є потреба через кожні 2 мм остаточно виводити різець з канавки, кадр N50 буде таким:

N50 G70 X46 Z-5 K2 I10 F0.2;

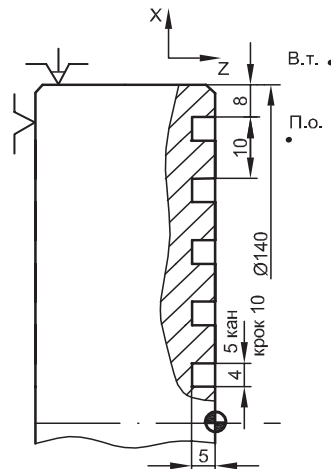


Рис. 3.40. Приклад нарізання торцевих канавок

Якщо перейти в режим «Покадровий» під час виконання циклів G69 та G70, відбудуться зупинки обробки перед кожним рухом на врізання, а також після кожного виходу з канавки. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Цикли свердління та глибокого свердління G82, G83 забезпечують свердління з подрібненням стружки глибоких отворів, вісь яких збігається з віссю Z, координата X завжди дорівнює нулю.

Формат циклу:

$$\left\{ \begin{matrix} G83 \\ G82 \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} Z \\ W \end{matrix} \right\} K SF;$$

Параметри:

Z, W — координати по осі Z dna отвору в абсолютній або відносній системі;

K — глибина свердління до відводу інструмента прискореним рухом на величину α для стружкоподрібнення. Якщо параметр K відсутній або дорівнює нулю, отвір свердлиться на всю глибину безперервно;

F — робоча подача;

S — оберти шпінделя;

α — величина відводу свердла прискореним рухом для подрібнення та виводу з отвору стружки, задається з пульта ПЧПК, становить соті частки міліметра.

Цикл G82 передбачає повний вивід свердла з отвору після кожного свердління на глибину K і витримки часу в дні отвору, що задається командою з пульта ПЧПК (Схема рухів інструмента вздовж осі Z така сама, як в циклі G70.) Використовується цикл G82 для центрувальної операції, свердління глухих та надто глибоких отворів.

У циклі G83 відвід свердла відбувається після кожного свердління на глибину K прискореним рухом на величину α , витримка часу в дні отвору не передбачена (рис. 3.41).

Послідовність рухів у циклах G82 і G83 така:

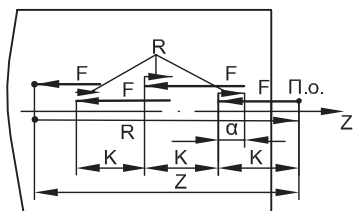


Рис. 3.41. Цикл глибокого свердління G83

- 1) підведення свердла прискореним рухом у вихідну точку циклу;
- 2) підведення свердла в початкову точку обробки;
- 3) врізання свердла на величину K;
- 4) відвід прискореним рухом на α (G83) або повний вихід з отвору (G82);

5) друге врізання на глибину $2K$ (G83) або підхід прискореним рухом до глибини ($K-\alpha$), врізання на $2K$ (G82);

6) знову такий же відхід, повторення переходів, і так — до повної глибини свердління;

7) після досягнення дна витримка часу (G82), якщо це передбачено в ПЧПК; якщо отвір наскрізний, то на останньому переході « K », де свердло вийде з протилежного боку деталі, слід зменшити подачу вдвічі з метою запобігання поломці інструмента через різку зміну навантаження. В сучасних пристроях ЧПК зменшення подачі можливе з пульса під час обробки;

8) повернення свердла прискореним рухом у вихідну точку циклу.

Наприклад, потрібно свердлити отвір $\varnothing 10$ на глибину 70 мм:

G83W-70K20F0.1; — свердління отвору відбудеться з трьома відходами прискореним рухом на α : на глибині 20, 40 та 60 мм.

Для свердління отворів великої довжини використовують цикл G82 і спеціальні свердла: «гарматні», чотирикромкові та шнекові. Інструмент після кожного врізання на глибину K виводиться з отвору повністю для зняття пружної деформації поздовжнього згинання, охолодження та видалення стружки, для чого перед повторним робочим ходом свердла задається витримка в часі.

Якщо перейти в режим «Покадровий», в циклах G82 і G83 відбудуться зупинки свердла перед кожним рухом різання та після повернення у вихідну точку. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Цикл нарізання різьби мітчиком або плашкою G84 забезпечує нарізання різьби мітчиком в попередньо підготовленому осьовому отворі, наприклад циклом G82 або G83, а також нарізання різьби плашкою на зовнішній поверхні.

Формат циклу:

$$G84 \left\{ \frac{Z}{W} \right\} \left\{ \frac{F}{E} \right\};$$

Параметри:

Z, W — координати по осі Z кінця різьби в абсолютній або відносній системі;

F, E — крок різьби.

Послідовність рухів для відпрацювання циклу G84:

1) вихід інструмента у вихідну точку циклу;

2) підведення інструмента в точку початку обробки;

- 3) нарізання різьби з обертною подачею, рівною кроку;
- 4) в кінці ходу — реверс шпінделя;
- 5) повернення інструмента у вихідну точку циклу;
- 6) реверс шпінделя в початковий напрям обертання.

Якщо натиснути на кнопку «Стоп подачі» під час різьблення циклом G84, зупинка відбудеться після завершення циклу нарізання різьби. При натисканні під час різьблення на клавішу ПЧПК «//» відбудеться синхронне гальмування шпінделя і подачі.

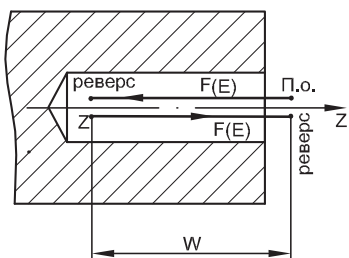


Рис. 3.42. Цикл нарізання різьби мітчиком або плашкою G84

Якщо перейти в режим «Покадровий» під час виконання циклу G84, програма зупиниться після повернення у вихідну точку.

Схему рухів, показану на рис. 3.42, можна відпрацювати кадром:

G84W-40F4S60 — запрограмовано нарізання різьби кроком 4 мм довжиною 40 мм.

Для поліпшення процесу різьблення мітчиком або плашкою на верстаті з ЧПК є спеціальні патрони з мікрокомпенсацією (в межах $\pm 0,5$ мм), які синхронізують оберти шпінделя і поздовжні переміщення. Нарізання різьби відбувається, практично, самозатягуванням, а примусова подача служить тільки для переміщення рухомих мас механізмів верстата.

У глухих отворах, коли важко раптово зупинити і реверсувати шпіндель, щоб виключити можливу поломку інструмента, застосовуються спеціальні запобіжні патрони. Різьблення автоматично припиняється, щойно крутильний момент досягне критичного значення (наприклад, інструмент упреться в дно). Патрон разом із мітчиком обертаються на викручування нарізаною різьбою отвору.

Підсумковий приклад обробки.

На рис. 3.43 зображено деталь «форсунка», в програмі обробки якої задіяні розглянуті цикли. Заготовка — прокат, зовнішній діаметр обточений до $\varnothing 13,8$, попередньо підрізаний лівий торець, матеріал — сталь Ст35.

План операції: центрувати, свердлити отвір $\varnothing 2,7$ — поверхня (2) відповідно до креслення; підрізати торець (1) остаточно; точити зовнішній контур 1—2—3—4—5—6—7

попередньо і остаточно; прорізати за-
різьбову канавку (5);
нарізати різьбу М10.

Після розробки
технологічного ре-
гламенту для оброб-
ки кожної поверхні
вибираємо інстру-
менти: Т1 — свердло
центрувальне; Т2 —
свердло $\varnothing 2,7$; Т3 —
різець прохідний
універсальний; Т4 —
канавковий різець;
Т5 — різенарізний

різець. Виходячи з
того, як проставлені розміри конструктором, призначаємо
початок координат у правому торці деталі. Програму оброб-
ки наведено в табл. 3.13

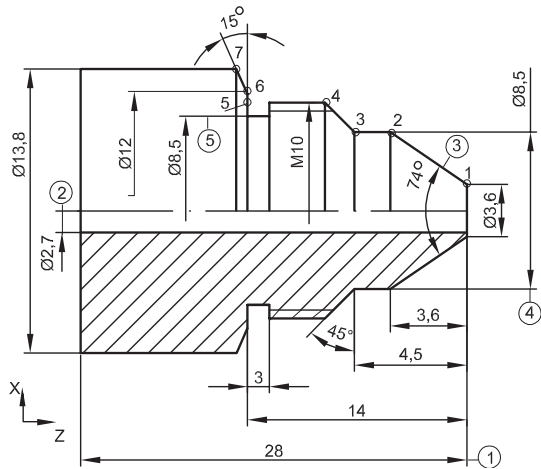


Рис. 3.43. Обробка деталі «форсунка»

Таблиця 3.13

Кадр	Програмовані дії
% 24; (FORSUNKA)	
N10T1M6; (SV. ZENTR. D1.6)	Виведення в робочу позицію центрувально-го свердла
N20G90G97S1000M3;	Призначення режимів обробки
N30G0X0Z3M8;	Вихід в точку початку обробки, подача ЗОР
N40G82Z-4F0.1;	Центрування торця циклом G82
N50G80M9;	Відміна циклу, подачі ЗОР
N60G0X230Z230;	Вихід в точку заміни інструмента
N70T2M6; (SV. D2.7)	Виведення в робочу позицію свердла $\varnothing 2,7$
N80G90G97S1000M3;	Призначення режимів обробки
N90G0X0Z2M8;	Вихід в точку початку обробки, подача ЗОР
N100G83Z-30K7F0.1;	Свердління отвору циклом глибокого свердління G83
N110G80M9;	Відміна циклу, подачі ЗОР
N115G0X230Z230;	Вихід в точку заміни інструмента
N120T3M6; (RIZEC)	Виведення в робочу позицію універсально-го прохідного різця
N125 G90G0X1Z5S800;	Підведення різця прискореним рухом до деталі

Закінчення табл. 3.13

Кадр	Програмовані дії
N130G1X2Z1F2M8;	Підведення різця в точку початку обробки на збільшеній подачі, подача ЗОР
N140G61P500Q503U0.5W0.5B0.6I0F0.3;	Знімання припуску багатопрхідним циклом G61
N500X1Z0;	Опис контуру
N501X13.8;	
N502Z-14;	
N503X10.5;	
N145G60P500Q503F0.2;	Виконання чистового проходу циклом G60
N150G61P600Q606U0.5W0.5B0.6I0F0.2;	Знімання припуску багатопрхідним циклом G61
N600X3.6Z0;	Опис контуру
N601X8.5Z-3.6;	
N602Z-4.5;	
N603X9.85Z-5.18; (D ZOVNICHN. M10)	
N604Z-13.9;	
N605X12;	
N606X14.8Z-14.3;	
N155G60P600Q606F0.1;	Виконання чистового проходу циклом G60
N160X15Z2F2M9;	Відвід різця, відміна подачі ЗОР
N165G0X230Z230;	Відхід в позицію заміни інструмента
N170T4M6; (KANAVKA)	Виведення в робочу позицію канавкового різця
N175G0X15Z-12;	Підведення в зону обробки
N180G1X14Z-14F1M8;	Підведення в точку початку обробки
N185G65X8.5F0.1;	Точіння канавки циклом G65
N190X8.6;	Відвід різця
N195X9.85Z-10.4F0.2;	Точіння фаски
N200X15F2M9;	Відвід різця, відміна подачі ЗОР
N205G0X230Z230;	Вихід в позицію заміни інструмента
N210T5M6; (RIZBA)	Виведення в робочу позицію різьбового різця
N215G0X10Z5;	Підведення різця прискореним рухом до деталі
N220G1G90X9.85Z4S60M3M8;	Виведення різця в точку початку обробки, призначення режимів
N225G66X8.7Z-12,5 K0.63B0.1 F1 A0P2;	Попереднє нарізання різьби M10 багатопрхідним різьбовим циклом G66
N226G28X8.6Z-12.5F1;	Остаточне нарізання різьби M10 однопрхідним чистовим циклом G28
N230M9;	Відміна подачі ЗОР
N235G0X230Z230;	Виведення різця в позицію заміни
N240M30;	Кінець програми

3.14. Параметричне програмування на токарних верстатах з ЧПК. Підпрограми

На токарних верстатах, як і на фрезерувальних, часто виконують обробку деталей, однакових за формою, але різних за розмірами. Якщо в керуючій програмі біля адреси переміщення замість числа поставити його параметричне позначення (#x), то можна отримати узагальнену програму обробки на токарному верстаті з ЧПК однакових за формою деталей. Сучасними пристроями ЧПК в токарній обробці так само можна виконувати арифметичні дії між параметрами та з ними і постійними числами. Такі можливості передбачені в пристроях ЧПК для токарних верстатів: «FANUK», «Milltronics», «Sinumerik», «Маяк» та ін.

Підставляючи в узагальнену програму значення параметрів конкретної деталі, отримують програму її обробки. Це істотно скорочує час на розробку, перевірку і відпрацювання керуючої програми на верстаті, робить обробку типовою, спрощує і скорочує технологічну підготовку виробництва. Для прикладу розглянемо параметричне програмування чорнвої обробки східчастих втулок (рис. 3.44) на верстаті 16К20Ф3 із пристроєм ЧПК «FANUK».

Як заготовку використовуємо прокат з вуглецевої сталі. Розглянемо обробку з другої установки втулки.

Технологічний регламент:

1) підрізати торець (3) на розмір #3. Обробку виконати з постійною швидкістю різання, для цього в програму ввести обмеження на оберти шпінделя (кадр N20). Точити фланець, поверхню (1), в розмір (#1). Багатопрхідним циклом G74 з чистовим проходом точити поверхні (4) і (6). Виконати переходи універсальним прохідним різцем;

2) центрувати торець центрувальним свердлом $\varnothing 3,15$;

3) свердлити отвір $\varnothing \#5$.

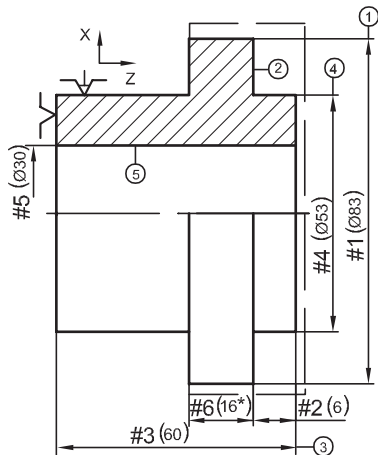


Рис. 3.44. Східчаста втулка. Чорнова обробка

У табл. 3.14 наведено узагальнену програму обробки вказаної групи деталей в параметрах.

Таблиця 3.14

Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
% 43;(STUPINCHASTA VTULKA)	
N10G10 P0 Z-90;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N15 T1 01;	Виведення в робочу позицію прохідного різця T1, активізація його коректора
N20 G90 G50 S2000;	Введення обмежень на оберти шпінделя командою G50 (max 2000 об./хв)
N30 G96 S180 G99 F0,2 M4;	Швидкість різання 180 м/хв, оберти проти стрілки годинника. Подача обертна (G99)
N40 G0 X (#1+5) Z10 M75;	Вихід у вихідну точку, ввімкнення транспортера стружки (M75)
N50 G1 Z0 F5 M8;	Вихід в точку початку обробки, подача ЗОР
N60 X(#5-2) F0,3;	Підрізання торця (3) до максимально можливого діаметра (обмежується: низу допустимими обертами шпінделя, зверху — діаметром отвору #5)
N62 Z2F5;	Відвід різця від торця
N65 G0 X(#1);	Підведення різця в точку початку обробки зовнішнього діаметра фланця (1)
N70 G1 Z-(#2+#6+2) F0,2;	Точіння зовнішнього діаметра #1 фланця (1)
N72 X(#1+2) F5;	Відвід різця по X
N74 G0 Z2;	Відвід різця по Z у вихідну точку циклу
N80 G72 W2 R1 N85 G72 P300 Q301 U0,5 W0,3 F0,3;	Чорновим багатопрохідним циклом точіння вибірки поверхні (4) — (2), глибина різання 2 мм (W2), відхід від обробленої поверхні при зворотному русі на 1 мм (R1). Виконання чистового проходу
N300X(#4);	Опис контуру
N301Z-(#2);	
N88 G70M09;	Відміна циклу G72, відміна подачі ЗОР
N90G0X250Z250;	Вихід в позицію заміни інструмента
N100T2 02; (Zentr. Cverdlo D3,15)	Виведення в робочу позицію центрувального свердла, активізація його коректора
N110 GOX0Z5;	Вихід у вихідну точку циклу

Закінчення табл. 3.14

Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N120 G97 S1000 M3 M8;	Призначення режимів, подача ЗОР
N130 G82 Z-8 F0,1;	Центрування торця
N140 G80 M09;	Відміна циклу і подачі ЗОР
N150 G0X250Z250;	Вихід в позицію заміни інструмента
N160 T3 O3; (Cverdlo D(#5))	Виведення в робочу позицію свердла діаметром #5 для поверхні (5), активізація коректора
N170 GO X0 Z5;	Вихід у вихідну точку циклу
N180 G97 S125 M3 M8;	Призначення режимів, подача ЗОР
N190 G74R0,5 N200 G74 Z-(#3+8)Q23 F0,1;	Цикл глибокого свердління поверхні (5) з відводом через кожні 23 мм (Q23) свердла на 0,5 мм (R0,5) для подрібнення стружки
N210 Z10 F5 G70 M09 M05 M76 M31;	Відміна циклу, подачі ЗОР, зупинка шпінделя, зупинка транспортера, ввімкнення лічильника деталей M31
N220 Z250X250;	Вихід в позицію заміни інструмента
N230 M30;	Кінець програми

Щоб скористатися розробленою програмою для обробки деталі з рис. 3.44, вкажемо додаткові кадри, які мають стати перед кадром початку обробки N10:

- (#1 — DIAMETR FLANZA)
N1 #1 (83);
- (#2 — DOVZHINA VISTUPA)
N3 #2 (6);
- (#3 — DOVZHINA VTULKY)
N5 #3 (60);
- (#4 — DIAMETR VISTUPA)
N6 #4 (53);
- (#5 — VNUTRSCHNIY DIAMETR)
N7 #5 (30);
- (#6 — DOVZHINA FLANZA)
N8 #6 (16);

На токарних верстатах з ЧПК, так само як і на оброблювальних центрах, є можливість обробки через *підпрограму*. Схема дії підпрограми така сама (див. параграф 2.15). Одним з видів підпрограми є розглянуті цикли,

вони закладені в матзабезпеченні ЧПК. Технолог-програміст може створити в програмі свою підпрограму, яка зменшить обсяг і трудомісткість програмування в конкретному випадку обробки. Наприклад, розглянемо програмування обробки чотирьох кришок, зображених на рис. 3.45. План операції: з попередньо обточеної зовні заготовки виточити за однією програмою чотири деталі. Початок обробки призначаємо в правому торці. Програмуємо в головній програмі підрізку торця. Для переходу під час обробки від деталі до деталі використовуємо в головній програмі команду осьового зміщення G56, а обробку окремої деталі розмістимо в підпрограмі з таким технологічним регламентом:

- 1) свердлити отвір $\varnothing 12$;
- 2) кінцевою фрезою фрезерувати отвір $\varnothing 24$;
- 3) розточним різцем точити фаску на вході в отвір, розточити отвір $\varnothing 26$ остаточно, підрізати внутрішній торець $\varnothing 26/\varnothing 12$;
- 4) універсальним прохідним різцем зняти фаску на переході: торець — $\varnothing 38$, точити $\varnothing 38$ остаточно, підрізати торець $\varnothing 38/\varnothing 50$;
- 5) відрізним різцем зняти фаску на $\varnothing 50$, відрізати першу деталь;
- 6) перейти до головної програми, змістити початок відліку на 17 мм, перейти в підпрограму, виконувати обробку наступної деталі і т. д.

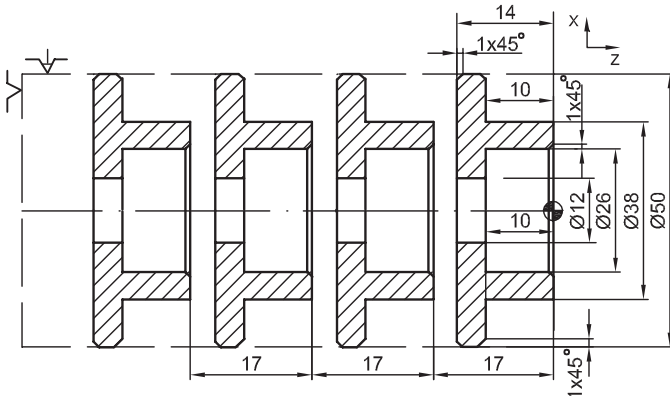


Рис. 3.45. Приклад роботи підпрограми

Головна програма матиме вигляд (див. табл. 3.15).

Таблиця 3.15

Кадр	Виконувані дії
% 25; (KRISHKA)	
N15 T1 M6;	Виведення в робочу позицію підрізного різця T1.
N20 G90 G50 S2000;	Обмеження обертів
N30 G96 S100 G95 F0,2 M4;	Швидкість різання 100 м/хв, оберти проти стрілки годинника. Подача обертна (G95)
N40 G0 X 54 Z10;	Вихід у вихідну точку
N50 G1 Z4 F5 M8;	Вихід в точку початку обробки, подача ЗОР
N60 G29 X24 Z0 F0,2; N65 M09;	Підрізання торця $\varnothing 50$ до максимально можливого діаметра $\varnothing 24$ (обмежується: знизу допустимими обертами шпінделя, зверху — діаметром отвору 26) поперечним циклом G29
N70 G0 X200 Z200;	Відвід різця в позицію заміни інструмента
N80 L2;	Ввід підпрограми
N90 G56 Z-17;	Зміщення початку відліку по Z на -17 мм
N100 L2;	Ввід підпрограми
N90 G56 Z-34;	Зміщення початку відліку по Z на -34 мм
N100 L2;	Ввід підпрограми
N90 G56 Z-51;	Зміщення початку відліку по Z на -51 мм
N100 L2;	Ввід підпрограми
N110 M30;	Кінець програми

У табл. 3.16 наведено зміст підпрограми.

Таблиця 3.16

L 2; Кадр	Виконувані дії
N200 T2 M6; (SVERDLO D12)	Виведення в робочу позицію свердла $\varnothing 12$
N230 G97 S800 F0,2 M4;	Призначення режимів обробки
N240 G90 G0 X0 Z5 M8;	Вихід в точку початку обробки, подача ЗОР
N250 G1 Z-18;	Свердління отвору $\varnothing 12$
N260 G4P5;	Пауза в кінці для покращання поверхні
N270 G0 X200 Z200 M9;	Відвід різця в позицію заміни інструмента
N280 T3 M6; (FREZA D24)	Виведення в робочу позицію кінцевої фрези $\varnothing 24$
N290 G97 S600 F0,2 M4;	Призначення режимів обробки
N300 G90 G0 X0 Z2 M8;	Вихід в початок обробки, подача ЗОР

Закінчення табл. 3.16

L 2; Кадр	Виконувані дії
N310 G1 Z-10;	Розфрезерування $\varnothing 24$ на глибину 10
N320 G4P5;	Витримка в кінці ходу
N330 G0 Z200 M9;	Відвід фрези в позицію заміни інструмента
N340 T4 M6; (RIZ. ROZTOCH.)	Виведення в робочу позицію розточувального різця
N360 G90 G96 S80 M4;	Призначення режиму постійної швидкості різання
N370 G0 X30 Z2;	Підведення різця до деталі
N380 G1 X30 Z1 F2 M8;	Вихід в точку початку обробки
N390 X26 Z-1 F0,2;	Точіння фаски
N400 Z-10;	Розточування отвору
N410 X10;	Підрізання внутрішнього торця
N420 G0 Z10 M9;	Виведення різця з отвору, відміна подачі ЗОР
N430 G0 X200 Z200;	Відвід різця в позицію заміни інструмента
N440 T5 M6;(RIZ. UNIVERSAL)	Виведення в робочу позицію універсального прохідного різця
N450 G90 G96 S90 M3;	Призначення режиму постійної швидкості різання
N460 G0 X34 Z5;	Підведення різця до деталі
N470 G1 Z1 F1;	Вихід в точку початку обробки
N480 X38 Z-1 F0,2;	Точіння фаски
N490 Z-10;	Точіння зовнішнього діаметра 38
N500 X52;	Підрізання торця
N510 G0 X200 Z200;	Відвід різця в позицію заміни інструмента
N520 T6 M6;	Виведення в робочу позицію відрізного різця
N530 G90 G97 S800 M3;	Призначення режиму постійних обертів шпінделя
N540 G0 X52;	Підведення різця до деталі по X
N550 G0 Z-12;	Вихід в точку початку обробки
N560 G1 X48 Z-14 F0,2;	Точіння фаски
N570 G65 X10 I2;	Відрізання деталі циклом поперечної канавки
N580 G0 X200 Z200;	Відвід різця в позицію заміни інструмента
N590 M17;	Кінець підпрограми з поверненням в головну програму
N595 M30;	Кінець програми

3.15. Токарно-фрезерні оброблювальні центри. Фрезерна та свердлильна поперечна обробка

Пошук можливостей підвищити точність та зменшити трудомісткість виготовлення деталі, обробки поверхонь складної конфігурації зумовили створення багатоопераційних оброблювальних центрів, які можуть поєднувати токарну, фрезерувальну, розточувальну, свердлильну, шліфувальну та зубооброблювальну операції. Відомі токарні ОЦ з двома револьверними головками, які мають гнізда для інструменту з автономним приводом, що дає змогу виконувати позацентрові отвори в торці деталі, фрезерувальні і центрувальні роботи на зовнішньому діаметрі. Розроблений Бердичівським верстатобудівним заводом на базі токарно-револьверного 1В340Ф30 багатопільовий верстат дозволяє двосторонню обробку завдяки автоматичному перезакріпленню деталі на верстаті. Відомі токарні верстати з ЧПК із двома головними шпінделями, оснащені двома револьверними головками, керування роботою яких відбувається з одного пристрою ЧПК. Розглянемо можливості відомих токарно-фрезерних оброблювальних центрів.

Токарно-фрезерний оброблювальний центр DMG STX gata 2000TC конструктивно являє собою жорстку масивну станину з напрямними, розташованими під кутом. На станині укріплені передня та задня бабки токарної частини верстата. Обидві містять шпінделі, швидкість обертання яких під час точіння сягає до 12 000 об./хв. Шпінделі можуть обертатися також позиційно, на заданий кут при фрезерній і свердлильній обробці деталі з різних сторін, та в силовому режимі — з одночасною обробкою поверхні, наприклад при косозубому фрезеруванні.

Поздовжні рухи задньої бабки виконуються від керуючої програми. Задня бабка містить субшпіндель з можливістю обробки в ньому. Після обробки деталі, закріпленої в патроні передньої бабки, можна запрограмувати підхід задньої бабки, захоплення і затиск деталі за оброблену частину, відхід в робочу позицію, обробку лівого кінця деталі, закріпленої в патроні субшпінделя задньої бабки.

Між бабками на напрямних укріплений супорт, на якому розміщено потужну фрезерувальну головку з вертикальним високошвидкісним, до 12 000 об./хв, шпінделем.

Оброблювальний центр оснащений інструментальним магазином на 36 місць, де розміщені швидкозамінні інструменти, заміна яких програмується. Через спеціальний допоміжний інструмент у шпінделі можна розмістити різці для токарної обробки з квадратним або прямокутним перерізом.

Фрезерувальна головка зі шпінделем може повертатися на заданий кут вправо і вліво як позиційно, так і з можливістю обробки під час повертання; може рухатися вгору й вниз, праворуч і ліворуч, на оператора і від нього (вздовж осей X, Y і Z) зі швидкістю робочої подачі або прискореним рухом, забезпечуючи таким чином обробку торців, поверхонь обертання, площин під заданим кутом, контурну обробку, свердління та чистову обробку поперечних отворів, осьових і позацентричних отворів у торці деталі, нарізання різьби, нарізання зубчастих вінців на деталі, розташованій як у правому, так і в лівому шпінделі, гравірувальні роботи.

Програмованими координатами вважаються: рухи вздовж осей X, Y та Z і оберти навколо них (див. рис. 3.46). Для програмного керування верстат оснащений пристроєм ЧПК «Siemens 840 D». Верстат може оснащуватися додатково револьверною головкою на 12 інструментів з керуванням від додаткового пристрою ЧПК. Під час програмування обробки за основну прийнято систему координат токарного верстата, в координатах якої розміщена фрезерувальна головка із власною системою координат. Особливості програмування наведені в [14].

Токарно-фрезерний оброблювальний центр «Vturn-X200» (Тайвань) оснащений пристроєм ЧПК «FANUK» 31i-A із

фрезерним шпінделем, частота обертання якого сягає до 9000 об./хв. У шпінделі можна встановлювати приводний (з автономним приводом) інструмент. Частота обертання приводного інструменту — до 18 000 об./хв. В інструментальному магазині

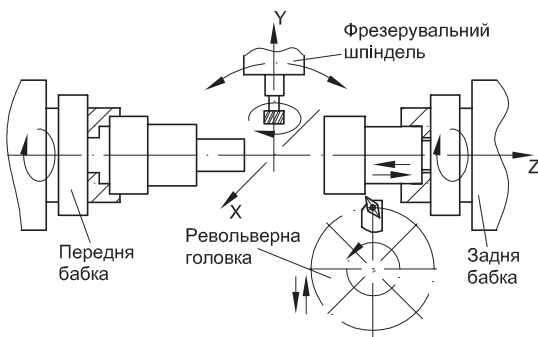


Рис. 3.46. Схема токарно-фрезерного оброблювального центру

розміщується 40 інструментів. Інструменти з 18 гнізд мають можливість автономного приводу обертання. Керовані координати: прискорені та робочі переміщення по осі X, Y та Z, координата C повороту навколо осі Z, координата A повороту фрезерної головки навколо осі X на кут $\pm 90^\circ$.

Токарна частина верстата — передня і задня бабка, їх шпінделі обертаються з тою ж частотою — 9000 об/хв. Задня бабка може рухатися вздовж осі Z за програмою. Через шпіндель передньої бабки можлива подача прутка, керована програмою.

Знизу від осі Z в деяких модифікаціях цього верстата встановлюють додатково револьверну головку на 9 інструментів. Це дозволяє вести обробку водночас у правому і лівому шпінделі — від фрезерного шпінделя і револьверної головки. Всього на верстаті можлива обробка за допомогою 49-ти інструментів.

Механізм подачі інструменту з магазину в шпіндель і зону різання передбачає його підготовку до введення в дію заздалегідь, що забезпечує час «від стружки до стружки» не більше 3 сек.

Верстат оснащений конвеєром для видалення стружки.

Відомий *токарно-шліфувальний верстат 1728С* Рязанського верстатозаводу з довжиною між центрами 1000, 2000 і 3000 мм. На верстаті інструментом з фрезерної головки (за аналогією до розглянутих верстатів) виконується: точіння, контурне фрезерування, нарізання зубчастих коліс, точіння фрезою, поперечне свердління і розточування, фрезерування торців, довбання в торцях різноманітних вибірок, фрезерування на діаметрі пазів і лисок, свердління під різними кутами до осі Z отворів. У шпінделі можлива установка шліфувального круга.

Розглянемо приклад програмування на сучасному багатofункціональному токарно-фрезерному верстаті «PUMA 400LMB» із пристроєм ЧПК «FANUK», оснащеному револьверною головкою на 16 інструментів, що має 8 гнізд під інструмент з автономним приводом, в яких передбачені осі обертання паралельно осям Z та X. За спеціальним замовленням може постачатись інструмент з віссю, розташованою під кутом до осі верстата. В комплект входять блоки для встановлення приводного інструменту в зазначені гнізда. Наприклад, в деталі обертання треба виконати радіальне (рис. 3.47, а) і торцеве (рис. 3.47, б) свердління.

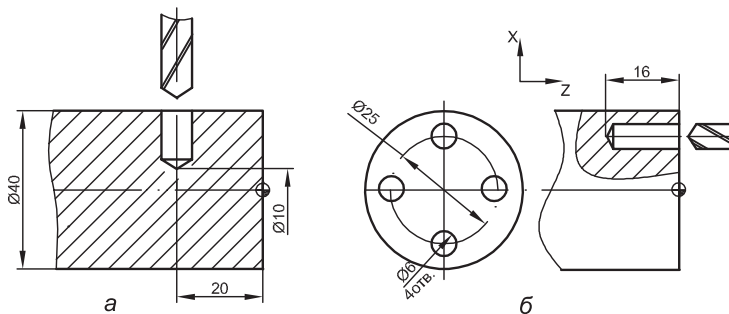


Рис. 3.47. Радіальне (а) та позacentрове (б) свердління на токарному центрі

Для випадку *a* вибираємо приводний інструмент зі шпінделем, перпендикулярним осі *Z*; для випадку *б* вибираємо приводний інструмент з віссю обертання шпінделя паралельно осі *Z*.

Для радіального свердління «прив'язку» по *Z* виконуємо торканням циліндричною частиною інструмента, що обертається, підрізаного «як чисто» торця. В значенні координати *Z* зміщенням нуля враховуємо радіус свердла. «Прив'язку» по *X* виконуємо царапанням зовнішнього діаметра за правилом (див. параграф 3.3). Програму поперечного свердління для ЧПК «FANUK» подано в табл. 3.17.

Таблиця 3.17

% 26; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-80;	Призначення початку координат деталі в правому торці на 80 мм від дзеркала патрона
N15 T1 01; (SVERDLO D6)	Виведення в робочу позицію свердла T1, встановленого в автономний шпіндель, перпендикулярний осі <i>Z</i> . Активізація його коректора 01
N20 G90 G0 X44 Z5;	Підведення свердла до деталі
N30 G97 M13 S2000 F0,2;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 G0 X44 Z20;	Підведення свердла в початок обробки
N50 G1 X10 F0,15 M8;	Свердління отвору Ø6 на глибину 15 (до Ø10)
N60 G0 X44 M9;	Виведення свердла з отвору
N70 M15;	Зупинка шпінделя з автономним приводом
N80 X200 Z200;	Відхід в позицію заміни інструмента
N90 M30;	Кінець програми

Розглянемо програмування обробки чотирьох отворів у торці деталі (рис. 3.47, б). «Прив'язку» свердла виконаємо торканням його вершини підрізаного в розмір торця і торканням циліндричною частиною свердла під час його обертання зовнішнього діаметра проточеної в розмір деталі (див. параграф 3.3). Програму обробки наведено в табл. 3.18.

Таблиця 3.18

% 27; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-70;	Призначення початку координат деталі в правому торці на 70 мм від дзеркала патрона
N15 T4 O4; (SVERDLO D6)	Виведення в робочу позицію свердла T4, встановленого в автономний шпіндель, паралельний осі Z. Активізувати його коректор O4
N20 G90 G0 X24 Z5;	Підведення свердла до деталі
N30 G97 M13 S2000 F0,15;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 G0 X25 Z2;	Підведення свердла в початок обробки
N50 G1 Z-16 M8;	Свердління отвору Ø6 на глибину 16
N60 G0 Z2;	Виведення свердла з отвору
N70 G0 X-25;	Перехід в діаметрально протилежну точку
N80 G1 Z-16 F0,15;	Свердління отвору Ø6 на глибину 16
N90 G0 Z2;	Виведення свердла з отвору
N100 M52;	Введення кутового програмування (координата C) обертів навколо осі Z
N110 G7.1 C20;	Введення циліндричної інтерполяції, C20 — радіус деталі
N120 C90 F5;	Поворот головного шпінделя на 90°, G0 не рекомендовано
N125 G7.1 C0;	Кінець циліндричної інтерполяції
N130 G1 Z-16 M8;	Свердління отвору Ø6 на глибину 16
N140 G0 Z2;	Виведення свердла з отвору
N150 G1 X-25 F1;	Перехід в діаметрально протилежну точку
N160 Z-16 F0,15;	Свердління отвору Ø6 на глибину 16
N170 G0 Z2;	Виведення свердла з отвору
N180 M53 M9;	Скасування кутового програмування «C», подачі ЗОР, головний шпіндель працює зі швидкістю різання
N185 M15;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N190 X200 Z200;	Відвід інструмента в позицію заміни
N200 M30;	Кінець програми

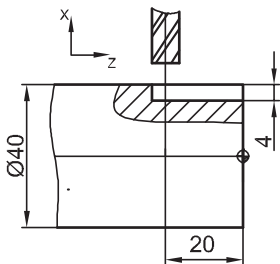


Рис. 3.48. Фрезерування шпонкового паза

Розглянемо програмування обробки шпонкового паза на деталі, зображеній на рис. 3.48, інструментом (шпонковою фрезою) з автономним приводом з віссю, перпендикулярною осі Z. «Прив'язку» шпонкової фрези виконаємо торканням її циліндричною частиною підрізаною в розмір торця і торканням її торця під час обертання зовнішнього діаметра проточеної в розмір деталі, як зазначено в параграфі 3.3.

Програму обробки наведено в табл. 3.19.

Таблиця 3.19

% 28; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-70;	Призначення початку координат деталі в правому торці на 70 мм від дзеркала патрона
N15 T4 04; (FREZA D8)	Виведення в робочу позицію фрези T4, встановленої в автономному шпінделі з віссю, паралельною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X44 Z5;	Підведення фрези до деталі
N30 G97 M13 S2000 F0,1;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 G0 X42 Z2 M8;	Підведення фрези в початок обробки
N50 G71 W1 R0,5;	Обробка паза з використанням токарного багатопрохідного чорнового поздовжнього циклу G71
N60 G71 P200Q201;	
N200 Z-20;	Опис оброблюваного контуру
N201 X32;	
N70 M15 M9;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N80 X200 Z200;	Відведення інструмента в позицію заміни
N90 M30;	Кінець програми

Для багатопрохідного фрезерування шпонкового паза використаємо токарний багатопрохідний чорновий цикл G71 (для пристрою ЧПК «FANUK»).

Розглянемо приклад фрезерування наскрізного ламаного паза шириною 8 мм на деталі «втулка» (див. рис. 3.49). До початку обробки на втулці для входу кінцевої фрези просвердлено отвір $\varnothing 8$. Для роботи використовуємо шпіндель з автономним приводом, направлений перпендикулярно осі Z. Головному шпінделю верстата задамо рух C — обертання навколо осі Z, а супорту — рух вздовж осі Z. Обробку виконаємо в послідовності:

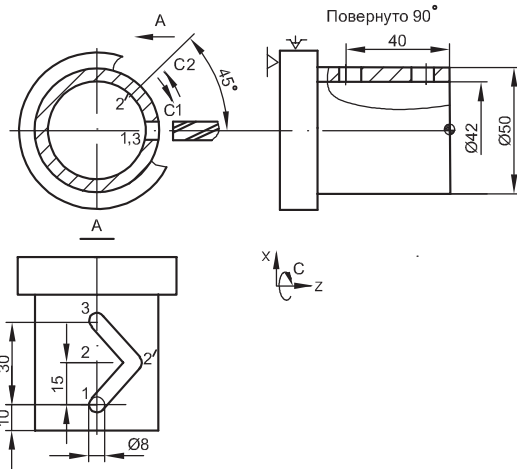


Рис. 3.49. Циліндрична інтерполяція. Фрезерування ламаного паза

- 1) початок координат призначити в правому торці;
- 2) виставити деталь на верстаті так, щоб фреза $\varnothing 8$ була концентрична отвору $\varnothing 8$, а координата Z при цьому — 10. Відвести фрезу, перевести головний шпіндель верстата в режим обертання навколо осі Z з круговою подачею;
- 3) задати фрезі через автономний привід необхідну швидкість різання;
- 4) задати супорту поздовжній хід в точку 1 (рис. 3.49);
- 5) підвести фрезу на глибину різання, задати супорту поздовжній хід в точку 2, а головному шпінделю верстата — поворот за стрілкою годинника на 45° . Така інтерполяція називається *циліндричною*. Відбудеться фрезерування паза на відрізку 1—2';
- 6) наступним кадром запрограмувати переміщення супорта в кінцеву точку 3 і водночас поворот головного шпінделя верстата на 45° проти стрілки годинника, тобто у зворотному напрямі;
- 7) відвід інструмента, відміна циліндричної інтерполяції, повернення системи у вихідне положення.

Програму обробки деталі наведено в табл. 3.20.

Таблиця 3.20

% 31; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-80;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N15 T4 04; (FREZA D8)	Виведення в робочу позицію фрези T4, встановленої в автономному шпінделі з віссю, паралельною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X54 Z5;	Підведення фрези до деталі
N40 G0 X52 Z-10;	Підведення фрези в початок обробки
N50 M0;	Проконтролювати розмір Z10
N30 G97 M13 S2000 F0,12;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 M52;	Задання роботи головного шпінделя в режимі кругової подачі навкруг осі Z
N50 G7.1 C25;	Введення циліндричної інтерполяції, C25 — радіус заготовки
N60 G94 F60;	Задання хвилинної подачі
N70 G1 X38 M8;	Заведення інструмента в отвір робочим ходом
N80 G7.1 C45 Z25;	Фрезерування паза на відрізьку 1—2'
N90 G7.1 C-45 Z40;	Зміна напрямку обертання головного шпінделя, фрезерування паза на відрізьку 2'—3
N100 X52 F1 M9;	Виведення фрези по X
N115 M15;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N110 G7.1 C0;	Скасування циліндричної інтерполяції
N120 M53 M5;	Перехід до обертання головного шпінделя в основному режимі — різання
N130 X200 Z200;	Відхід в позицію заміни інструмента
N140 M30;	Кінець програми

Розглянемо *полярну* інтерполяцію на прикладі обробки шестигранника — торцевої площини деталі (рис. 3.50, а). Робочі рухи інструментів:

— головний шпіндель обертається навколо осі Z з круговою хвилинною подачею за стрілкою годинника;

— кінцева фреза обертається зі швидкістю різання від автономного шпінделя з віссю, паралельною осі Z, і рухається вздовж осі X з робочою подачею, яка автоматично узгоджується з круговою подачею головного шпінделя: за 30° повороту головного шпінделя фреза проходить відстань до мінімальної точки по X, зфрезеруюючи циліндричну рі-

зальною поверхнею площину першої половини грані. За наступні 30° повороту фреза по X відходить до максимально віддаленої точки, формуючи при цьому другу половину першої грані шестигранника. Перед цим по осі Z виконано подачу на глибину фрезерування. Для визначення повної траєкторії руху інструмента профіль шестигранника потрібно розбити на 12 відрізків вузловими (опорними) точками, в яких змінюється напрям руху фрези по осі X.

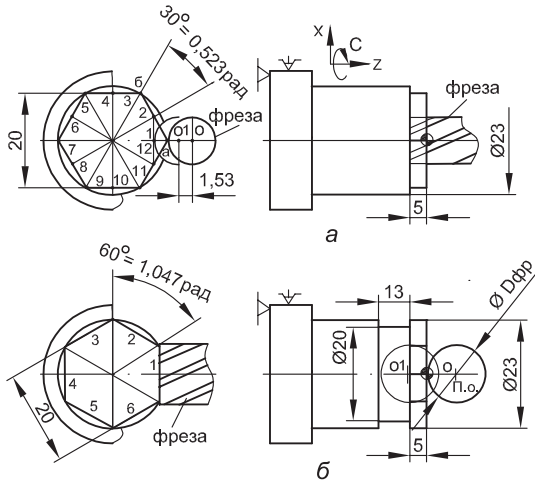


Рис. 3.50. Полярна інтерполяція.
Фрезерування шестигранника

Обробка починається в точці «а», фреза максимально віддалена від осі Z ($X = \varnothing 23$). Щоб обробити грань «а—б», потрібно фрезою робочим рухом переміститися до $\varnothing 20$ ($O—O1 = 1,53$ на рис. 3.50, а) з одночасним поворотом головної шпінделя на 30° , або $0,523$ рад. (поворот програмується в радіанах: $360^\circ = 6,28$ рад., тоді $30^\circ = 0,523$ рад.).

При подальшому обертанні шпінделя фреза має відійти по X до початкової, $\varnothing 23$, позиції, а шпіндель за цей час — повернутися ще на 30° ($0,523$ рад.). Таким чином буде сформовано першу грань шестигранника «а—б». При цьому «а» перейде в точку позиції 11, а «б» стане на місце «а». Для формування наступної грані потрібно повторити ті самі рухи в тій самій послідовності, і так сформувати всі шість граней. Програму обробки (% 42) подано в табл. 3.21.

Таблиця 3.21

% 42; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-70;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N20 T4 04; (FREZA D12)	Виведення в робочу позицію фрези T4, встановленої в автономному шпінделі з віссю, паралельною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X30 Z5;	Підведення фрези до деталі
N30 G97 M13 S2000;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 M52;	Задання роботи головного шпінделя в режимі кругової подачі навколо осі Z
N60 G94 F60;	Задання хвилинної подачі
N70 G0 G42 X23 Z-5 M8;	Підведення фрези в початок обробки, ввід корекції праворуч
N80 G12.1;	Введення полярної інтерполяції
N90 X20 C0,523;	Фреза в точці 1
N95 X23 C1,046;	Фреза в точці 2
N100 X20 C1,569;	Фреза в точці 3
N105 X23 C2,092;	Фреза в точці 4
N110 X20 C2,615;	Фреза в точці 5
N115 X23 C3,138;	Фреза в точці 6
N120 X20 C3,661;	Фреза в точці 7
N125 X23 C4,184;	Фреза в точці 8
N130 X20 C4,707;	Фреза в точці 9
N135 X23 C5,23;	Фреза в точці 10
N140 X20 C5,753;	Фреза в точці 11
N145 X23 C6,28;	Фреза в точці 12 (1)
N150 G0 X37;	Відвід фрези по X
N160 G0 Z10;	Відвід фрези по Z
N165 G40;	Відміна корекції радіуса фрези
N155 M15 M9;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N160 G13.1;	Відміна полярної інтерполяції
N165 G53;	Переведення головного шпінделя в основний режим роботи (зі швидкістю різання)
N180 G0 X200 Z200;	Відхід в точку зміни інструмента
N190 M30;	Кінець програми

Якщо конструктивно на деталі після шестигранника є канавка діаметром, що дорівнює або менший за розмір шестигранника, і шириною не менше радіуса фрези, можлива ще одна схема обробки (рис. 3.50, б). У такому разі обробка

виконується торцем циліндричної фрези зі шпінделя з автономним приводом, вісь якого перпендикулярна осі Z. Для цього діаметр фрези має бути не меншим ширини грані, в нашому прикладі — 11,5 мм. Вибираємо фрезу діаметром 14 мм. Ширина канавки на деталі — 8 мм, що задовольняє необхідну умову.

Робочий рух фрези вздовж осі Z починається з точки на відстані радіуса фрези від торця деталі, глибина фрезерування по $Xt = \frac{D_0 - B}{2}$, де D_0 — діаметр охоплюючого кола шестигранника; B — розмір шестигранника.

Робочий хід фрези $L = R_{\text{фр}} + H + b$, де $R_{\text{фр}}$ — радіус фрези (7 мм), H — висота шестигранника (5 мм), b — перебіг фрези — 1–2 мм.

Після робочого ходу виконується відвід фрези по X на величину, більшу за t , повернення в початок обробки по Z. Далі виконується позиційний поворот головного шпінделя на 60° (1,046 рад.) і фреза повторює робочий рух формування другої грані шестигранника. Це повторюється 6 раз. У табл. 3.22 наведено програму такої обробки, % 45.

Програмування токарної обробки також можливе з використанням *CAD/CAM-систем*. У бібліотеці САМ-системи є набори типових елементарних переходів, в яких передбачено алгоритми обробки на токарних верстатах, що відповідають циклам, закладеним у пристроях ЧПК. Але оскільки обробка на двокоординатних токарних верстатах не така складна, досвідчений програміст, користуючись циклами і комп'ютерними програмами типу «Cimco Edit», розробляє керуючі програми доволі оперативно й якісно, не потребуючи допомоги САМ-системи. Тому ці системи тут поки що не такі популярні, порівняно з фрезерною обробкою.

Розвиток токарного обладнання, впровадження у виробництво токарно-фрезерувальних центрів, верстатів з кількома револьверними головками поставили такі нові завдання, як синхронізація обробки, програмування обробки інструментами з автономним приводом, керування люнетами, задньою бабкою, головним шпінделем і навпротишпінделем тощо. Це зумовлює потребу в удосконалюванні системи програмування для токарних верстатів через САМ-системи. На токарно-фрезерувальних оброблювальних центрах, де сумісно програмується токарна і фрезерувальна обробка, використовується одночасно токарний і фрезерувальний модуль САМ-системи.

Таблиця 3.22

% 45; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUC»
N10G10 P0 Z-70;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N20 T4 04; (FREZA D14)	Виведення в робочу позицію фрези T4, встановленої в автономному шпінделі з віссю, перпендикулярною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X30 Z15;	Підведення фрези до деталі
N30 G97 M13 S2000;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 M52;	Задання роботи головного шпінделя в режимі кутового програмування навколо осі Z
N50 G0 X20 Z10 M8;	Підведення фрези в початок обробки
N60 Z-7 F120;	Фрезерування першої грані
N62X25 F1000;	Відвід фрези по X
N64 Z10;	Підведення фрези в початок обробки по Z
N70 G7.1 C1.046;	Програмування циліндричної інтерполяції. Повернути головний шпіндель на 60° (1,046 рад.)
N80 Q50-64;	Повтор кадрів, фрезерування другої грані
N70 G7.1 C2,092;	Програмування циліндричної інтерполяції. Повернути головний шпіндель на 120°
N80 Q50-64;	Повтор кадрів, фрезерування третьої грані
N70 G7.1 C3,138;	Введення циліндричної інтерполяції. Повернути головний шпіндель на 180°
N80 Q50-64;	Повтор кадрів, фрезерування четвертої грані
N70 G7.1 C2,092;	Введення циліндричної інтерполяції. Повернути головний шпіндель на 240°
N80 Q50-64;	Повтор кадрів, фрезерування п'ятої грані
N70 G7.1 C2,092;	Введення циліндричної інтерполяції. Повернути головний шпіндель на 300°
N80 Q50-64;	Повтор кадрів, фрезерування шостої грані
N70 G7.1 C2,092;	Введення циліндричної інтерполяції. Повернути шпіндель на 360°, система в початковому стані
N155 M15 M9;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N160 G13.1;	Відміна полярної інтерполяції
N165 G53;	Переведення головного шпінделя в основний режим роботи (зі швидкістю різання)
N180 G0 X200 Z200 M5;	Відхід в точку заміни інструмента
N190 M30;	Кінець програми

3.16. Особливості нормування обробки на верстатах з ЧПК

Одним з основних критеріїв оцінювання досконалості технологічного процесу обробки деталі на верстаті з ЧПК є норма часу на обробку. Цю норму покладено також в основу для призначення зарплати оператору, розрахунку коефіцієнта завантаження обладнання та визначення його продуктивності.

Розрахункова норма часу (хв) на обробку однієї деталі (трудомісткість) визначається за відомими формулами:

Штучний час

$$T_{\text{шт}} = T_c + T_{\text{в.з}} + T_{\text{обс}}; \quad (3.8)$$

Штучно-калькуляційний час

$$T_{\text{шт.к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.з}}}{n}, \quad (3.9)$$

де T_c — стрічковий час — час обробки деталі від першого до останнього кадру програми. Легко визначається оператором або наладчиком за годинником чи секундоміром під час обробки першої деталі. (Назва походить від слова «стрічка»: раніше керуюча програма заносилася в ПЧПК через паперову стрічку, на якій отворами, розташованими за спеціальним двоїчним кодом, був нанесений текст програми.)

$$T_c = T_o + T_{\text{м.д}}, \quad (3.10)$$

де T_o — сумарний технологічний час операції по переходах, хв (час різання). Його необхідно визначати, щоб оцінити якість різального інструмента щодо стійкості, для розрахунку періодичності заміни, вибору інструмента по геометрії та різальному матеріалу;

$T_{\text{м.д}}$ — сума машинного допоміжного часу обробки, хв (підведення, відвід, поворот, заміна інструмента тощо); зазначена у паспорті верстата, залежить від його технічних даних та розмірів оброблюваної деталі.

Якщо в керуючій програмі передбачено зупинку на кожну деталь для додаткових дій (вимірювання, контроль якості оброблюваної поверхні, різальної крайки інструмента тощо), цей час теж відноситься до $T_{\text{м.д}}$. Він характеризує ступінь втручання оператора в дії верстата. Періодичність та обсяг цих втручань потрібно знати, щоб оцінити можливість обслуговування оператором більше ніж одного верстата;

$T_{в.з}$ — час на встановлення та знімання деталі з верстата, хв. Визначається за діючими нормативами, залежно від маси заготовки, або через хронометраж на конкретну деталь, щоб врахувати можливі особливості конструкції деталі або оснащення.

$T_c + T_{в.з} = T_o$ — оперативний час;

$T_{обс}$ — час на технічне обслуговування робочого місця, особисті потреби та відпочинок оператора, хв.

До складу затрат часу $T_{обс}$ входять:

— організаційне обслуговування — огляд, розігрів і обкатка ПЧПК та гідросистеми верстата (за її наявності), опробовування обладнання, отримання необхідного інструменту, змащування й очищення верстата упродовж та наприкінці зміни, здавання деталей контролеру;

— технічне обслуговування — заміна зношеного інструменту та ввід корекції на його довжину, регулювання і підналадка верстата впродовж зміни, видалення стружки в процесі роботи і под.

Визначається $T_{обс}$ у відсотках від оперативного часу, T_o , і зазвичай становить 10–15 % T_o ;

$T_{п.з}$ — підготовчо-заклучний час, призначається на всю оброблювану партію. Затрати часу $T_{п.з}$ складаються:

— з часу на комплекс постійно здійснюваних робіт: отримання оператором завдання на роботу й інструктаж майстром або наладчиком, установка робочих органів верстата і затискних пристосувань у вихідне положення, встановлення на моніторі потрібної керуючої програми. Згідно з нормативними даними це становить 10–15 хв. Якщо необхідно виконати ще якісь додаткові роботи, вони вираховуються дослідно-статистичним шляхом і вводяться через поправку;

— з часу на виконання налагоджувальних робіт залежно від конструкції верстата та оброблюваної деталі. Як правило, визначається хронометражем. Якщо корекції інструментів здійснюють лише в ході обробки першої деталі, то цей час теж зараховують у $T_{п.з}$;

n — кількість деталей в партії.

Нормування праці при багатOVERстатному обслуговуванні залежить від стрічкового часу обробки деталі та витрат часу на її налагодження. Вираховується майстром або бригадиром через відповідні коефіцієнти.

3.17. Організація робочого місця. 5S. Система якості на робочому місці

Робоче місце оператора — це окрема виробнича ділянка, закріплена за одним або двома (у разі двозмінної роботи) робітниками. Його раціональна організація підвищує ефективність використання верстата з ЧПК, сприяє виконанню роботи з меншими затратами сил, створює безпечніші й комфортніші умови праці. Організація робочого місця на верстаті з ЧПК має забезпечити:

- безперебійне постачання заготовок;
- безперебійний вивіз готових деталей;
- чітко організоване постачання необхідного інструменту;
- ремонтне обслуговування верстата без негативного впливу на роботу оператора;
- раціональну організацію робочого місця з точки зору дій, виконуваних оператором чи наладчиком, що значною мірою залежить від самоорганізації працівника. Наприклад, щоб не виконувати зайвих рухів, часто застосовуваний інструмент має розташовуватися на одному й тому самому місці постійно, на відстані витягнутої руки.

Рідше вживані інструменти та пристосування мають міститися в шафі чи на стелажі, розкладені згідно з власною системою виконавця і у справному, придатному для використання стані. Там же, в шафі, повинні зберігатися вимірвальні засоби, елементи для установки і кріплення деталей, технічна документація, програмоносії з програмами, якщо вони не записані на жорсткий диск пристрою ЧПК. Габаритні пристосування розміщуються на стелажі у придатному для застосування стані. Оброблювальні центри мають бути оснащеними спеціальними стаціонарними магазинами у вигляді тумби з гніздами під зібраний з базовими оправками різальний інструмент, який тимчасово не використовується.

На рис. 3.51 наведено приклади раціонально спланованих робочих місць:

- a* — для свердлильно-фрезерно-розточувального центру 2204ВМФ4;
- б* — для свердлильного верстата з ЧПК 2Р135Ф2;
- в* — для токарного верстата з ЧПК 16К20Ф3;
- г* — для фрезерного верстата з ЧПК 6Р13Ф3.

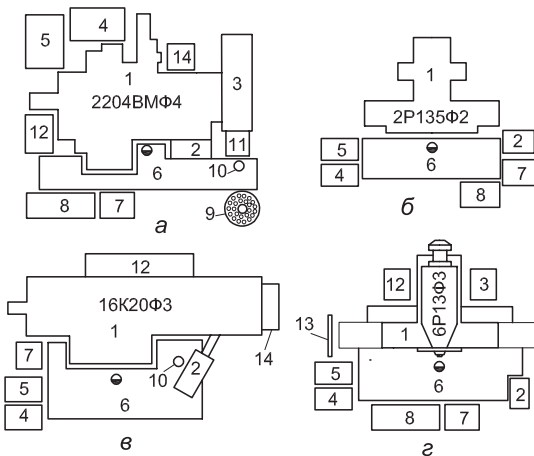


Рис. 3.51. Планування робочого місця оператора

зберігання налагоджених інструментальних блоків, 10 — підйомно-поворотний стілець, 11 — комп'ютер, 12 — тара для стружки, 13 — захисний екран, 14 — ємність для змащувально-охолоджувальної рідини.

На плануваннях показано робочі місця для обслуговування оператором одного верстата, що характерно для малосерійного виробництва. Якщо обслуговуються два верстати, другий розташовується навпроти, стелаж для оснащення, столик для складання інструментальних блоків і тумба для зберігання відпрацьованих налагоджених блоків (7, 8, 9 на рис. 3.51, а) можуть бути спільними. Тара для заготовок і деталей для обох верстатів має розташовуватися ближче до доріжки руху транспортного засобу. Залежно від призначення другого верстата (наприклад, чистова обробка деталей з першого) переглядається кількість і вміст тари: № 1 — чорнові заготовки; № 2 — деталі з першого верстата, вони ж заготовки для другого; № 3 — деталі після обробки на другому верстаті. Конструкція тари залежить від оброблюваних деталей: для габаритних виливок — дерев'яний піддон; для дрібних деталей у великій кількості — металевий або пластмасовий контейнер; для довгомірних деталей типу ходових валів або гвинтів — рознесені на довжину заготовок козлики, інші можливі конструкції.

1 — верстат, 2 — пристрій ЧПК, 3 — електрошкаф, 4 — піддон або контейнер для готових деталей, 5 — піддон або контейнер для заготовок, 6 — дерев'яна решітка (пайол) під ноги, 7 — інструментальний столик-шкаф для зберігання інструментальних блоків, 8 — стелаж для оснащення, 9 — спеціальна тумба для

Постійне прагнення та дії щодо удосконалення й поліпшення праці на робочому місці зумовлюють відповідні зміни в поведінці та вчинках працівника, що поширюються на всі сторони його життя. Саме з цього в Японії починалася національна, тепер всесвітньо відома, філософія **кайдзен** (кай — зміна, дзен — на краще) або, як її ще називають, «**правила 5S**» — за першими літерами японських слів:

Seiri — організованість (видаляти з робочого місця та знищувати непотріб);

Seiton — акуратність — усе потрібне доступне з першого руху;

Seiso — чистота — на робочому місці, як у власній домівці;

Seiketsu — стандартизація — менше різноманітності в діях та оснащенні, по можливості уникати оригінальних пристроїв та інструментів;

Shitsuke — дисципліна — робити зазначене щоденно.

Ефективність праці оператора верстатів з ЧПК можна істотно підвищити завдяки багатOVERстатному обслуговуванню. Це передусім як мінімум два верстати однакового призначення. Наприклад, на двох токарних верстатах з ЧПК обробку деталі розділено на дві операції: з однієї і з другої сторони. Завдання технолога-програміста — так розподілити оброблювані поверхні, щоб трудомісткість обробки з обох сторін була приблизно однаковою. Робота оператора в ході обслуговування цих двох верстатів — установити і зняти заготовку на першому, переустановити її для обробки на другий верстат, зняти з другого верстата готову деталь. Залежно від стрічкового часу обробки оператор може обслуговувати і більше — 3, 4... верстати.

У разі одночасної роботи на двох оброблювальних центрах розподіл обсягу робіт між ними виконують за правилом — чорнова обробка (перший ОЦ), чистова обробка (другий ОЦ). Як і в першому випадку, завдання технолога-програміста — наблизити трудомісткість обробки на кожному до однакового значення.

В малосерійному виробництві оператор-багатOVERстатник інколи суміщає роботу на декількох верстатах з ЧПК різного призначення (токарному, фрезерному, свердлильному).

Щоб забезпечити безперебійну роботу обладнання, не відволікати оператора від прямих обов'язків обробки деталей, автономно, без його участі, збирають з базовими оправами, вимірюють і постачають на робоче

місце різальний інструмент для наступної деталі, крипильне та установче оснащення, документацію, програмоносій із програмою. Постачають змащувальні та змащувально-охолоджувальні засоби, забирають з робочого місця стружку, готові деталі, відпрацьований різальний та вимірювальний інструмент, відпрацьоване оснащення тощо. Організовує виконання цих робіт майстер дільниці або наладчик за замовленням оператора або того ж наладчика. При плануванні багатостатного робочого місця обов'язково враховують рух оператора між обслуговуваними верстатами.

На сучасному виробництві для удосконалення організації праці пристрої ЧПК обладнують додатковим блоком, що дає змогу в режимі реального часу моніторити процеси на робочому місці. На комп'ютері керівництва для цього встановлено програму «Моніторинг онлайн». Оператор, як і майстер чи наладчик, натиснувши відповідну клавішу, може внести свою інформацію про стан на робочому місці по годинно, наприклад: закінчились заготовки, немає програми, триває наладка, іде цикл обробки, контроль, простій, аварія тощо. Отримані сигнали служать для оперативного втручання відповідних служб і виправлення ситуації. Крім того, дані моніторингу використовуються для аналізу організації виробничого процесу в цілому на підприємстві, отримання статистичних даних, удосконалення слабких ланок. Через підключення до мережі Інтернет процес на робочих місцях можна моніторити з усіх точок земної кулі.

Зазвичай на верстаті з ЧПК працюють дві людини: наладчик і оператор. Наладчик відповідає за стан обладнання, його періодичний огляд, за вибір і підготовку до роботи інструменту, пристосувань, ввід та відпрацювання разом із технологом-програмістом керуючої програми, наладку, переналадку, підналадку верстата, проведення інструктажу оператора щодо обробки конкретної деталі. Оператор виконує оперативну роботу і контролює роботу верстата. Досвідчений оператор може самостійно розроблювати, вводити та відпрацьовувати на верстаті керуючі програми на прості деталі. Обоє дотримуються загальних правил безпеки щодо роботи на металорізальних верстатах, а також додаткових правил безпеки під час роботи на верстатах з ЧПК, викладених в Додатку 1.

Система якості на робочому місці

Сучасні підприємства, щоб підтвердити спроможність виготовляти продукцію задекларованої якості, утриматись або завоювати ринок збуту, сертифікують свою систему менеджменту якості (СМЯ) на відповідність вимогам міжнародного стандарту ISO 9001. Виконання цих вимог скероване на беззаперечне забезпечення якості виробу за будь-яких обставин у процесах — від узгодження замовлення на виробництво до гарантійного терміну експлуатації. Вимоги до організації робочого місця верстатника, втім числі обладнання з ЧПК, згідно зі стандартом ISO 9001 фіксуються в Керівництві з якості підприємства і періодично перевіряються на відповідність через внутрішній аудит, незалежним аудитором організації, що видала сертифікат, а також можуть перевірятися представниками замовника продукції.

За ISO 9001 обробка деталі на верстаті, як і всі процеси СМЯ, розглядається як процес, що має вхід — заготовка (деталь з попередньої операції обробки) і вихід — оброблена на верстаті деталь, яка є входом або заготовкою для наступної операції (рис. 3.52).

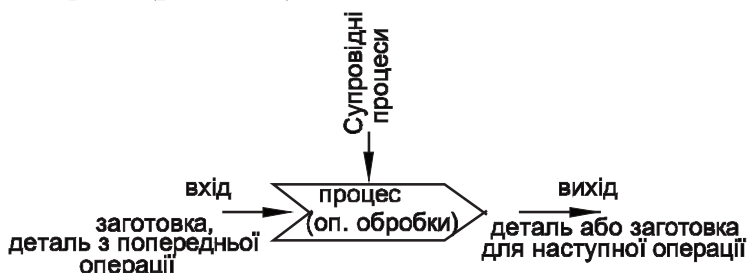


Рис. 3.52. Процесний підхід до обробки деталі

Розглянемо цей процес детальніше. Плануючи обробку деталі, оператор вважає виконувача наступної операції своїм замовником — зацікавленою стороною, тому, крім вимог, зазначених в карті наладки, іншій супровідній документації, він має знати його очікування. Це можуть бути, наприклад, підвищені вимоги до якоїсь з оброблюваних поверхонь, додаткова інформація з базування деталі при обробці, час передачі першої деталі для виконання налагоджувальних робіт, інші дані, які можуть знизити ризик виникнення браку, поліпшити або прискорити наступну обробку. По-

передня операція обробки є постачальником для даної, тому з нею у оператора також повинен бути обмін інформацією аналогічного змісту тільки вже з позиції замовника для поліпшення результатів обробки на своїй операції. Таке спілкування з аналізом результатів та відповідними корегуючими заходами сприяє постійному удосконаленню процесу виготовлення деталі, підвищенню її якості. Процес повинен відбуватися систематично, це відповідатиме наведеному в ISO 9001 циклу Демінга–Шухарта PDCA (див. рис. 3.53):

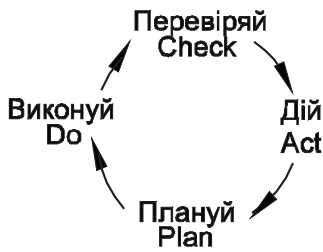


Рис. 3.53. Цикл Демінга–Шухарта

Плануй (plan) — встановлюй цілі, покращуй процес, узгоджуй заплановане із замовником, уточнюючі вимоги до постачальника;

Виконуй (do) — виконуй заплановане;

Перевірй (check) — контролюй деталі на відповідність вимогам, виявляй відхилення, аналізуй процес з метою їх усунення;

Дій (act) — усувай причини відхилень, поліпшуй процес виготов-

лення в наступному циклі PDCA і так далі безперервно.

Таке спілкування між суміжними операціями координує процес в часі, дозволяє зменшити або й ліквідувати простой чи перевантаження операцій. В Японії для цього застосовується спеціальна система оповіщення **канбан** — це коли робітник сигналізує в один із способів (карткою, світловим або звуковим сигналом) на попередню операцію про закінчення обробки партії деталей і у відповідь отримує наступну партію. Канбан є елементом створеної також в Японії прогресивної системи організації виробництва GIT (Gustin Time) — точно в строк, завдяки якій точно дотримуються терміни замовлення, а виробництво звільнене від зайвих запасів — обсяг незавершеної продукції мінімальний. З іншого боку, така система ставить жорсткіші вимоги до якості та надійності всіх задіяних у виробництві продукту процесів.

На робочому місці на якісний вихід процесу впливають (рис. 3.52):

- заготовка (коливання припуску, властивостей оброблюваного матеріалу тощо);

- супровідні процеси: підготовка технологічної документації, розробка КП, підготовка верстата, оснащення,

різального, допоміжного та вимірювального інструменту, кваліфікація та навчання верстатника, підтримка в належному стані інфраструктури та мікроклімату (температура, вологість, рівень забруднення повітря, пил, освітлення, шум тощо), формування робочого колективу з урахуванням психологічної сумісності, спільних інтересів тощо.

Крім того, верстатник має бути свідомим корисності продукції, яку випускає підприємство (і він до цього причетний), бути обізнаним, знати і поділяти політику й цілі підприємства щодо якості. Самі політика і цілі оприлюднюються через паперовий носій, в інший спосіб та доступні кожному.

Верстатник має знати і виконувати вимоги Керівництва з якості підприємства стосовно свого робочого місця:

- документація на оброблювані деталі повинна бути актуальна на момент їх виготовлення (на кресленні є відповідна помітка, керуюча програма, карта наладки та, за потреби, інша документація також актуалізовані);

- різальний та допоміжний інструмент повинен відповідати карті наладки, бути придатним для роботи;

- оснащення має бути справним, відповідати вказаному в карті наладки, за потреби — атестованим на технологічну точність;

- обов'язковим є свідчення того, що верстат, на якому відбувається оброблення, своєчасно проходить необхідні огляди та ремонти, а якщо операція фінішна, з підвищеними вимогами до точності обробки, верстат повинен бути атестованим на технологічну точність відповідно до встановленого графіка;

- контрольно-вимірювальний інструмент або прилади, що застосовуються, повинні бути калібровані або повірені в органах Держстандарту, мати відповідну позначку (наліпка на штангенциркулі чи мікрометрі з датою придатності, запис в паспорті тощо). Якщо показання вимірювального засобу викликають сумнів, його треба негайно віддати на перевірку в відповідну лабораторію підприємства чи показати контролеру;

- перед початком роботи необхідно отримати інструктаж майстра або наладчика, узгодити сумнівні моменти обробки, ще раз переконатися у відповідності оброблюваних заготовок їх технічним вимогам;

— першу деталь з партії обов'язково потрібно здати контролеру, приступити до обробки партії після його дозволу, за потреби — внести поправки;

— в процесі обробки оператор повинен розділяти деталі відповідно до їх статусу: заготовки, готова придатна продукція, браковані деталі, що підлягають виправленню або переведенню в інший клас, остаточний брак. Для остаточно забракованих деталей має бути спеціальний ізолятор браку, ключі від якого знаходяться в майстра. Браковані деталі відокремлюються і поміщаються в ізолятор браку негайно після їх виявлення;

— рівень кваліфікації верстатника повинен відповідати складності виконуваної роботи. Для цього на підприємстві діє система підвищення кваліфікації персоналу: навчання в робочий час у кращих працівників заводу, заняття з ІТР, відрядження на інші спеціалізовані підприємства, курси підвищення кваліфікації тощо. Система фахової підготовки має задовольняти як потреби виробництва, так і побажання працівника;

— мікроклімат і психологічна обстановка на робочому місці повинні бути комфортними, максимально сприяти творчому підходу до виконуваної роботи наладчика, технолога-програміста та оператора;

— виконуючи розглянуті вище правила 5S, оператор постійно покроково покращує свою діяльність на робочому місці, поліпшуючи організацію роботи, забезпечуючи чистоту та зручність облаштування робочого місця, якість оснащення та інструменту, удосконалюючи режими обробки; отримані здобутки він фіксує в карті наладки через наладчика чи технолога-програміста;

— верстатник має брати до уваги інформацію адміністрації про вигоду, отриману від своєчасно і якісно виконаної роботи, чи негативні наслідки від її невиконання.

Робоче місце верстатника — це та основна точка, де створюється якість продукції. Саме тут, а не в кабінетах начальників, як вважають, на жаль, багато менеджерів виробництва, вирішуються питання підвищення рівня якості. Доведено, що проблему найкраще можна розв'язати на місці, де вона виникла, тому, наприклад, в тій же Японії існує таке поняття, як робоче місце GEMBA, сутність якого полягає в тому, що менеджери різного рівня повинні постійно моніторити виробництво своєю присутністю на робочих міс-

цях, персонально спілкуватися з працівниками, верстатниками, вирішувати виниклі проблеми безпосередньо на місці і за участю робітників. Звичайно, розв'язання складних проблем може переноситись на засідання і технічні наради, через виконання спеціально розроблених заходів, але існування таких проблем зазвичай також виявляється через робоче місце ГЕМВА. Цю можливість мають використовувати працівники-верстатники для удосконалення та поліпшення виробничого процесу на робочому місці, за який вони відповідають персонально.

Контрольні запитання

- 1. Назвіть відомі Вам способи установки та закріплення деталі на токарному верстаті.*
- 2. Як вибрати необхідний інструмент, призначити режими обробки?*
- 3. Що вносять до карти наладки?*
- 4. Назвіть системи координат для токарного верстата з ЧПК.*
- 5. Охарактеризуйте необхідні умови для знімання фасок через функцію G1.*
- 6. Що таке кругова інтерполяція, які її можливості залежно від способу задавання?*
- 7. Охарактеризуйте можливості нарізання різьби через функцію G33.*
- 8. Назвіть відомі Вам службові функції. Наведіть приклади застосування.*
- 9. Напишіть формат та покажіть схему рухів циклів G27 і G29.*
- 10. Напишіть формат та покажіть схему рухів циклів G28 і G39.*
- 11. Напишіть формат та покажіть схему рухів циклів G60 і G61.*
- 12. Напишіть формат та покажіть схему рухів циклів G62 і G68.*
- 13. Напишіть формат та покажіть схему рухів циклів G66 і G67.*
- 14. Прочитайте технологічний регламент обробки на верстаті з ЧПК деталі з рис. 2.32 та програму її обробки %40. Дайте пояснення кожного кадру.*
- 15. Як програмується обробка багатозахідної різьби?*
- 16. Напишіть формат кадру та покажіть схему рухів циклів G65, G69 та G70.*
- 17. Напишіть формат кадру та покажіть схему рухів циклів G82, G83 та G84.*

18. Прочитайте програму %42, прокоментуйте призначення команд.

19. Назвіть особливості поперечного та позацентрального свердління на токарному верстаті інструментами з автономним приводом.

20. Охарактеризуйте особливості фрезерування на токарному верстаті інструментами з автономним приводом.

21. Назвіть складові стрічкового часу обробки деталі.

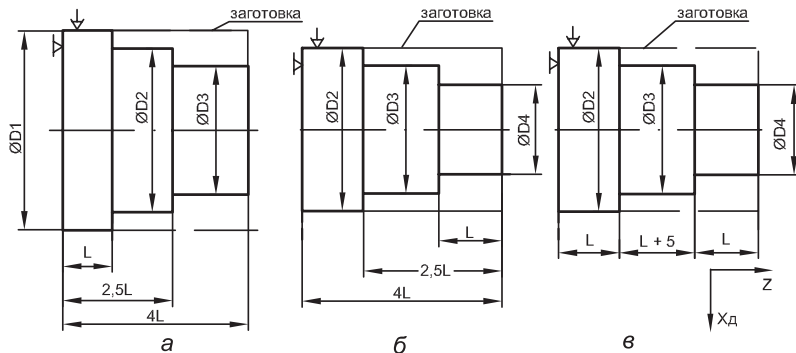
22. Охарактеризуйте додаткові вимоги техніки безпеки, які необхідно виконувати оператору верстатів з ЧПК.

23. Опишіть особливості організації робочого місця на верстаті з ЧПК.

24. Сформулюйте правила 5S.

Завдання для самостійних занять

Завдання 3.1. Користуючись даними табл. 3.1.1 для свого варіанта, призначте початок координат для кожного випадку та розробіть програму обробки деталей, зображених на рисунку. Знайдіть та поясніть різницю між рис. а, б і в. Перед цим повторіть матеріал підручника з параграфів: 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.

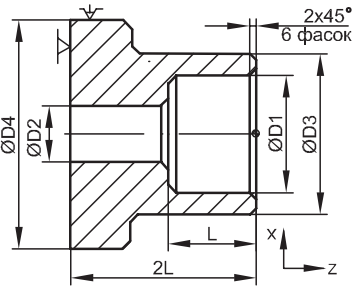


Системи координат. Лінійне переміщення

Таблиця 3.1.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D1	70	75	80	65	60	85	70	75	80	85	70	80
D2	65	70	75	60	55	80	65	70	75	80	65	75
D3	60	65	70	55	50	75	60	65	70	75	60	70
D4	55	60	65	50	45	70	55	60	65	70	55	65
L	15	16	17	19	20	21	27	23	17	19	21	27

Завдання 3.2. Користуючись даними табл. 3.2.1 для свого варіанта, розробіть програму остаточного проходу обробки зовнішньої та внутрішньої поверхні деталі, зображеної на рисунку. Застосуйте команди знімання фаски і лінійної інтерполяції. Перед цим повторіть параграфи 3.7 і 3.8 та докладно розгляньте програми обробки деталей, зображених на рис. 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13: %6; %21; %40.

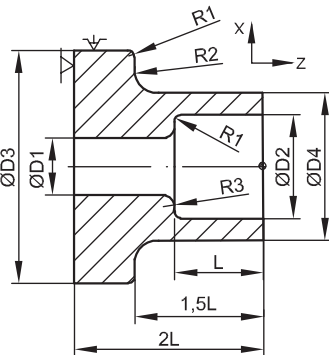


Обробка фасок

Таблиця 3.2.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D1	40	45	50	48	39	52	54	51	40	39	40	54
D2	20	25	28	27	21	29	27	21	19	17	17	29
D3	60	65	70	70	72	75	78	72	65	64	68	75
D4	80	88	89	92	95	100	100	98	90	92	96	100
L	17	18	18	20	21	27	29	39	35	27	29	39

Завдання 3.3. Обробка галтелей та заокруглень. Користуючись даними табл. 3.3.1 для свого варіанта, розробіть програму обробки зовнішньої та внутрішньої поверхні деталі, зображеної на рисунку. Застосуйте команди обробки галтелей та заокруглень і лінійної інтерполяції. Перед цим повторіть параграфи 3.7 і 3.8 та докладно розгляньте програми обробки деталей з рис. 3.14, 3.15, 3.16: %7; %9; %14.

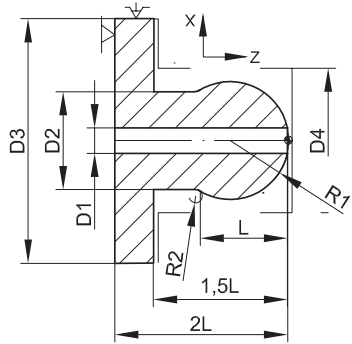


Обробка галтелей та заокруглень

Таблиця 3.3.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D1	54	51	40	39	40	54	40	45	50	48	39	52
D2	27	21	19	17	17	29	20	25	28	27	21	29
D3	78	72	65	64	68	75	60	65	70	70	72	75
D4	100	98	90	92	96	100	80	89	95	92	95	100
L	29	39	35	27	29	39	17	18	18	20	21	27
R1	1,5	2	3	2	1,5	1,5	2	2	2	3	2,5	1,5
R2	6	6,5	7	7,5	8	8	6	6,5	7	6	5	8
R3	7	8	5	3	5	7	4	5	8	4	3	4

Завдання 3.4. Обробка зовнішньої сфери, глибоке свердління. Користуючись поданими на рисунку співвідношеннями, призначте самостійно геометричні дані деталі, розробіть технологічний регламент і програму обробки зовнішньої сфери та свердління отвору деталі, зображеної на рисунку. Застосуйте команди кругової та лінійної інтерполяції, глибокого свердління. Використайте



Обробка зовнішньої сфери

чорновий копіювальний багато-прохідний цикл G68 і однопрохідний чистовий цикл G60. Перед цим повторіть матеріал підручника з параграфів 3.9, 3.13 та детально розгляньте програми обробки деталей з рис. 3.15, 3.16, 3.17, 3.18.

Розгляньте наведений приклад керуючої програми. Окремі фрагменти застосуйте в розробленій Вами програмі. Діаметр $D4$ візьміть рівним $2R1 + 8$, припуск на остаточну підрізку торця $D3/D2 - 0,3$ мм.

Приклад програми.

Призначаємо початок координат в правому торці деталі. Діаметр заготовки $D4 = 38$.

Технологічний регламент:

- підрізати торець остаточню чистовим поперечним циклом G29, інструмент — різець упорно-прохідний універсальний T1;

- центрувати циклом G82 торець, інструмент — свердло центрувальне $\varnothing 3,15$ T2;

- свердлити циклом глибокого свердління G83 отвір $\varnothing 5$, інструмент — свердло $\varnothing 5$ T3;

- точити багатопрохідним копіювальним циклом контур попередньо, інструмент — різець T1;

- точити однопрохідним чистовим циклом G60 контур остаточню, інструмент — різець упорно-прохідний чистовий T4 з радіусом вершини не більше 1 мм.

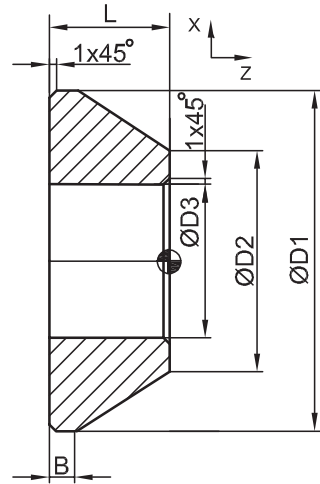
Таблиця 3.4.1

% 3.04; Кадр	Програмовані дії
N10 T1 M6; (RIZEC UNIV.)	Виведення в робочу позицію різця T1
N20 G90 G97 S800 M3;	Призначення режимів
N30 G0 X42 Z2 M8;	Підведення різця до деталі, подача ЗОР

Закінчення табл. 3.4.1

% 3.04; Кадр	Програмовані дії
N40 G1 G29 X-1 Z0 F0,2;	Підрізка правого торця поперечним чистовим циклом
N50 X250 Z250;	Відхід в позицію заміни інструмента
N60 T2 M6;	Виведення в робочу позицію центрального свердла T2
N70 G90 G97 S1250 M3;	Призначення режимів
N80G0X0Z3M8;	Вихід в початок обробки, подача ЗОР
N90G82Z-8F0.1;	Центрування торця циклом G82
N100G80M9;	Відміна циклу, подачі ЗОР
N120G0X230Z230;	Вихід в точку заміни інструмента
N130T3M6; (SV. D 5)	Виведення в робочу позицію свердла Ø5
N140G90G97S1000M3;	Призначення режимів обробки
N150G0X0Z2M8;	Вихід в початок обробки, подача ЗОР
N160G83Z-48K7F0.1;	Свердління отвору циклом глибокого свердління G83
N170G80M9;	Відміна циклу, подачі ЗОР
N180G0X250Z250;	Вихід в точку заміни інструмента
N190T1M6; (RIZEC)	Виведення в робочу позицію чорнового універсального прохідного різця
N200 G90G0X42Z5S800;	Підхід прискореним рухом до деталі
N210G1X40Z1F2M8;	Підхід в точку початку обробки на збільшеній подачі, подача ЗОР
N220G68 P400 Q404 U0.3W0.1 I4 K0.2 B5 F0.3;	Зняття основного припуску багатопрхідним чорновим циклом G68
N400X0Z0;	Опис контуру
N401 G2 X25.3 Z-21 R15;	
N402 X25 Z-22 R-2;	
N403 Z-33;	
N404 X62;	
N230X40Z2F2M9;	Відвід різця, відміна подачі ЗОР
N235G0X230Z230;	Відхід в позицію заміни інструмента
N240T4M6; (RIZEC)	Виведення в робочу позицію чистового універсального прохідного різця
N250 G90 G0 X32Z3S800;	Підхід прискореним рухом до деталі
N260G1X0Z0F2M8;	Підхід в точку початку обробки на збільшеній подачі, подача ЗОР
N265G60P400Q404F0.2;	Виконання чистового проходу циклом G60
N270X40Z2F2M9M5;	Відвід різця, відміна подачі ЗОР, зупинка шпінделя
N275G0X230Z230;	Відхід в позицію заміни інструмента
N280 M30;	Кінець програми

Завдання 3.5. Обробка з використанням підпрограми. Користуючись даними табл. 3.5.1 для свого варіанта, розробіть технологічний регламент і програму обробки п'яти деталей, зображених на рисунку, з однієї заготовки. Використайте в програмуванні підпрограму. Перед цим повторіть параграф 3.14 та докладно розгляньте наведену там програму обробки деталі з рис. 3.45 — % 25.



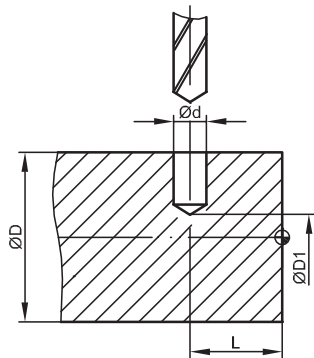
Використання підпрограми

Таблиця 3.5.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D1	50	48	45	40	42	50	46	40	48	49	47	40
D2	38	35	29	27	29	39	37	27	39	37	27	29
D3	30	28	21	20	21	29	27	19	29	27	17	19
B	3	4	7	3	4	5	6	3	4	5	6	7
L	12	13	14	17	14	13	17	13	14	15	17	17

Завдання 3.6. Свердління на токарному верстаті зі шпінделями в револьверній головці з автономним приводом. Користуючись даними табл. 3.6.1 для свого варіанта, розробіть програму свердління поперечного отвору в деталі обертання на токарному верстаті (див. рисунок).

Перед цим повторіть параграф 3.15 і уважно розгляньте наведений там приклад.



Радіальне свердління на токарному верстаті

Таблиця 3.6.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D	40	45	48	39	42	50	52	56	55	60	40	39
D1	7	-7	-3	3	13	-13	40	-19	29	-27	27	-39
d	6	5	7	8	3	13	17	8	13	17	7	7
L	15	16	17	19	20	21	27	28	25	29	39	40

Завдання 3.7. Обробка зовнішньої конічної багатозахідної різьби.

Користуючись даними табл. 3.7.2 для свого варіанта, розробіть програму чорнового різенарізнання зовнішньої багатозахідної конічної різьби, зображеної на рисунку. В позначенні різьби:

M — метрична;

D — номінальний діаметр різьби в більшому торці;

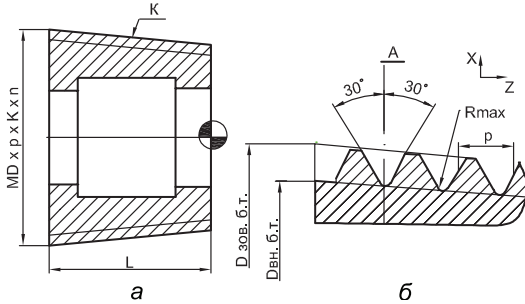
p — крок;

K — конічність, визначається як відношення піврізниць діаметрів у більшому, Dб, і меншому, Dм, торці до довжини L:

$$K = \frac{D_b - D_m}{2L};$$

n — кількість заходів.

Перед цим повторіть параграфи 3.10, 3.13 і уважно розгляньте наведений у табл. 3.7.1 і на рисунку приклад програми нарізнання зовнішньої двозахідної різьби M150×6×1:6×2.



Чорнове нарізнання зовнішньої багатозахідної конічної різьби

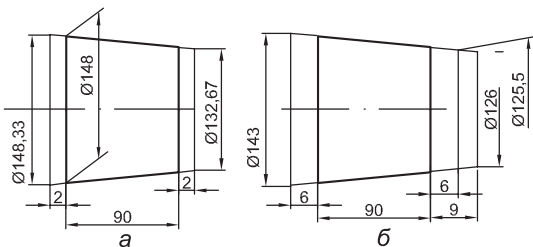


Схема опорних точок нарізнання зовнішньої різьби M150×6×1:6×2

Таблиця 3.7.1

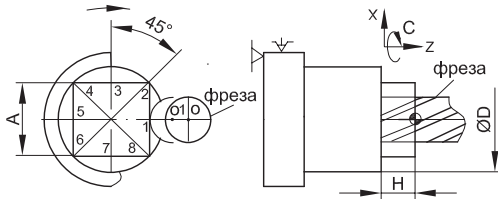
Кадр	Програмовані дії
% 3.07; (рис. M150×6×1:6×2)	
N10T6M6;	Виведення в робочу позицію інструмента T6 — прохідного різця
N15G90G97S350M3;	Абсолютна система відліку, постійні оберти шпінделя
N20G0X154Z5M8;	Підведення інструмента у вихідну точку обробки прискореним рухом, подача ЗОР
N25X154Z2G1F0.3;	На робочій подачі підведення інструмента в точку початку обробки
N30G61P400Q500U0.4 B0.6I0;	Зняття основного припуску із зовнішнього діаметра багатопрохідним чорновим поздовжнім циклом, залишаємо припуск 0,4 мм на чистовий прохід
N400G0X132,67;	Опис контуру. Вихід прискореним рухом в точку початку обробки. Виконання чорнових проходів
N500G1X148,33Z-92F0.25;	
N35G60 P400Q500;	Чистовий прохід
N40G1X170Z-45F5M9;	Відвід інструмента в зручне для оператора місце, відміна подачі ЗОР
N45G0X250Z250M5;	Відвід інструмента в точку індексації
N50T7M6;	Установлення в робочу позицію інструмента T7 — різенарізного різця
N55S60M3;	Призначення режиму нарізання різьби
N60G0X135Z7M8;	Підведення інструмента прискореним рухом у вихідну точку обробки, подача ЗОР
N70G1X126Z6F5;	Підведення інструмента на робочій збільшеній подачі в точку початку обробки
N75G66X143Z-96 I-8.5 F6R3A0B0.1P4;	Багатопрохідним різенарізним циклом нарізання першого заходу
N80G1X125,5Z9F6;	Підведення інструмента в точку початку обробки другого заходу
N81G66X143Z-96 I-8.75 F6K3A0B0.1P4;	Багатопрохідним різенарізним циклом нарізання другого заходу
N82G1X170Z5F5M9;	Відвід інструмента в зручне для оператора місце, відміна подачі ЗОР
N85G0X250Z250M5;	Відвід інструмента прискореним рухом в позицію заміни, зупинити оберти шпінделя
N90M30;	Кінець програми

Таблиця 3.7.2

Варіант	Позначення різьби	L	Дзов.	Двн.	p	K	n	Rmax	Дзаг.
1	M150×6×1:6×2	90	148	142	6	1:6	2	0,7	152
2	M145×5×1:5×3	85	143	138	5	1:5	3	0,8	147
3	M154×5×1:8×2	80	152	147	5	1:8	2	0,6	156
4	M140×6×1:4×3	90	138	132	6	1:4	3	0,7	142
5	M160×8×1:6×2	95	158	152	6	1:6	2	0,8	162
6	M156×6×1:8×3	65	154	148	6	1:8	3	0,6	158
7	M152×5×1:4×2	70	150	145	5	1:4	2	0,8	154
8	M148×6×1:6×3	80	146	140	6	1:6	3	0,7	150

Завдання 3.8. Фрезерування квадрата і лиски на токарному верстаті.

Завдання 3.8.1. Обробка квадрата на токарному верстаті зі шпінделем в револьверній головці з автономним приводом, вісь якого паралельна осі Z. Користуючись даними табл. 3.8.1 для свого варіанта, розробіть програму фрезерування квадрата, зображеного на рисунку, циліндричною кінцевою фрезою діаметром 16 мм.



Полярна система координат.
Фрезерування квадрата

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфу 3.15 та розгляньте наведений нижче приклад. Діаметр D , охоплюючий квадрат, розрахуйте за формулою $D = \sqrt{2} A = 1,414A$.

Таблиця 3.8.1

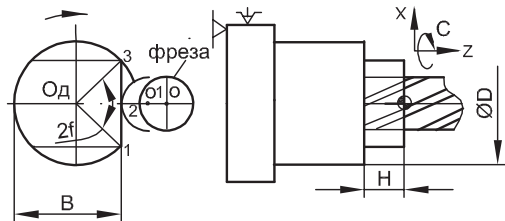
Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	20	21	22	23	24	27	19	17	18	25	29	27
H	7	6	5	7	8	9	6	7	8	5	7	8

У табл. 3.8.2 наведено програму обробки квадрата з розмірами за варіантом 1.

Таблиця 3.8.2

% 3.08.1; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUC»
N10G10 P0 Z-80;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N20 T4 04; (FREZA D16)	Виведення в робочу позицію фрези T4, закріпленої в автономному шпінделі з віссю, паралельною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X30 Z5;	Підведення фрези до деталі
N30 G97 M13 S2000;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 M52;	Задання роботи головного шпінделя в режимі кругової подачі навколо осі Z
N60 G94 F60;	Призначення хвилинної подачі
N70 G0 G42 X28Z-7 M8;	Підведення фрези в початок обробки, ввід корекції праворуч
N80 G12.1;	Введення полярної інтерполяції
N90 X20 C0,785;	Фреза в точці 1
N95 X28C1,57;	Фреза в точці 2
N100 X20 C2,355;	Фреза в точці 3
N105 X28C3,14;	Фреза в точці 4
N110 X20 C3,925;	Фреза в точці 5
N115 X28C4,71;	Фреза в точці 6
N120 X20 C5,495;	Фреза в точці 7
N125 X28C6,28;	Фреза в точці 8
N150 G0 X40;	Відвід фрези по X
N160 G0 Z10;	Відвід фрези по Z
N165 G40;	Відміна корекції радіуса фрези
N155 M15 M9;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N160 G13.1;	Відміна полярної інтерполяції
N165 G53;	Переведення головного шпінделя в основний режим роботи (зі швидкістю різання)
N180 G0 X200 Z200;	Відхід в точку заміни інструмента
N190 M30;	Кінець програми

Завдання 3.8.2. Фрезерування лиски на токарному верстаті зі шпінделем в револьверній головці з автономним приводом, вісь якого паралельна осі Z. Користуючись даними табл. 3.8.3 для свого



Фрезерування лиски

варіанта, розробіть програму фрезерування лиски, зображеної на рисунку, циліндричною кінцевою фрезою діаметром 16 мм.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфу 3.15 та розгляньте наведений приклад. Кут повороту головного шпінделя $2f$ розрахуйте зі співвідношень у трикутниках $1Oд3$ і $1Oд2$, з яких:

$$\cos f = \frac{B-R}{R},$$

де R — радіус поверхні, на якій фрезерується лиска.

Глибина врізання по X : $OO_1 = D - B$, де D — діаметр, на якому фрезерується лиска; B — розмір лиски відповідно до креслення. За час врізання на повну глибину головний шпіндель круговою подачею має пройти кут f , а після повороту на $2f$ фреза автономного шпінделя повинна повернутися у вихідну точку O .

У табл. 3.8.4 наведено програму обробки лиски, варіант 1.

Для варіанта 1: $\cos f = 10/14 = 0,71$; $f = 45^\circ = 0,785$ радіан;
 $2f = 90^\circ = 1,57$ радіан; $OO_1 = 28 - 24 = 4$.

Таблиця 3.8.3

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D	28	26	24	25	27	29	30	37	35	39	40	21
B	24	21	21	21	25	25	27	35	29	35	37	17
H	7	8	6	5	8	7	6	5	5	6	7	8

Таблиця 3.8.4

% 8.1; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-80;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N20 T4 04; (FREZA D16)	Виведення в робочу позицію фрези T4, закріпленої в автономному шпінделі з віссю, паралельною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X30 Z5;	Підведення фрези до деталі
N30 G97 M13 S2000;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 M52;	Призначення роботи головного шпінделя в режимі кругової подачі навколо осі Z
N60 G94 F60;	Призначення хвилинної подачі

Закінчення табл. 3.8.4

% 8.1; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N70 G0 G42 X28Z-7 M8;	Підведення фрези в початок обробки, ввід корекції праворуч
N80 G12.1;	Введення полярної інтерполяції
N90 X20 C0,785;	Призначення поперечної подачі, фреза в точці 2
N95 X28C1,57;	Фреза в точці 3
N150 G0 X40;	Відвід фрези по X
N160 G0 Z10;	Відвід фрези по Z
N165 G40;	Відміна корекції радіуса фрези
N155 M15 M9;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N160 G13.1;	Відміна полярної інтерполяції
N165 G53;	Переведення головного шпінделя в основний режим роботи (зі швидкістю різання)
N180 G0 X200 Z200;	Відхід в точку заміни інструмента
N190 M30;	Кінець програми

РОЗДІЛ IV

ОБРОБКА НА ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

4.1. Плоско- та профілезшліфувальні верстати

На поширених в Україні плоскошліфувальних верстатах з ЧПК програмують: припуск, що потрібно зняти, глибину різання на прохід, поперечну подачу.

Швидкість різання визначається обертами шпінделя та діаметром круга: величина, практично, постійна, зменшується при зношуванні круга. Поздовжній та поперечний хід стола обмежується упорами залежно від розмірів оброблюваної поверхні деталі. Правка круга, як правило, відбувається не за програмою.

На базі плоскошліфувальних верстатів створено сучасні профілезшліфувальні верстати з ЧПК, які, крім шліфування плоских поверхонь, можуть шліфувати поверхні, профіль яких складається зі сполучених відрізків прямої, дуги, іншої кривої, що описується математично. Профіль забезпечується в перерізі, перпендикулярному поздовжньому ходу стола. Профілювання круга здійснюється за програмою алмазним роликком з незалежним приводом. Механізм правки може установлюватись на столі верстата або шліфувальній бабці. Кількість програмованих координат — п'ять (детальніше див. верстат ОРША-60240).

Профілезшліфувальні верстати з ЧПК для шліфування складної профільної поверхні на деталях обертання замінили відомі оптико-профілезшліфувальні верстати типу ЛЗ 268 (на екрані в масштабі 1:50 на прозорому носії розміщувався профіль деталі, а робітник за допомогою двох супортів, дивлячись на екран, вручну обходив гостровершинним кругом профіль, що зображений). Операція була дуже трудомісткою, потребувала спеціаліста надвисокої кваліфікації.

Профілезшліфувальні верстати з ЧПК методом контурного обходу шліфують профілі складної форми на деталях обертання, твірну яких можна описати математично.

4.2. Круглошліфувальні верстати

Круглошліфувальні верстати є найбільшою групою шліфувальних верстатів. На круглошліфувальних верстатах з ЧПК програмуються: поперечна подача на один прохід, припуск для знімання, кількість проходів без набору глибини різання (поперечної подачі), так зване виходжування. Швидкість різання, форма круга, його правка задаються окремо, як правило, в ручному режимі.

Обробка на круглошліфувальних верстатах з ЧПК багатосхідчастих деталей типу ходових гвинтів, валів редукторів, шпінделів тощо підвищує продуктивність обробки в 1,5–2 рази за рахунок скорочення часу на знімання, установку й переустановку деталі для обробки наступних шийок та їх вимірювання.

Зношування круга під час обробки та правки є проблемою цих верстатів, вимагає постійного контролю діаметра, що шліфується, для своєчасної корекції величини припуску до остаточного розміру. В сучасних прецизійних круглошліфувальних верстатах з ЧПК передбачено компенсацію зношування круга під час роботи та правки, компенсацію деформацій системи верстат — пристрій — інструмент — деталь, похибок від температурних коливань, від коливань величини припуску, похибок переміщень верстата по координатах. Вимірювальна система такого верстата забезпечує безперервний контроль діаметра з точністю до $2 \cdot 10^{-5}$ мм. Взаємодія оператора і системи ЧПК верстата відбувається в діалоговому режимі через дисплей.

На базі круглошліфувальних верстатів створено багатоцільові шліфувальні верстати, які забезпечують обробку зовнішньої та внутрішньої циліндричної поверхні, торцевих внутрішніх і зовнішніх поверхонь, різешліфування. Для цього верстат містить три шліфувальні шпінделі, відповідно до оброблюваної поверхні, їх переміщення задаються програмою. На таких верстатах можна керувати рухом водночас по 3–4-х координатах.

Такі верстати оснащуються механізмами компенсації зношування та правки круга. Можливе також керування частотою обертання шпінделя для підтримування постійної швидкості різання по мірі зношування круга.

4.3. Безцентрові круглошліфувальні верстати

Безцентрові круглошліфувальні верстати застосовують під час обробки деталей малого й великого діаметра різної довжини в умовах масового виробництва. Розширення сфери застосування таких верстатів стримують такі фактори, як:

- великі затрати часу на правку шліфуючого і ведучого кругів;

- складність наладки, яка за довготривалості потребує ще й спеціалістів високої кваліфікації.

Ці проблеми значною мірою вирішуються завдяки використанню безцентрово-шліфувальних верстатів з ЧПК. У системі керування таким верстатом використовуються програмні модулі, які розраховують траєкторію руху інструментів (круга, алмаза при правці) і, за потреби, її корекцію. Створено спеціальне програмне забезпечення для обробки деталей типу вал, втулка, куля, конус, кулак тощо. Застосування ЧПК зробило ці верстати майже універсальними, істотно спростило конструкцію таких вузлів, як механізм правки (зникла копіювальна лінійка, механізм подачі алмазів та ін.), приводи поздовжнього переміщення пристроїв правки, механізми тонкої подачі шліфувального і ведучого кругів, контрольно-підналагоджувальні пристрої.

Системи ЧПК безцентрових круглошліфувальних верстатів створені за агрегатним принципом. Наприклад, на верстатах японських фірм можлива установка кожного із чотирьох варіантів керування верстатом від ЧПК окремо:

- одна керована координата — поперечна подача шліфувального круга;

- дві керовані координати — поперечна подача шліфувального круга і правлячого алмаза, з метою їх синхронізації;

- три керовані координати — поперечна подача шліфувального круга, поперечна й поздовжня подачі алмаза під час його правки;

- п'ять керованих координат — поперечна подача шліфувального круга, а також поперечна й поздовжня подачі алмаза під час правки шліфувального і подавального кругів.

4.4. Координатно-шліфувальні верстати

Основне завдання програмного керування на цих верстатах — вихід у задану координату з належною точністю та шліфування отвору по заданому циклу. Швидкість різання забезпечується обертами круга без впливу від програми. Правка круга виконується в ручному режимі.

4.5. Зубошліфувальні верстати

Нині відбувається активна автоматизація робіт через систему ЧПК у зубошліфуванні. Наприклад, відомі зубошліфувальні верстати фірми «Reichauer», оснащені пристроєм ЧПК «Sinumerik 840D» і приводами «Siemens», забезпечують п'ятикоординатне шліфування за програмою прямозубих і косозубих зубчастих коліс, шліцевих валів тощо методом обкату і одиничного ділення. Програмно-математичне забезпечення дає змогу керувати верстатом у діалоговому режимі із забезпеченням багатопрохідного циклу обробки з тангенціальною, радіальною та осьовою подачами. Шліфування високошвидкісне, з динамічним балансуванням круга, подачею ЗОР. Забезпечена теплова стабілізація вузлів верстата.

Відомі зубошліфувальні верстати з вісьмома програмованими координатами:

- X — поперечне переміщення шліфувального шпінделя;
- Y — вертикальне переміщення шліфувального шпінделя;
- Z — поздовжнє переміщення стола;
- вісь A — поворот пристрою вимірювання зубчастого колеса;
- вісь B — обертання стола;
- вісь C — поворот шпінделя шліфувального круга;
- вісь S — обертання шпінделя шліфувального круга;
- вісь U — обертання пристрою правки алмазним роликком.

4.6. Різешліфувальні верстати

Для здійснення обробки на різешліфувальному верстаті виконуються такі рухи:

- обертання шліфувального круга зі швидкістю різання $30 \div 50$ м/с;

- обертання виробу з круговою робочою подачею;
- поздовжні робочі рухи стола або шліфувальної бабки (залежно від конструкції верстата) зі швидкістю, узгодженою через кінематичний зв'язок з круговою подачею виробу так, щоб забезпечувався заданий крок різьби;
- прискорений поздовжній рух робочого органа у зворотному напрямі після закінчення робочого ходу у вихідну точку;
- поперечний рух шліфувальної бабки для задання глибини шліфування;
- поздовжні зміщення стола для корекції положення шліфувального круга відносно профіля різьби;
- рухи приладу правки, потрібні для забезпечення і систематичного поновлення заданого профілю круга, а також компенсація в поперечному напрямі знятого правкою шару абразиву. На верстаті з ЧПК зазначені рухи виконуються від команди керуючої програми.

Не програмується на верстатах:

- швидкість різання — визначається розрахунком через постійні оберти круга та його діаметр, м/с;
- величина поздовжнього ходу стола (задається спеціальними упорами на столі залежно від довжини різбової частини гвинта);
- кут нахилу шліфувальної бабки α (рис. 4.1), дорівнює куту підйому гвинтової лінії різьби:

$$\alpha = \frac{p}{\pi D},$$

де p — крок різьби; D — діаметр різьби;

— крок різьби у міліметрах або в дюймовій системі (кількість ниток на дюйм) задається зубчастими колесами гітари, яка зв'язує оберти шпінделя виробу з поздовжнім рухом стола, — забезпечує з високою точністю ходовий гвинт верстата.

Систему координат різешліфувального верстата (рис. 4.1) утворюють, як і в токарних верстатах, дві осі: вісь Z — збігається з віссю обертання шпінделя виробу і вісь X — за на-

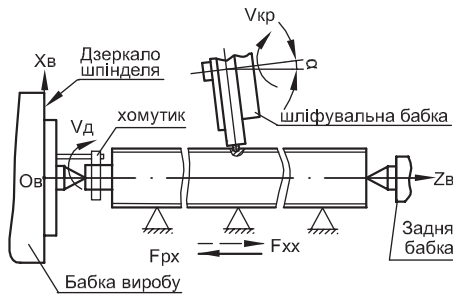


Рис. 4.1. Осі координат.
Схема різешліфування

прямоком збігається з поперечною подачею. Початок координат верстата — на торці шпінделя виробу. Додатним напрямком для осі X вважається рух шліфувальної бабки від деталі, для осі Z — від бабки виробу до заднього центру.

Особливості програмування фінішної обробки різьби розглянемо на прикладі шліфування напівкруглої зовнішньої різьби ходового гвинта кочення на верстаті «Матрікс 5708» з ПЧПК «FANUK».

Заготовка — гвинт з попередньо сформованою різьбою методом охоплюючого фрезерування надтвердим інструментом (ельбор (кубоніт, CNB), гексаніт), багатониткового шліфування й ін. Припуск для фінішної обробки по радіусу профілю та внутрішньому діаметру гвинта розрахований для зняття дефектного шару металу від попередньої обробки та (більша його частина) виправлення накопиченої похибки кроку від попередньої обробки.

Для шліфування різьби гвинт установлюється центровими отворами на центри верстата. Обертання задається від шпінделя виробу через хомуттик, укріплений на крайній лівій шийці гвинта (див. рис. 4.1). Задній центр не обертальний, тому важлива геометрична точність центру та доскональна підготовка центрових отворів як основної технологічної бази. Додатковою технологічною базою служить зовнішній діаметр різьби, по якому гвинт з мікронною точністю розміщується у спеціальних триточкових люнетах, рівномірно розташованих вздовж різьбової частини. Для зручності виставляння гвинта, як правило, беруть непарну кількість люнетів: 1, 3, 5.

Після укріплення гвинта виставляють по упорах довжину різешліфування. Далі для виконання робочих рухів

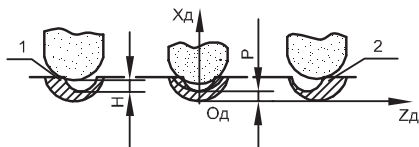


Рис. 4.2. Розподіл припуску по профілю

різешліфування вводять профіль круга в «нитку» різьби (див. рис. 4.2) в центральній частині деталі (приблизно посередині). Для цього, працюючи коректором, торкаються правої та лівої сторони профілю; отримане осьове зміщення ділять пополам, це й буде

вісь профілю. Далі круг відводять по осі X і, рухаючись в ручному режимі по Z , переводять його по черзі у крайній лівий і крайній правий виток різьбової частини гвинта.

У крайніх положеннях підводять круг до різьби по X до появи іскри. Торкання круга з різьбою матиме вигляд, як показано на рис. 4.2 (точки 1 і 2), якщо від накопиченої похибки кроку під час попередньої обробки різьба заготовки стиснута, і круг торкатиметься протилежного боку профілю, — якщо різьба заготовки розтягнута. Щоб дотриматися рекомендованого режиму різання по глибині, круг відводять по осі X від деталі — порівняно із центральним витком у момент попадання в нитку до прийняттого характеру шліфування в точках 1 і 2. Це положення шліфувальної бабки визначить координату X початку шліфування різьби і повний припуск обробки.

Виконують робочі проходи, поки вершина круга не дійде до дна різьбового профілю і профіль на всій довжині оброблюватиметься майже повністю. Після цього вимірюють внутрішній діаметр різьби, вираховують припуск, який ще необхідно зняти до остаточного значення внутрішнього діаметра, розподіляють його за проходами, вносять дані в керуючу програму та підпрограму обробки. Для зручності координатні осі деталі розташовують у дні різьби на остаточному діаметрі. За напрямком осі збігаються з відповідними осями верстата (див. рис. 4.2). Обробка завершується, коли $X = 0$.

Програмування обробки здійснюється тією ж мовою G-коду з невеликими відмінностями, зумовленими видом обробки та ПЧПК «FANUK». Нижче наведено основні команди та параметри, використані ПЧПК «FANUK» в ході різешліфування на верстаті «Матрікс 5708».

Підготовчі (технологічні) функції:

G00 — позиціонування, прискорений рух, максимальна швидкість 500 мм/хв;

G01 — лінійна інтерполяція;

G04 — програмована витримка в часі;

G10 — ввід корекції;

G20 — ввід розмірів у дюймах;

G21 — ввід розмірів у міліметрах;

G28 — повернення у вихідну позицію;

G43 — корекція стола відносно круга — попадання кругом в «нитку» різьби;

G49 — скасування корекції по осі X ;

G90, G91 — абсолютна й відносна системи програмування відповідно.

Допоміжні функції:

M00 — зупинка програми;

M01 — програмована зупинка в запланованому місці програми;

M02 — кінець підпрограми;

M03, M04 — оберти шпінделя виробу за годинниковою стрілкою та проти неї відповідно;

M05 — зупинка шпінделя виробу;

M07 — ввімкнення ЗОР правки;

M08 — ввімкнення ЗОР шліфування;

M09 — вимкнення ЗОР;

M21, M22 — зупинка та пуск пристрою правки круга;

M30 — кінець програми;

M98 — виклик підпрограми;

M99 — кінець підпрограми.

F — швидкість поздовжньої подачі, рух скоординований через гітару з круговою подачею виробу. З пульта можна редагувати F у межах $\pm 100\%$ при постійному співвідношенні подачі;

S — частота обертання шпінделя виробу, для верстата «Матрікс 5708» регулюється в діапазоні 0,4÷120 об./хв;

H — корекція або величина припуску по осі X, розраховується під час введення шліфувального круга у профіль різьби в позицію шліфування. Визначається під час налагодження верстата (рис. 4.2).

У пристрої ЧПК передбачено типові цикли або підпрограми шліфування різьби:

R301, R303 — підпрограми правки круга з компенсацією в поперечному напрямку знятого шару абразиву з круга, з глибиною врізання алмаза 0,04 мм та 0,06 мм відповідно. Цикл правки відбувається після кожного робочого проходу.

R302 — підпрограма, яка включає такі ходи робочих органів: поздовжній узгоджений з обертами шпінделя виробу робочий хід стола, зняття припуску (шліфування), прискорений відхід шліфувальної бабки та прискорене поздовжнє переміщення стола у зворотному напрямку у вихідне положення.

R304 — підпрограма, яка включає цикл правки з компенсацією, глибина врізання по осі X — 0,07 мм.

R306 — підпрограма, яка включає цикл правки з компенсацією, глибина врізання по осі X — 0,03 мм.

Р 308 — прискорений поздовжній хід у зворотному напрямку при непорушній деталі (шпіндель виробу не обертається), коли виконується цикл правки. Ця підпрограма програмується після кожного робочого ходу й відведення круга.

Приклад підпрограми Р303 наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Кадр	Програмовані дії
N10G01G91X10.025M08F200;	Подача шліфувальної бабки на деталь, F 200 мм/хв, відносна система, подача ЗОР
N20M03 S25;	Оберти шпінделя виробу, 25 об./хв за стрілкою годинника
N30M05;	Зупинка шпінделя виробу
N40G00X100M09;	Відвід шліфувальної бабки від деталі, відміна подачі ЗОР
N50M04S80;	Перехід стола в позицію, встановлену протилежним упором
N70M07;	Подача ЗОР в зону правки
N80M22;	Правка круга
N90G10P01R0.0254;	Ввід корекції на правку круга
N100M09;	Відміна подачі ЗОР на правку
N110M99;	Кінець підпрограми. Повернення до основної програми

Приклад програми для шліфування різьби на верстаті «Matrix 5708» подано в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

% 20; Кадр	Програмовані дії
N5M98P500;	Ввід підпрограми
N6M08;	Ввімкнення подачі ЗОР в зону шліфування
N10G90G01H01X0,23F500;	В абсолютній системі ввід корекції (припуску) по осі X (на радіус)
N12M01;	Програмована зупинка
N13M98P303;	Ввід підпрограми на правку круга з компенсацією по X
N14M98P302;	Ввід підпрограми з подачею по X 0,06 мм на робочий прохід шліфування (довжина обмежена упорами), прискорений відвід круга і прискорений рух у зворотному напрямку
N20G01H01X0.17F500;	Подача на врізання 0,06
N21M01;	Програмована зупинка, використовується для корекції положення круга в різьбовій канавці

Закінчення табл. 4.2

% 20; Кадр	Програмовані дії
N22M98P303;	Правка круга
N23M98P302;	Другий робочий прохід
N30G01H01X0.11F500;	Подача на врізання 0,06
N31M01;	Програмована зупинка
N32M98P301;	Правка круга. Подача по X 0,04 мм
N33 M98P302;	Третій робочий прохід
N40G01H01X0.07F500;	Подача на врізання 0,04
N41M01;	Програмована зупинка
N42M98P301;	Ввід підпрограми на тонку правку круга з компенсацією по X
N43M98P302;	Четвертий робочий хід шліфування
N50G01H01X0.03F500;	Подача на врізання 0,03
N51M01;	Програмована зупинка
N52M98P301;	Тонка правка
N53M98P302;	Остаточний робочий хід шліфування
N60G01H00X0.00F500;	Зняття корекції, повернення у вихідну точку
M30;	Кінець програми

З наведеного прикладу бачимо, що обробка на різешліфувальному верстаті потребує знань тонкощів цього процесу, а програмування рухів виконавчих органів і режимів обробки виконується відповідно до тих самих правил, що й на іншому, наприклад токарному, обладнанні.

4.7. Електроерозійна обробка на верстатах з ЧПК

Електроерозійна обробка — це технологія обробки об'ємних деталей простих і складних форм, вирізання або розрізання деталей шляхом руйнації металу електричними розрядами між електродом-інструментом і оброблюваною деталлю — другим електродом. Сучасні електроерозійні верстати з ЧПК використовуються для обробки наскрізних та глухих отворів різної поперечної форми, формування складних пазів, заточування різального інструменту, декоративної обробки поверхонь у деталях різної міцності зі струмопровідних матеріалів. Розглянемо два основні види електроерозійних верstatів з ЧПК.

Електроерозійні верстати для обробки об'ємних поверхонь складної форми шляхом випалювання електродом-інструментом, форма якого — дзеркальний відбиток оброблюваної поверхні. Інструментом служать електроди з графіту марки ЕЕПГ (підвищеної твердості й щільності, отриманої завдяки спеціальній технології спікання), мідні, з інших композитних матеріалів. Вибір матеріалу електрода залежить від оброблюваної поверхні, площі контакту, складності форми та вимог до точності обробки. Керування електродом здійснюється пристроєм ЧПК. Деталь під час обробки занурюється в діелектричну (струмонепровідну) рідину, як правило, діелектричну воду з антикорозійними присадками або рідке індустриальне масло. Рідина примусово циркулює під час обробки змиває шлам, що утворюється в робочій зоні. Залежно від режимів обробки операцію використовують для чорнового формування поверхонь, а також для фінішної обробки з точністю до 0,01 мм.

Сучасні електроерозійні прошивочні верстати забезпечують обертання електрода по двох або трьох осях. Це дозволяє обробляти внутрішні порожнини складної форми. Застосовуються під час виготовлення складних штампів та прес-форм для обробки наскрізних і глухих отворів, зокрема некруглої форми.

Досить поширеними є **електроерозійні вирізні верстати**, які виконують вирізання деталі електродом у вигляді дроту. Застосовують для цього мідний, латунний, вольфрамовий або молібденовий дріт діаметром 0,02÷0,3 мм. У ході обробки дріт прорізає паз, ширина якого визначається діаметром дроту, іскровим проміжком та режимами обробки. Це враховується під час розробки керуючої програми в координатах еквідистанти X і Y або (залежно від моделі верстата) заноситься до коректорів пристрою ЧПК, а значення координат відповідають зазначеним у кресленні. Шлам від процесу електроерозії вимивається направленим струменем технологічної рідини (гас або водний діелектричний розчин), в якій відбувається обробка.

Під час обробки йде постійне перемотування дроту між двома бобінами зі швидкістю 5÷11,5 м/хв. Натяг дроту і швидкість його перемотування залежать від характеристики матеріалу заготовки та її товщини, задаються напругою двигуна, для конкретного верстата вибираються за таблицею або графіком у паспорті (див. рис. 4.3). На робочій ділянці натяг дроту підтримується спеціальними напрямними.

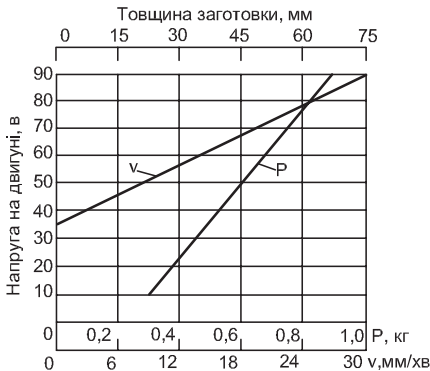


Рис. 4.3. Вибір натягу і швидкості перемотування дроту

Точність обробки залежить від стабільності діаметра дроту, міжелектродного проміжку, точності і жорсткості виконавчих органів верстата, досягає 0,01 мм. Шорсткість обробки перебуває в межах $1,0 < Ra < 4,0$ мкм. Шорсткість зменшується зі збільшенням товщини заготовки (тому плоскі деталі рекомендується оброблювати пакетом) і зі зменшенням діаметра дроту (чистові проходи виконують дротом меншого діаметра). На шорсткість впливає також характеристика оброблюваного матеріалу, наприклад, при обробці на однакових режимах шорсткість деталей із твердого сплаву на 15÷20 % нижча від шорсткості сталей. Блок адаптивного керування режимами обробки стежить за енергетичним навантаженням електрода-дроту, підтримує його постійним у заданих межах, стабілізуючи таким чином хід процесу і якість обробки.

Швидкість обробки гартованої і не гартованої сталі практично однакова. Леговані тугоплавкі матеріали знижують швидкість обробки.

Розглянемо приклад розробки керуючої програми оброблення деталі на електроерозійному верстаті з ЧПК 4732Ф3М із пристроєм ЧПК 2С-43.

Нехай в деталі з твердого сплаву (див. рис. 4.4) потрібно вирізати отвір контуром 0—1—2—3—4—0, орієнтований відносно її бокових поверхонь, з нахилом 3° осі вікна. Для цього за таблицями паспорта верстата вибираємо рекомендований діаметр дроту $d = 0,25$ мм і встановлюємо рекомендовані там же режими обробки. Виставляємо скобу з бобінами дроту на необхідний кут. Для заведення електрода-дроту в деталі у точці С попередньо просвердлено отвір $\varnothing 1,5$ мм, з коорди-

Стіл з деталлю рухається по координатах X і Y згідно з командами пристрою ЧПК. Можна програмувати різні нахили дроту, що створює додаткові можливості для ускладнення форми оброблюваної поверхні. В сучасних електроерозійних вирізних верстатах програмується до шести координат.

Точність обробки залежить від стабільності діаметра дроту, міжелектродного проміжку, точності і

татами, як показано на рис. 4.4. Початок координат призначаємо в точці С, Y — вісь симетрії вікна. Установка дроту в точку початку обробки виконується у режимі «наладка» в послідовності:

— деталь установлюють і виставляють по базових сторонах на столі верстата в робочій зоні;

— підводять електрод-дріт до торкання з базовою стороною в довільній точці А. Це фіксують по індикації торкання на пульті генератора;

— відводять електрод-дріт по координаті Y в положення за зоною торкання з деталлю (потухає індикація на пульті генератора);

— переміщують дріт по координаті X на відстань $40 + \frac{d}{2}$;

— переміщують дріт по координаті Y до торкання з другою базовою поверхнею в точці В;

— положення дроту в отворі С по Y на відстані $30 + \frac{d}{2}$ буде точкою початку обробки вікна 0—1—2—3—4—0.

Обробку деталі виконуємо у два проходи: спочатку на чорновому режимі вирізаємо профіль під кутом 3° , для цього деталь перевертаємо базовою поверхнею вверх. Потім переставляємо деталь на опорну поверхню і формуємо на чистових режимах робочий поясик 4 мм. Така побудова технологічного процесу істотно знижує трудомісткість процесу, забезпечуючи необхідну якість обробки щодо точності і шорсткості. Використовуємо одну керуючу програму.

Частина програми обробки з нахилом дроту наведено в табл. 4.3.

Основні галузі застосування вирізних електроерозійних верстатів — вирізка пуансонів і матриць складної форми для штамсів і прес-форм; вирізка деталей із гартованих сталей, твердих сплавів; деталей, під час обробки яких неприпустимою є силова дія; інших деталей зі складним контуром зовні або з отворами складної форми, наприклад шліцові отвори.

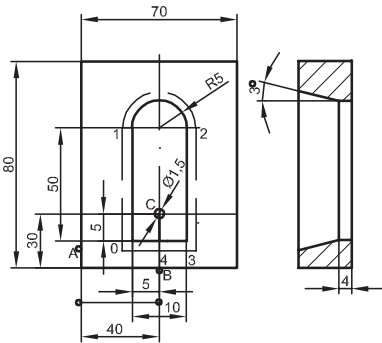


Рис. 4.4. Обробка вікна на електроерозійному вирізному верстаті

Таблиця 4.3

Кадр	Програмовані дії
N10 G92 X-5000 Y-5000;	Зміщення початку відліку командою G92 в точку 0, переміщення задані в дискетах. Ціна дискети 1 мкм
N20 G90 G01 G65 G41 T10 X5000 Y0 F100;	Вихід робочим рухом на контур, обробка проти стрілки годинника, ввід в коректор T10 розраховану за паспортом корекцію на еквідистанту, G65 — команда на обробку з нахилом дроту
N30 X0;	Вирізання робочим рухом заданого контуру під час обходу по координатах опорних точок
N40 Y50000;	
N50 G02 X10000 I5000 J0;	
N60 G01 Y0;	
N70 X5000;	
N80 G0 G40 Y5000 G66;	Вихід прискореним рухом в початок обробки, відміна корекції (G40) і нахилу дроту (G66)
N90 M02;	Кінець програми

Верстати з ЧПК *електрохімічної обробки (ЕХО)*. Електрохімічна обробка — це обробка струмопровідних матеріалів, унаслідок якої змінюються форма, розмір і шорсткість оброблюваної поверхні від дії електричного струму. Механізм обробки базується на процесі електролізу — кількість знятого металу пропорційна силі струму і часу обробки. Один з електродів (заготовка) приєднаний до додатного полюса джерела живлення і є анодом, другий електрод (інструмент) приєднаний до від'ємного полюса і є катодом. Відбувається об'ємне окислення (розчинення) анода й відновлення (осідання металу) на катоді, тому при ЕХО застосовують такі електроліти, за яких осідання на поверхню катода не відбувається. Цим створено основну перевагу ЕХО перед електроерозійною обробкою — незмінність форми і розмірів електрода-інструмента. Для видалення із зони обробки шламу застосовують примусову подачу (прокачування з певним тиском) електроліту.

Існує ряд різновидів ЕХО:

— електрохімічне об'ємне копіювання — форма електрода-інструмента віддзеркалюється на заготовці;

— електрохімічне прошивання — ЕХО, в результаті якої електрод-інструмент, заглиблюючись у заготовку, формує отвір постійного перерізу;

- струмне електрохімічне прошивання — ЕХО з подачею сформованої струмини електроліту в зону обробки;
- електрохімічне калібрування — ЕХО поверхні з метою підвищення її точності;
- електрохімічне точіння — ЕХО з обертанням заготовки та поздовжнім рухом електрода за програмою;
- електрохімічна розрізка заготовок;
- електрохімічне видалення задирок;
- електрохімічне маркування та інші різновиди.

Переваги ЕХО:

- можливість оброблення струмопровідних матеріалів різної міцності, в'язкості;
- висока продуктивність знімання металу з великої площі складної форми; відсутність контакту під час обробки з деталлю, відсутність високих температур, що зберігає вихідну якість оброблюваного матеріалу, виключає наклеп, створює можливість обробки нежорстких деталей, у тому числі тонкостінних;
- висока точність і низька шорсткість обробки;
- багаторазове використання електрода-інструмента.

Недоліки ЕХО:

- погана оброблюваність сплавів з високим вмістом вуглецю і кремнію;
- висока енергоємність;
- громіздке обладнання та потреба його антикорозійного захисту;
- складність проектування електрода-інструмента (він не є еквідистантною поверхнею до оброблюваної, а визначається розрахунково-дослідним шляхом), тому ЕХО економічно вигідна для серійних деталей. Широко застосовується в автомобілебудуванні.

Контрольні запитання

1. Назвіть можливості й переваги плоско- та профілешлифувальних верстатів.
2. Які параметри і функції плоскошлифувального верстата програмуються, а які — ні?
3. Назвіть можливості й переваги круглошлифувальних верстатів.
4. Які параметри і функції круглошлифувального верстата програмуються, а які — ні?

5. Назвіть параметри і функції безцентрової круглошліфувального верстата, які програмуються і не програмуються.
6. Які параметри і функції зубошліфувального верстата програмуються, а які — ні?
7. Назвіть параметри і функції різешліфувального верстата, які програмуються і не програмуються.
8. Охарактеризуйте електроерозійну обробку деталей на верстатах з ЧПК об'ємними електродами.
9. Опишіть обробку деталей на електроерозійних вирізних верстатах з ЧПК.
10. Охарактеризуйте електрохімічну обробку.

РОЗДІЛ V

ОБЛАДНАННЯ З ЧПК НА ЗАГОТОВЧИХ ОПЕРАЦІЯХ

Заготовчі операції є стартовими у процесі виготовлення окремої деталі й виробу в цілому. Їх якість і продуктивність істотно впливають на технологічний процес подальшої механічної обробки, термін і якість виготовлення кінцевої продукції. Розглянемо основні, найбільш поширені види заготовчих операцій і обладнання з ЧПК, на якому вони виконуються.

5.1. Розрізка прокату на обладнанні з ЧПК

Для розрізки прокату використовують:

— механічні пили — в індивідуальному виробництві та інструментальних цехах;

— абразивно-відрізні верстати — процес високопродуктивний, не потребує високої кваліфікації робітника, виконується на простому обладнанні дешевим інструментом — відрізними шліфувальними кругами. Кінцеві частини прута прокату, залежно від кількості вуглецю та легованих елементів у сталі, можуть прихоплюватися гартуванням від високих температур у зоні різання, що потребує їх відпаду перед механічною обробкою. Низьковуглецеві сталі, їх сплави, кольорові сплави на таких верстатах не розрізають через швидке залипання з наступним руйнуванням шліфувального круга. Ефективно цей процес використовувати для розрізки гартованого металу;

— дискові сегментні пили (пили Гелера) — основне найпоширеніше заготовче обладнання для різки прокату на більшості заводів країни;

— *стрічкопилні верстати* — сучасне автоматизоване обладнання для розрізки прокату, в тому числі із застосуванням ЧПК.

Використання цих верстатів раніше стримувалося несумісністю вимог до матеріалу різальної стрічки — гнучкість і високі різальні якості. Проблему було ви-

рішено завдяки розробці технології дифузійного зварювання — до бокової поверхні стрічки приварюється смужка шириною 2÷3 мм швидкорізальної сталі, на якій формуються різальні зубці потрібної висоти і розводки. Стрічкопильні верстати мають невелику вагу і потужність різання, набагато продуктивніші від пил Гелера, можуть бути оснащені:

- пристроєм для ступінчастого або безступінчастого регулювання швидкості різання залежно від технічних характеристик оброблюваного матеріалу;

- пристроями для точного позиціонування заготовок з магнітним і лазерним контролем довжини розрізки;

- пристроєм для швидкісного підйому та опускання пильної рами на холостому ході з переходом на робочі режими подачі під час різання в заготовку;

- механізмом швидкого повороту пильної рами на заданий кут відрізання з точністю до $0,5\div 1,0^\circ$;

- системою стеження за навантаженням різального полотна, яка автоматично зі зміною опору різанню заготовок складного поперечного профілю корегує режими розрізування;

- *пристроями числового програмного керування (ЧПК)* усіма параметрами процесу. Програмою задаються: кількість і довжина заготовок розрізки, швидкість різання залежно від марки оброблюваного матеріалу, тиск подачі й ін. Поточні значення параметрів обробки висвітлюються на дисплеї. Система контролює значення параметрів, швидко знаходить причину відхилень, по можливості усуває їх. Якщо відхилення показників процесу вийшли за межі допустимих, система зупиняє роботу, запобігаючи таким чином поломці інструмента або отриманню неякісних деталей. Сучасні пристрої ЧПК зберігають у пам'яті до 300 керуючих програм розрізки різних матеріалів, забезпечуючи в кожному разі реалізацію оптимальних режимів стрічкового розпилювання.

Якщо порівняти роботу стрічкопильного верстата з ЧПК з пилою Гелера, то, крім очевидних технічних переваг, під час розрізки, наприклад, сталі 45 діаметром 100 мм дістаємо такі показники:

- продуктивність стрічкопильного верстата на 30÷35 % вища;

- кількість спожитої електроенергії втричі менша;

— маса металу, що пішов у стружку від ширини різку, в 4,5 рази менша;

— собівартість розрізки на стрічковому верстаті порівняно з пилою Гелера на 40÷50 % нижча.

5.2. Розкрій та розрізка листового матеріалу

Розрізка листового матеріалу виконується на верстатах термічної або гідроабразивної різки. Верстати термічної різки мають газокисневе, плазмове або лазерне оснащення. Їх розміри, залежно від призначення, можуть коливатися від настільних до багатометрових для вирізки заготовок під зварювання мостів, кораблів, рам для вагонів, стріл кранів тощо.

Газокиснева різка застосовується для відносно грубої обробки, під час якої по краю різки утворюється окалина. Така обробка є придатною не для всіх марок металу. Перевага її в тому, що таким способом можливе розрізування металу товщиною до 300 мм, що не під силу жодному іншому методу.

Плазмова різка забезпечує кращу якість оброблюваної кромки, хоч і трохи гіршу, ніж лазерна, забезпечує кращу зварюваність металу порівняно з газокисневою різкою.

Створені з використанням лазерної різки деталі вирізняються високою якістю контуру і кромки різки. Технологія лазерного різання базується на потужній дії променя, сконцентрованого в точці на оброблюваній поверхні, що дозволяє різати матеріали незалежно від їх теплофізичних властивостей. Лазерна різка — одна з передових, сучасних, найбільш перспективних технологій обробки металу різанням, забезпечує вирізання складних контурів, точних отворів, пазів. Якість поверхні після лазерної вирізки відповідає вимогам остаточно обробленої деталі. Точність різки — від ± 1 мм до 10÷15 мкм.

Сучасні верстати термічної різки з пристроями ЧПК можуть мати кілька видів різального оснащення.

Гідроабразивна різка вирізняється високою продуктивністю й екологічністю, виконує розкрій металів, їх сплавів, зокрема важкооброблюваних. Різка виконується за допомогою водяного струменя води, змішаного з абразивними компонентами, який подається на оброблювану поверхню під

високим тиском. Ширина різку менша від всіх попередніх методів. Гідроабразивна різка застосовується для швидкісного розкрою прямолінійних і криволінійних контурів без втрати якості кромок.

Скорочення терміну підготовки плану розкрою, оптимальне розміщення деталей на листі, зменшення розходу листа істотно впливають на собівартість і якість виготовленої продукції. Для вирішення цієї проблеми сьогодні розроблені й ефективно використовуються комп'ютерні програмні комплекси, які за номенклатурою й кількістю відібраних деталей, враховуючи складські запаси, формують оптимальний розклад деталей на листах, забезпечують керуючі програми їх вирізання, листи ділового відходу заносять в базу даних системи для подальшого використання, ведуть облік понуменклатурної кількості вирізаних деталей.

Процес організовано в послідовності.

1. *Формування завдання на розкрій.* Для цього складають перелік всіх деталей, які потрібно виготовити з листової заготовки, зазначають кількість кожного найменування. Вибирають лист або залишок листа від попередньої вирізки необхідної марки металу, товщини, ширини тощо.

2. *Розміщення деталей на листі.* Виконують це «вручну» або автоматично по команді від керуючої програми.

«Вручну» на екрані комп'ютера у спеціальній САМ-програмі технолог розташовує деталі на зображеному там листі за допомогою графічного редактора. Функція контролю переміщень програми не дозволяє розташувати деталі ближче між собою і до краю листа, ніж це допустимо за технологією крою.

В автоматичному режимі керуюча програма сама розкладає деталі на листі оптимально по заданих або імпортованих з САД-програми контурах, витримує допустимі відстані до краю листа та між деталями. Автоматичний режим забезпечує максимальне використання листа. Отвори в деталях використовуються для викрою в них дрібніших деталей. Розкрій в автоматичному режимі може редагуватися технологом вручну. Це дає змогу вигідно використати переваги кожного режиму.

3. *Програмування обробки.* Вказують оброблювані контури деталей. Програма самостійно призначає траєкторію руху інструмента з урахуванням необхідних поправок, формує підходи й відходи (по прямій, по дузі, по нормалі, до-

тичній тощо), допоміжні переміщення інструмента, команди ввімкнення і вимкнення різачка, режими роботи різачка на різних стадіях обробки, корекції і под. За потреби розроблена програмою траєкторія може редагуватися технологом вручну.

На контурі деталі можуть зазначатися непрорізувані ділянки — перемички. Будуючи траєкторію, програма автоматично формує в таких місцях команди вимкнення і ввімкнення різачка й відрізки підходу та відходу.

Для якісної обробки кутів у траєкторії руху різачка передбачено спеціальні петлі. Є можливість виконувати фаски під зварювання.

Сучасні верстати термічної різки поворотом різачка в просторі можуть виконувати 3D-обробку, розрізаючи плоский лист. Для цього командами від пристрою ЧПК різач нахиляється на потрібний кут, суміщаючи нахил із переміщеннями. Рухи різачка візуалізуються на дисплеї, що використовується для налагодження і контролю процесу.

Розроблена таким чином програма може зберігатися в пам'яті ЧПК і використовуватися в майбутньому на тому самому або іншому верстаті. Через постпроцесор програма адаптується до багатьох верстатів розрізки та пристроїв ЧПК.

Для виконання операції в САМ-програму вводять вхідні дані:

- креслення заготовки з САД-програми;
- специфікацію: найменування та позначення деталі в конструкторській документації, кількість кожного найменування;

САМ-програма формує (див. Додаток 2):

- карту розкрою листа — зображення листа з розташованими на ньому деталями, наскрізними різачами;
- текстову інформацію: позначення деталей, їх габарити, номер у специфікації, кількість, масу, витрату листа за площею і масою, залишки.

5.3. Крій розгорток повітропроводів

Спеціальна програма, наприклад «Интех-Duct», забезпечує в автоматичному режимі:

- створення 3D-моделі елементів повітропроводу або їх імпортування з САД-програми;

- розрахунок і побудову розгортки повітропроводу по його 3D-моделі;
- врахування на розгортках технологічних припусків на фальці, замки, припуски на зварювання з прорисовкою цих припусків і ліній загинів;
- розподіл розгортки на кілька фрагментів (за потреби);
- збереження контурів деталей-розгорток у вигляді стандартних файлів;
- формування завдання для наступного створення карти розкрою.

Програма забезпечує оптимальне розміщення плоских розгорток на листі, формує карту розкрою з розробкою програми вирізання та її передавання в пристрій ЧПК верстата для термічної розрізки.

5.4. Згинальні верстати з ЧПК

Гнуття листового металу на згинальних верстатах з ЧПК порівняно зі звичайними має такі переваги:

- продуктивність обробки збільшено на 40÷50 %;
- автоматизація процесу підвищила його точність, стабільність і безпечність;
- ліквідовано паяння швів, які негативно впливають на довговічність і міцність виробу.

Згинанню підлягають листи з конструкційної вуглецевої сталі. ЧПК автоматично розраховує необхідне для гнуття зусилля, залежно від характеристики металу, товщини листа й форми профілю. Необхідна для гнуття обрізка ріжків, країв заготовки може виконуватися на координатно-пробивних пресах.

5.5. Координатно-пробивні преси з ЧПК

Координатно-пробивні преси з ЧПК призначені для пробивання отворів, вирубки, штамповки листового металу відповідно до заведеної з пульта пристрою ЧПК керуючої програми. Основні переваги: висока продуктивність за рахунок швидкості переміщень — до 40 м/хв, висока точність позиціонування — $\pm 0,1$ мм.

Обробка відбувається шляхом переміщення з високою швидкістю затиснутого на столі прихоплювачами листа в запрограмовану координату, послідовної зміни штампового

інструмента в робочій позиції револьверної головки і спрацьовування виконавчого механізму повзуна преса. Управління рухами здійснюється системою ЧПК. Є преси, які замість револьверної головки можуть оснащуватися магазинами штампів — до 32 гнізд і більше.

5.6. Труборізні верстати з ЧПК

Труборізні верстати з ЧПК використовуються під час виготовлення металоконструкцій, вузлів трубопроводів. У цих випадках потрібно виготовити деталь із труби, яка чітко по кромках для зварювання з'єднається з іншою трубою такого ж або іншого діаметра, а інколи і форми. Для обробки таких деталей верстат виконує рухи по двох, трьох або чотирьох осях одночасно (2D-, 3D-, 4D-програмування обробки). Робочим інструментом служить різак газової, плазмової або лазерної різки.

Основним рухом під час обробки труби є її обертання навколо своєї осі і переміщення вздовж неї інструмента — схема руху найпростішого 2D-труборіза, яка використовується для різки тонких труб. Якщо додати нахил різака у вертикальній площині і його обертання навколо вертикальної осі, отримуємо 3D- і 4D-обробку, що забезпечить вирізання складного отвору для з'єднання круглої труби з фасонним елементом. САМ-програма створює керуючу програму для виконання різноманітних перерізів при з'єднанні труб, наприклад: фланцеві, колінчасті, трійники, патрубки з труб різного діаметра, товщини, форми. Процес вирізання візуалізується в об'ємному форматі.

5.7. ЧПК та адитивні технології в ливарному виробництві

Сьогодні традиційна технологія отримання виливків така: розробка конструкторської документації, виготовлення майстер-моделі, створення піщаної форми та її заливка розплавом металу. Найбільш трудомісткою частиною цього процесу є виготовлення майстер-моделі відповідно до вимог майбутнього виливка. Виготовляються майстер-моделі порізного: на одних підприємствах виконуються з пластмаси,

м'яких металів чи дерева на верстатах з ЧПК, на інших — створюються вручну висококваліфікованими майстрами-модельниками. В усіх випадках існують такі традиційні проблеми:

- низький коефіцієнт використання металу;
- великі припуски на механічну обробку;
- відсутність гнучкості виробництва (швидка переналадка на новий виріб);
- складність розробки ливниково-живлющих і газовідвідних систем;
- дефекти литва (недоливи, облой, тріщини у формі, раковини тощо);
- висока трудомісткість створення модельного оснащення;
- для реалізації процесу задіяні виробничі потужності, висококваліфікований персонал, характерні великі затрати часу.

Сьогодні такі затрати можна скоротити багаторазово, застосовуючи адитивні технології (див. параграф 2.21), згідно з якими по 3D-моделі, створеній у CAD-програмі, на 3D-принтері або у спеціальній адитивній установці вироцують майстер-модель. Ці технології істотно модернізують литво в піщано-полімерні та керамічні форми, в кокіль, в землю (піщано-глинисті суміші), в холодно-твердіючі суміші, литво в вакуумі, литво по виплавлюваних моделях, а саме:

- завдячуючи пошаровому створенню форми і стержня розширилися можливості литва: в напрямі формування надскладних конфігурацій форми, об'єднання в одну деталь форми і стержня, створення спеціальних охолоджувальних порожнин, можливості відливати тонкостінні деталі та ін.;

- істотно скорочено час отримання першого виливка за рахунок усунення тривалої підготовки виробництва і, за потреби, повторення процесів для корегування виливка за формою або розмірами;

- значно зменшено масу виливка і припуск на механічну обробку завдяки вищій якості заготовки (5÷6 клас точності й шорсткість Ra 10÷16 мкм), розширилася номенклатура деталей, отриманих литвом. Відпала потреба обробки майстер-моделі на верстатах з ЧПК, а разом із цим — в операторах і технологах-програмістах, не кажучи вже про народних умільців — висококваліфікованих майстрів-модельників.

Контрольні запитання

- 1. Назвіть переваги застосування стрічкопильних верстатів з ЧПК.*
- 2. Які Вам відомі способи розкрою листа?*
- 3. Опишіть послідовність програмування розкрою листа.*
- 4. Яке призначення координатно-пробивного преса?*
- 5. Охарактеризуйте особливості застосування адитивних технологій у ливарному виробництві.*

ДОДАТКИ

Додаток 1

Додаткові правила безпеки під час роботи на верстатах з ЧПК

На працю оператора верстатів з ЧПК поширюються загальні правила безпеки під час роботи на металорізальному обладнанні. Крім того, в міждержавному стандарті «ГОСТ ЕН 12415. Безопасность металлообрабатывающих станков. Станки токарные с числовым программным управлением и центры обрабатывающие токарные» викладено правила безпеки під час роботи на верстатах з ЧПК та оброблювальних центрах. Додаткові вимоги для безпечної роботи на верстатах з ЧПК і оброблювальних центрах наведено у цьому додатку.

Оператору верстатів з ЧПК чи оброблювальних центрів:

1) перед початком роботи:

— необхідно перевірити роботоздатність верстата і пристрою ЧПК за допомогою тест-програми, пересвідчитися в наявності масла у гідросистемі, перевірити роботу обмежувальних упорів, переконатися у відсутності на робочому місці непотрібних речей, а потрібні правильно розташувати. Виключити небезпеку падіння якихось з них;

— перевірити надійність укріплення пристосувань та інструментів, відповідність заготовки вимогам технологічного процесу, відхилення від точності настройки нуля верстата по всіх координатах, виключити можливість биття інструменту в шпінделі верстата;

— за потреби відрегулювати місцеве освітлення робочої зони так, щоб світло за її достатнього освітлення не потрапляло в очі працівнику;

— перевірити справність верстата при роботі на холостому ходу в ручному та автоматичному режимах, у разі виявлених несправностей або відхилень в роботі не розпочинати обробку й повідомити про це відповідальній особі;

— ознайомитися з робочим завданням, розкласти в необхідному порядку інструмент, скласти подані до обробки деталі в зручному для користування місці, перевірити наявність захисних решіток від стружки або вдягти захисні окуляри, перевірити справність дерев'яного настилу під ногами;

— встановити і закріпити на верстаті заготовку. Ввести в пристрій ЧПК або знайти в бібліотеці пам'яті потрібну керуючу програму, пересвідчитися у наявності й правильності розташування необхідного інструменту в магазині, обробити першу заготовку за програмою, перевірити її розміри на відповідність кресленню.

2) під час роботи потрібно:

— постійно спостерігати за роботою верстата: за контрольними точками програми, за характером і величиною лінійних та кругових переміщень робочих органів, за відхиленням характеру й рівня шуму механізмів верстата, за чіткістю виконання технологічних команд робочими органами;

— у разі переналадки обробки з однієї деталі на іншу контролювати положення обмежувальних упорів і правильність розташування деталі та вибору нуля відліку;

— вибірково контролювати розміри заготовки нової партії. В разі їх відхилення від зазначених у кресленні припинити роботу, повідомити про це майстра або наладчика;

— стежити за роботою інструменту візуально і на слух — по звуку різання;

— не допускати потрапляння ЗОР на елементи електрообладнання, стежити за цим і своєчасно усувати, за потреби викликати спеціаліста.

Особливу увагу слід звертати на стан затискних елементів оснащення, їх своєчасне чищення, вчасно замінити зношені новими або відновлювати самостійно; періодично перевіряти стан вузлів верстата і пристрою ЧПК з метою виявлення заздалегідь можливих відхилень від норми, яким краще запобігти, ніж потім усувати;

— не залишати обладнання з ЧПК працюючим без нагляду;

— усі підготовчі роботи виконувати на знеструмленому верстаті або в режимі «Наладка» (заміна пристосувань, інструменту, заготовок, установка упорів вихідного стану, кінцевих перемикачів, регулювання системи змащення вузлів тощо);

— не втручатися в автоматичний цикл роботи верстата перемикачами, кнопками, іншими елементами на панелі верстата чи пристрою ЧПК, крім «Припинення загального циклу».

Під час багатOVERстатного обслуговування, у зв'язку з додатковими рухами оператора, потрібно звернути увагу на зону обслуговування (розстановка тумб з інструментом, сте-лажів, столів, контейнерів із заготовками, деталями тощо), а також додатково звернути увагу на захист від стружки, окалини, розбризкування або витікання під ноги ЗОР.

У разі недостатньо відпрацьованого технологічного процесу (часта поломка інструменту, велике коливання припуску на заготовках, труднощі з наладкою та підналадкою в процесі обробки, невідповідність отриманих розмірів кресленню) необхідно припинити багатOVERстатне обслуговування, повідомити майстру або наладчику.

Вимоги техніки безпеки на верстатах з ЧПК в аварійних ситуаціях та по закінченню роботи такі самі, як і при роботі на універсальному обладнанні.

Інструкція з розробки керуючої програми (КП) в редакторі «Cimco Edit»

Розглянута версія 6 [29] «Cimco Edit». Після запуску відкривається головне вікно програми. У верхній частині вікна представлені її основні розділи (див. рис. 1):

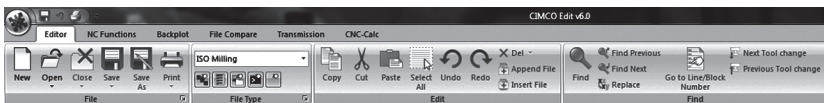


Рис. 1. Головна панель програми

Розділ «**File**» відкриває такі основні команди:

- New — створити нову КП;
- Open — відкрити створені раніше КП;
- Close all — закрити всі вікна;
- Save all — зберегти створене або внесені зміни, інші команди.

Розділ «**Editor**» (редагування) містить ряд команд (рис. 1), необхідних для редагування та створення тексту КП, основні з яких:

- Undo — відміна останньої виконаної дії;
- Redo — повернення до наступної дії;
- Cut — вирізати виділений текст;
- Copy — копіювати виділений текст;
- Paste — вставити виділений текст;
- Del — видалити виділений текст;
- Select all — виділити весь текст;
- Find — знайти заданий текст у КП;
- Insert file — зберегти файл, інші.

Розділ «**NC-Function**» — команди по роботі з текстом програми:

Insert/Remove — містить набір команд для правки тексту керуючої програми (КП), вставляння окремих фрагментів

тексту, параметри розташування тексту тощо. Наводиться переклад найбільш вживаних:

Auto insert Spaces — автоматичне ущільнення (розрідження) тексту КП для зручності роботи в редакторі;

Uppercase — введення та відображення тексту великими буквами;

Lowercase — введення та відображення тексту малими буквами;

Next Tool Change — вибір наступного інструмента з магазину інструментів верстата;

Previous Tool Change — вибір попереднього інструмента з магазину інструментів верстата;

Toolpatch Statistic — команда запускає зведену таблицю обліку терміну та шляху роботи інструментів у даній КП, зручна для швидкого підбору необхідної кількості кожного інструмента по його стійкості;

Simple math functions — прості математичні функції;

Rotate/mirror — команда повороту стола на заданий кут навкруг осі Z відносно заданої точки в площині XY, віддзеркалення;

Tool Compensation — корекція положення різальної крайки інструмента;

Insert Macro — вставити макрос;

Macro Setup — відкривається база даних по макросах, з можливістю їх правки та створення нових макросів;

Hide NC-Assistant — відображення вікна з текстом КП.

Розділ «*Transmission*» необхідний для відправлення створеної КП на верстат з ЧПК. Містить команди:

Send — відправити КП на обраний верстат;

Receive — отримати КП з верстата;

DNC — Setup — настройки для передачі КП на верстат.

Розділ «*CNC Calc*» відкриває інструменти з графічної підготовки КП, найчастіше вживані з яких:

New Drawing — запуск графічного вікна;

Open Drawing — відкрити графічний файл;

Draw points/lines — створення точок і ліній;

Draw Arcs/Circles — створення дуги, кола;

Draw Special — створення спеціальних елементів, наприклад, текст на оброблюваній поверхні;

Modify — робота зі створеними елементами: обрізка ліній, видалення тощо;

Milling operations — макроси найбільш поширених фрезерних операцій:

Contour milling — контурна обробка;

Face milling — фрезерування площини;

Pocket milling — фрезерування кармана;

Milling letters — фрезерування символів;

Mill true type letters — фрезерування літер;

Turning operations — макроси найбільш поширених токарних операцій:

Finish turning — чистове точіння;

Face turning — підрізка торця;

End Drilling — торцеве свердління;

Roughing turning — чорнове точіння;

Cutoff — відрізання при виготовленні з прута;

Threading horizontal — нарізання різьби;

Grooving — точіння канавки канавковим різцем;

Zoom — зміна масштабу в графічному редакторі.

Розділ «**Backplot**» запускає симуляцію обробки. Основні команди:

Backplot Window — запуск вікна симулятора;

Backplot file — відкрити файл;

Close Backplot — закрити симулятор;

Set view — встановити параметр відображення (напрямо погляду при обробці);

Simulation mode — вид симуляції;

Measure Distance — вимірювання відстані;

Show/Hide Toolpath — показати траєкторію руху інструмента;

Tool Setup — настройка відображення інструмента;

Show/Hide Solid Model — відобразити твердотільну модель в симуляторі;

Solid Setup — настройка моделі;
Zoom/Regenerate Solid — масштабування відображення,
регенерація моделі;
Backplot Setup — настройка симулятора;
Розділ «*File Compare*» — порівнювання відкритих файлів:
Next Difference — наступні відмінності;
Previous Difference — попередні відмінності;
Sync Right — синхронізація з правим файлом;
Sync Left — синхронізація з лівим файлом;
Go to last Difference — перейти до останньої відмінності;
Go to first Difference — перейти до першої відмінності;
Compare with Window — порівнювання в одному вікні;
Compare with file — порівняти з файлом;
Compare file with file — порівняти файл з файлом;
Save Compare file — зберегти порівнюваний файл.
Розділ *Setup* — для налаштування всіх елементів програми;
Розділ *Window* — для налаштування розташування відкритих вікон;
Cascade — розміщення вікон каскадом;
The horizontally — горизонтальне розміщення;
The vertically — вертикальне розміщення.
«Cimco Edit» дозволяє розробляти КП декількома способами.

Друкарський набір тексту КП, його перевірка через «Backplot»

Для цього відкриваємо вікно розділу «Editor».

У верхній частині вікна розташовані згруповані за призначенням команди. Нижче розташована панель швидкого запуску з найчастіше виконуваними командами.

Щоб створити файл керуючої програми, необхідно натиснути клавішу «File/New».

Для зручності набору програми в редакторі є готові коди команд і макроси стандартних частин програми. Наприклад (рис. 2), макрос початку і закінчення керуючої програми:

після вводу необхідних параметрів та їх підтвердження у вікні редактора з'являться ці частини тексту.

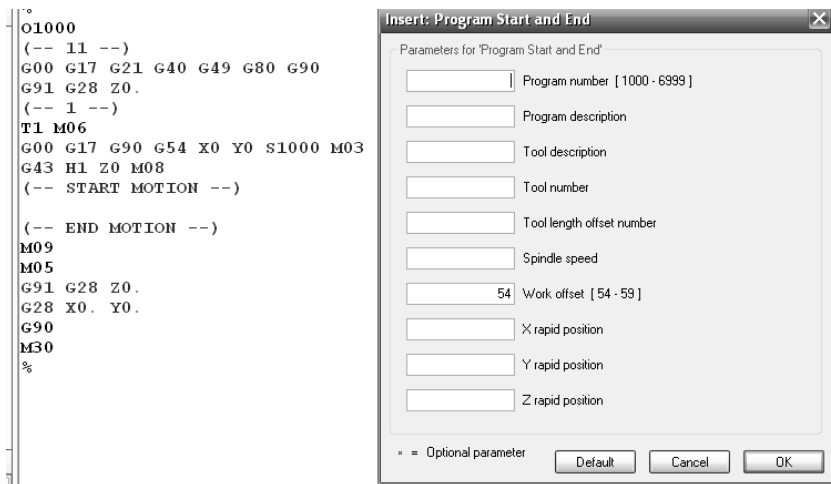


Рис. 2. Макрос набору початку і кінця КП

Для того щоб повністю набрати текст програми, треба двічі клікнути на кожному з потрібних G-кодів та ввести необхідну інформацію. При наведенні курсору на якийсь з G-кодів виводяться підказки — призначення команди, що полегшує їх вибір при написанні програми.

Для зручності читання й аналізу КП кадри з допоміжними функціями фарбуються в чорний колір, прискорений рух — в червоний, робочі лінійні переміщення — в зелений, кругова інтерполяція — в голубий, інформація поза текстом програми — в синій. За бажанням користувача кольори можна поміняти.

Для контролю КП передбачений візуальний редактор, в якому можна спостерігати й перевіряти зображення інструмента і його траєкторію руху під час обробки запрограмованого контуру (симуляція обробки).

Симуляція вводиться командами розділу «Backplot/Backplot Window». У цьому ж розділі розміщені настройки симуляції: вибір системи координат, вид інструмен-

ту, масштабування, вимірювання відстані, хронометраж відпрацьованого терміну та часу різання кожним інструментом, відображення твердотільної моделі тощо. В лівій частині вікна симуляції розташований текст КП, а в правій — вікно симуляції (рис. 3), під яким знаходяться кнопки керування — старт симуляції, швидкість, координати положення інструмента і його номер в тексті КП. У вікні симуляції зображено інструмент в початковій точці, траєкторію і систему координат.

Для зручності редагування КП передбачено світлове виділення рядка КП при підводі до нього курсору і відповідну йому позицію інструмента у вікні симуляції обробки праворуч. Це робить простішим знаходження необхідного для виправлення місця КП.

На рис. 3 наведено приклад КП обробки контуру деталі «лопатка» на свердлильно-фрезерно-розточувальному ОЦ з пристроєм ЧПК «FANUK» (див. рис. 2.13, табл. 2.4, % 10), з її перевіркою через «Backplot». Фігура на правій частині поля по формі відповідає оброблюваному контуру деталі з рис. 2.13. Рухаючи курсор по тексту КП, перевіряємо координати опорних точок траєкторії (показано в нижній частині вікна), контролюємо відстані між окремими точками на відповідність вказаним на рис. 2.13, спостерігаємо напрямок руху інструмента при обробці.

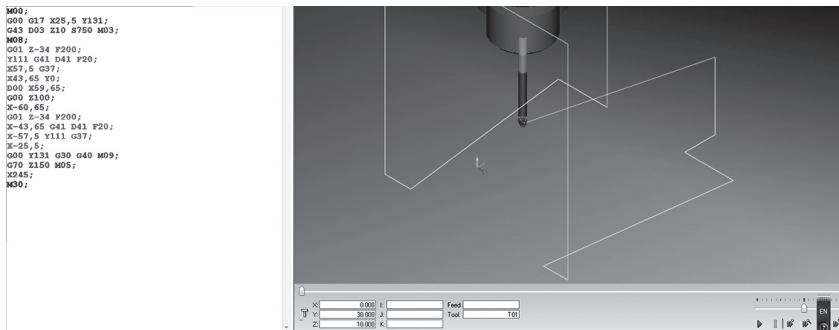


Рис. 3. Програма обробки деталі «лопатка» з рис. 2.13 та її візуалізація і перевірка

- Активізуючи функцію «Toolpath Statistics», фіксуємо:
- час обробки деталі 0,1856 години;
 - повний шлях, пройдений інструментом, 1363,3136 мм;
 - довжина траєкторії різання 518,7215 мм;
 - прискорений рух 844,5921 мм.

На рис. 4 наведено приклад розробки з перевіркою КП остаточної обробки внутрішнього діаметра втулки на токарному верстаті з ЧПК з пристроєм «FANUK». Перевіряючи виконуваний діаметри, множимо значення, отримані на екрані, на 2 — як бачимо, на рисунку зображені радіуси обробки. Довжина, як і в попередньому прикладі, відповідає запрограмованому значенню. Активізуючи в розділі «NC Functions» опцію «Toolpath Statistics», як і в попередньому випадку, можемо зняти розрахункові дані: стрічковий час, робочий та повний шлях інструмента.

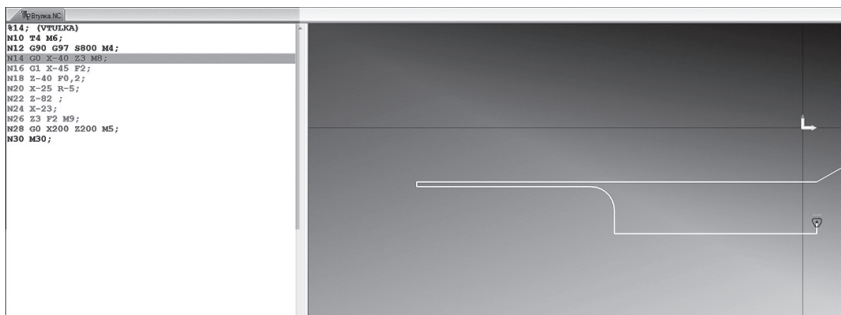


Рис. 4. КП обробки внутрішнього діаметра втулки з рис. 3.15, б на токарному верстаті, її візуалізація та перевірка

На рис. 5 представлена КП %29 обробки отворів деталі з рис. 2.23 на свердлильно-фрезерно-розточувальному оброблювальному центрі з її візуалізацією та перевіркою. В обробці задіяні три інструменти. Як і в попередніх прикладах, перевіряються координати обробки кожним, стрічковий час (43,34 хв) та час різання (41,05 хв).

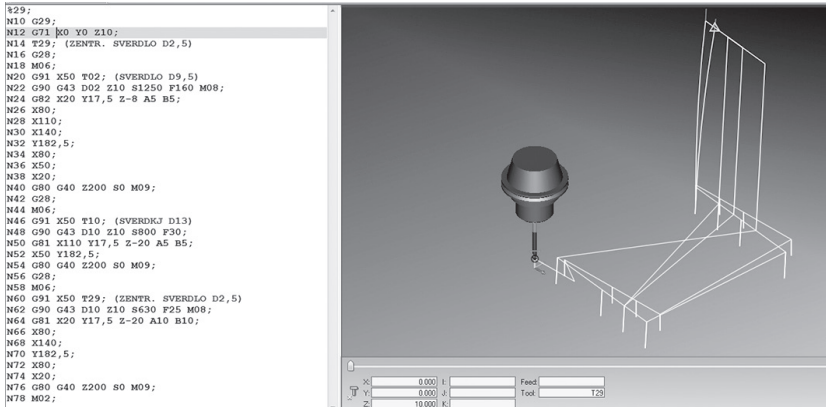


Рис. 5. КП обробки отворів деталі з рис. 2.23 з візуалізацією та перевіркою

В «Cimco Edit» існує метод розробки КП — у зворотному напрямку: по зображеній в графічному вікні «Drawing Window» траєкторії руху інструмента через послідовність визначених дій в «Editor» відтворюється текст КП — так званий метод графічного програмування. Використовується цей метод, в основному, для простих програм (одним інструментом з постійною глибиною профілю по Z), при складанні КП безпосередньо біля верстата з візуалізацією і перевіркою траєкторії руху через «Backplot».

Графічне програмування

Для переходу в розділ графічного програмування використовують кнопку на панелі інструментів «CNC-Calc». Далі команди вибираються через інструментальні панелі.



Рис. 6. Масштабування зображення

Після переходу в цей режим інтерфейс програми змінюється (див. рис. 7): відкривається нове вікно під вивід графіки, активізується ряд панелей з інструментами для графічної роботи — піктограмками (або

кнопками) у верхній частині вікна (виділено рамкою — п. 2 на рис. 7).

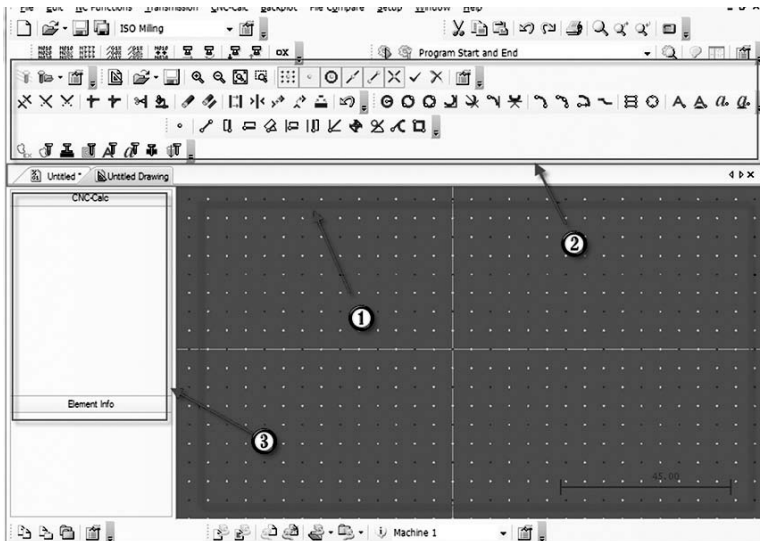


Рис. 7. Інтерфейс програми в режимі графічного (візуального) програмування: 1 — область графічного зображення; 2 — панелі інструментів; 3 — область налаштувань/параметрів

Нижче графічного поля 1 знаходяться кнопки для вибору інструмента, напрямку його руху під час обробки, режимів обробки, координат тощо.

Керування зображенням на екрані (рис. 6) здійснюється, як і в режимі «Backplot» (зліва направо: збільшити, зменшити, показати все креслення, вибрати окрему частину і збільшити через вікно).

В лівій частині екрана знаходиться частина налаштувань поточного елемента чи команди (рис. 7, п. 3).

Панель інструментів 2 містить:

— панель прив'язок (snap) до характерних елементів геометрії (зліва направо на рис. 8): до сітки, точки, центру дуги або кола, середини або кінцевої точки лінії, точки перехрещення примітивів: (1) — активізація прив'язок, (2) — скасування;

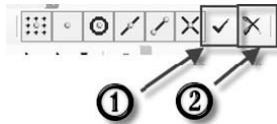





















Рис. 8. Прив'язки:
1 — всі активізувати; 2 — всі скасувати




— набір піктограм для створення та редагування графічних примітивів — простих елементів траєкторії руху інструмента. Графічні примітиви можна створювати по координатах, редагуючи значення параметрів. Програма дозволяє створювати: точки, відрізки прямої, кола, дуги, набори точок під місця свердління отворів, контури літер під наступне гравірування. Нижче наведено перелік основних з них.

Панель інструментів «прямолінійні відрізки»





-  — окрема точка;
-  — відрізок прямої між двома точками;
-  — вертикальний/горизонтальний відрізок прямої заданої довжини;
-  — відрізок від точки під заданим кутом;
-  — перпендикулярний/паралельний відрізок;
-  — дотична до двох об'єктів;
-  — дотична до кола або дуги під кутом;
-  — дотична, проведена із заданої точки;
-  — прямокутник;
-  — бісектриса кута.

Панель інструментів «дуги і кола»









-  — коло по центру і радіусу;
-  — коло по двох точках на його діаметрі;
-  — коло по трьох точках;
-  — дуга, дотична до двох ліній;
-  — дуга, дотична до лінії з центром на іншій прямій;
-  — дотична дуга з даної точки;
-  — дуга, дотична до трьох ліній;
-  — дуга по двох точках і радіусу;
-  — дуга по трьох точках;

-  — дуга по центру, радіусу та куту нахилу радіуса в її початку та кінці;
-  — дуга дотична до лінії і проходить через задану точку;
-  — прямокутний та круговий масив точок під свердління стандартними циклами.

Панелі для вибору методики (стратегії) обробки:

-     — інструменти візуального програмування обробки на свердлильно-фрезерних верстатах, зліва направо:
 - фрезерування контуру, виступу або впадини (Contour milling) кінцевою фрезою;
 - фрезерування відкритої поверхні (Face milling), як правило, торцевою фрезою;
 - фрезерування порожнин, карманів (Pocket milling), як правило, кінцевою фрезою;
 - цикл свердління (Drill Cycle), часто включає попереднє центрування, свердління, знімання фасок, розвірчування, нарізання різьби.

Інструменти візуального програмування токарної обробки:

-  — експорт контуру;
-  — остаточне чистове точіння контуру (Finish);
-  — підрізання торця (Fact Turn);
-  — свердління (Drill);
-  — чорнове точіння (Rough);
-  — відрізання (Cut off);
-  — нарізання різьби різцем (Taper);
-  — нарізання канавок (Grooving).

Розглянемо графічне програмування обробки контуру на свердлильно-фрезерному верстаті з пристроєм ЧПК «FANUC». Контур містить прямі й кругові відрізки. Порядок дій:

- 1) використавши піктограму прямокутника, побудувати прямокутник 120×100;
- 2) активізувати прив'язки;
- 3) використавши піктограму кола по центру і радіусу, побудувати коло в центрі прямокутника радіусом 25 мм з

центром в початку координат, що співпадає з центром прямокутника;

4) скасувати прив'язку по сітці;

5) використавши прив'язку до середини відрізка, побудувати 2 кола радіусом 15 мм на середині правої та лівої сторін прямокутника;

6) використавши прив'язку дуги, дотичної до двох ліній, побудувати заокруглення на вершинах прямокутника радіусом 15 мм;

7) клавішею «Esc» завершити побудову.

Приклад внесення даних для побудови і графічний результат показано на рис. 9

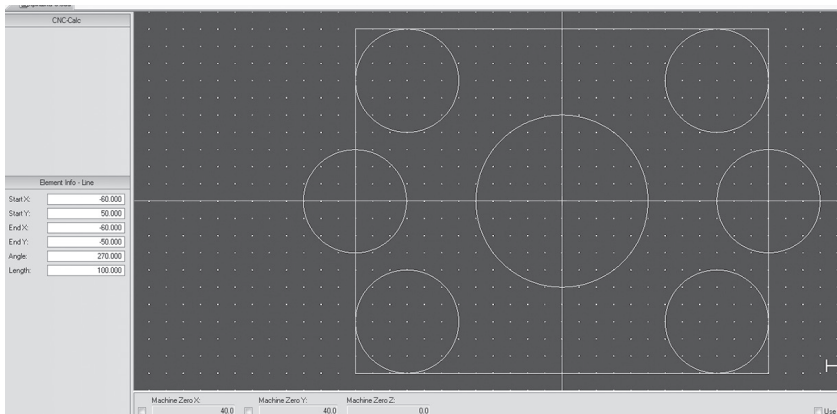


Рис. 9. Заготовка з геометричних примітивів для побудови контуру

Використаємо побудовану геометрію як контур для обробки кінцевою фрезою $\varnothing 10$ мм з глибиною фрезерування 5 мм. Для цього виконаємо наступні підготовчі дії:

1) виберемо на панелі програми постпроцесор для фрезерування (ISO Milling);

2) для визначення траєкторії і напрямку обходу вибираємо піктограму «Contour milling» (фрезерування контуру);

3) вибираємо початок обробки і напрямок обходу контуру — фреза праворуч. Обходимо контур в одному напрямку від початкової точки до кінцевої, які в нашому випадку

співпадають. Для цього підводимо курсор в початкову точку. На контурі з'являється стрілка, яка вказує напрямок обходу. Рухаємо курсор по контуру, — система автоматично забезпечує проходження з'єднань графічних примітивів до точки розгалуження (перехрещення ліній);

4) в точках розгалуження курсором вказуємо лінію, по якій необхідно рухатись. Якщо помилково активізували не ту лінію, для відміни в панелі є команда «Back», через яку курсором видаляємо неправильну траєкторію і повторюємо обхід;

5) формування контуру закінчується з приходом в початкову точку (див. рис. 10);

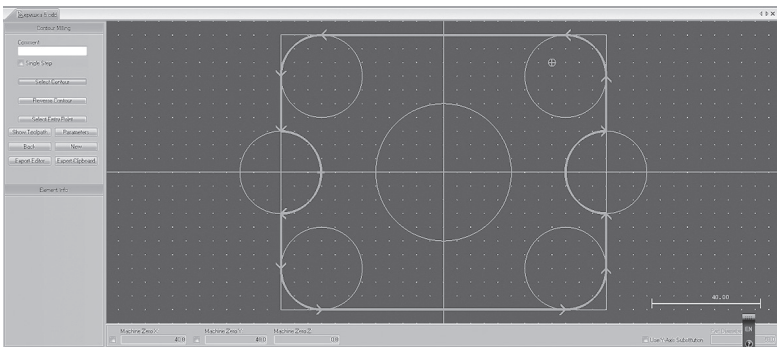


Рис. 10. Обработка контуру обходом фрезы праворуч

6) встановлюємо необхідні параметри циклу обробки, які враховують розміри інструмента, особливості чистової та чорнової обробки, підведення і відвід інструмента. Для внесення параметрів обробки в лівій частині екрана висвічується відповідне вікно (рис. 11), в якому:

- 1 — діаметр фрези (візьмемо 10 мм);
- 2 — висота, на якій знаходиться інструмент перед обробкою, 10 мм;
- 3 — безпечна відстань для прискорених переміщень над поверхнею деталі;
- 4 — положення площини початку обробки по Z;
- 5 — глибина контуру по осі Z;
- 6 — кількість проходів у площині XY;

- 7 — припуск на прохід в площині XY;
- 8 — глибина різання по осі Z;
- 9 — припуск на сторону в площині XY;
- 10 — припуск по осі Z;
- 11 — сторона обходу контуру — справа (Right).
- 12 — вікно над п. 11 визначає тип компенсації: Computer (як на табло); ЧПК — компенсація вноситься з пристрою ЧПК; відключено — компенсація не потрібна — при обробці ось фрези рухається по контуру (фрезерування пазів типу шпонкових, можливих криволінійних пазів тощо).

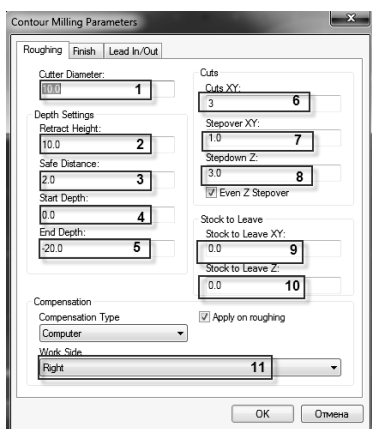


Рис. 11. Вікно параметрів обробки

Є спеціальне вікно для програмування підводів і відводів. Їх правильний вибір значною мірою впливає на стійкість інструмента і якість оброблюваної поверхні. Вказується лінійна частина підводу по перпендикуляру або дотичній до оброблюваної поверхні і частина підводу (відводу) по радіусу.

Після виконаних зазначених дій, використавши кнопку «Show Toolpath», програма розраховує траєкторію руху інструмента і формує послідовність кадрів КП. Її можна експортувати в буфер обміну (export to clipboard) або у відкритий в текстовому редакторі файл КП (кадри будуть скопійовані в позицію, вказану курсором). Експортовані кадри можна перевірити через «Backplot» (див. рис. 12).

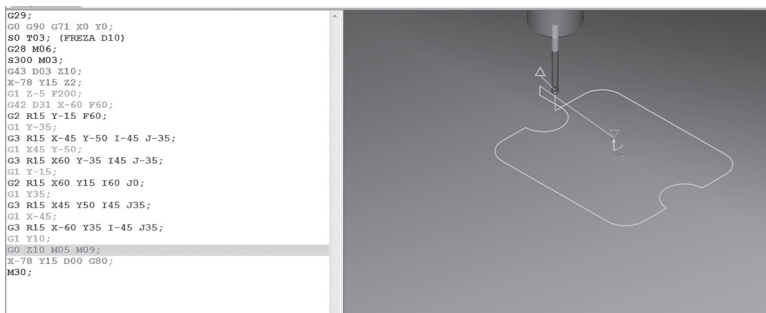


Рис. 12. Візуалізація й перевірка програми, розробленої в графічному редакторі

Інші типові процеси фрезерної обробки — фрезерування площин, вибірка карманів — при програмуванні в графічному редакторі мають багато спільного з розглянутою контурною обробкою. Необхідно тільки врахувати особливості цих процесів, викладені в параграфах 2.11 і 2.17.

Графічне програмування обробки отворів

У графічному редакторі «Сimco Edit» можливе також програмування обробки отворів, у тім числі згідно з циклами, розглянутими в параграфі 2.14. Таке програмування ефективне у випадках обробки великої кількості отворів, розташування яких утворює певний шаблон (Pattern) — по прямокутній або круговій сітці. Це дає можливість використати інструменти програми з формування систем отворів.

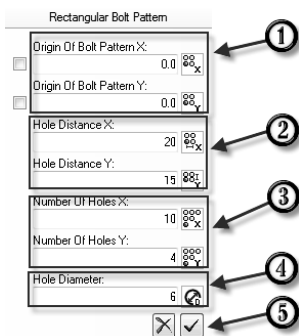


Рис. 13. Панель параметрів для свердління прямокутного масиву отворів

Програмування прямокутного масиву отворів. Розглянемо приклад свердління отворів, розташованих прямокутним масивом (рис. 14).

 — інструмент створення прямокутного масиву.

1 — координати центру першого отвору (в прикладі [0;0;]) — початок координат;

2 — відстань між центрами отворів по осях XY (в прикладі — 20 мм по X, 15 мм по Y);

3 — число отворів по осях (по X — 10, по Y — 4);

4 — діаметр отвору;

5 — кнопка створення масиву отворів.

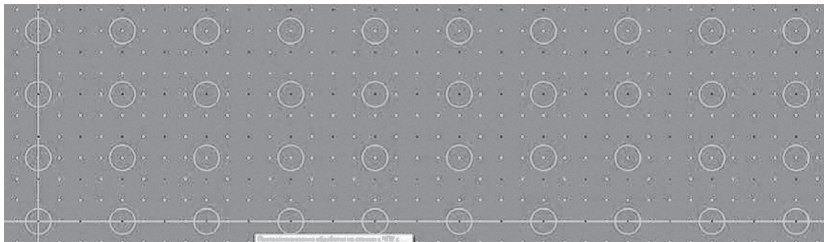


Рис. 14. Візуалізація заданого розташування прямокутного масиву

Розміщення кругового масиву відбувається майже аналогічно за наступною схемою: задають центр кола, на якому розташовані отвори, його радіус, кут у градусах між сусідніми отворами, їх кількість, діаметр отвору, кут між радіусом розташування першого отвору та віссю X.

 — інструмент створення кругового масиву.

Якщо потрібно розмістити отвори рівномірно по всьому колу, то кут між ними задають рівним $360/Z$, де Z — число отворів.

1 — координати центра кола, на якому розташовані отвори (в прикладі — [0;0;]) — початок координат);

2 — радіус кола розташування отворів (в прикладі — 100 мм);

3 — кут між радіусом до центру першого отвору та віссю X (в прикладі — 0°);

4 — кут між сусідніми отворами (в прикладі 10°);

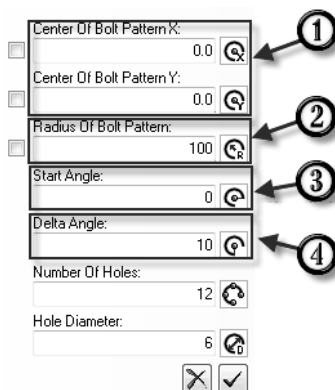


Рис. 15. Панель параметрів для кругового масиву отворів

Решта параметрів як і в прямокутному масиві: кількість отворів 12, діаметр 6 мм.

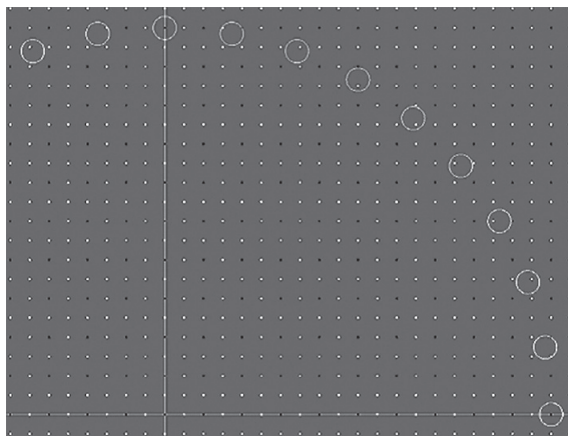


Рис. 16. Графічний результат заданого розташування отворів по колу

Послідовність обробки отворів може вказуватися стрілкою на рисунку.

В редакторі є можливість програмувати свердління коротких отворів — безперервним рухом інструмента на робочій подачі (опція «Canned») і свердління глибоких отворів («Longhand»). В «Longhand» передбачені і в про-

грамі відображені всі необхідні рухи свердла (цикл G83 (див. параграф 2.14). Програма в такому випадку суттєво збільшується (24 кадри проти 225). Тому, як правило, при експортуванні з графічного редактора вказують «Canned», а потім в текстовому редакторі вручну вводять кадр з командою G83, якщо такий цикл виконується даним пристроєм ЧПК.


Графічне програмування токарної обробки

Токарна обробка, порівняно з фрезерною, є більш простою для програмування — переміщення різця відбуваються в одній площині XZ, хоча є своя специфіка, яку треба враховувати.

До початку програмування, щоб врахувати особливості генерації траєкторії руху інструмента, необхідно задати постпроцесор токарного верстата (стандартний ISO Turning або аналогічний). Існує спеціалізована мова програмування для токарних верстатів фірми «Heidenhain» (див. параграф 2.19), несумісна з стандартом ISO. «Cimco Edit» може формувати програми під пристрої ЧПК «Heidenhain», а також перекодувати КІ цією мовою. Це також можна використати.

Якщо відкрити вікно графічного програмування в «ISO Turning», осі координат розташуються традиційно для токарної обробки: вісь Z — вправо, X — вгору. Щоб створити оброблюваний контур, використовують ті самі інструменти (див. рис. 7), що й при фрезеруванні. Треба мати на увазі, що в деяких версіях «Cimco Edit» діаметральні розміри (координата X) необхідно ділити на 2 — для зображення контуру вводити значення радіуса. Для розробки програми, як і при фрезеруванні, достатньо побудувати контур з геометричних примітивів і пройти його в інтерактивному режимі.

В токарній обробці часто виникає потреба зупинити обхід контуру не в місці розгалуження (кінець обробки біля патрона, точка, в якій міняється режим обробки, тощо). Для

цього на контурі або проводиться допоміжна січна лінія, або ставиться точка. По точці або січній розбивають простий елемент контуру інструментом . При обході контуру для зупинки в цій точці використовується кнопка «Back».

Розглянемо графічне програмування чорнової і чистової токарної обробки на прикладі обробки зовнішнього діаметра валика з рис. 3.14.

При чистовій обробці припуск порівняно невеликий, як правило, знімається за один прохід. Щоб її виконати:

1) за вказаною для фрезерування методикою створюємо оброблюваний контур з геометричних примітивів (рис. 17);

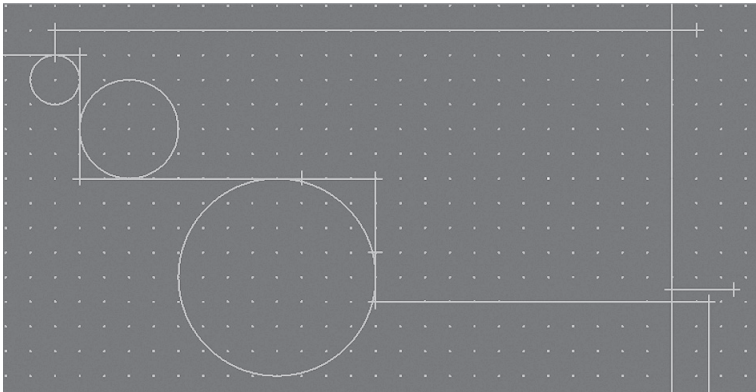


Рис. 17. Оброблюваний контур валика, створений з геометричних примітивів

2) активізуємо, як і у випадку фрезерування, створений контур (рис. 18);

3) на табло зліва відкриваємо вікно параметрів, вносимо дані, необхідні для обробки;

4) переходимо у вікно «Toolpath», пересвідчуємося в правильності вибраної траєкторії руху інструмента;

5) якщо знаходимо невідповідності, натискаємо «Back», відшукуємо помилки, вносимо виправлення, повторюємо перевірку переходом в «Toolpath»;

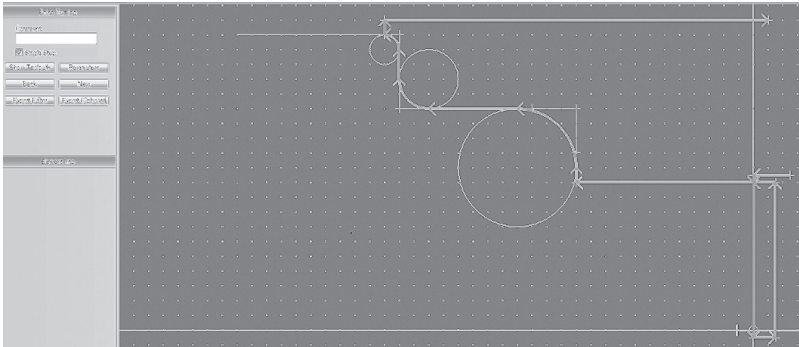


Рис. 18. Траєкторія руху різця по контуру

6) якщо траєкторія правильна, натискаємо «Export Editor», отримуємо текст КП. Вичитуємо, враховуючи особливості пристрою ЧПК, куди її необхідно відправити. Вносимо поправки;

7) переходимо в розділ «Backplot» (рис. 19). Відомими прийомами перевіряємо КП;

8) переходимо в розділ «Transmission», пересилаємо КП в пристрій ЧПК верстата призначення.

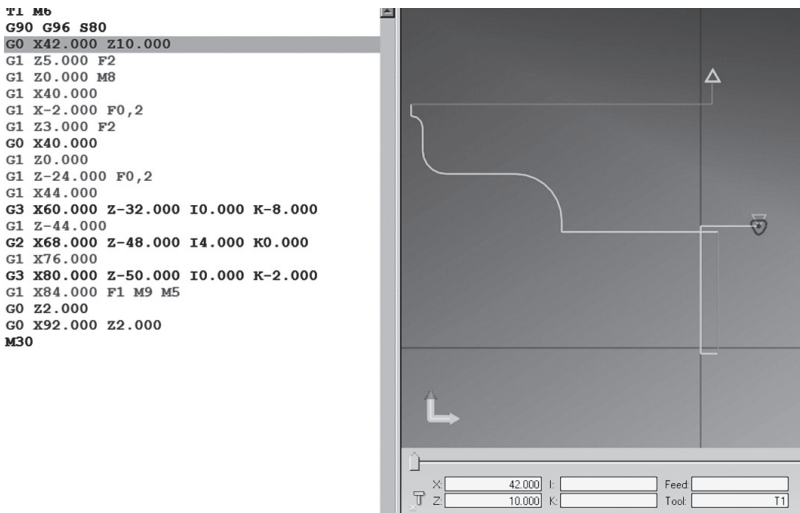


Рис. 19. КП, візуалізація та перевірка контуру чистової обробки валика в «Backplot»

Чорнова токарна обробка передбачає знімання великого об'єму металу осьовими проходами, паралельними осі Z. Методика (стратегія) чорнової обробки дозволяє обробку тільки місць деталі, відкритих з торця.

Після активізації кнопки «Rough turning» на екрані справа з'являється поле для викреслювання оброблюваного контуру, а зліва — панель з настройками.

Для виконання циклу «чорнове точіння» необхідно, користуючись вікнами панельки, задати: початкову точку циклу (Retract point), контур під обробку з системою координат, діаметр заготовки та основні параметри. Після активізації відповідної кнопки на панелі інструментів на екрані з'являється вікно, в якому відображені потрібні настройки. Для введення параметрів використовується діалогове вікно «Parameters».

У вікні «Work Orientation» активізуємо зображення відповідної схеми обробки. Для випадку, що розглядається, — верхня справа (рис. 20).



Рис. 20. Вибір схеми обробки

Як приклад розглядаємо чорнову обробку того самого валика (рис. 3.14), що й при чистовій обробці. Після нанесення контуру і призначення параметрів, натискуючи на панелі зліва «Show Toolpath» спостерігаємо схему рухів різця під час знімання чорнового припуску (рис. 21).

Активізуючи курсором кнопку «Export Editor», отримуємо надруковану КП чорнової обробки. Візуалізуємо програму через розділ «Backplot» (рис. 22), виконуємо остаточну перевірку геометричних параметрів. Аналізуємо текст програми на коректність для використання в конкретному пристрої ЧПК та верстаті. За потреби, в ручному режимі вносимо зміни та поправки.

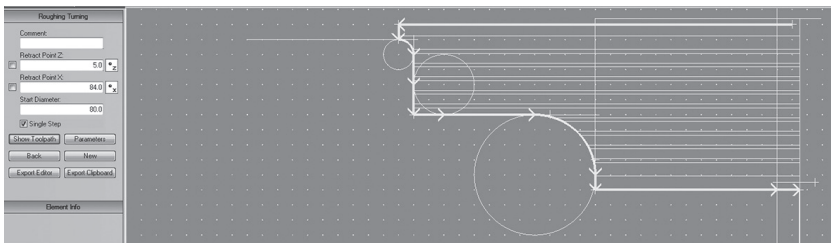


Рис. 21. Візуалізація циклу чорнової обробки

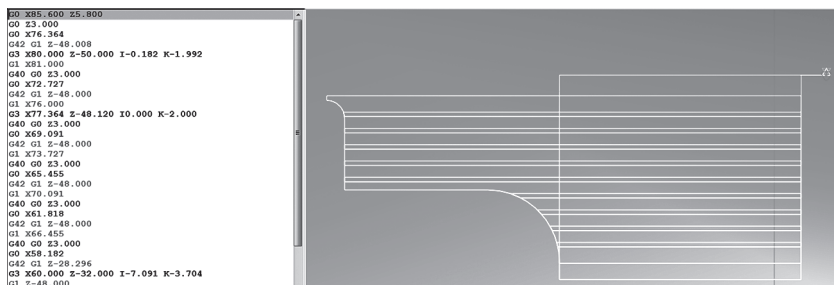


Рис. 22. КП (на рис. частина) чорнової обробки, її візуалізація та перевірка

Переходимо в розділ «Transmission», пересилаємо КП в пристрій ЧПК верстата призначення.

Чистовий і чорновий цикли обробки внутрішньої циліндричної поверхні задаються, практично, так само, як і в розглянутих прикладах для зовнішньої поверхні, тому не розглядаються.

Використовуючи цикл нарізання канавок («Grooving»), в «Simco Edit» можна задавати багатопрохідну обробку широких канавок чи вибірок на зовнішньому діаметрі або карманів на внутрішній поверхні. Програмування цих циклів аналогічне розглянутим в параграфі 3.13 циклам G65, G69, G70.

В токарній обробці відносно коротких деталей великого діаметра, з контуром, що містить поверхні, обробку яких можна ідентифікувати підрізкою торця, ефективно використовувати багатопрохідний цикл підрізки торця («Face Turn»), аналогічний розглянутому в параграфі 3.13 циклу G29.

0		¶10
5	G29	N10G29
7	G90G71X0Y0	N12 G90G71X0Y30
9	M00	N14 M00
1	G00G17X25.5Y131	N16 G00G17X25.5Y131
3	G43D03Z10S750M03	N18 G43D03Z10S750M03
5	M08	N20 M08
7	G01Z-34F200	N22 G01Z-34F200
9	Y111G41D41F20	N24 Y111G41D41F20
1	X57.5G37	N26 X57.5G37
3	X43.65Y0	N28 X43.65Y0
5	D00X59.65	N30 D00X59.65
7	G00Z100	N32 G00Z100
9	X-60.65	N34 X-60.65
1	Z-34	N36 Z-34
3	G01X-43.65G41D41F20	N38 G01X-43.65G41D41F20
5	X-57.5Y111G37	N40 X-57.5Y111G37
7	X-25.5	N42 X-25.5
	G01X131Z0G40F1000M09	N44 G01X131Z0G40F1000M09
1	G70G00Z150M05	N46 G70G00Z150M05
3	X245	N48 X245
5	M30	N50 M30

Рис. 23. Порівнювання двох файлів з КП на деталь з рис. 2.13

Інколи виникає потреба в *порівнянні двох текстів КП* для обробки одного й того ж контуру, щоб знайти відмінності в них. Для цього в «Сimco Edit» передбачений розділ «*File Compare*». Закладені в ньому функції дозволяють швидко визначити змінені, видалені або додані кадри, незважаючи на різницю в їх нумерації. Для цього через вікно «Compare File With File» виходимо в бібліотеку програм. Курсором послідовно натискаємо файли КП для порівнювання. На екрані відкриваються в два стовпці виведені програми. Рядки, в яких знайдена різниця, виділені забарвленням (рис. 23).

На рис. 23 наведено приклад порівняння двох варіантів КП на деталь з рис. 2.13. Забарвленням показано відмінність у двох кадрах, які задають координати початку обробки (N7/N12) і координати точки виводу інструмента після її завершення (N39/N44).

ЛІТЕРАТУРА

1. ISO 841 (ГОСТ 23597). Станки металлорежущие с ЧПУ. Обозначение осей координат и направлений движений. Общие положения.

ISO 6983-1: 2009 (ГОСТ 20999). Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ.

2. *Аверченков А. В., Терехов Н. В., Жолобов А. А. и др.* Станки с ЧПУ: Устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка. — М.: Флинта, 2014. — 355 с.

3. *Анищенко М. В.* Системи числового програмування керування. — Х.: НТУ ХПИ, 2012. — 312 с.

4. *Бочков В. М., Сілін Р. І.* Обладнання автоматизованого виробництва. — Львів: Львівська політехніка, 2000. — 380 с.

5. *Бузулукін І. Я., Головінов В. П., Кіс В. І. та ін.* Програмування оброблення на фрезерному верстаті з пристроєм ЧПК 2С42. — К.: Вища школа, 2002. — 390 с.

6. *Воскобойников Б. С., Гречиков М. И., Гуськова Г. И.* Современные контрольно-измерительные системы в производстве // ИТО: Инструмент, технология, оборудование: Информ.-аналит. журн. (WWW. ИТО — NEWS.Ru). — 2011. — № 12; 2012. — № 1, 2.

7. *Гжиров Р. И., Серебrenицкий П. П.* Программирование обработки на станках с ЧПУ. — Л.: Машиностроение, 1990. — 591 с.

8. *Головінов В. П., Трикоз В. К., Щербаков В. П.* Програмування оброблення на токарних верстатах з пристроєм ЧПК 2Р22. — К.: Вища школа, 2002 — 112 с.

9. *Дерябин А. Л., Эстерзон М. А.* Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС. — М.: Машиностроение, 1989. — 340 с.

10. *Должиков В. П.* Основы программирования и наладки станков с ЧПУ. — Томск: Политехн. ин-т, 2011. — 145 с.

11. *Ловыгин А. А., Васильев А. В., Кривцов С. Ю.* Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. — М.: ЭльфИИПР, 2006. — 286 с.

12. Методические указания к разработке управляющих программ для станков с ЧПУ (детали класса 50). — Одесса: ОПИ, 1989. — 63 с.

13. Мониторинг ЧПУ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://monitoringcnc.ru>

14. *Морозов В. В., Гусев В. Г.* Программирование обработки деталей на современных многофункциональных токарных станках с ЧПУ: Учеб. пособие. — Владимир, 2009. — 236 с.

15. *Мирошин Д. Г., Шестакова Т. В., Костина О. В.* Технологии программирования и эксплуатации станков с ЧПУ. — М.: Рос. гос. проф. пед. ун-т, 2011. — 79 с.

16. *Муляр Ю. І., Дерібо О. В.* Програмування токарної обробки на верстатах з ЧПК. — Вінниця: ВНТУ, 2004. — 91 с.

17. *Оголь И. И.* Создание управляющих программ с помощью САМ-систем. — Томск: Политехн. ун-т, 2014. — 46 с.

18. *Проць С.* Аддитивная технология: описание, определение, особенности применения и отзывы. Аддитивные технологии в промышленности [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://fb.ru/article/231049/additivnaya-tehnologiya-opisanie-opredelenie-osobnosti>. 05.02.2016.

19. Cimco Edit [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://cimco-software.ru>

20. *Міранцев С. Л. та ін.* Системи автоматизованого програмування на верстатах з ЧПК. — Краматорськ, 2012. — 151 с.

21. *Стискін Г. М., Ревнівцев М. П., Берізко М. М., Гаєвський В. Д.* Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням. — Львів: Оріяна-Нова, 2002. — 208 с.

22. Устройство числового программного управления (ЧПУ) 2С42 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.twirpx.com/file/338454

23. Устройство числового программного управления (ЧПУ) «Фанук» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [Cnc-space.com.ua/docs/fanuc-Oi.pdf](http://cnc-space.com.ua/docs/fanuc-Oi.pdf)

24. Устройство ЧПУ «Электроника МС-21-01, НЦ80»: Инструкция по работе. — 177 с.

25. *Харченко А. О.* Верстаты з ЧПУ та обладнання гнучких виробничих систем: Навч. посіб. для студ. вузів. — К.: ВД «Професіонал», 2004. — 304 с.

26. *Щербаков В. П.* Програмування оброблення на токарних верстатах з пристроєм ЧПК моделі «Електроніка НЦ-31». — К.: Вища школа, 2003. — 221 с.

27. *Чесноков О. В.* Технологічні процеси для обладнання з ЧПК. — Луганськ: Ноулідж, 2013. — 139 с.

28. Электроэрозионный станок 4732Ф3М: Инструкция по программированию. — 69 с.

29. Programirovanie_obrabotki_nastankhschpusprimeneniemspr edaktora...pdf — Adobe Reader.

ЗМІСТ

Передмова 3

Розділ I. Верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Основні поняття та визначення..... 6

- 1.1. Можливості й переваги верстатів з ЧПК..... 6
- 1.2. Класифікація верстатів з ЧПК 8
- 1.3. Схема роботи верстата з ЧПК. Пристрої ЧПК (ПЧПК) 12
- 1.4. Основні поняття. Мова програмування 16
- 1.5. Зміст і побудова тексту програми..... 18
- Контрольні запитання 22

Розділ II. Програмування обробки на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК (ОЦ) 23

- 2.1. Формат кадру..... 23
- 2.2. Система координат. Рух по координатах.
Задавання переміщень 25
- 2.3. Координатна система верстата, деталі..... 29
- 2.4. Налаштування верстата. Бази.
Карта налашки 31
- 2.5. Зміщення системи координат деталі (G70–G75) . 38
- 2.6. Підготовчі (технологічні) функції (команди) G .. 39
- 2.7. Позиціонування. Лінійна, кругова та гвинтова
інтерполяція..... 41
- 2.8. Службові функції (команди) G04, G09, G28, G29,
G31, G32 46
- 2.9. Допоміжні функції M 47
- 2.10. Нарізання різьби (G33)..... 48
- 2.11. Контурна обробка 49
- 2.12. Корекція радіуса та довжини інструмента.
Функції G41, G42, G43, G44 51
- 2.13. Постійні цикли (ПЦ) 59
- 2.13.1. Вихід на еквідистанту перпендикулярно
напряму наступного кадру (вихід на контур)..... 59

2.13.2. Вхід і вихід на еквідистанту по круговій траєкторії (команди G65, G66)	59
2.13.3. Цикли обходу кутів G36, G37, G38	62
2.14. Обробка отворів	64
2.14.1. Технологічний регламент, план операції.....	64
2.14.2. Постійні свердлильні цикли G81–G89	67
2.14.3. Налаштування обробки отворів, розробка програми	70
2.15. Оптимізація програмування: повтор кадрів, підпрограма, поворот осей, віддзеркалювання та інші способи	86
2.16. Параметричне програмування.....	89
2.17. Обробка плоских поверхонь. Підсумовуюча програма обробки на свердлильно-фрезерно-розточувальному центрі	91
2.18. Розробка програми вручну, її верифікація. Перевірка на верстаті	101
2.19. Програмування з пристрою ЧПК мовою діалогу фірми «Heidenhain»	107
2.20. Точність обробки на верстатах з ЧПК. Контрольно-вимірювальні системи (КВС). Програмне базування	109
2.21. CAD/CAM/CAE-системи. Адитивні технології	116
2.22. Призначення та програмування швидкості різання й подачі.	131
2.23. Різальний та допоміжний інструмент. Робота інструментального магазину	133
2.24. Високошвидкісна обробка (ВШО).....	138
2.25. Роботизовані технологічні комплекси (РТК) ..	141
2.26. Робота пристрою ЧПК 2C-42.....	145
2.27. Програмування обробки на верстатах з ЧПК за ISO 14649	147
Контрольні запитання	153
Завдання для самостійних занять	154

Розділ III. Програмування обробки на токарних верстатах з ЧПК	169
3.1. Заготовки, деталі для обробки на токарному верстаті з ЧПК. Вимоги до них	170
3.2. Технологічна підготовка.....	171
3.2.1. План операції. Опорні точки. Еквідистанта ..	171
3.2.2. Технологічні бази.....	177
3.2.3. Режими обробки.....	179
3.2.4. Вибір інструменту. Допоміжний інструмент..	180
3.3. Програмування для верстата 16К20Ф3 з ПЧПК «Електроніка НЦ-80-31» (МС-21). Системи координат, основні положення. «Прив'язка» інструмента.....	187
3.4. Формат кадру.....	193
3.5. Підготовчі (технологічні) функції G і цикли ...	194
3.6. Допоміжні функції M	195
3.7. Програмування лінійних переміщень, G0, G1 ..	196
3.8. Обробка фасок і галтелей.....	199
3.9. Кругова інтерполяція (G2, G3)	205
3.10. Нарізання різьби (G33).....	210
3.11. Службові функції G04, G25, G26, G37, G38, G56, G53, G94–G97.....	211
3.12. Багатоінструментна обробка	214
3.13. Цикли	221
Однопрохідний поздовжній цикл G27	221
Однопрохідний цикл поздовжнього різенарізання G28	222
Однопрохідний поперечний цикл G29	224
Однопрохідний цикл поперечного різенарізання G39	225
Однопрохідний чистовий цикл G60	225
Багатопрохідний чорновий поздовжній цикл G61.	227
Багатопрохідний чорновий поперечний цикл G62	229
Багатопрохідний чорновий копіювальний цикл G68.	231
Багатопрохідний чорновий цикл поздовжнього різенарізання G66	232

Багатопрхідний чорновий цикл поперечного різенарізання G67	240
Цикл нарізання поперечних канавок G65	242
Цикли нарізання торцевих канавок G69, G70	244
Цикли свердління та глибокого свердління G82, G83 ..	246
Цикл нарізання різби мітчиком або плашкою G84 ..	247
3.14. Параметричне програмування на токарних верстатах з ЧПК. Підпрограми.....	251
3.15. Токарно-фрезерні оброблювальні центри. Фрезерна та свердлильна поперечна обробка.....	257
3.16. Особливості нормування обробки на верстатах з ЧПК	269
3.17. Організація робочого місця. 5S. Система якості на робочому місці	271
Контрольні запитання	279
Завдання для самостійних занять	280
Розділ IV. Обробка на шліфувальних верстатах з ЧПК ..	291
4.1. Плоско- та профіleshліфувальні верстати.....	291
4.2. Круглошліфувальні верстати.....	292
4.3. Безцентрові круглошліфувальні верстати.....	293
4.4. Координатно-шліфувальні верстати	294
4.5. Зубошліфувальні верстати	294
4.6. Різешліфувальні верстати	294
4.7. Електроерозійна обробка на верстатах з ЧПК ..	300
Контрольні запитання	305
Розділ V. Обладнання з ЧПК на заготовчих операціях..	307
5.1. Розрізка прокату на обладнанні з ЧПК.....	307
5.2. Розкрій та розрізка листового матеріалу	309
5.3. Крій розгортки повітропроводів	311
5.4. Згинальні верстати з ЧПК.....	312
5.5. Координатно-пробивні преси з ЧПК	312
5.6. Труборізні верстати з ЧПК	313
5.7. ЧПК та адитивні технології в ливарному виробництві	313
Контрольні запитання	315

Додатки	316
Додаток 1. Додаткові правила безпеки під час роботи на верстатах з ЧПК	316
Додаток 2. Карта розкрою листа	319
Додаток 3. Інструкція з розробки керуючої програми (КП) в редакторі «Cimco Edit»	320
Література	343

Навчальне видання

ОНОФРЕЙЧУК Надія Володимирівна

ОСНОВИ ОБРОБКИ ТА ПРОГРАМУВАННЯ

на верстатах з числовим програмним керуванням

Підручник
для закладів професійної
(професійно-технічної) освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видає за державні кошти. Продаж заборонено

Редактор *Ірина Савлук*
Художній редактор *Ігор Шутурма*
Коректор *Вероніка Гоменюк*

Формат 60×90/16. Ум. друк. арк. 22,0. Обл.-вид. арк. 18,0.
Тираж 4320 пр. Зам. № 97п

Державне підприємство «Всеукраїнське спеціалізоване видавництво «Світ»
79008 м. Львів, вул. Галицька, 21
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4826 від 31.12.2014
www.svit.gov.ua
e-mail: office@svit.gov.ua, svit_vydav@ukr.net

Друк ТДВ «Патент»
88006 м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4078 від 31.05.2011

УДК 681.7(075.8)
О-59

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України
від 30.10.2017 № 1429)

Видано за державні кошти. Продаж заборонено

Онофрейчук Н. В.

О-59 Основи обробки та програмування на верстатах з числовим програмним керуванням : підруч. / Н. В. Онофрейчук. — Львів : Світ, 2019. — 352 с. ISBN 978-966-914-229-0

У підручнику детально викладено основи програмування та особливості технології обробки на свердлильно-фрезерно-розточувальних центрах з ЧПК, токарних верстатах з ЧПК, у тому числі з револьверними головками, оснащеними шпінделями з автономним приводом. Розглянуто обробку на фінішних шліфувальних верстатах з ЧПК різного призначення, електроерозійних верстатах, обладнанні з ЧПК заготовчого виробництва.

Підручник призначено для використання в навчальних закладах системи професійної та професійно-технічної освіти, центрів зайнятості для підготовки кваліфікованих робітників професій: «Оператор верстатів з ЧПК» і «Наладчик верстатів з ЧПК». Може використовуватись як посібник для студентів коледжів та вищих навчальних закладів, бути корисним на машинобудівному підприємстві операторам, програмістам та наладчикам верстатів з ЧПК.

УДК 681.7(075.8)

ISBN 978-966-914-229-0

© Онофрейчук Н.В., 2019
© Видавництво «Світ», оформлення, 2019

ПЕРЕДМОВА

Розвиток машинобудування та удосконалення його продукції викликає потребу в обробці дедалі складніших за формою деталей, з більш високими вимогами до точності. Частіше оновлюється номенклатура виробів і, відповідно, деталей, зменшуються серійність і термін їх випуску. Виникають нові й удосконалюються існуючі технології обробки. Водночас зростають вимоги до умов праці, комфорту й мікроклімату на робочому місці.

Це зумовило інтенсифікацію процесу технічного переозброєння підприємств, підвищення вимог до металорізального обладнання та його удосконалення в напрямі технічних можливостей, точності, жорсткості, продуктивності обробки, автоматизації процесів. У результаті стрімкого розвитку проектування складних технічних об'єктів з'являються багатоопераційні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) нового покоління, на яких, не знімаючи деталь з верстата, можна виконати токарну, свердлильну, розточувальну, фрезерувальну, шліфувальну обробку в трикоординатному просторі. У зв'язку з цим підвищується потреба в спеціалістах для експлуатації та обслуговування такого обладнання. На фахову підготовку відповідних спеціалістів і скерований запропонований матеріал.

У підручнику розглянуто технологічні основи обробки на верстатах з ЧПК і оброблювальних центрах: вибір заготовки, підготовка деталей для обробки, базування, оснащення, налагоджування, вибір різального інструменту за каталогами передових фірм відповідно до класифікатора і рекомендацій ISO, режимів оброблювання, особливості організації робочого місця оператора та охорони праці під час роботи на верстаті з ЧПК.

Описано покрокову розробку керуючої програми мовою програмування згідно з G-кодом ISO 6983-1 в ручному режимі, а також із застосуванням спеціальних комп'ютерних програм з перевіркою (верифікацією) розробленої програми на комп'ютері та безпосередньо на верстаті. Розглянуто ав-

томатизоване програмування в CAD/CAM-системах, використання цих систем в адитивних технологіях.

Особливу увагу приділено питанням забезпечення точності обробки, використання сучасних контрольно-вимірвальних систем з ЧПК на робочому місці для контролю, вимірювання, внесення корекції, а також для програмного базування.

Матеріал адаптовано до конкретних пристроїв ЧПК та верстатів:

- свердлильно-фрезерно-розточувальних оброблювальних центрів (ОЦ), з конкретизацією обробки на ОЦ 2254 ВМФ4 і ОЦ 2204ВМФ4 із пристроєм ЧПК 2С-42;

- токарних верстатів, з конкретизацією обробки на верстаті 16К20Ф3 із пристроєм ЧПК МС-21 (НЦ-80-31);

- шліфувальних верстатів, з конкретизацією обробки на різешліфувальному верстаті «Matrix 5708» із пристроєм ЧПК «FANUK».

Розглянуто отримання заготовок з профільного прокату, листа, труб, литва на сучасному обладнанні з ЧПК.

Розкрито особливості програмування з використанням високошвидкісної обробки (ВШО), сучасного інструменту з надтвердих матеріалів.

Викладки підтверджено прикладами розроблених програм, зокрема для обробки деталей на реальному виробництві.

Для закріплення вивченого матеріалу в кінці розділів подано контрольні запитання, а також завдання для самостійного розв'язування і практичних занять.

Автор висловлює щире вдячність усім, хто допоміг зібрати й підготувати до друку викладений матеріал. Побажання та зауваження автор просить надсилати за адресою:

leonid.onofreychuck@gmail.com

Перелік професій машинобудівного профілю, де застосовуються знання програмного забезпечення верстатів і верстатного обладнання:

- 7223 «Налагоджувальники верстатів та налагоджувальники-оператори»**
- (14989) «Налагоджувальник верстатів і маніпуляторів з програмним керуванням»
- 8211 Верстатники**
- (18805) «Верстатники спеціальних металообробних верстатів»
- (18809) «Верстатники широкого профілю»
- (15485) «Оператор автоматичних та напівавтоматичних ліній верстатів та установок»
- (16045) «Оператор верстатів з програмним керуванням»
- (17982) «Різенарізувач на спеціальних верстатах»
- (17985) «Різефрезерувальник»
- (17986) «Різешліфувальник»
- (19149) «Токар»
- (19158) «Токар-напівавтоматник»
- (19163) «Токар-розточувальник»
- (19479) «Фрезерувальник»
- (19630) «Шліфувальник»

Примітки:

1. 7223, 8211 — коди професій за класифікатором професій ДК 003:2010.
2. У дужках наведено коди класифікатора професій 1991 р. (ЗКПТР).

РОЗДІЛ I

ВЕРСТАТИ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ (ЧПК). ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

1.1. Можливості й переваги верстатів з ЧПК

Металорізальним верстатом з ЧПК називають верстат, керований за допомогою обчислювальних пристроїв від програми, яка містить всю необхідну інформацію для обробки деталі (послідовність обробки поверхонь, величини переміщень виконавчих органів, режими обробки тощо). Відповідно до введеної програми керування верстат здійснює робочі та допоміжні рухи виконавчих органів для отримання оброблюваної деталі належної якості.

Порівнюючи можливості верстатів з ЧПК з їх універсальними аналогами, можна констатувати істотні переваги цих верстатів.

Продуктивність обробки на верстатах з ЧПК у 1,5–5 разів підвищується за рахунок скорочення основного й допоміжного часу на переустановки деталі, зменшення кількості операцій, концентрації обробки на меншій кількості верстатів, зниження втрат на міжопераційне транспортування, зростання швидкості руху робочих органів під час обробки і холостих ходів.

Спрощується обробка складних криволінійних поверхонь — немає потреби у виготовленні спеціальних копирів та розмітці, проведенні спеціальних підгінних робіт. Зникає потреба виготовлення складних пристроїв — кондукторів для виконання свердильно-розточувальних робіт. У результаті істотно скорочуються затрати на виробництво і терміни його підготовки.

Стала можливою обробка в недоступних для універсального верстата місцях — різноманітні внутрішні кармани, канавки, поверхні складної конфігурації тощо.

Скорочується час на контроль деталі та підналагодження верстата. Зменшується процент браку та розсіювання розмірів деталей в партії, що поліпшує якість наступної операції.

Знижується потреба у висококваліфікованих робітниках. Оператором може бути верстатник невисокої кваліфікації.

На якість обробки деталей менше впливає людський фактор — втомлюваність. Завдяки поліпшенню умов праці, підвищенню культури виробництва робітник уже не є безвідривним учасником процесу. Він може водночас обслуговувати кілька верстатів.

Виробничий процес став стабільнішим, з більш прогнозованими результатами і терміном обробки, що зумовлює зменшення запасу незавершеного виробництва. Це сприяє якіснішому плануванню та досконалішій організації праці.

Верстати з ЧПК — основна складова гнучких автоматизованих ліній, роботизованих технологічних комплексів, дільниць, цехів, кількість яких збільшується. Керування такими комплексами відбувається з одного центру, за допомогою однієї програми, з використанням маніпуляторів для переміщення деталі з одного верстата на інший.

Разом з універсальними прототипами верстати з ЧПК розширюють функціональні й технологічні можливості: точність обробки і геометричної орієнтації поверхонь, шорсткість поверхні, швидкість переміщення і точність позиціонування робочих органів. Поява прогресивного різального інструменту і жорсткого металорізального обладнання сприяє інтенсифікації режимів обробки, поширенню застосування лезвійного інструменту на гартовані поверхні, уможливує високошвидкісну обробку (ВШО).

Постійно збільшується кількість програмованих функцій верстатів з ЧПК. Наприклад, на базі свердлильних, фрезерних, токарних і координатно-розточувальних верстатів створені оброблювальні центри (ОЦ), де більшість функцій (рухи виконавчих органів, режими обробки, подача змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР), заміна інструменту, заміна та кріплення деталі, власне, сама розробка керуючої програми) виконуються комп'ютеризованими пристроями ЧПК. Завдання оператора — спостерігати за правильним ходом процесу. На такому центрі отримують практично готову деталь.

Удосконалюється механізм розробки програми та її вводу в пристрій ЧПК верстата. Розвиток програмоносіїв пройшов шлях від штекерних барабанів, магнітофонних та паперових стрічок до вводу програми безпосередньо в пристрій ЧПК, по комп'ютерній мережі, через диск або флешку.

Сучасні CAD/CAM-системи спроможні розробляти керуючі програми з конструкторської документації і технологічного регламенту технолога-програміста з подальшою їх верифікацією на екрані й тестуванням на верстаті.

1.2. Класифікація верстатів з ЧПК

За технологічними ознаками й можливостями верстати з ЧПК класифікуються так само, як і універсальні, на базі яких їх виготовлено. Найбільшу групу (30–40 % усього верстатного парку) становлять токарні верстати з ЧПК.

Токарні верстати з ЧПК випускаються:

- патронно-центрові — універсального призначення;
- патронні — для коротких деталей типу фланець, втулка, кришка тощо;
- центрові — для обробки довгомірних деталей;
- токарно-револьверні;
- токарні автомати та напівавтомати;
- токарно-лобові;
- токарно-карусельні;
- спеціалізовані для багатосерійного виробництва;
- токарно-фрезерно-шліфувальні оброблювальні центри;
- спеціальні верстати для обробки унікальних деталей: верстат довжиною 30 м для обробки гребних валів, транспортних шнеків тощо, карусельний з діаметром стола 18 м та інші.

Комплектуються токарні верстати з ЧПК револьверними головками — різцетримачами з горизонтальною або вертикальною віссю на 6, 8, 12, 16 позицій. Верстати можуть мати два різцетримачі. Це передбачає обробку двома інструментами одночасно (обточування й розточування, обточування різних шийок з обох кінців деталі, обточування і підрізання торця, знімання фасок тощо). Токарні верстати можуть оснащуватися магазинами до 30 інструментів, які по команді від програми подаються в зону різання. Для обробки деталей вагою понад 16 кг верстати оснащуються маніпулятором, яким керує програма.

Сучасні токарно-фрезерні оброблювальні центри з ЧПК містять спеціальний супорт із фрезерувальною головкою, що дозволяє, не знімаючи деталь з верстата, крім токарної обробки, фрезерувати на ній лиски, пази, свердлити по-

перечні й позацентрові отвори в торцях, виконувати інші фрезерні та свердлильні операції. Комбінація таких видів обробки дає змогу за одну установку виконати повну обробку деталі з максимальною точністю і швидкістю. Токарні верстати з ЧПК, оснащені інструментальною револьверною головкою, яка містить позиції для інструментів з автономним приводом, також можуть виконувати торцеве і радіальне фрезерування, поперечне і торцеве свердління, зокрема торцеве свердління не в осі обертання шпінделя. Сучасні токарні верстати для довгомірних деталей оснащуються керованими програмою люнетами та задньою бабкою.

Свердлильні верстати з ЧПК комплектуються револьверними головками на 6, 8, 12, 16 позицій або інструментальними магазинами на 30, 60 інструментів. На них обробляють отвори різного призначення: кріплення, точні, з точними міжцентровими відстанями. Застосування цих верстатів дало змогу замінити традиційну обробку по кондуктору більш ефективною, звільнивши робітника від тяжкої фізичної праці, пов'язаної з попаданням інструментом у спрямовуючу втулку кондуктора на радіально-свердлильному верстаті, а також вивільнивши виробництво від потреби проектувати, виготовлювати й підтримувати в робочому стані непросте оснащення — кондуктори.

Фрезерні верстати з ЧПК випускаються вертикальні, горизонтальні, вертикально-горизонтальні з різним ступенем охоплення керуванням функцій верстата: від програми для 2,5 координат (обробка плоского контуру з подачею по третій координаті в програмі глибини фрезерування, обробка отворів) до п'ятикоординатних верстатів з керованими від програми поворотами шпіндельної бабки, поворотом патрона з деталлю, встановленого на столі верстата, поворотом стола, можливістю програмування рухів одночасно по трьох координатах X, Y, Z та поворотом навкруг двох осей. Саме на таких верстатах виконується обробка складних тривимірних поверхонь.

Свердлильно-фрезерно-розточувальні оброблювальні центри (ОЦ) комплектуються магазинами на 30, 40, 60, 100 інструментів. Заміна інструмента в шпінделі відбувається по команді від програми. На ОЦ виконують, не знімаючи деталі, свердлильні, фрезерні та розточувальні роботи, обробляють плоскі поверхні, пази, отвори, криволінійні дво- та тривимірні поверхні. Впроваджуються у виробництво то-

карно-фрезерні оброблювальні центри з подальшим збільшенням можливостей обробки деталі з однієї установки.

Автоматизовані технологічні комплекси випускаються для обробки тіл обертання — на базі токарних верстатів з ЧПК та обробки корпусних деталей — на базі свердильно-фрезерно-розточувальних оброблювальних центрів. Верстати маніпулятором з'єднані між собою і магазином — накопичувачем деталей. Керування відбувається з єдиного комп'ютерного центру [25].

Шліфувальні верстати з ЧПК випускаються плоскошліфувальні, профіleshліфувальні, координатно-шліфувальні, круглошліфувальні, різешліфувальні, зубошліфувальні, безцентрово-круглошліфувальні, спеціального призначення з різним ступенем охоплення програмним керуванням їх функцій.

Електроерозійні верстати з ЧПК випускаються дровотві та електродні. Програмне керування забезпечує вирізання плоских деталей складного контуру на верстатах першого типу, а також формування складних поверхонь об'ємних деталей на верстатах другого типу методом електроерозії в струмопровідних матеріалах, якщо обробка в інший спосіб ускладнена або неможлива. Керований програмою електрод (з лагуні, міді, графіту) переміщується в середовищі індустриального масла, гасу або води з антикорозійними присадками.

Електрохімічні верстати з ЧПК широко застосовуються в автомобільній промисловості для виготовлення складних штампів.

Діркопробивні преси випускаються з позиційною системою ЧПК, ефективно використовуються для формування великої кількості отворів у панелях різноманітного призначення, електрошафах, подібних деталях.

Лазерні та інші різакі, керовані від ЧПК, використовуються для розкрою за програмою деталей або їх заготовок, що містять контури складних конфігурацій. Сучасні комп'ютерні програми забезпечують найбільш раціональне розташування елементів крою на листі й оптимальну траєкторію руху різаків, яка візуалізується на екрані. Технолог має змогу аналізувати процес і вносити необхідні поправки заздалегідь.

Зварювальні автомати з ЧПК на щабель підвищили якість і продуктивність зварювання, звільнили робітника від шкідливої для здоров'я праці, виявилися незамінними в місцях, де присутність людини неприпустима (наприклад, на ЧАЕС під час ліквідації аварії).

Гравірувальні верстати з ЧПК в десятки разів зменшили трудомісткість гравірувальних робіт, уможливили серійне нанесення складних візерунків на поверхню.

Напрями удосконалення верстатів з ЧПК. Присвоєння моделі

— Модернізацію сучасних верстатів з ЧПК націлено на підвищення продуктивності обробки завдяки високошвидкісності, поєднанню якомога більших видів обробки на одній машині, автоматизації завантаження і вивантаження деталей, автоматичному дистанційному керуванню зміною інструменту, можливістю монтуватися в загальну автоматичну лінію обробки з централізованою системою керування процесами на кожному з верстатів та в лінії загалом.

— Верстати з ЧПК мають забезпечувати високу точність і швидкість відпрацювання позиційних переміщень, заданих керуючою програмою, зберігаючи точність тривалий час. Це зумовлює потребу вдосконалення систем ЧПК.

— Висока точність обробки на верстатах з ЧПК забезпечується точністю виготовлення і жорсткістю його вузлів та спрацювання ЧПК. У конструкціях верстатів з ЧПК використовують короткі кінематичні ланцюги, що підвищує їх статичну і динамічну жорсткість. Для всіх виконавчих органів застосовують автономні приводи з мінімально можливим числом механічних передач, які мають високу швидкість. Точність верстатів з ЧПК підвищується в результаті усунення зазорів у передавальних механізмах приводів, зменшення втрат на тертя в напрямних і механізмах, підвищення вібростійкості, зниження теплових деформацій втручанням у точність обробки через пристрій ЧПК.

Системи ЧПК, якими оснащуються верстати, за наявності зворотного зв'язку поділяють на: розімкнені, що мають одне джерело інформації — від керуючої програми через ПЧПК до виконавчих органів верстата; замкнені — зі зворотним зв'язком з положенням робочого органа і з компенсацією похибки верстата; системи з адаптацією на різні зовнішні збурення і зміни протікання процесу, що також підвищує точність обробки на верстаті.

Присвоєння моделі верстатам з ЧПК таке саме, як їх універсальним прототипам, та, залежно від ступеня автоматизації і типу системи ЧПК, додаються позначення: Ф1 — цифрова індикація положення інструмента і попередній набір

координат, одна програмована координата; Ф2 — позиційні прямокутні системи координат, двокоординатна система ЧПК; Ф3 — контурні системи ЧПК, трикоординатна система, рух програмується по трьох осях; Ф4, Ф5 — універсальні комбіновані чотирьох-, п'ятикоординатні системи, в яких рух програмується по трьох лінійних координатах і оберти навколо однієї або двох осей. Відомі верстати з ЧПК, що мають вісім програмованих координат (деякі моделі безцентрово-круглошліфувальних та зубошліфувальних верстатів).

Позначення конструктивної особливості верстатів з ЧПК пов'язані з автоматизованою заміною інструмента:

- Р — заміна інструмента поворотом револьверної головки;
- М — заміна інструмента з магазину.

Р і М записують перед Ф.

За видом інструментального забезпечення верстати з ЧПК поділяються на:

- верстати з ручною заміною інструмента;
- з автоматичною заміною з револьверної головки;
- з автоматичною заміною з інструментального магазину.

У верстатах з ЧПК клас точності позначається так само, як в універсальних: Н — нормальна точність, П — підвищена, В — висока, А — особливо висока, С — особливо високоточні майстер-верстати, Т, К — верстати з точністю 0,3 та 0,1 мкм.

1.3. Схема роботи верстата з ЧПК. Пристрої ЧПК (ПЧПК)

Для здійснення програмного керування верстата оснащуються спеціальними пристроями ЧПК, які посилають керуючі сигнали на виконавчі органи відповідно до заведеної в них програми. Робота системи ЧПК — верстат відбувається за схемою, поданою на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Схема обробки на верстаті з ЧПК

Згідно з наведеною схемою програма, написана мовою, яку може читати пристрій ЧПК, керує роботою верстата через цей пристрій так, щоб отримана після обробки на

верстаті деталь мала правильні характеристики. Для цього ПЧПК містить систему електронних блоків, які перетворюють команди програми на необхідні рухи виконавчих органів верстата.

Розташовується ПЧПК поряд з верстатом в окремій шафі або безпосередньо на верстаті (пульт керування). Для керування роботою верстата в ньому передбачено такі основні блоки:

1. Блок вводу і зчитування інформації. Програма вводиться у ПЧПК послідовно кадр за кадром і передається в блок пам'яті. В сучасних ПЧПК програма може вводиться відразу з комп'ютера в блок пам'яті, оминувши блок зчитування. «Найпросуненіші» ПЧПК оснащені САМ-системою, яка практично автоматизує процес розробки керуючої програми безпосередньо на верстаті, а також її перевірку (верифікацію). Такою є, наприклад, система ЧПК «MAPPS IV» японських верстатів «Mori Seiki» із вбудованим програмним забезпеченням «ESPRIT».

2. Блок пам'яті передає технологічну інформацію (швидкість різання, напрям обертання шпінделя, його кутове позиціонування, глибина різання, номер інструмента в магазині, подача чи відключення ЗОР і под.) до блока технологічних команд. Геометрична інформація (координати опорних точок траєкторії руху інструмента) передається в блок інтерполяції і блок швидкостей подач.

3. Блок інтерполяції містить спеціальний інтерполятор, який обробляє задану інформацію руху між двома сусідніми опорними точками і відправляє її до блока керування приводами подач у вигляді імпульсів по кожній координаті, частота яких визначає швидкість руху, а кількість — величину переміщення. Величина, на яку переміститься робочий орган від одного імпульсу, називається ціною імпульсу, або дискретою, становить у сучасних верстатах від 0,01 до 0,001 мм. Точність переміщення виконавчих органів верстата залежить від застосовуваної схеми керування приводами подач: розімкнена (без системи вимірювання дійсних переміщень робочого органа) чи замкнена (із системою вимірювання). В останньому випадку контроль точності обробки по кожній координаті виконується датчиками зворотного зв'язку (ДЗЗ). Точність контролю залежить від типу, конструкції і місця установлення датчика на верстаті.

4. Блок технологічних команд установлює керування циклом роботи верстата за заданими режимами, забезпечуючи якість обробки.

5. Блок керування швидкостями подач забезпечує задану робочу подачу, розгін і гальмування на початку та в кінці траєкторії руху, а також холостий рух з максимальною швидкістю, передбаченою технічною характеристикою верстата (на сучасних верстатах — до 30 м/хв).

6. Блок постійних циклів призначений для спрощення розробки програми під час програмування обробки однакових елементів деталі, наприклад обробка отворів, особливо коли їх багато.

7. Блок живлення забезпечує живлення необхідними постійними струмом і напругою всіх блоків ПЧПК від звичайної трифазної мережі. Особливість цього блока — наявність стабілізаторів напруги і фільтрів, які захищають електронні схеми від перешкод, завжди наявних у промислових мережах.

8. Пульти керування та індикації здійснює зв'язок оператора з системою ЧПК. За допомогою пульта виконуються пуск і зупинка системи ЧПК, переключення режимів роботи (з автоматичного на ручний, інші), корегування швидкості різання, подачі, корегування положення інструмента. На пультах закріплено монітор, який візуалізує процес обробки, а також служить для розробки і вводу в ПЧПК нескладних програм. Є цифрова індикація і світлова сигналізація. Все це разом називається інтерфейсом користувача.

За принципом керування рухами виконавчих органів пристрої ЧПК поділяють на позиційні, контурні, комбіновані та багатоконтурні.

Позиційні забезпечують установочні переміщення в задану координату, де виконується певний вид обробки. Використовуються в свердлильних, розточувальних верстатах, діркопробивних пресах, іншому обладнанні подібного призначення. Порівняно з контурними позиційні системи простіші.

Контурні, або безперервні, пристрої ЧПК керують рухом виконавчих органів по заданій траєкторії із заданою швидкістю. Забезпечують обробку плоских поверхонь, контурів, у тому числі криволінійних, складних тривимірних поверхонь.

Універсальні, або комбіновані, пристрої ЧПК забезпечують як позиційні переміщення з великою швидкістю, так

і рух з робочою подачею по визначеній траєкторії. Використовуються в токарних, фрезерних верстатах, свердлильно-фрезерно-розточувальних ОЦ, електроерозійних, шліфувальних верстатах, іншому обладнанні.

Багатоконтурні пристрої ЧПК використовуються, коли необхідно керувати не лише основними робочими рухами, а й іншими механізмами, наприклад механізмом правки на різешліфувальному або безцентрово-шліфувальному верстаті.

Пристрій ЧПК і верстат утворюють систему. За числом потоків інформації системи ЧПК поділяють на розімкнені, замкнені та адаптивні.

Розімкнені системи ЧПК характеризуються наявністю одного потоку інформації, що надходить від системи керування (ЧПК) до виконавчого органа верстата. В розімкненій системі немає датчика зворотного зв'язку (ДЗЗ), тому інформація про дійсне положення виконавчих органів верстата відсутня.

Замкнені системи керування характеризуються двома потоками інформації: від системи керування до виконавчого органа верстата (прямий зв'язок) і від ДЗЗ до системи керування (зворотний зв'язок). У цих системах неузгодженість між заданими та дійсними переміщеннями виконавчих органів усувається завдяки наявності зворотного зв'язку.

Адаптивні системи ЧПК характеризуються трьома потоками інформації:

- 1) від системи керування до виконавчого органа верстата (прямий зв'язок);
- 2) від ДЗЗ до системи керування (зворотний зв'язок);
- 3) від датчиків, установлених на верстаті, які контролюють процес обробки за такими параметрами, як зношування різального інструмента, зміна сил різання й тертя, коливання припуску і твердості матеріалу оброблюваної заготовки та ін., і передають інформацію до системи керування. Такі системи дозволяють корегувати програму обробки з урахуванням реальних умов різання.

За методом розробки та вводу програми вирізняють п'ять поколінь пристроїв ЧПК:

- 1) ввід магнітофонною стрічкою;
- 2) ввід паперовою стрічкою, розроблення та введення в дію G-коду ISO;
- 3) оперативний ввід програми з клавіатури в ручному режимі;

4) ввід програми від комп'ютера через спеціальний пост-процесор, через касету, флешку, з клавіатури в режимі: запит — відповідь, з паралельною візуалізацією траєкторії руху інструмента. Режим називається діалоговим, відзначається зручністю під час обробки простих деталей, а також на підприємствах з обмеженою кількістю робітників, де оператор, технолог-програміст і наладчик — одна персона;

5) пристрої ЧПК, створені на базі персонального комп'ютера із застосуванням САД/САМ-систем. У цих системах реалізовані всі сучасні досягнення персонального комп'ютера, включаючи програмно-математичне забезпечення, ввід та розробку програми, зберігання і обмін інформації, виконання функцій корекції, верифікації програми, самоналаштування й адаптації системи.

Іntenсивний розвиток мікропроцесорної техніки останніми роками сприяє тому, що кожне нове за технічними характеристиками покоління верстатів із сучаснішими пристроями ЧПК з'являється через 5–7 років, забезпечуючи підвищення продуктивності обробки майже втричі завдяки удосконаленню програмного керування, спонукаючи до введення принципово нових видів обробки (адитивні технології), дедалі більше наближаючись до створення автоматизованої системи від проектування до остаточного виготовлення деталі.

1.4. Основні поняття. Мова програмування

Керуюча програма — це записана спеціальною мовою сукупність геометричних рухів, підготовчих, технологічних та допоміжних команд, які через пристрій ЧПК забезпечують обробку деталі на верстаті.

Під час розробки програми, незалежно від того, який орган верстата рухається, описують рух точки інструмента, що називається його центром. Для фрези, свердла, розвертки, інших мірних інструментів це буде їх вісь, для різця — його вершина на чорнових операціях або центр радіуса заокруглення вершини у разі точної обробки, ліва вершина — для канавкового чи відрізного різця.

Шлях, що проходить центр інструмента під час взаємного руху інструмента й деталі, називається траєкторією його руху. Оскільки радіус центру під час обробки не змі-

нюється, траєкторія руху еквідистантна до контуру деталі. Еквідистанта — геометричне місце точок, рівновіддалених від лінії обробки деталі, що розташовані з боку інструмента. Рух по еквідистанті, залежно від її форми, забезпечується лінійною, круговою, лінійно-круговою або параболічною інтерполяцією. Для цього траєкторію розбивають на прості складові у вигляді прямолінійних відрізків між двома точками, дуги кола, іншої математично визначеної кривої. Точки, що ділять еквідистанту на ці елементарні відрізки, називаються опорними точками еквідистанти, за аналогією з опорними точками деталі. В одному кадрі можна запрограмувати рух лише між двома сусідніми опорними точками. В програмі фіксують опорні точки еквідистанти або деталі, якщо є можливість через пристрій ЧПК ввести корекцію на рух інструмента по еквідистанті.

Траєкторія руху складається з ділянок прискореного руху й руху на робочій подачі. Точка, що розділяє прискорений рух і робочий, теж опорна технологічна, навіть якщо напрям руху не змінився. Якщо є точка на елементарному відрізку еквідистанти, де змінюють режими обробки, цю точку теж позначають як опорну. Переміщення задають в міліметрах до 3-го знака після коми або крапки. Нині це є верстати, де переміщення задані в імпульсах (в ПЧПК давнішого випуску). Ціна імпульсу — від 0,01 до 0,001 мм.

Програмування виконується з використанням обмеженого словарного запасу, регламентованого міжнародним стандартом ISO 6983-1: 2009 (DIN 66025, ГОСТ 20999), у технічній літературі відомим як G-код або код ISO — 7 біт. У стандарті також викладено основні принципи розробки програм для обладнання з ЧПК. Ряд команд у стандарті помічено як «не визначені». Вони використовуються для позначення розробниками ПЧПК нових програмованих функцій або адаптації ПЧПК до нового обладнання, іншого виду обробки тощо.

Стрімке зростання обсягів обробки на верстатах з ЧПК, особливо в технічно розвинених країнах Заходу, зумовлює подальший розвиток і ускладнення програмування, вдосконалення пристроїв ЧПК, збільшення кількості їх виробників і, відповідно, кількості модифікацій, що відрізняються між собою за конструкцією, а також певною мірою мовою програмування (в межах дозволеного стандартом). Наприклад, в Європі відомі три діалекти (А, В, С) G-коду, які ви-

користовуються залежно від призначення пристрою ЧПК, конструкції та фірми-виробника. Зважаючи на те, що текст програми задає однаковий алгоритм обробки, нема потреби знати коди всіх систем ЧПК. Важливо опанувати програмування і схему побудови тексту для однієї системи, що дозволить досить швидко засвоїти програмування в іншій запропонованій системі, скориставшись інструкцією, яка супроводжує верстат з пристроєм ЧПК.

Деякі розробники ПЧПК пропонують діалогову мову програмування, вважаючи, що вона спрощує спілкування з системою, позаяк її основа — англomовні слова, скорочення, запитання, графічні елементи, які вводяться безпосередньо оператором верстата. Враховуючи це, а також автоматизацію розроблення самої керуючої програми за допомогою комп'ютерних програм, фахівці розробили новий стандарт STEP-NC, або ISO 14649, який спочатку доповнив, а згодом замінить ISO 6983, якому вже понад 50 років.

Якщо до інформації, що імпортується САМ-системами в пристрій ЧПК, додати незапрограмовану там технологічну, то керуюча програма може бути згенерована сучасним комп'ютеризованим ПЧПК. На це націлений стандарт ISO 14649, але таке завдання зможуть вирішити пристрої ЧПК вже наступного покоління.

1.5. Зміст і побудова тексту програми

Текст керуючої програми являє собою послідовність кадрів, кожен з яких складається зі слів, розташованих у фіксованому порядку. Причому деякі, що повторюються, можна пропускати. Кожне слово складається з букви, що називається адресою, і наступної групи цифр, які визначають функцію букви або розмір параметра. Кількість цифр після кожної букви однакова, крім тих, що визначають відстань переміщення. Наприклад:

N10 G01 X4,8 Y54,3 — кадр керуючої програми N10;
G — адреса;
01 — число;
G01 — слово, яким позначається функція лінійної інтерполяції;
X — адреса;
4,8 — число;

X4,8 — слово — значення координати X;

Y — адреса;

54,3 — число;

Y54,3 — слово — значення координати Y.

Сучасні пристрої ЧПК контролюють «орфографічну» правильність написання тексту програми, слів і кадрів. Наприклад, якщо у слові замість G01 записати G1, в одному кадрі двічі вказати ту саму координату (X10X25), несумісні команди (G02, G03) тощо, пристрій ЧПК після ввімкнення контролю покаже на екрані слово «помилка» і N кадру, де вона є. Система запрацює тільки після її виправлення. При введенні нової програми в ПЧПК її контроль на орфографічну правильність обов'язковий.

Послідовність слів у кадрі:

1 — N — номер кадру;

2 — підготовчі (технологічні) функції, G;

3 — переміщення — X, Y, Z, I, J, K;

4 — подача, F;

5 — швидкість різання, S;

6 — функція інструмента, T;

7 — допоміжні функції, M;

8 — кінець кадру, nc або ;

Кожен кадр має містити N і nc, позиції 2–7 — за потреби. Кадр — складова програми, що вводиться та відпрацьовується пристроєм ЧПК як одне ціле, має містити не менше однієї команди, а також геометричні й технологічні дані, потрібні для обробки однієї елементарної ділянки деталі між двома опорними точками. Слова в кадрі — це інформація, що визначає програму роботи окремих виконавчих органів верстата: переміщення по координатах, швидкість різання, робочу та прискорену подачу, роботу механізму заміни інструмента, подачу змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) та ін.

Відповідно до схеми на рис. 1.2 в тексті програми кадрів, які задають переміщення, мають передувати кадри, що задають: адресу застосованого інструмента — його код у багатоінструментальному магазині чи позицію в револьверній головці; в ряді випадків — номер пов'язаного з інструментом коректора; режимами обробки — швидкість різання та її напрям, робочу подачу, подачу ЗОР.

Підведення різального інструмента в зону різання виконується прискореним рухом, що задається командою G00.

У кадрах, що містять робочі переміщення, має бути присутня одна з функцій: G01, G02, G03. Ці функції діють і в наступних кадрах до їх відміни іншою.

Закриття кадру при набірванні тексту з клавіатури ПЧПК або комп'ютера виконується автоматично натисканням клавіші «enter» при переводі рядка, в тексті кінець кадру позначається як «;».

З метою полегшення читання тексту програми і, за потреби, редагування його бажано форматовувати. Мається на увазі: чітка структура і послідовність команд, достатня кількість коментарів за текстом, присутність N кадру і пробілів між словами в кадрі, збільшений інтервал між частинами (блоками) програми для кожного інструмента, інші прийоми, що допоможуть оператору швидко та безпомилково знайти потрібне місце в тексті.

Частини програми, що повторюються, можуть програмуватися в тексті як підпрограми або «повтор кадрів».

Початок і номер програми позначається знаком % і цифрою (наприклад: %5 — програма № 5). Кінець програми позначається M30 або M02.

У пристроях ЧПК третього покоління рекомендовано в одному з перших кадрів та в кадрах після заміни інструмента вводити кадр безпеки, який містить набір команд, що скасовують усі випадково не відмінені модальні команди. В сучасних ПЧПК ця відміна виконується однією спеціально призначеною командою, наприклад G54, після закінчення обробки. Номер кадру N в програмі та послідовність слів у кадрі в сучасних пристроях ЧПК можуть не дотримуватися.

Інформацію, розташовану перед знаком % (вихідна інформація), після кінця програми або по її тексту в дужках, пристрій ЧПК не зчитує. («» вимикає систему ЧПК, а «)» вмикає. Дужки мають бути лише після кінця кадру і перед знаком початку кадру «N». Ця інформація призначена для налагоджувача і містить: дату створення програми, номер креслення, прізвище автора, вказівки, нагадування, роз'яснення, коментарі, тип матеріалу заготовки, розмір інструмента і под. Для відтворення цього тексту на екрані інформація вноситься символами, передбаченими G-кодом: A, B, C, D, F, G, H, I, J, K, L, X, Y, Z, M, N, P, Q, R, S, T, U, W, крім «%» і «:». Отже, текст керуючої програми також має свою структуру, яку схематично зображено на рис. 1.2.

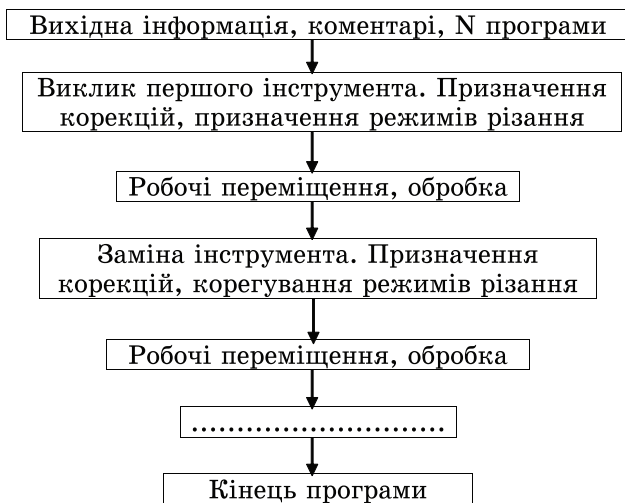


Рис. 1.2. Схема побудови тексту керуючої програми

Запис, що визначає максимально можливий обсяг інформації кадру та порядок слів у ньому, а також містить усі команди від програми, які можна виконувати з даним ПЧПК, називається форматом кадру, визначається можливістю даного пристрою, призначенням верстата, його особливостями.

Зауважимо, що хоча програмування обробки і має свої особливості для кожної групи верстатів та пристроїв ЧПК кожної моделі, в тексті програми це відбивається незначними відмінностями. Розглянемо групи верстатів і видів обробки, що використовуються найчастіше й оснащені найпоширенішими в Україні пристроями ЧПК з мовою програмування, найбільш наближеною до коду ISO-7bit:

- верстати свердлильно-фрезерно-розточувальні (ОЦ), оснащені багатоінструментальним магазином, з пристроєм ЧПК 2С-42: вертикальний 2254ВМФ4 та горизонтальний 2204ВМФ4. Набуті знання з обробки деталей на цих верстатах дадуть змогу ефективно працювати на окремо свердлильних, фрезерних та розточувальних верстатах з ЧПК;

- токарні верстати 16К20Ф3, оснащені шестипозиційною револьверною інструментальною головкою, з пристроєм ЧПК МС-21 (НЦ-80-31);

- шліфувальні верстати різного призначення;

— верстати з ЧПК для виготовлення заготовок порізкою з проката, листа, труби, виливки, штамповки на координатних пресах.

Контрольні запитання

- 1. Назвіть основні переваги верстатів з ЧПК.*
- 2. Які Ви знаєте групи верстатів з ЧПК?*
- 3. Охарактеризуйте склад пристрою ЧПК.*
- 4. Які Ви знаєте ПЧПК залежно від принципу керування рухами?*
- 5. Якою мовою записується керуюча програма?*
- 6. Поясніть сутність понять «побудова слова» та «кадр програми».*
- 7. Охарактеризуйте структуру тексту програми, порядок її написання.*
- 8. Яку інформацію пристрій ЧПК відтворює на екрані, але не зчитує?*

РОЗДІЛ II

ПРОГРАМУВАННЯ ОБРОБКИ НА СВЕРДЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО- РОЗТОЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК (ОЦ)

Для верстатів даної групи, зважаючи на стандартизовану мову програмування (G-код), текст програми для різних ПЧПК буде або однаковим, або відрізнятися несуттєво по значенням окремих команд за рахунок команд, що їх стандарт ISO 6983-1 подає як «не визначені». Тому елементи програмування розглянемо на конкретних прикладах обробки на свердлильно-фрезерно-розточувальному оброблювальному центрі 2254ВМФ4 з вертикальним шпінделем та свердлильно-фрезерно-розточувальному оброблювальному центрі 2204ВМФ4 з горизонтальним шпінделем і круговим позиційним столом, оснащеними ПЧПК 2С-42.

2.1. Формат кадру

$N4\ G2\ X\pm 3.3\ Y\pm 3.3\ Z\pm 3.3\ I\pm 3.3\ J\pm 3.3\ K\pm 3.3\ B\pm 3.3(\pm 6)$
 $Nn\ F4\ S4\ T2\ H1\ D2\ M2\ P2\ L2\ A\pm 3.3;$

$N4$ — в одній програмі може бути не більше 9999 кадрів (4 значущих цифри);

$G2$ — максимальна кількість підготовчих функцій — 99 (2 значущі цифри);

X, Y, Z, I, J, K — лінійні координати, що містять три значущі цифри до крапки, три — після; крапка розділяє цілу та дробову частини числа. Нулі, що стоять перед першою значущою цифрою числа та після останньої значущої цифри його дробової частини, можна опускаєти. Наприклад:

$X003 \rightarrow X3; Y057.350 \rightarrow Y57.35;$

$A(\pm 3.3)$ — прискорене переміщення до заданої позиції в постійних свердлильних циклах або круговий рух навколо X ;

$B(\pm 6)$ — круговий рух навколо осі Y , а також $B(\pm 3.3)$ — координата по Z виходу інструмента з деталі в постійних циклах;

F — подача, мм/хв;
S — швидкість різання, м/хв або число обертів/хв;
T — номер інструмента;
D — адреса коректора зміщення інструмента в довжину або корекція радіуса фрези;
N n — номер кадру n, що повторюється;
P — параметри;
H — число повторів;
L — підпрограма;
M2 — допоміжні команди, максимальна кількість 99;
C (± 6) — програмоване обертання шпінделя навколо осі Z (використовується в процесі різенарізання);
S0 — команда кутового позиціонування шпінделя для заміни інструмента;

«/» — випадний кадр — це кадр, який за бажанням наладчика ПЧПК може зчитувати або ні. Для цього на пульті пристрою є спеціальна клавіша, що його активізує. Найчастіше таким кадром програмують паузу для контрольної операції, заміни інструмента. Можуть використовувати в разі групової обробки, відключаючи ряд кадрів у програмі на комплексну деталь;

«:» — головний кадр, містить відомості про умови обробки: режими, корекції, зміщення «0» та ін. Рекомендовано для зручності, не є обов'язковим. Інформація може бути рознесена по кадрах.

Послідовність обробки задається номерами кадрів у порядку їх зростання. Як і в технологічних картах, рекомендована нумерація через 10 або 5. Це для зручності редагування програми, яке може викликати додаткові кадри. Наприклад:

N10....;
: N20....;
/ N30....;

За необхідності:

N10....;
N11....;
N12....;
: N20....;
/ N30....;

2.2. Система координат. Рух по координатах. Задавання переміщень

Найпростіша система координат — це дві взаємно перпендикулярні лінії, які називаються осями, а точка їх перетину — початком координат. Осі позначаються X і Y . Координатна система з двома осями дозволяє однозначно зафіксувати положення точки на площині через її координати. Наприклад, точка A на рис. 2.1, *a*. Відстань від початку координат до точки A вздовж осі X є її координатою X , а відстань від початку координат до точки A вздовж осі Y є її координатою Y . Координати точки прийнято зазначати в дужках біля її назви, перша — координата X (абсциса), друга — координата Y (ордината): $A(X; Y)$. На рис. 2.1, *a* координату точки A позначено $A(30; 30)$. Осі мають додатний і від’ємний напрямки. Наприклад, координатою точки B на рис. 2.1, *a* є $B(-5; -10)$.

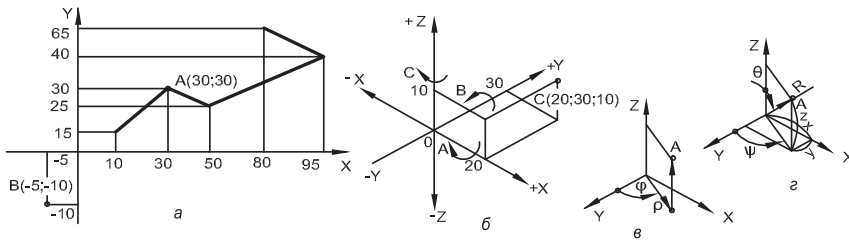


Рис. 2.1. Системи координат. Абсолютний та відносний відлік:
a — двовимірний; *б* — тривимірний; *в* — циліндричний;
г — сферичний

Перетин трьох взаємно перпендикулярних площин утворює тривимірну прямокутну систему координат, яка використовується для визначення положення точки в просторі. Для цього до координат X і Y додається третя — Z (апліката), яка так само зазначається в дужках, третьою за рахунком. Наприклад, координата точки C на рис. 2.1, *б* буде записана: $C(20; 30; 10)$. Розглянуті прямокутні дво- та тривимірні системи координат є математичною базою програмування. Взаємний рух інструмента й деталі під час програмування обробки описується в прямокутній системі координат.

Відомі також системи координат:

циліндрична, в якій положення точки у просторі визначається полярними координатами: радіусом ρ і централь-

ним кутом ϕ (положення проєкції точки на основну площину XY) та аплікатою Z — відстанню від точки до основної площини (рис. 2.1, *в*);

сферична, в якій координата точки задається довжиною радіуса сфери R , довготою — кутом ψ і полярним кутом Θ (рис. 2.1, *г*), що відміряються від тих же прямокутних осей Y і X відповідно на основній площині. Застосовується ця система рідко, в особливих випадках, ми не розглядатимемо її.

Закріплення координатних осей у прямокутній системі за рухомими органами верстата здійснюється відповідно до стандарту ISO 841 мнемонічним «правилом правої руки»: якщо тильний бік правої долоні покласти на оброблювану поверхню прямо і підняти середній палець, то:

- великий палець покаже додатний напрям осі X ;
- вказівний — додатний напрям осі Y ;
- середній — додатний напрям осі Z .

Це справедливо, коли рухи по всіх координатах здійснює тільки інструмент. Якщо рухається і стіл, що частіше, то додатний напрям по цих координатах змінюється на протилежний. Цього правила особливо слід дотримуватися під час конструювання верстата. Таке закріплення осей забезпечує програмування в першому квадранті, а для оператора — додатним напрямом завжди буде рух інструмента від деталі.

Осі координат розташовують паралельно напрямкам руху виконавчих органів. Це дозволяє в процесі створення програми легко задавати напрям і відстань переміщення. Технолог-програміст завжди виходить з того, що рухається інструмент, хоча, залежно від моделі верстата, можуть рухатися і столи, й інструмент. Це обов'язково треба враховувати в знаках переміщень.

Програмування координатних переміщень для різних верстатів здійснюється з урахуванням їх технічних характеристик, зазначених у паспорті (максимальні й мінімальні переміщення по осях, дискрета, режими обробки тощо). Наприклад, для верстатів 2204ВМФ4 і 2254ВМФ4 мінімальне переміщення по всіх осях 0,015 мм; максимальне по осі X — 600 мм; по осі Y — 400 мм; по осі Z — 600 мм; дискрета — 0,001 мм.

Під час програмування переміщень для свердлильних, фрезерних, розточувальних верстатів та оброблювальних

центрів, крім основних адрес осей X, Y, Z, використовують додаткові: I, J, K.

I — позначення координати X центру дуги в координатній площині XY для кругової інтерполяції;

J — позначення координати Y центру дуги в координатній площині XY для кругової інтерполяції;

K — позначення кроку різьби по Z.

Усі переміщення задаються відповідною адресою координати, знаком напрямку (« + » або « - ») і шестизначним числом (три знаки до крапки, три після).

В абсолютній системі відліку координати всіх опорних точок траєкторії вказані у вибраній системі координат від «0».

У відносній системі — координата кожної наступної опорної точки траєкторії відраховується від попередньої запрограмованої як приріст координати. Ці приращення записуються зі знаками:

« + » — якщо напрямок руху інструмента до нової точки збігається з напрямком осі координат;

« - » — якщо напрямок руху інструмента до нової точки направлений у протилежний бік. У тексті програми « + » не ставлять. Початкова точка обробки деталі задається тільки в абсолютній системі, а наступні — залежно від способу задання розмірів деталі в кресленні і зручності розрахунку координат опорних точок.

Наприклад, траєкторію руху на рис 2.1, а можна запрограмувати:

В абсолютній системі:

N10G90G00X10Y15;

N20G01X30Y30S600F0.5;

N30X50Y25;

N40X95Y40;

N50X80Y65;

У відносній системі:

N10 G91G00X10Y15;

N20G01X20Y15S600F0.5;

N30X20Y-5;

N40X45Y15;

N50X-15Y25;

За однакових умов перевага віддається абсолютній системі. Це пов'язано з можливою помилкою в задаванні координати: в абсолютній системі неправильно вказаною буде одна точка траєкторії, а у відносній — усі, що розташовані після заданої з помилкою.

Рух з початку координат в точку C можна запрограмувати кадром:

N10G90G00X20Y30Z10;

Програмуються також обертальні рухи навколо осей координат: навколо осі X — координата А; навколо осі Y — координата В; навколо осі Z — координата С.

За визначенням ISO 841 додатним напрямком повороту навколо осі призначено напрямок зімкнутих пальців правої руки, коли положення великого пальця збігається з додатним напрямком осі, навколо якої відбувається круговий рух. Це справедливо, якщо по колу рухається інструмент. Якщо обертається виконавчий орган, то додатний напрямок — у протилежний бік від визначеного правилом.

Програмування повороту стола на верстаті 2204ВМФ4 навкруг осі Y (B)

Верстати випускаються із силовими круговими столами — обробку можна виконувати під час повороту, а також із позиційними — під час повороту обробка неприпустима. Поворот позиційного стола на верстаті 2204ВМФ4 програмується двома окремими кадрами: в першому — кут повороту, в другому — затиск стола. Наприклад:

N40G00B180;

N50M95;

Поворот силового стола програмується одним кадром, обов'язково вказується робоча подача:

N40G01B180F40;

Для пристрою ЧПК 2С-42 мінімальний програмований поворот стола — 1°; для пристрою ЧПК «FANUK» — 3°.

Програмування числового значення кутів комбіноване. Ціле число градусів вказується безпосередньо, а дробове — в частках від градуса. Приклад перерахунку наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Хвилини та секунди в частках градуса							
хвилини	в частках градуса	секунди	в частках градуса	хвилини	в частках градуса	секунди	в частках градуса
1	0,017	1	0,000	9	0,150	9	0,002
2	0,033	2	0,000	10	0,170	10	0,003
3	0,050	3	0,001	20	0,330	20	0,006
4	0,067	4	0,001	30	0,500	30	0,008
5	0,083	5	0,001	40	0,670	40	0,011
6	0,100	6	0,002	50	0,800	50	0,014
7	0,117	7	0,002	60	1,000	60	0,017
8	0,133	8	0,002	—	—	—	—

Наприклад: 180° — В180; -27° — В-27; $30'$ — В0.5; $15'$ — В0.25; $40''$ — В0.011; Кут $180^\circ 30' 40''$ програмується як В180.511.

Обертання шпінделя навколо осі Z (C) може бути керованою координатою C. Використовують C у ході нарізання різьби різцем. Програмується обертання шпінделя по команді C в дискретах до третього знака після крапки. Один оберт шпінделя — 1.000 дискрет. Кути перераховують в дискрети.

$360^\circ = C1$; $180^\circ = C 0.5$; $90^\circ = C0.25$.

Незалежно від способу завдання переміщення по координатах X, Y, Z C програмується тільки у відносній системі, тобто по приращенню кута.

2.3. Координатна система верстата, деталі

Поблизу кінцевого ходу кожного виконавчого органа верстата, що обмежується упором, міститься так звана його нульова точка, заведена до пристрою ЧПК під час налагоджування заводом-виробником, яка обмежує переміщення робочого органа в цьому напрямку. Розміщення всіх робочих органів у нульових точках називається нульовою, або постійною, точкою верстата. Це його початок координат. Система координат верстата постійно підтверджується. Робота на верстаті починається з його виходу в нульову (постійну) точку — початок координат.

Проводити обробку, використовуючи лише систему координат верстата, незручно через кропіткий перерахунок координат — задані розміри деталі треба вказати в системі координат верстата з урахуванням координат положення деталі на його столі. Цю проблему усунено передбаченим ПЧПК переходом до системи координат деталі, яку вибирають в найбільш зручній для програмування точці (точка, від якої визначено конструкторський ланцюг розмірів, зовнішній або внутрішній кут на прямокутних деталях, плоску поверхню, вісь центрального отвору, вісь зовнішнього діаметра круглої деталі (див. рис. 2.4), габаритний центр тощо).

Завдання технолога-програміста або наладчика — правильно вибрати систему координат деталі й зорієнтувати її в системі координат верстата.

Деталь з уже вибраною власною системою координат розташовують на столі верстата так, щоб:

- під час обробки вистачило робочого ходу в усіх напрямках;
- доступ до деталі для її установаження та знімання був зручним;
- була можливість контролю, заміни інструмента в ході обробки (за потреби) тощо.

Після цього визначають координати системи координат деталі в системі координат верстата — це називається програмуванням «0» деталі: виходять в точку початку системи координат деталі, значення координат з монітора записують у карту наладки і вводять до відповідних коректорів ПЧПК, на екрані встановлюють нулі. Переходять до обробки по осях X і Y в системі координат деталі (див. приклад на рис. 2.4).

Вісь інструментального шпінделя, який задає швидкість різання, завжди Z. Початок обробки по координаті Z визначається конструкцією та габаритами деталі. Для «прив'язки» руху інструментів по осі Z в «ручному режимі» торкаються кожним відібраним для обробки і зібраним у блок з базовою оправкою (детальніше див. у параграфі 2.22) інструментом оброблюваної поверхні, значення по Z з екрана переносять до коректора, номер якого відповідає номеру гнізда інструментального магазину, де розташований інструмент, або номеру інструмента. Тоді координата Z площини торкання буде дорівнювати «0».

У програмі передбачають кадр, в якому прискорений рух (G00) по Z закінчується не доходячи до оброблюваної поверхні ($Z = 0$) на задану відстань, зазвичай на 5–10 мм.

За потреби для однієї деталі можна призначити кілька систем координат. ПЧПК 2С-42 має можливість призначити для однієї деталі до п'яти систем координат («FANUK» — до шести). Це дозволяє для кожної з оброблюваних сторін деталі вибрати свою зручну систему координат, вести обробку в багатопозиційних пристроях, оброблювати однакові елементи, розташовані на одній деталі на заданій відстані один від одного, за однією програмою й інші можливості. Призначають ці системи координат у процесі розробки програми та наладки деталі на обробку.

2.4. Налаштування верстата. Бази. Карта налашки

Свердлильно-фрезерно-розточувальні ОЦ призначені переважно для обробки корпусних деталей, плоских та деталей типу важіль. При обробці корпусних деталей на ОЦ до них висуваються додаткові вимоги з технологічності:

— якщо на верстаті нема керованого від програми поворотного стола, оброблювані поверхні мають бути зосереджені з чотирьох взаємно перпендикулярних сторін;

— схема закріплення заготовки не повинна заважати обробці, а пружні деформації, що можуть виникнути в ході оброблення, не мають виходити за межі встановлених допусків;

— довжина отворів, які розточуються з одного боку (L), повинна бути в межах допустимої для консольної обробки, $L_{\max} \leq 5\div 6$ діаметрів отвору;

— конструкція деталі має забезпечувати її виготовлення з мінімальним числом установок;

— під час обробки контуру плоских деталей всі радіуси сполучення суміжних кутів контуру мають бути, по можливості, однаковими й відповідати ряду стандартних діаметрів кінцевих фрез;

— заготовки корпусних деталей повинні відповідати вимогам машинного формування, не мати різких коливань припуску на механічну обробку.

Розроблення налашки починають з аналізу технологічності й можливості обробки деталі на даному верстаті. Розглядають її найбільші габаритні розміри, найбільші відстані між точками обробки з урахуванням врізання та перебігу, кількість оброблюваних сторін, точність міжосьових відстаней, точність розмірів та геометричних форм оброблюваних отворів і площин, кількість отворів і площин, матеріал деталі та його стан, запланований до знімання припуск. Порівнюють ці дані з технічною характеристикою верстата й аналізують рівень можливості обробки.

Визначаються з базовими поверхнями та розташуванням деталі на дзеркалі стола верстата. За потреби високоточної орієнтації відносно дзеркала стола можна шліфувати стіл спеціальною шліфувальною голівкою з автономним приводом, установленою в шпінделі верстата, а деталь, якщо її базова поверхня попередньо не оброблена, розміщати не на

дзеркалі стола, а на трьох точкових опорах однакої висоти. Базові площини задають положення деталі в робочій зоні верстата, забезпечують виконання вимог до геометричних форм, взаємного розташування поверхонь, точності обробки всіх елементів. Час на базування й укріплення деталі має бути мінімальним. Разом з тим, якщо міцність кріплення деталі прихоплювачами викликає сумнів, то підсилювати його треба завдяки встановленню додаткових прихоплювачів, а не збільшенню зусилля на встановлених — це часом призводить до деформації або й руйнування елементів кріплення.

За основні технологічні бази по осях X і Y деталі з обробленими напрямними і упорними площинами приймають дві площини — координатний кут (рис. 2.2, а). Якщо поверхні необроблені, за базові приймають або необроблені поверхні, або розмічені площини, які відповідають конструкторським базам (рис. 2.2, б), в окремих випадках (недостатній припуск на діаметр отвору) — отвір і площину (рис. 2.2, в).

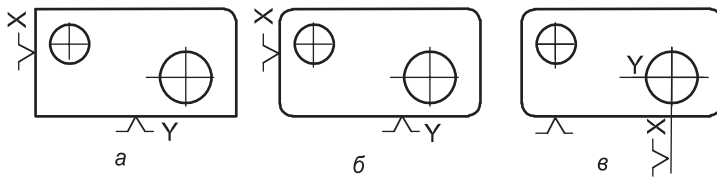


Рис. 2.2. Бази:

а — попередньо оброблені поверхні; б — необроблені поверхні;
в — вісь отвору і бокова поверхня

Для верстатів з горизонтальним шпінделем (2204ВМФ4) координата по осі X має бути зорієнтована відносно центру поворотного стола, координата якого від нульових точок верстата відома.

Якщо під час обробки деталей затискають у лецатах, потрібно стежити, щоб базова поверхня, від якої проставлені розміри, упиралася в нерухому губку лецат. Це виключить вплив на точність обробки коливання розміру деталі, на який її затискають. При відліку від рухомої губки базова поверхня і нульова площина системи координат зміщуватимуться одна відносно одної вслід за відхиленням розміру деталі і спричинюватимуть цим похибку обробки в перпендикулярному напрямі, яка дорівнюватиме похибці розміру заготовки.

Визначаючи послідовність обробки поверхонь, з метою зменшення похибки базування важливо дотримуватися принципу постійності технологічних баз. Якщо технологічну базу потрібно все-таки змінити, необхідно обов'язково вирахувати можливі додаткові відхилення виконуваних розмірів на значення похибки обробки від зміни баз.

Призначення нульової площини по осі Z пов'язано із свердлильними циклами, закінчення яких повертає різальну крайку інструмента в нульову площину. Рекомендується нульову площину по осі Z розташовувати над найбільш виступною поверхнею деталі, а інструменти перевірити на відповідність їх довжини умовам обробки.

Мінімальна довжина інструментів (L_{\min}) визначається можливістю досягнення кінцевих точок обробки (рис. 2.3).

Для верстатів з вертикальним шпінделем L_{\min} враховує найменшу відстань від торця шпінделя до дзеркала стола:

$$L_{\min} \geq A - B + Z, \quad (2.1)$$

де A — найменша відстань від торця шпінделя до дзеркала стола (головка в крайньому нижньому положенні);

B — відстань від дзеркала стола до робочої поверхні деталі;
 Z — глибина обробки з урахуванням перебігу.

Для верстатів з горизонтальним шпінделем L_{\min} враховує найменшу відстань від торця шпінделя до осі поворотного стола, визначається за тою ж формулою (2.1), де:

A — найменша відстань від торця шпінделя до осі поворотного стола;

B — відстань від осі стола до найбільш віддаленої від торця шпінделя робочої поверхні;

Z — глибина обробки з урахуванням перебігу.

Максимальна довжина інструмента (L_{\max}) визначається можливістю його заміни, його жорсткістю та точністю обробки.

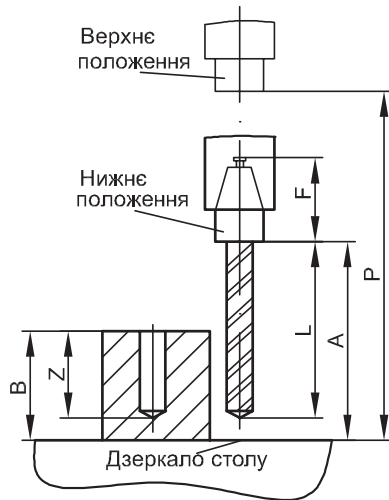


Рис. 2.3. Базування по Z .
 Довжина інструмента

Для верстатів з вертикальним шпінделем L_{\max} враховує найбільшу відстань від торця шпінделя до дзеркала стола:

$$L_{\max} \leq P - B - F, \quad (2.2)$$

де P — найбільша відстань від торця шпінделя до дзеркала стола (головка в положенні заміни інструмента);

B — відстань від дзеркала стола до найбільш виступної поверхні деталі або елемента її кріплення;

F — довжина частини інструмента, що входить у шпіндель.

Для верстатів з горизонтальним шпінделем L_{\max} враховує найбільшу відстань від торця шпінделя до осі поворотного стола, визначається за тою ж формулою (2.2), де:

P — найбільша відстань від торця шпінделя до осі поворотного стола (стіл максимально віддалений від колони);

B — відстань від осі стола до найбільш виступної поверхні деталі або елемента її кріплення;

F — довжина частини інструмента, що входить у шпіндель.

Для верстатів з горизонтальним шпінделем і поворотним столом за «нуль» кутового відліку (координата В) приймають сторону, з якої починається обробка. За «нуль» по координаті «С» приймають положення шпінделя, зорієнтованого для заміни інструмента (S0).

Крім зазначеного, враховують:

— зручність установки. Деталь розміщують якомога ближче до місця оператора;

— вагу деталі, спосіб її транспортування на верстат і з верстата;

— положення стола в момент заміни деталі;

— зручність кріплення деталі. Елементи кріплення не повинні закривати поверхню обробки;

— висота підкладок має забезпечувати необхідний вихід інструмента;

— зручність базування — варто передбачити можливість підходу до базових поверхонь, а також можливість установлення і знімання базових елементів. Треба максимально використовувати одні й ті самі базові елементи для кількох установок, однакові затискні елементи;

— правила безпеки праці. Обов'язкова наявність вільної зони для переміщення маніпулятора під час заміни інструмента. У протилежному разі деталь перед заміною інструмента виводять із цієї зони.

Для налагоджування верстата на обробку деталей середніх розмірів часто застосовуються універсальні стандартні

пристрої типу лещат, трикулачкових патронів, УСП. Для широкої номенклатури обробки використовується також чимало нестандартних пристроїв типу плита, косинець, коробчастий косинець із сіткою пазів та отворів. Як додаткові застосовуються різноманітні плитки, підкладки, прокладки, кубики, циліндричні упори, пальці (циліндричні повні, циліндричні зрізані).

Із затискних пристроїв використовуються домкрати, прихоплювачі, шпильки, гайки, сухарі тощо.

У серійному виробництві виготовляють спеціальні гідрота пневмозатискні пристосування, інформація про які подається в карті наладки деталі.

Карта наладки містить:

— ескіз або креслення деталі із зазначенням базових поверхонь, поверхонь обробки з технічними вимогами до її результату, траєкторію руху інструментів з координатами опорних точок;

— план операції: технологічний регламент обробки кожної поверхні окремо та послідовність обробки всіх поверхонь; номер операції, вказаний у маршруті технологічного процесу обробки деталі;

— систему координат деталі (призначає технолог-програміст), її координати в системі координат верстата (визначає оператор або налащик);

— застосоване оснащення та інструмент із вказаними значеннями корекції по Z та радіусу (фрези), коди (номери в інструментальному магазині) зібраних інструментальних блоків із зазначеними інструментами, їх габаритні розміри, марки та геометричні характеристики різальної поверхні кожного інструмента, режими обробки (призначає технолог-програміст сумісно з оператором та налащиком);

— номер керуючої програми в бібліотеці програм, дату розробки, прізвище розробника (технолога-програміста);

— термін відпрацювання програми в годинах (стрічковий час), інше — за потребою.

Така карта містить достатньо інформації для оперативного налагоджування на обробку, допомагає оператору, налащику взяти до уваги особливості обробки деталі, особливо якщо ця деталь певний час не виготовлялась і щось призабулося.

Карта наладки — це основний технологічний документ, яким користуються під час обробки на верстатах з ЧПК, її форму наведено в Єдиній системі технологічної докумен-

тації (ЕСТД). Однак залежно від потреб підприємства вона може змінюватися цілком або частково — містити додаткові відомості або не містити щось із вищенаведеного, якщо для оброблюваної деталі це не потрібно. Крім карти наладки можуть використовуватися такі документи, як операційна карта, блок операційних ескізів, карта налагодження інструментів, розрахунково-технологічна карта. Зазначені документи можуть постачатися на робоче місце в електронному вигляді в режимі «для читання».

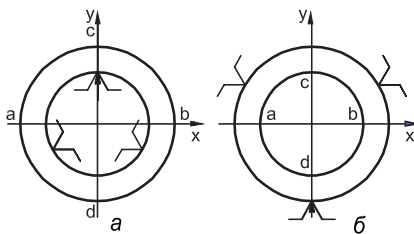


Рис. 2.4. Наладка обробки круглої деталі:
a — зовнішня базова поверхня;
б — внутрішня базова поверхня

Розглянемо приклад налагоджування верстата на обробку круглої поверхні деталі з початком координат на її осі, що збігається з віссю *Z* (рис. 2.4).

1. Аналізуємо ескіз чи креслення деталі, визначаємося з технологічним регламентом обробки поверхонь, планом операції, вибираємо необхідний інструмент, збираємо в інструментальні блоки, визначаємо і контр-

ольоємо довжину кожного за критичними значеннями, «прив'язуємо» по *Z*, призначаємо режими обробки. Вносимо параметри до карти наладки.

2. Розташовуємо деталь на столі верстата у зручному для обробки місці. Перевіряємо це положення відносно постійних (нульових) точок верстата для виключення аварійної ситуації — наїзду на кінцеві упори. Для цього «проганяємо» стіл вліво, вправо, від себе, на себе вздовж оброблюваної поверхні, спостерігаючи за координатами на моніторі й положенням оброблюваної поверхні — переконуємось, що оброблювана поверхня розташована в робочій зоні. Обираємо початок системи координат деталі по осях *X* і *Y* на осі *Z* верстата і на осі поверхні, яку оброблюватимемо.

Виставляємо деталь по базовому зовнішньому (або внутрішньому) діаметру співвісно з шпінделем верстата (вісь *Z*). Для цього підводимо в ручному режимі інструмент до торкання з базовою поверхнею деталі в екстремальних точках: *a*, *в*, *с*, *d* (рис. 2.4). У кожній із цих точок знімаємо показання по монітору.

Визначаємо координати центра в системі координат верстата X_0 і Y_0 :

$$X_0 = \frac{X_a + X_b}{2}; \quad Y_0 = \frac{Y_c + Y_d}{2}.$$

3. Виводимо ПЧПК у режим «редактор коректорів і програм». Заносимо значення X_0 та Y_0 до коректорів, записуємо для подальшого можливого використання в карту наладки. Встановлюємо на моніторі «0».

4. Вводимо корекції на довжину задіяних в обробці інструментів. Вводимо корекцію на радіус фрези. Заносимо до карти наладки.

5. Визначаємо траєкторії руху інструмента, координати опорних точок, розробляємо та вводимо в пристрій ЧПК програму обробки і відпрацьовуємо її в обраній системі координат.

Зазвичай під час обробки круглих деталей згідно з вказаним алгоритмом дій виставляють трикулачковий патрон, а в ньому затискають оброблювані деталі. Якщо з такою наладкою точність обробки недостатня, деталь у патроні додатково виставляють на співвісність за допомогою спеціального пристрою — центрошукача. Для цього центрошукач установлюють в шпіндель верстата, а його підпружинений наконечник при обертанні шпінделя прокочують навколо базової (вона ж і оброблювана) поверхні. Знімають показники відхилення стрілки індикатора в екстремальних точках, знаходять «биття» — піврізницю відхилень по X і Y , уточнюють введені до коректорів і записані координати центру. Залежно від необхідної точності прийом може виконуватися кілька разів.

Якщо встановлювана в патроні деталь некругла, а її обробка вимагає строгої орієнтації відносно осі обертання шпінделя, для скорочення часу налагоджування застосовують спеціальні планшайби. Деталь виставляють і закріплюють на планшайбі окремо від патрона, а потім планшайбу, зібрану з деталлю, затискають в попередньо виставлений патрон. Під час обробки однієї деталі на планшайбу установлюють наступну.

Якщо верстат оснащений сучасною контрольно-вимірною системою, то початок координат деталі визначається, як описано в параграфі 2.20.

2.5. Зміщення системи координат деталі (G70–G75)

В абсолютній системі — це зміна відстані від постійних точок верстата до початку вибраної системи координат деталі («плаваючого нуля»). Вибирають його, як описано в параграфі 2.4, у процесі наладки при розташуванні деталі в робочій зоні верстата, виходячи з потреби охопити обробкою всі заплановані поверхні з урахуванням зручності установки, кріплення та знімання деталі, можливого контролю під час обробки тощо.

Після визначення нового положення системи координат деталі інструмент підводять до точки, координати якої в обраній системі відомі. Показання монітора заносять до коректорів пристрою ЧПК з пульта. На моніторі набирають координати точки, де знаходиться інструмент у новій системі. Перехід виконано. У програмі це фіксується однією з команд G71–G75.

Наприклад (див. рис. 2.5), рух у системі координат верстата в точку С програмується кадрами:

```
N10 X10 Y15;  
N20 X30 Y70;  
N30 X100 Y80;
```

Нехай з міркувань зручності переміщення ВС потрібно виконати з початком координат у точці O1 (X70 Y50). Для цього командою G71 програмуємо зміщення системи координат деталі, а з пристрою ЧПК у режимі «редактор коректорів і програм» заносимо до коректорів значення X70, Y50. Команда G71 діє з кадру, де вона задана. Тоді рух у точку в системі координат верстата X100Y80 буде запрограмовано кадрами:

```
N10 X10 Y15;  
N20 X30 Y70;  
N30 G71 X30 Y30;
```

Зміщення точки відліку дає можливість програмісту під час написання програми працювати тільки з деталлю, а оператор чи наладчик розташовують її на столі верстата так, щоб обробка виконувалася від призначеної програмістом системи координат.

Якщо зміщення початку відліку треба виконати у відносній системі (за прироцненням), в пам'яті ПЧПК зберігається зміщення системи координат відносно попереднього, тоді зміщення по команді, наприклад, G72 після

G71 буде відпрацьоване від G71, а не від постійних точок верстата.

Команда G70 скасовує всі зміщення, задані раніше. Зміщень може бути до G75. Це застосовується в ході обробки деталі з кількох сторін, під час обробки кількох однакових деталей, однакових елементів на поверхні однієї деталі тощо.

Програмоване зміщення «0» (G92) відрізняється тим, що зміщення відносно постійних точок верстата задають безпосередньо в тексті програми окремим кадром. При зчитуванні кадру з G92 ніяких рухів не відбудеться, але в наступному кадрі система вестиме відлік, приймаючи координати попереднього кадру за X0Y0.

Наприклад (рис. 2.5):

```
N15G92X70Y50;
```

```
N20X30Y30;
```

Використовують G92, коли неможливо точно установити «нуль деталі». Наприклад, ось відлитого в деталі отвору, яка «плаває» відносно контуру більше, ніж припуск з допуском на відстань між ними разом узяті (рис. 2.2, в).

У такому разі контур орієнтують відносно отвору, а не навпаки. За потреби, після повної обробки деталі вводять з «прослабленої» сторони контуру спеціальні проставки — компенсатори. Під час обробки деталь виставляють по отвору і стороні; координати осі, що висвітлюються на екрані, заносять у текст програми з командою G92, таким чином початок координат буде перенесено на вісь отвору.

Команду G92 не можна задавати в кадрі, де діє якась з команд G71–G75.

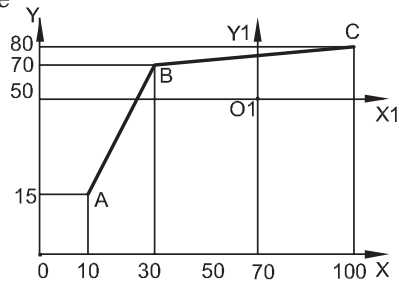


Рис. 2.5. Зміщення початку відліку

2.6. Підготовчі (технологічні) функції (команди) G

Команди (функції) G визначають вид та умови руху в програмі адресою G та двозначним числом при ній. Нуль перед другою цифрою вказується обов'язково. Всі підготовчі команди розбиті на групи. В одному кадрі можуть бути команди з різних груп. Якщо задати в кадрі більше ніж одну команду з однієї групи, виконається остання записа-

на, крім команд G90 і G91 — тут у подібному разі виконуватиметься команда G90. Команди G поділяються на такі, що діють лише в тому кадрі, де їх задано, й такі, що діють до відміни іншою командою (модальні). Нижче наведено перелік зведених у групи команд G. Команди, позначені «*», діють лише в одному кадрі, решта — модальні, в дужках зазначено групу, до якої належить команда.

Команди G, що застосовуються ПЧПК 2С-42:

- G00 (1) — позиціонування;
- G01 (1) — лінійна інтерполяція;
- G02 (1) — кругова інтерполяція за стрілкою годинника;
- G03 (1) — кругова інтерполяція проти стрілки годинника;
- G04* (8) — витримка часу;
- G09*(8) — гальмування;
- G12 (1) — гвинтова інтерполяція за стрілкою годинника;
- G13 (1) — гвинтова інтерполяція проти стрілки годинника;
- G17 (2) — площина інтерполяції XY;
- G18 (2) — площина інтерполяції XZ;
- G19 (2) — площина інтерполяції YZ;
- G28 (1) — вихід у позицію зміни інструмента;
- G29* (1) — вихід у постійні точки верстата;
- G31* (1) — вихід у задану позицію N1;
- G32* (1) — вихід у задану позицію N2;
- G33 (1) — нарізання різьби;
- G40 (3) — відміна корекцій;
- G41 (3) — корекція на радіус інструмента за обходу контуру зліва;
- G42 (3) — корекція на радіус інструмента за обходу контуру справа;
- G43 (4) — додатна осепаралельна корекція;
- G44 (4) — від'ємна осепаралельна корекція;
- G70 (5) — відміна зміщення точки відліку;
- G71–G75 (5) — зміщення точки відліку;
- G92 (6) — зміщення точки відліку через програму;
- G90 (7) — абсолютна система розрахунку розмірів обробленої поверхні;
- G91 (7) — відносна система розрахунку розмірів обробленої поверхні;
- G36* — G38* (7) — постійні цикли обходу кутів;
- G30 (7) — відміна постійних циклів G36–G38;
- (G64*, G65*, G66*) (7) — постійні цикли виходу на контур;

- G81 — G89 (7) — постійні цикли обробки отворів;
- G80 (7) — відміна постійних циклів G81–G89;
- G22 (9) — обмеження ходу;
- G23 (9) — відміна обмеження ходу.

Розглянемо використання цих команд на прикладах обробки.

2.7. Позиціонування.

Лінійна, кругова та гвинтова інтерполяція

G00 — позиціонування, або прискорений рух, — рух до запрограмованої точки з максимально можливою для даного верстата швидкістю (вказано у технічній характеристиці верстата). Часто прискорений рух передбачають різним для різних координат. У таких випадках рух по команді G00 до опорної точки буде нескоординованим, у вигляді ламаної лінії. Це треба мати на увазі при кріпленні деталі, щоб не спричинити аварійну ситуацію під час прискореного руху.

Наприклад: G90 G00X100Y50; (рис. 2.6):

OO' — механізми розганяються одночасно по X і Y;

O'B — рух механізмів одночасно по X і Y з однаковою швидкістю (кут 45°);

BC — гальмування по Y до «0» (переміщення по Y відпрацьоване повністю);

CA — рух тільки по X, після точки A' — гальмування.

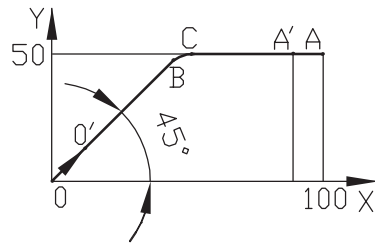


Рис. 2.6. Позиціонування

Отже, прискорений рух до заданої точки по команді G00 відбувся не по прямій, а непередбачувано, — це треба враховувати, звіряючи програмовані рухи з розташуванням елементів деталі і кріплення.

За потреби, з метою уникнення аварійної ситуації, певний відрізок програмують з лінійною інтерполяцією на робочій подачі.

Використовуючи команду G00, завжди треба лишати якусь невелику відстань до точки остаточного призначення інструмента. Зазвичай це 0,5÷5 мм. Якщо відстань дорівнюватиме «0», то є небезпека зіткнення інструмента через непередбачувані причини — трохи більша заготовка, неточна її установка тощо. Наприклад, якщо координати кінцевої

точки руху X40Y160, то переміщення краще запрограмувати двома кадрами:

N10 G00 X38 Y158;

N20 G01 X40 Y160 F800;

Підходячи до робочої поверхні, позиціонування командою G00 можна задавати відразу по трьох координатах. Наприклад, N10 G00 X40 Y160 Z1. Враховуючи непередбачуваність рухів, його виконують поетапно: спочатку позиціонують по X, Y, потім по Z, що програмується такими кадрами:

N10 G00 X38 Y158;

N20 G01 X40 Y160 F800;

N30 G00 Z1;

Відводячи інструмент, рухи виконують у зворотному порядку: спочатку відводять по координаті Z, потім по X і Y. Такий порядок позиціонування робить ці рухи безпечнішими, особливо якщо врахувати, що швидкість сучасних верстатів з ЧПК у режимі позиціонування може сягати 30 м/хв і більше.

У пристрої «FANUK» передбачене точне позиціонування по команді G60, яке забезпечує підхід до запрограмованої точки тільки з однієї сторони і зменшує швидкість руху на підході до мінімальної. У 2С-42 для точного позиціонування передбачено команду G09. Якщо в кадрі, де необхідне точне позиціонування, вказати команду G09, то при підході до координати швидкість руху зменшиться до мінімально можливої за технічною характеристикою верстата.

Робоча подача, запрограмована до команди G00, після прискореного відрізка руху діє без додаткового програмування.

Лінійна інтерполяція G01 — це узгоджений рух механізмів верстата у такий спосіб, що швидкості руху по кожній з координат, складаючись, відпрацьовують прямолінійне переміщення в задану точку. Лінійне переміщення задається від однієї до трьох координат. Координати можуть задаватися як в абсолютній, так і у відносній системі відліку. Для здійснення руху потрібно задати швидкість подачі. Команда G01 модальна, тому вона вказується тільки в першому кадрі. Наприклад:

N10 G01 X10 Y80 F100;

N20 Z-10;

N30 X80;

N40 X120 Y190;

N50 Z5;

N60 G00 X200 Y200 Z400;

У перших п'яти кадрах будуть виконані лінійні переміщення зі швидкістю F100 мм/хв. У кадрі N60 буде відпрацьоване переміщення прискореним рухом — з максимальною можливою для верстата швидкістю.

Кругова інтерполяція G02, G03 — це узгоджений рух механізмів верстата по круговій траєкторії в одній площині. Кругова інтерполяція призначена для обробки кругового контуру, можлива в усіх трьох координатних площинах: XY, XZ, YZ (рис. 2.7). У програмі площина інтерполяції визначається командами:

G17 — XY, G18 — XZ, G19 — YZ.

Відсутність у програмі вказівки на площину інтерполяції рівнозначна дії команди G17, тобто кругової інтерполяції в площині XY. Команду кругової інтерполяції призначають за правилом:

Круговий рух за стрілкою годинника, якщо дивитися на площину, де відбувається переміщення, у від'ємному напрямі осі координат, перпендикулярній цій площині, програмується командою G02, проти стрілки годинника — G03.

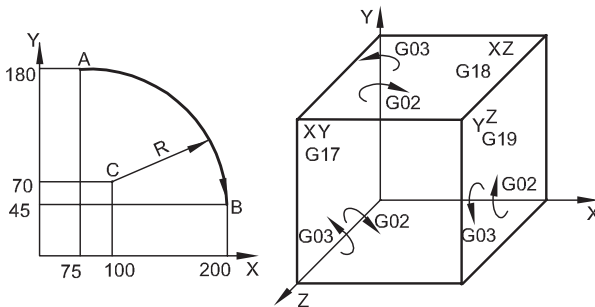


Рис. 2.7. Кругова інтерполяція

Для здійснення руху з круговою інтерполяцією в програмі потрібно, крім координати кінцевої точки, адресами I, J, K задати координати центру дуги або адресою R задати радіус.

Залежно від площини інтерполяції задають:

для площини XY — X, Y, I, J;

для площини XZ — X, Z, I, K;

для площини YZ — Y, Z, J, K.

В абсолютній системі — це координати кінцевої точки і центру дуги, що оброблюється. У відносній системі — це приріст координат цих точок відносно координати початку дуги на контурі.

Якщо відомий радіус дуги R , то для обробки досить задати координати кінцевої точки і радіус R .

Наприклад, рух з точки A контуру в точку B по дузі $R = 100$, координати центру C якої $X100Y70$ (див. рис. 2.7), можна запрограмувати за одним із чотирьох варіантів:

В абсолютній системі: $N20G90G02X200Y45I100J70$; $N20G91G02X125Y-135I25J-110$;
 У відносній системі: $N20G90G02 X200Y45R100$; $N20G91G02X125Y-135R100$;

Гвинтова інтерполяція $G12$, $G13$ — це кругова інтерполяція в площині XY з одночасною лінійною інтерполяцією по координаті Z . Під час програмування трикоординатної гвинтової інтерполяції треба задати параметри кола в площині XY , по якому рухається інструмент, крок гвинтової лінії та загальне переміщення по Z . Вибір команди $G12$ чи $G13$ здійснюється за тим же правилом, що й для кругової інтерполяції. Функція $G12$ забезпечує рух за стрілкою годинника, $G13$ — проти.

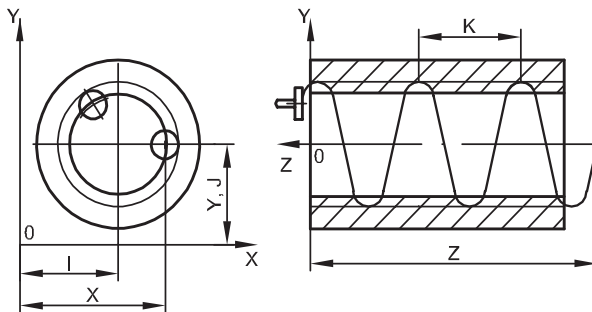


Рис. 2.8. Гвинтова інтерполяція

Наприклад, якщо задати координати опорних точок на рис. 2.8 такими, що дорівнюють: $X = 100$; $Y = 100$; $Z = 50$ (+5 мм вибір); $I = X - D/2 = 60$; $J = Y = 100$; крок $K = 5$; подача F — кругова подача виконавчих органів верстата, то рух по гвинтовій лінії на діаметрі $D = 80$ можна запрограмувати одним з трьох кадрів:

$40G17G90G12X100Y100I60J100Z-55K5F80S500$; (абсолютна система).

N40G17G91G12X0Y0I-40J0Z-55K5F80S500; (відносна система).

N40G17G91G12X0Y0I-40J0Z-55K5C1F0.3S80; (чотирикоординатна інтерполяція, де: $I = X - D/2$; $J = Y$);

Чотирикоординатна гвинтова інтерполяція відрізняється від трикоординатної тим, що шпіндель працює в режимі стеження, тобто програмується координата С. Такий режим застосовується, якщо різьба нарізається різцем.

У табл. 2.2 наведено приклад програми з використанням гвинтової інтерполяції для знімання заходів на різьбовій поверхні деталі (зфрезерування першого (останнього) витка різьби по діаметру впадин для формування повного зуба на заході (виході) різьби). Робочий інструмент — кінцева фреза діаметром 20 мм. Деталь з внутрішньою різьбою, крок різьби 5 мм з діаметром впадин 240 мм.

Таблиця 2.2

Кадр	Виконувані дії
% 12; (ZACHODY)	
N10 G90G71X0Y-100E01;	Встановлення системи координат деталі на осі різьбової поверхні, дозвіл редагувати режими під час обробки. Вісь фрези по Y на 20 мм від оброблюваної поверхні
N20G00G43D01Z0S1000M03;	Введення корекції на довжину інструмента, задання швидкості різання
N30G01Y-110F400M08;	Підхід фрези в точку початку обробки, врізання
N40G12X0Y-110I0J0K5Z-5F400;	Зфрезерування першого неповного зуба різьби на глибину одного кроку (на повному оберті)
N50G01Y-100F1000M09;	Вихід фрези з різьби, відвід на 10 мм по осі Y
N60G00Z150M05;	Вихід фрези по Z. Зупинка шпінделя
N70X-150Y200;	Відвід стола в місце встановлювання та знімання наступної деталі
N80M02;	Кінець програми

Функція гвинтової інтерполяції може використовуватися також для фрезерування отворів циліндричною фрезою, якщо задати крок різьби меншим за ширину фрези (у випадках, коли це продуктивніше, за відсутності іншого інструмента, за потреби зняти тверду кірку з литва тощо).

Якщо крок гвинтової лінії не задати, відбудеться обробка кругового контуру — кругова інтерполяція.

2.8. Службові функції (команди) G04, G09, G28, G29, G31, G32

Розглянемо призначення службових функцій.

G04 — *програмована зупинка програми* на термін від секунд до доби. Використовують для виконання таких операцій, як перестановка прихоплювачів, лещат, контроль обробленої поверхні чи інструмента, перерва в роботі до наступної зміни тощо. Термін зупинки програмується координатою X окремим кадром. G04 в кадрі розташовують перед X.

Наприклад: N50 G04X80; — правильно, N50X80G04; — неправильно.

Вихід в позицію заміни інструмента відбувається автоматично по команді G28, окремим кадром.

Наприклад: N50G28;

Координати позиції заміни інструмента для даного верстата є незмінними, встановлюються заводом-виробником і зазначаються в паспорті верстата. Рух у позицію заміни інструмента прискорений нескоординований (G00). Це треба враховувати, розташовуючи деталь на столі, або відповідно до програми кадром з лінійною інтерполяцією (G01) на робочій подачі перед кадром з G28 відвести стіл у безпечне місце. Наприклад:

N40G01Y60;

N50G28;

Вихід в задані позиції відбувається по команді G31 і G32. Використовують ці команди для виходу в позицію знімання (G31) та установки (G32) деталі. Програмують окремими кадрами. Наприклад:

N10G31;

N90G32;

Вихід в постійні (нульові) точки верстата по всіх трьох координатах відбувається прискореним нескоординованим рухом по команді G29. Вихід в постійні точки верстата є обов'язковим перед початком роботи та у разі збоїв системи (непередбачене відключення енергії, аварійна ситуація на верстаті тощо). Програмують вихід у постійні точки окремим кадром:

N10G29;

Запрограмована раніше робоча подача зберігається.

Гальмування в кінці кадру (G09). Якщо задати в кадрі команду G09, рухомий орган на підході до заданої координати

нати уповільнить свій хід до найменшої швидкості, дозволеної технічною характеристикою верстата. Команду G09 використовують за точного позиціонування, а також у разі крутих поворотів траєкторії обробки, щоб уникнути динамічного удару.

2.9. Допоміжні функції M

Функції M управляють допоміжними процесами для роботи верстата, програмуються літерою M та дворозрядним числом. Поділяються на такі, що задаються в програмі (ПР), й такі, що задаються в ручному режимі з пульта (P); діють в одному кадрі (ОК) або до відміни (ДВ). Ряд функцій діють у всіх режимах.

Розглянемо докладніше основні з них.

M00 (ОК, ПР) — програмована зупинка, задається для зупинки процесу обробки за програмою після відпрацювання кадру, що містить M00. Подальша робота можлива після натискання кнопки «пуск» на пульті пристрою ЧПК. Використовують цю зупинку, щоб виконати додаткові налагоджувальні роботи: перестановка прихоплювачів для звільнення поверхні обробки, перевірка стану інструмента, контрольні операції тощо. Перед зупинкою програми по команді M00, як правило, зупиняють оберти шпінделя M05.

M01 (ОК, ПР) — зупинка з підтвердженням, виконується, якщо команда задана в програмі, а на пульті натиснуто відповідну кнопку. Використовують команду M01 у випадках, коли зупинка в даному місці програми потрібна не для кожної деталі, а періодично (скажімо, через 5, 10 деталей). Наприклад, під час обробки отворів на кожній 5-й чи 10-й деталі, активізуючи команду M01 натискуванням відповідної кнопки, контролюють діаметр або інструмент на ступінь зношування.

M02 (ОК, ПР) — кінець програми.

M03, M04 (ДВ, ПР) — обертання шпінделя за стрілкою годинника (M03) або проти (M04) — використовують одночасно із заданням числа обертів або швидкості різання шпінделя.

M05 (ДВ, ПР) — зупинка шпінделя без його кутової орієнтації, на відміну від M19 та S0 — зупинка шпінделя з кутовою орієнтацією під зміну інструмента.

M06 (ОК, ПР) — поворот автооператора («руки»), відбувається заміна інструмента в шпінделі верстата. В кадрі з M06 переміщення не програмують.

M07 (ДВ, ПР) — ввімкнення охолодження N1.

M08 (ДВ, ПР) — ввімкнення охолодження N2.

M09 (ДВ, ПР) — вимкнення охолодження N1 і N2.

M19 (ДВ, ПР) — зупинка шпінделя в орієнтованому під заміну інструмента кутовому положенні.

M20 (ОК, ПР) — кінець підпрограми, програмується окремим кадром.

M21 (ДВ, Р) — розжим інструмента.

M27 (ДВ, Р) — перевантажувач до магазину.

M28 (ДВ, Р) — перевантажувач до автооператора.

M38 — M77 — резервні команди, орієнтовані на обслуговування маніпулятора та інших транспортних засобів у разі використання супутників та роботи верстата в автоматичній лінії.

M30 (ОК, ПР) — кінець програми з поверненням системи у стан перед першим кадром.

M70 (ОК, ПР) — кінець частини програми. Використовують цю команду, коли в пристрій ЧПК програма не може бути заведена повністю, наприклад за недостатнього обсягу пам'яті пристрою ЧПК для великих за обсягом програм.

M80, M81, M82, M83, M84, M85 (ДВ, Р) — затиск-відтиск координат X, Y, Z відповідно.

2.10. Нарізання різьби (G33)

Діаметр нарізання різьби не програмується, встановлюється вручну вильотом різця. Програмуються крок та довжина різьби. Такий режим використовують під час нарізання різьби різцем. Вершина різця розташована на внутрішньому діаметрі для зовнішньої різьби і зовнішньому — для внутрішньої різьби. Якщо для формування повного профілю різьби потрібно виконати кілька проходів, попадання в нитку різьби здійснюється автоматично математичним забезпеченням ПЧПК. Установлюють виліт різця з належною точністю за допомогою спеціального пристрою або універсальними засобами вимірювання. Функцію G33 використовують за потреби нарізання різьби з різним кроком на

розташованих впритул одна за одною ділянках циліндричних або конічних поверхонь деталі. Приклад:

N30G17G91G33Z-40K4C1;

N40Z-60K2;

N50Z-80K5;

Функції G34 та G35 дозволяють нарізати різьбу з монотонно зростаючим або падаючим кроком. Їх використовують під час формування робочої поверхні гребних валів, подавальних шнеків, інших подібних деталей. У ПЧПК 2С-42 вони не передбачені. Застосовуються у ПЧПК «Siemens 800D», «FANUC» та інших сучасних моделях.

2.11. Контурна обробка

Типові операції обробки на свердлильно-фрезерно-оброблювальному центрі — фрезерування площини, фрезерування вибірки (кармана), фрезерування зовнішніх або внутрішніх контурів у дво- або тривимірному просторі, обробка отворів.

Обробка контуру виконується скоординованими рухами виконавчих органів верстата з метою забезпечити рух інструмента по заданій траєкторії на робочій подачі. Залежно від числа керованих координат розрізняють плоску та об'ємну контурну обробку. У разі плоскої обробки контуру фреза виконує рухи в площині, паралельній одній з координатних площин. Об'ємну обробку здійснюють одночасно по трьох і більше координатах. За ручного програмування обробку складних тривимірних поверхонь програмують стрічками, кожна з яких розраховується як криволінійний контур плоскої поверхні, що перетинає оброблювану паралельно одній з основних координатних площин — це зумовлює двокоординатну модель програмування.

У подальшому розглядатимемо контурну обробку в площині, паралельній координатній площині ХУ, яка найчастіше виконується кінцевою фрезою, що обходить оброблюваний контур по еквідистанті, розташованій на відстані радіуса фрези. При цьому вирізняють три основні види рухів: прискорений — на неробочих відрізках траєкторії, рух з робочою подачею — під час обробки, рух по спеціальній траєкторії — на вході й виході фрези.

Вибір фрези за різальними спроможностями здійснюється згідно з рекомендаціями ISO. Вибір радіуса фрези може

обмежуватися вимогами оброблюваного контуру. Наприклад, для деталі на рис. 2.12 можна застосувати фрезу, радіус якої не перевищує внутрішнього радіуса на контурі R. Для поліпшення процесу різання бажано, щоб радіус фрези був трохи меншим від радіуса на контурі (додатково див. параграф 2.17).

Розглянемо приклад фрезерування контуру 1—2—3—4 деталі (див. рис. 2.9) циліндричною кінцевою фрезою. Оскільки різання здійснює бокова сторона фрези, то траєкторія руху її центру, або еквідистанта, має розміщуватися на відстані радіуса від оброблюваної поверхні: опорні точки 1'—2'—3'—4' на рис. 2.9. Тоді частина програми, що описує робочі рухи траєкторії, у загальному плані матиме вигляд:

N40 X(X1 - Rфр) Y(Y1 - Rфр); — т. 1',

N50 Y(Y2 + Rфр); — т. 2',

N60 X(X3 + Rфр); — т. 3',

N70 Y(Y1 - Rфр); — т. 4',

а обробка контуру 1—2—3—4 фрезою діаметром 20 мм буде описана кадрами:

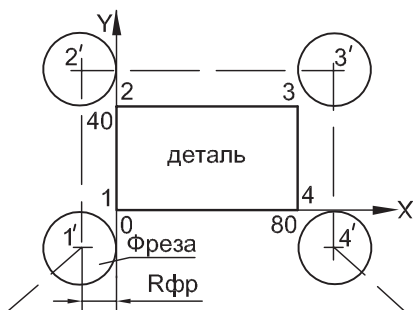


Рис. 2.9. Розрахунок корекції радіуса фрези

N40 X-10 Y-10;

N50 Y50;

N60 X90;

N70 Y-10;

Якщо під час наступної обробки таких деталей з певної причини подібної фрези не виявиться, треба буде взяти іншу, наприклад діаметром 18 мм, і відредагувати під неї кадри програми таким чином:

N40 X-9 Y-9;

N50 Y49;

N60 X89;

N70 Y-9;

Такий перерахунок програми через зміну діаметра фрези не є зручним, особливо якщо оброблюваний контур має складну конфігурацію і потребує кропітких математичних розрахунків та великих затрат часу, а значення діаметра фрези — не рівне число.

В системі ЧПК передбачено спеціальні функції корегування, які уможливають виконання обробки контуру за однією й тією самою програмою, незалежно від діаметра

фрези. Для цього технолог-програміст розробляє керуючу програму для контуру деталі і додає до її тексту команди на корекцію радіуса фрези, а значення радіуса фрези вноситься до коректора пристрою ЧПК і може змінюватися кожного разу залежно від вибору фрези. Програма при цьому залишається незмінною. Розглянемо докладніше роботу цих корекцій.

2.12. Корекція радіуса та довжини інструмента. Функції G41, G42, G43, G44

Функції G41, G42 (рис. 2.10). Програміст задає координати оброблюваного контуру, а еквідистанта розраховується математичним забезпеченням пристрою ЧПК автоматично. Для цього в кадрі задається функція корекції і відразу після неї номер коректора. Обидві адреси стоять *після* координат. Функцію G41 використовують для корекції радіуса фрези, якщо під час обробки фреза розташована ліворуч від оброблюваного контуру (рис. 2.10, а) відносно напрямку робочого

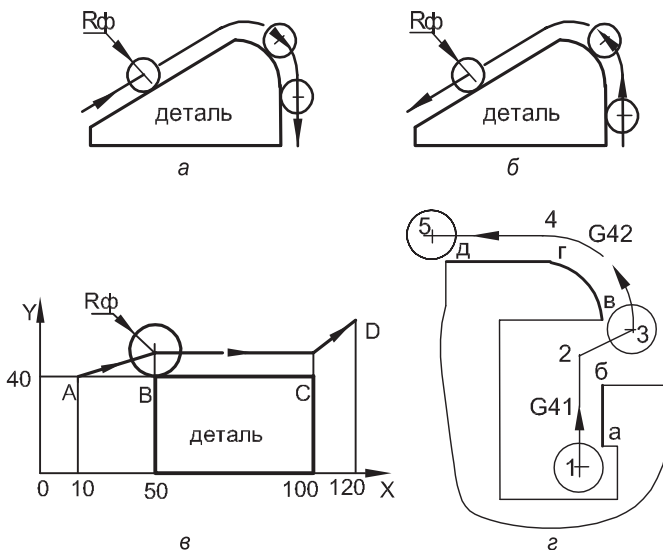


Рис. 2.10. Корекція радіуса фрези:

а — з використанням G41, фреза ліворуч; б — з використанням G42, фреза праворуч; в — з використанням G41; г — зміна напрямку корекції

руху, а функцію G42 — якщо праворуч (рис 2.10, б). У разі повторного використання програми обов'язково треба перевіряти значення корекції фрези відносно радіуса тої, що взяли для обробки. За потреби слід внести зміни до корекції.

Порядок програмування з використанням функцій G41, G42 такий:

1) визначають опорні точки на контурі деталі (В і С на рис. 2.10, в);

2) обирають напрям обробки;

3) обирають вихідну точку обробки А за контуром деталі на лінії, що є продовженням оброблюваної поверхні. При вводі корекції радіус-вектор із центру фрези до цієї лінії має бути перпендикулярним, а відстань АВ — більшою максимально можливого радіуса фрези (рис. 2.10, в) — така умова необхідна для правильної роботи ПЧПК, щоб під час корегування не врізатися в поверхню. Рух у вихідну точку (А) програмують командою G00 — прискореним рухом;

4) програмують переміщення фрези в точку початку обробки контуру деталі (точка В) на робочій, максимально можливій подачі (функція G01). У кадрі вказують координату точки В, команду корекції і номер коректора. Для цього розглядають положення фрези відносно відрізка АВ під час руху з точки А в точку В. У нашому випадку фреза ліворуч, отже, використовують функцію G41, далі записують номер коректора і заносять до пристрою ЧПК у коректор із цим номером радіус фрези (наприклад, 15 мм). Якщо контур складний, з багатьма опорними точками, а обробка виконується тією ж фрезой і в тому ж напрямку, корекція не міняється в усіх кадрах до кінця обробки. Команда діє до відміни;

5) при виході з контуру після обробки в точку D корекція скасовується командою D00 або G40. Оскільки G40 відмінює і корекцію інструмента, що не завжди бажано, частіше використовують команду D00. Точку D обирають так, щоб нескоординованим рухом по осях не зчинити аварію. За потреби інструмент відводять через лінійну інтерполяцію (G01), максимально збільшуючи подачу.

Приклад програмування розглянутої обробки з використанням G41:

N10G00G90X10Y40; — прискорений рух у вихідну точку;

N20G01X50G41D31F1000S800M03M08; — підхід до точки початку обробки, введення корекції на радіус фрези, режими обробки;

N30X100F25; — обробка;
N40G00X120Y80D00; — відвід інструмента, скасування корекцій.

Примітка. Якщо в програмі під час робочого руху інструмента по контуру з використанням функції G41 чи G42 зустрінуться кадри:

M05 — зупинка шпінделя;

G04 X... — пауза;

G22X — призначення обмеження ходу;

Z — переміщення не в площині інтерполяції;

G90 — команда без переміщення;

G91 — прирощення переміщення, що дорівнює нулю, переміщення інструмента в площині інтерполяції в цих кадрах не відбудеться.

За потреби під час обробки поміняти корекцію з G41 на G42 або навпаки, це виконують у кадри, де нема процесу різання, наприклад як показано на рис. 2.10, з. Обробка поверхні «а—б» відбувається з використанням корекції G41, а «в—г—д» — з G42. Поміняти ці функції можна в кадрі переміщення фрези на відрізьку «2—3». Якщо такої можливості немає, то треба відмінити діючу функцію командою G40, перемістити фрезу в точку початку обробки з новою функцією, запрограмувати дію нової функції.

Наявність функцій корекції радіуса фрези має важливе значення також для *внесення поправки на виконуваний розмір деталі*. Наприклад, у ході обробки розглянутої на рис. 2.10, в поверхні ВС фрезою діаметром 30 мм треба було витримати розмір 40 мм з допуском $-0,1$ мм, а контроль першої деталі показав, що він становить 40,15 мм. Це можна виправити, якщо наблизити вісь фрези до оброблюваного контуру деталі на 0,2 мм. Для цього в коректор радіуса фрези замість 15 мм вводимо значення 14,8 мм, в результаті траєкторія її руху наблизиться до деталі на 0,2 мм, виправивши таким чином розмір до значення 39,95 мм.

Осепаралельна корекція G43, G44 використовується під час обробки прямокутних контурів, розташованих паралельно координатним осям X і Y, та для корегування довжини інструмента. В програмі відразу після вводу корекції функцією G43 або G44 зазначають номер коректора. Ці адреси розташовують перед координатами, що визначають оброблювану поверхню.

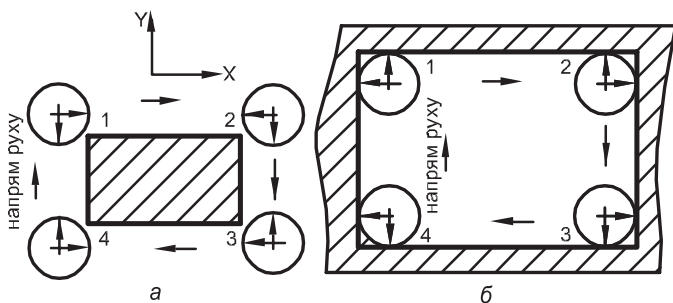


Рис. 2.11. Осепаралельна корекція G43, G44:
 а — зовнішній контур; б — внутрішній контур

Правило призначення функції осепаралельної корекції: якщо радіус-вектор, проведений із центру фрези в точку дотику з оброблюваною поверхнею в опорній точці кінця руху, збігається з додатним напрямком осі, якій він паралельний, використовують команду G44; якщо направлений у протилежний бік — G43 (рис. 2.11). Пристрій ЧПК команди G43 і G44 запам'ятовує для кожної координати окремо.

Виходячи з цього правила в обробку зовнішнього контуру (рис. 2.11, а) у разі його обходу в напрямку: 4—1—2—3—4 корекція на радіус фрези буде внесена командами:

Тчк.1 — G44D31X...G43D31Y...

Тчк.2 — G43D31X...G43D31Y...

Тчк.3 — G43D31X...G44D31Y...

Тчк.4 — G44D31X...G44D31Y...

Корекції на обробку внутрішнього контуру (рис. 2.11, б) будуть такими:

Тчк.1 — G43D31X...G44D31Y...

Тчк.2 — G44D31X...G44D31Y...

Тчк.3 — G44D31X...G43D31Y...

Тчк.4 — G43D31X...G43D31Y...

Скасування корекцій, як і з G41 та G42, виконується командою G40 або D00.

Корекції G43 і G44 не можна застосовувати в одному кадрі з корекцією G41 або G42.

Щоб визначити *функцію корекції для осі Z*, радіус-вектор опускають з торця шпінделя на оброблювану поверхню. Оператор має дотримуватися правила: рух інструмента до деталі — в «-», від деталі — в «+».

Для корегування довжини інструмента використовують коректори з номерами 01–30, які мають збігатися з номером

гнізда розташування інструмента в магазині. Для корегування радіуса фрези використовують коректори з номерами 31–99.

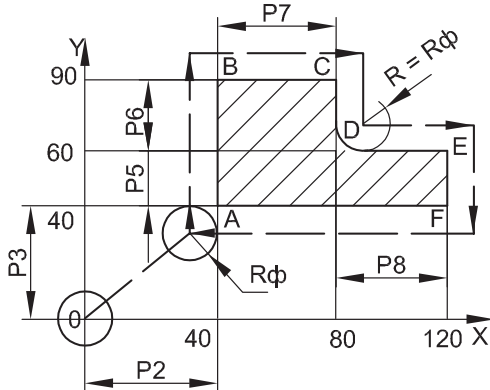


Рис. 2.12. Обробка з використанням осепаралельної корекції

Розглянемо приклад обробки контуру (рис. 2.12) з використанням осепаралельної корекції. Керуючу програму подано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Кадр	Програмовані дії
% 5; (Obrobka oseparalelnogo konturu)	
N10G00G90G71X0Y0 G43D01Z10;	Вихід в нульову точку деталі. Корекція довжини інструмента
N20Z-10S600 F400M03;	Підведення фрези по осі Z, призначення режимів обробки
N30G01G44D31X40G44D31Y40;	Вихід в точку початку обробки, ввід корекції на радіус фрези по осях X і Y
N40G43Y90;	Номер коректора той самий, тому не вказується, обробка сторони AB
N50G43X80;	Обробка сторони BC
N60Y60;	Корекція не зазначена, продовжує діяти корекція кадру N40. Обробка сторони CD
N70X120;	Обробка сторони DE, номер коректора і корекція ті самі
N80G44Y40;	Обробка сторони EF
N90G44X40;	Обробка сторони FA
N100D00X0D00Y0;	Зняття корекції на радіус фрези
N110G40G00Z10;	Відвід фрези по осі Z, зняття корекції інструмента

Вище наведено приклад програмування в абсолютній системі. Якщо обробка відбувається у відносній системі, програмоване переміщення в кадрі змінюється на величину корекції (див. рис. 2.12) і відпрацьовується від поточного, скорегованого, положення виконавчих органів. Отже, корекція в кожному наступному кадрі додається до попередньої, знаки враховуються (G43 чи G44), і занесена до коректора її величина дорівнюватиме двом радіусам фрези. Тоді програма обробки поверхонь у відносній системі буде такою:

N10–N20 не зміняться.
 N30G01G44D31X40G44D32Y40;
 N40G91G43D32Y50;
 N50G43D32X80;
 N60Y-30;
 N70X40;
 N80G44D32Y-20;
 N90G44D32X-80;
 N100, N110 не зміняться.

Значення корекції, внесені до D32, дорівнюватиме діаметру фрези.

Розглянемо приклад обробки реальної деталі «лопатки» зі сталі Ст3 на верстаті з горизонтальним шпінделем 2204ВМФ4 з використанням корекції фрези G41, G42 (рис. 2.13).

Оброблювані поверхні: (1) — відрізок 1—2 і 7—8; (2) — відрізок 2—3; (3) — відрізок 6—7.

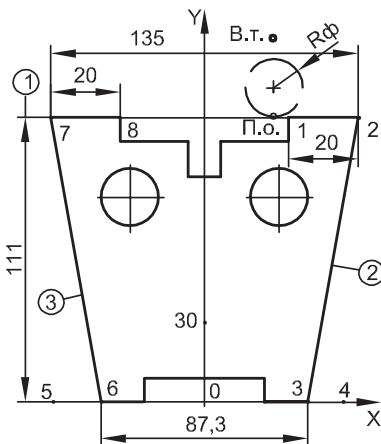


Рис. 2.13. Обробка контуру деталі «лопатка»

Опорні точки: В.т.— П.о.—1—2—3—4—5—6—7—8. Базовою поверхнею деталі є площина 6—3. Деталь установлюємо базовою поверхнею на плитку, заведену в паз косинця з перпендикулярними поверхнями. Вісь X проходить через базову поверхню, а Y збігається з віссю симетрії лопатки.

Деталь закріплено прихоплювачами, що можуть установлюватися на неробочій частині контуру (відрізок 8—1), в пазу та отворах деталі. Вибраний

радіус фрези — 16 мм, глибина фрезерування контуру — 32 мм. Припуск на обробку — 2 мм. Режими обробки: швидкість різання — 70 м/хв або 750 об/хв, робоча подача — 0,2 мм/хв, В.т. — вихідна точка обробки, П.о. — початок обробки.

Симетрично відносно осі Y деталь виставляємо по зовнішніх поверхнях (див. рис. 2.4) або по центральному пазу. В останньому випадку після упору нижньою поверхнею в плитку деталь потрібно «відцентрувати» конусною оправкою з шпінделя верстата — ввести конус у паз неукріпленої деталі, зміщуючи її вздовж осі X до торкання конусом обох сторін паза. Щоб виставити деталь по Y відносно осі X, підводимо фрезу по осі Y на задану відстань (30 мм) від базової площини і перевіряємо цю відстань універсальними засобами. За результатами перевірки вносимо корекцію в положення початку системи координат деталі по осі Y.

«Прив'язуємо» зібрану з базовою оправкою фрезу по осі Z (у ручному режимі торкаємося фрезою оброблюваної поверхні, показання монітора заносимо у відповідний коректор). Визначаємо положення шпінделя по осі Z перед початком робочого ходу — $Z = 10$ над площиною деталі.

Визначаємо траєкторію і характер руху інструмента між опорними точками: В.т.—П.о. (прискорений рух); П.о.—1—2 (робоча подача); 2—3 (робоча подача); 3—4'—4 (прискорений рух у точку 4', підняти фрезу по Z у точку 4); 4—5 (прискорений рух у точку 5', опустити фрезу по Z у точку 5); 5—6 (робоча подача, врізання по X); 6—7 (робоча подача); 7—8 (робоча подача), 8—В.т. (прискорений рух).

Програму обробки контуру деталі «лопатка» наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Кадр	Програмовані дії
% 10; (ЛОПАТКА)	
N05G29;	Вихід в нульову точку верстата
N10G90G71X0Y30;	Призначення нульової точки деталі
N20M00;	Контроль положення нульової точки деталі
N21S0T04;(FREZA D32)	Підготовка до заміни інструмента
N25G28M06;	Заміна інструмента
N28G00G91Y-60;	Виїзд стола з позиції заміни інструмента

Закінчення табл. 2.4

Кадр	Програмовані дії
N30G00G17X25.5Y131;	Вихід у вихідну точку обробки
N40G00G43D04Z10S750M03;	Внесення корекції на довжину інструмента, задання положення шпінделя по осі Z перед обробкою, призначення режимів обробки
N50M08;	Подача в зону різання змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР)
N60G01Z-34F200;	Підведення фрези до оброблюваної поверхні по осі Z
N70Y111 G41D41F20;	Введення корекції на радіус фрези при обході контуру зліва. Підведення фрези в точку П.о.
N80X67.5G37;	Фрезерування поверхні (1) — полки 1—2 з дотриманням розміру 111. Введення функції на обхід кута зі збереженням гострої вершини
N90X43.65Y0;	Фрезерування поверхні (2) — відрізка 2—3 з дотриманням розмірів 135/2 і 87,3/2
N100D00X59.65;	Відвід фрези по осі X, зняття корекції на радіус фрези
N110G00Z100;	Відвід фрези по осі Z прискореним рухом
N120X-60.65;	Переведення фрези прискореним рухом в точку 5
N130Z-34;	Підведення фрези до оброблюваної поверхні по осі Z
N140X-43.65 G41D41 F20;	Підведення фрези в точку початку обробки. Введення корекції на радіус фрези при обході контуру зліва
N150X-67.5Y111G37;	Введення функції на обхід кута зі збереженням гострої вершини. Фрезерування поверхні (3) — відрізка 6—7 з дотриманням розмірів 87,3 і 135
N160X-25.5;	Фрезерування поверхні (1) — полки 7—8 з дотриманням розміру 111
N170X25.5Y131 G30 G40M09F1000;	Відвід фрези у вихідну точку В.т. Зняття корекції. Відміна подачі ЗОР
N190G70G00Z150M05;	Відвід фрези по осі Z, зняття зміщення «0» деталі, зупинка обертів шпінделя
N200X245;	Відвід стола по осі X у місце знімання і установки нової деталі
N210M30;	Кінець програми

2.13. Постійні цикли (ПЦ)

Постійні цикли — це мікропрограми, які охоплюють незмінний набір кадрів для видів обробки, що часто повторюються. Постійні цикли, на відміну від підпрограм, є складовою математичного забезпечення пристрою ЧПК і діють до відміни. У ПЧПК за командою ПЦ відбувається автоматичний розрахунок траєкторії, що містить кілька елементарних рухів між опорними точками. Розглянемо основні з них.

Для врахування особливостей процесу різання на початку роботи фрези (вході) і наприкінці (на виході) передбачено спеціальні постійні цикли G64, G65, G66.

2.13.1. Вихід на еквідистанту перпендикулярно напрямку наступного кадру (вихід на контур)

Програмується командою G64. ПЧПК автоматично розраховує координати точки, що лежить на відстані радіуса фрези на перпендикулярі до напрямку обробки в наступному кадрі в його початковій точці. Вихідна точка А розташована в довільно вибраному місці. Команда виконується тільки в кадрі з лінійною інтерполяцією (G01). У кадрі з G64 задають координати початкової точки обробки. Рух деталі в напрямку до неї (див. рис. 2.14) програмується кадрами:

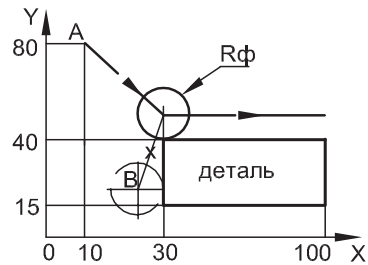


Рис. 2.14. Вихід на контур (G64)

```
N10G64G01G90X30Y40G41D41F100S400M03M08;  
N20X100;  
N25M09;  
N30X200Y300G40G70;
```

Як бачимо з рис. 2.14, треба стежити, щоб траєкторія до точки початку обробки деталі була вільною (якщо призначити вихідною точку В, то рух до початку обробки може спричинити аварійний наїзд на деталь).

2.13.2. Вхід і вихід на еквідистанту по круговій траєкторії (команди G65, G66)

По команді G65 інструмент плавно підводиться до оброблюваної поверхні. Пристрій ЧПК автоматично розраховує

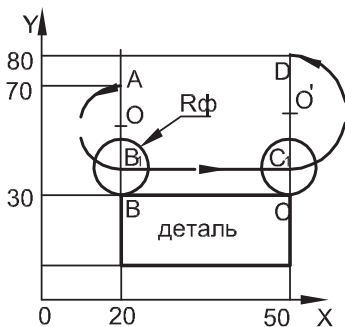


Рис. 2.15. Вхід (G65) і вихід (G66) на еквідистанту по круговій траєкторії

півколо сполучення з робочою частиною траєкторії наступного кадру в його початковій точці (AB₁ на рис. 2.15). Функція G66 виводить інструмент з обробки — відбувається автоматичний розрахунок півкола траєкторії руху інструмента від точки кінця обробки до заданої кінцевої точки (C₁D на рис. 2.15). Відповідно до заданої умови координати початкової та кінцевої точок (A і D) мають лежати на перпендикулярі до точок початку і кінця обробки (B і C). Функції G65 і G66 діють у межах кадру, в якому їх задано. В кадрі з функцією G65 задають координати початкової точки обробки B, у кадрі з функцією G66 — координати кінцевої точки виходу інструмента D.

Рух на рис. 2.15 програмується такими кадрами:

N10 G00G90X20Y70;

N20G65G91X0Y-40G41D41F100S500;

N30X30;

N40G66G90X50Y80;

Функцію G64 використовують переважно для чорнової обробки, коли пряме врізання фрези є допустимим або коли контур незамкнений.

Функцію G65 застосовують для чистової та високошвидкісної обробки контуру, коли збільшення припуску і сили різання має бути плавним, щоб уникнути зарізів та інших дефектів на оброблюваній поверхні, а також швидкого затуплення або поломки інструмента. У верстатах з ЧПК, де команди G65 і G66 відсутні, для вводу фрези в обробку та її виходу з обробки використовують

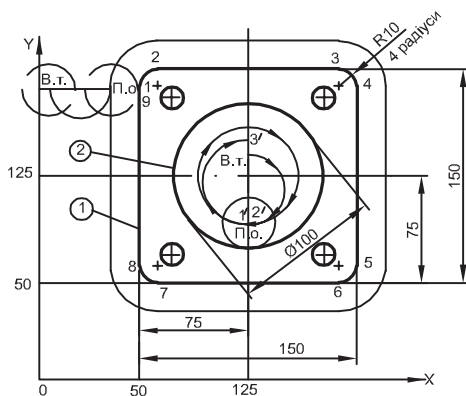


Рис. 2.16. Обробка контуру деталі «кришка»

ють команди кругової інтерполяції G02 і G03. Приклад використання функції G65 наведено в програмі обробки зовнішнього та внутрішнього контуру деталі «кришка» (рис. 2.16).

Заготовкою кришки служить пластина з листової сталі Ст3 товщиною 15 мм, розміром 153×153, з попередньо просвердленим по центру пластини отвором діаметром 80 мм.

Послідовність обробки

1. Закріпити деталь на оправці, попередньо виставивши одну з її сторін паралельно осі X або Y. Обробити зовнішній контур остаточно. Інструмент — кінцева фреза діаметром 30 мм. Програма обробки:

```
%11; (KRYSHKA, KONTUR)
N10G29;
N20G00G90G71X50Y50;
N22S0T03; (FREZA D30)
N24G28M06;
N26G91Y-80;
N30M00;
N40G00G09X5Y190;
N45G43D03Z10S800M03;
N48G01Z-17F200M08;
N50G65G91X45Y0G41D31F60;
N60G02X10Y10R10;
N70G01G90X190;
N80G02X200Y190R10;
N90G01Y60;
N100G02X190Y50R10;
N110G01X60;
N120G02X50Y60R10;
N130G01Y190;
N140G66X5Y190M09;
N145 G00Z150M05;
N150G70;
N160X250;
N170M30;
```

2. Збазувати деталь по зовнішньому контуру. Закріпити. Обробити отвір діаметром 100 мм остаточно. Інструмент — кінцева фреза діаметром 30 мм. Програма обробки:

```
%14; (KRYSHKA, OTVIR)
N10G29;
N20G90G71X50Y50;
N22S0T03; (FREZA D30)
```

N24G28M06;
 N26G91Y-80;
 N30M00;
 N40G00G09X125Y140;
 N50G43D03Z10S800M03;
 N60G01Z-17F200M08;
 N70G65G91X0Y75G42D31F20;
 N80G02X0Y0R50;
 N90G66X0Y65M09;
 N95 G90G00Z150M05;
 N100G70;
 N110X250;
 N120M30;

2.13.3. Цикли обходу кутів G36, G37, G38

Цикл обходу кута дугою G36 здійснює автоматичний розрахунок дуги еквідистанти в точці зламу оброблюваного контуру і координат опорних точок еквідистанти B_1 і B_2 (рис. 2.17, а). Команда G36 програмується в кадрі руху інструмента до координати вершини кута. ПЧПК зчитує цей і наступний кадр, автоматично розраховує траєкторію руху центру фрези, звільняючи таким чином програміста від потреби розрахунку координат точок початку і кінця дуги, що охоплює кут. Команда G36 діє тільки для наріжних кутів і лише в кадрі, де її задано.

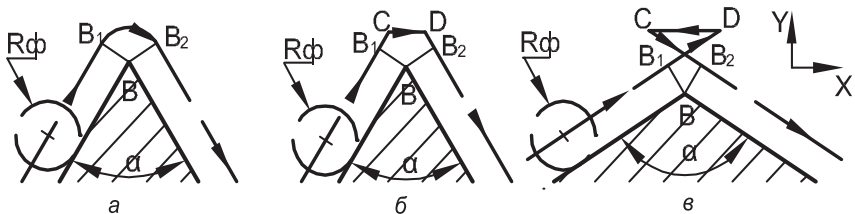


Рис. 2.17. Цикли обходу кутів:
 а — дугою (G36); б — відрізками прямої, $\alpha \leq 90^\circ$ (G37);
 в — відрізками прямої, $\alpha > 90^\circ$ (G37)

Обхід кута відрізками прямих G37. Недолік команди G36 полягає в тому, що в результаті такої обробки відбувається обкатка (заокруглення) вершини кута. Якщо є вимоги до гостроти вершини, для обходу кута використовують команду G37, програмуючи обхід вершини відрізками пря-

мих, що забезпечує її гостроту (рис. 2.17, б, в). Для цього пристрій ЧПК по команді G37 генерує додатково три кадри: рух на відрізках B₁—C; C—D; D—B₂ (рис. 2.17, б) і рух на відрізках B₁—D; D—C; C—B₂ (рис. 2.17, в). Команду G37, так само як і G36, використовують для наріжних кутів, її програмують у кадрі руху до вершини кута.

Обробка внутрішніх кутів, цикл G38.

Якщо задати цикл G38 і корекцію на радіус фрези, пристрій ЧПК автоматично розраховує точку повороту еквідистанти B₁ (рис. 2.18, а). Команда G38 може використовуватися також для обробки наріжних кутів. ПЧПК автоматично розраховує точку повороту еквідистанти B₁ (рис. 2.18, б). Команда діє лише в кадрі, де її задано.

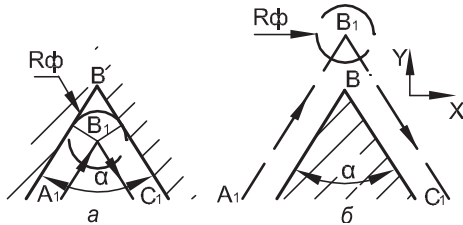


Рис. 2.18. Цикл G38 — обхід внутрішнього (а) та зовнішнього кута (б)

Розглянемо приклад обробки контуру деталі «планка» (рис. 2.19) з використанням циклів обходу кутів.

Заготовка — пластина з листової сталі Ст3 товщиною 10 мм, розміром 105×125 із просвердленим по центру пластини отвором діаметром 70 мм.

Послідовність обробки

1. Закріпити деталь на оправці, попередньо виставивши одну з її сторін паралельно осі X або Y. Обробити контур деталі остаточно. Напрямок обробки по опорних точках: В.т.—

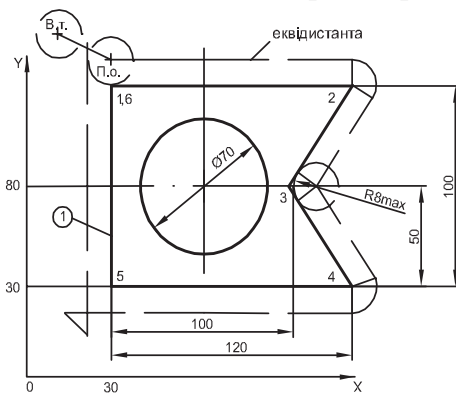


Рис. 2.19. Обробка контуру деталі «планка»

П.о.—1—2—3—4—5—6(1). Щоб витримати заокруглення в точці 3 R8max, для обробки вибираємо кінцеву фрезу діаметром 16 мм.

Програма обробки:
 % 13; (PLANKA)
 N10G29;
 N20G90G00G71X30Y30;
 N22S0T03; (FREZA D16)
 N24G28M06;
 N26G91Y-80;
 N30M00;
 N40G00G09G90X10Y200;

N50G43D03Z10S800M03;
N60G01Z-12F200M08;
N70G64G90X30Y130G41D31F60;
N80G01G36X150 F20;
N90G38X130Y80;
N100G36X150Y30;
N110G37X30;
N120Y132;
N130G00Z150M09;
N135 G70 M05;
N140X250;
N150M30;

2.14. Обробка отворів

2.14.1. Технологічний регламент, план операції

Свердління — одна з найпопулярніших операцій механічної обробки. За призначенням розрізняють такі основні види отворів:

- кріпильні отвори без різьби і з різьбою;
- точні посадочні отвори в корпусних деталях, точність виконання яких впливає на працездатність і довговічність вузла. Часто такі отвори розташовані в протилежних стінках корпусу, мають відповідати жорстким вимогам до співвісності й точного координатного розташування один відносно одного;
- отвори — канали для чогось;
- допоміжні — для підходу до потрібної поверхні та ін.

За формою отвори бувають: циліндричні, конічні, гладкі, різьбові, ступінчасті, з канавками, з карманами, різної довжини та діаметра.

Від перелічених факторів залежать технологія обробки отвору й вибір інструмента.

Наприклад, під час свердління ступінчастих отворів рекомендується спочатку свердлити отвори більшого діаметра з метою скорочення робочого ходу наступного свердла меншого діаметра. Однак у разі вимог до співвісності ступенів обробку отворів краще починати свердлом меншого діаметра. Співвісність гарантується також виконанням обробки комбінованим свердлом, коли водночас обробляються отвори обох ступенів. Обробку співвісних отворів у

протилежних стінках корпусних деталей здійснюють консольним інструментом з керованим програмою поворотом стола на 180° , співвісність залежить від точності установки деталі й точності повороту стола. Похибка повороту не повинна перебільшувати половини допуску на співвісність. Часто в конструкції деталі закладено жорсткі вимоги до співвісності отвору й зовнішнього діаметра, що в ході обробки часто є проблемою. В даному разі технологічний процес треба будувати таким чином, щоб спочатку остаточно оброблювався отвір, а потім, на оправці, зовнішня поверхня.

Характеристики різального інструмента для обробки отворів обирають залежно від оброблюваного матеріалу за каталогами фірм-виробників згідно з рекомендаціями ISO.

Для підвищення стійкості свердла змінюють режими обробки у програмі в місцях стрибкоподібної зміни навантаження — при виході свердла з отвору зменшують подачу вдвічі. Під час фрезерування кірки литва зменшують оберти шпінделя на вході й виході з отвору в 1,3–1,5 раза.

Залежно від діаметра отвору, його довжини, вимог до точності й шорсткості поверхні, матеріалу заготовки, його твердості, наявного обладнання й інструментів існують установлені технологічні регламенти обробки, які можуть містити в необхідних комбінаціях такі операції обробки поверхні отвору: центрування (центрувальне свердло), свердління, глибоке свердління, розсвердлювання (свердло, спеціальне свердло для глибокого свердління), зенкерування (зенкер), розфрезерування (фреза), цекування (цеківка), зенкування (зенківка), розвірчування попереднє, напівфінішне, остаточне (розвертка), нарізання різьби (мітчик, різець, спеціальна фреза), розточування чорнове, попереднє, остаточне (різець), безстружкове формування отвору — прошивка, пробивка, дорнування (прошивка, дорн), калібрування кулькою, розкатування, протягування (протяжка), шліфування (шліфувальний круг), хонінгування (хон), притирання (притир), полірування (абразивні шкірки, пелюсткові абразивні круги на гнучкій основі, абразивна повсть, паста тощо).

Обробка одного отвору, особливо високоточного, може потребувати до 6–8 інструментів, які рухаються під час обробки, практично, по одній траєкторії. Тому в пристроях ЧПК створено математичне забезпечення цих рухів від одного кадру — свердлильні цикли.

Свердлильні цикли використовуються на верстатах з ЧПК із револьверними головками на 6, 8, 12 інструментів та оброблювальних центрах з магазинами на 30, 60, 80, 100 інструментів. Для обробки отворів на верстаті з ЧПК технологічний регламент та план операції, з метою дотримання вимог креслення чи операційної карти, формується з огляду на кількість інструментів, що вміщує магазин верстата. Якщо для формування отворів потрібно більше інструментів, ніж міститься в магазині, то переглядають технологічний регламент обробки кожного отвору, використовують комбінований інструмент, змінюють план операції — розбивають її на декілька.

Залежно від кількості отворів, відстані між ними й заданої точності розташування застосовують два основні варіанти обробки отворів на верстатах з ЧПК:

паралельна обробка — кожним інструментом обробляють усі однакові отвори; потім інструмент замінюють на наступний і цикл повторюють;

послідовна обробка — кожен отвір обробляють усіма передбаченими технологічним регламентом інструментами, після чого позиціонують деталь для обробки наступного отвору, і так до останнього.

Варіант обробки вибирають із порівняльного розрахунку трудомісткості й вимог до точності позиціонування. Як правило, отвори, розташовані далеко один від одного та з жорсткими вимогами до міжцентрової відстані, обробляють послідовно. Неточні отвори під деталі кріплення — паралельно. Часто схеми комбінують: попередню обробку (центрування, свердління, зенкерування, чорнове розточування, фрезерування, зенкування, цекування) виконують паралельно. На ОЦ перед цим, як правило, додається ще фрезерування поверхні. Остаточну обробку (розвірчування, розточування) виконують послідовно, використовуючи для точного позиціонування команду G09. Цю схему обробки називають *змішаною*. В усіх випадках при виборі схеми обробки враховують трудомісткість процесу за різними варіантами, яку або розраховують, або встановлюють хронометражем через стрічковий час.

Програмування обробки отворів на верстатах, оснащених сучасними пристроями ЧПК, наприклад «Power Mill», забезпечує автоматичний розрахунок схеми обходу отворів з мінімальними затратами часу на переміщення.

2.14.2. Постійні свердлильні цикли G81–G89

Постійні свердлильні цикли G81–G89 призначені для керування рухами органів верстата по осі Z і роботою головного приводу за строгою програмою, закладеною в циклі пристроєм ЧПК. Програма постійного циклу складається з послідовності переміщень, пов'язаних з підведенням інструмента прискореним рухом до поверхні обробки, обробкою деталі на задану глибину на робочій подачі, виходом з деталі відразу після закінчення обробки або через задану паузу робочим ходом, прискореним рухом чи ручним відводом. Швидкість різання або оберт шпінделя задаються в кадрі перед тим, що містить ПЦ. Постійні цикли складаються з етапів (рис. 2.20).

- 1 — позиціонування по осях X і Y;
- 2 — прискорений рух по Z до точки A (початок обробки отвору);
- 3 — обробка отвору;
- 4 — дії після обробки (можлива пауза);
- 5 — вихід інструмента в точку B (кінець обробки отвору);
- 6 — вихід прискореним рухом у початкову точку або нульову площину по Z.

Постійні цикли в ПЧПК 2С-42 програмуються як в абсолютній (G90), так і у відносній (G91) системі координат. Діють постійні цикли свердління до відміни командою G80.

Формат кадру:

(G81–G89)X...Y...Z...A...B...Q...U...F...,

де G81–G89 — команда, що визначає цикл залежно від виду обробки отвору;

X, Y — координати вихідної точки в площині XY;

A — відстань від нульової площини по Z до точки початку обробки;

B — відстань від кінцевої точки обробки до точки по Z, куди відводиться інструмент для переходу до наступного отвору;

Q — глибина свердління до технологічного відводу свердла в циклах глибокого свердління;

U — пауза наприкінці робочого ходу, секунд;

F — подача обробки.

Розглянемо постійні свердлильні цикли G81–G89 докладніше (див. рис. 2.21).

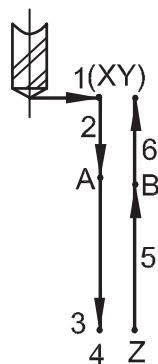


Рис. 2.20. Схема рухів постійних свердлильних циклів

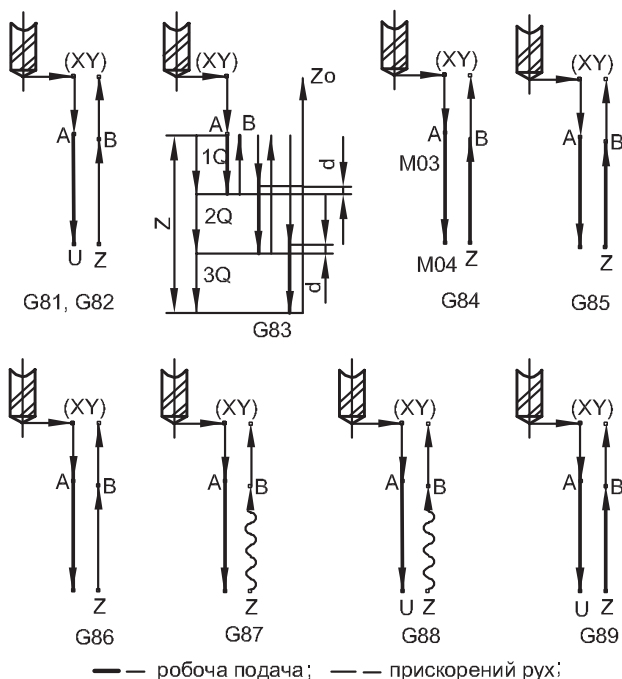


Рис. 2.21. Постійні цикли свердління G81, G82, G83, різенарізання G84, розвірчування G85, розточування G86, чистового розточування G87, чистового розвірчування G88, G89

Постійні цикли свердління G81 і G82 включають прискорений рух у точку А, обробку на глибину Z, вихід прискореним рухом у точку В. Формат циклу: G81(G82) X...Y...Z...A...B...(U)...F...;

У ПЦ G82 інструмент після виходу в точку Z деякий час (пауза U) обертається без переміщення. Це використовується в центрувальній операції для якіснішого формування прямої фаски.

Цикл G82 використовується також для свердління глухих отворів, оскільки можливість паузи наприкінці обробки створює умови для кращого відведення стружки з дна отвору.

Приклад програмування:

N20G81X5Y150Z-15A10B5F120;

Кадром N20 передбачено наступні рухи виконавчих органів:

N1G00X5Y150 — прискорений рух у координату свердління;

N2Z10 — прискорений рух у точку А;

N3G01Z-15S1200F120 — робочий рух свердління отвору;

N4G00Z5 — прискорений рух у точку В.

У циклі G82, з тими ж рухами свердла, наприкінці робочого ходу буде витримка U, значення якої вводиться з пульта ПЧПК.

Постійний цикл глибокого свердління G83 використовується для свердління отворів, глибина яких становить більше ніж 4÷5 діаметрів.

Формат циклу: G83X...Y...Z...A...B...Q...F...;

де Q — робочий хід інструмента, після якого він виходить з деталі в точку А для звільнення від стружки та стружколамання. Повернення до місця різання відбувається прискорено на величину Q-d; d — недобіг, вводиться з пульта ПЧПК, становить 1,0÷1,5 мм.

Приклад програмування:

N40G83X20Y100Z-40A10B10Q15F120;

Кадром передбачено наступні рухи виконавчих органів:

N1G00X20Y100;

N2Z10;

N3G01Z-15S1200F120;

N4G00Z10;

N5G00Z-15;

N6G01Z-30;

N7 G00Z10;

N8G00Z-30;

N9 G01Z-45;

N10G00Z10;

Постійний цикл нарізання різьби G84 включає нарізання різьби від точки А до точки Z з обертанням шпінделя за стрілкою годинника (різьба права (M03)); реверс шпінделя після досягнення точки Z (M04), вихід на робочій подачі в точку В, реверс шпінделя (M03). Для лівої різьби всі обертання шпінделя — у протилежний бік.

Формат циклу: G84X...Y...Z...A...B...F...;

Якщо оброблюється кілька отворів з однаковою різьбою і відстань між ними мала, то для того, щоб шпіндель встиг поміняти оберти в протилежному напрямі, програмують кадр з паузою:

G04 X...

Постійний цикл розвірчування G85 характеризується тим, що з точки Z у точку B розвертка виходить на робочій подачі, щоб не подряпати поверхню.

Формат циклу: G85X...Y...Z...A...B... F...;

Постійний цикл розточування G86 особливий тим, що, досягаючи точки Z, обертання шпінделя зупиняється. Використовується цикл для попередньої обробки. На поверхні отвору може залишитися слід від різця після його виходу з отвору.

Формат циклу: G86X...Y...Z...A...B... F...;

Постійний цикл чистове розточування G87. Після досягнення різцем точки Z обертання шпінделя зупиняється. Система автоматично переходить у режим «ручне управління». Оператор відводить різець від оброблюваної поверхні і вручну виводить його з деталі. Потім, натискаючи кнопку «пуск», переводить систему в автоматичний режим — інструмент повертається в точку A.

Формат циклу: G87X...Y...Z...A... F...;

Постійний цикл чистове розвірчування G88 аналогічний циклу G87, відрізняється тим, що перед зупинкою шпінделя інструмент упродовж паузи U обертається. Відбувається додаткове зачищення поверхні.

Формат циклу: G88X...Y...Z...A...B... F...;

Постійний цикл чистове розвірчування G89 аналогічний ПЦ G88, відрізняється тим, що після витримки паузи наприкінці ходу інструмент, не зупиняючись, в автоматичному режимі виходить у точку B.

Формат циклу: G89X...Y...Z...A...B... F...;

2.14.3. Налаштування обробки отворів, розробка програми

Налаштування обробки отворів відбувається в порядку:

1. Аналіз креслення або операційного ескізу, розробка технологічного регламенту обробки кожного виду отворів, запланованих до обробки, залежно від вимог до їх геометричної точності, шорсткості поверхні, відстані між ними й точності розташування. Складання плану операції, занесення до карти наладки.

2. Вибір інструменту, огляд, контроль на придатність, складання інструментальних блоків, вибір номерів гнізд (коректорів довжини), розміщення в гніздах інструментального магазину. В ручному режимі введення корекції по Z на

кожний інструмент («прив'язка» інструмента). Занесення до карти наладки.

3. Вибір послідовності обробки отворів (паралельна схема, послідовна, змішана) — на ескізі помічають опорні точки в послідовності обробки на всіх переходах.

4. Призначення системи координат, за потреби — розрахунок координат кожного отвору в обраній системі.

5. Розробка тексту програми, відпрацювання програми на комп'ютері, верифікація, заведення в пристрій ЧПК, відпрацювання на верстаті в ручному режимі.

6. Обробка в покадровому режимі першої деталі, контроль, здавання контролеру. Внесення поправок до програми та наладки (за потреби).

7. Обробка партії деталей.

Приклад 1. Потрібно виконати обробку п'яти отворів $\text{Ø}20\text{H}7$ у плоскій деталі (див. рис. 2.22).

Складаємо технологічний регламент обробки, вибираємо інструмент:

1) центрування центральним свердлом $\text{Ø}3,15$, гніздо в магазині Т08;

2) свердління свердлом $\text{Ø}19$, Т11. Для визначення глибини свердління (координата Z) скористаємося відомою формулою:

$$Z = b + \frac{R}{2} \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } \varphi} + d, \quad (2.3)$$

де b — довжина циліндричної частини отвору, в нашому випадку — 24 мм;

R — радіус свердла, $R = 19/2 = 9,5$ мм;

φ — кут при вершині свердла, стандартне значення 118° ; $\text{tg } 59^\circ = 1,664$;

d — перебіг циліндричної частини свердла, приймають у межах $1,0 \div 1,5$ мм;

тоді $Z = 24 + 9,5/1,664 + 1,0 = 31$ мм;

3) зенкерування зенкером $\text{Ø}19,90$, Т17;

4) зенкування фаски зенківкою $\text{Ø}24$, Т28;

5) чорнове розвірчування розверткою $\text{Ø}19,95$, Т20;

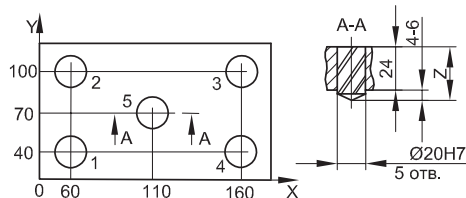


Рис. 2.22. Обробка отворів у плоскій деталі

- 6) напівчистове розвірчування розверткою $\varnothing 19,98$, T24;
 7) остаточне розвірчування $\varnothing 20H7$ розверткою $\varnothing 20H7$, T04.

Відбираємо інструмент, закріплюємо в базових оправках, розташовуємо в інструментальному магазині у призначених гніздах, заносимо до карти наладки.

Виконуємо «прив'язку» інструментів по Z, вносимо значення корекцій до коректорів і карти наладки.

Призначаємо режим обробки кожним інструментом. Заносимо в карту наладки.

Відстані між отворами незначні й не потребують переміщень підвищеної точності, тому обираємо паралельну схему обробки.

Визначаємо і програмуємо систему координат деталі в системі координат верстата (рис. 2.22).

Розробляємо і заносимо у ПЧПК текст програми (табл. 2.5):

Таблиця 2.5

Кадр	Програмовані дії
Обробка п'яти отворів $\varnothing 20H7$ у плоскій деталі	
Програма % 15; N10G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20G71X0Y0Z10;	Зміщення початку відліку. Встановлення нульової точки деталі
N30S0T08; (zentr. sverdlo D3.15)	Орієнтація шпінделя, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор інструмента
N40G28;	Виїзд в позицію заміни інструмента
N50M06;	Заміна інструмента (в шпінделі центрувальне свердло $\varnothing 3,15$), повернення попереднього інструмента в магазин
N60G91Y-80T11; (sverdlo D19.0)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — свердла $\varnothing 19$
N70G00G90G43D08Z10S1250M03;	Корекція довжини інструмента — центрувального свердла, призначення режимів обробки
N80G00X60Y40;	Вихід в координату отвору 1
N90G82Z-10A10B10 F100;	Центрування отвору 1
N100Y100;	Центрування отвору 2
N110X160;	Центрування отвору 3
N120Y40;	Центрування отвору 4

Продовження табл. 2.5

Кадр	Програмовані дії
N130X110Y70;	Центрування отвору 5
N140G80Z400S0;	Скасування циклу G82, кутова орієнтація шпінделя
N150G28;	Виїзд в позицію заміни інструмента
N160M06;	Заміна інструмента на свердло Ø19, повернення в магазин свердла Ø3,15
N170G91G00Y-80T17; (zenker D19.9)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор зенкера
N180G90G43D11Z10S800M03;	Корекція довжини інструмента — свердла Ø19, призначення режимів обробки
N190G00X60Y40;	Виїзд в координату отвору 1
N200G81Z-31A10B10 F80;	Свердління отвору 1 по циклу G81
N210Q100-160;	Повтор кадрів: повтор операції свердління отворів 2–5, скасування циклу G81, виїзд в позицію заміни інструмента, заміна свердла Ø19 на зенкер Ø19,9; повернення в магазин свердла Ø19
N220G91G00Y-80T28; (zenkovka D24)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — зенківки Ø24
N230G90G43D17Z10S400M03;	Корекція довжини інструмента — зенкера Ø19,9, призначення режимів обробки
N240G81X60Y40Z-28A10B10 F30;	Зенкерування отвору 1 за циклом G81
N250Q100-160;	Повтор кадрів: повтор операції зенкерування отворів 2–5, скасування циклу G81, виїзд в позицію заміни інструмента, заміна зенкера на зенківку Ø24, повернення зенкера в гніздо магазину
N260G91G00Y-80T20; (rozvertka D19.95)	Виїзд з позиції заміни інструмента, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор розвертки Ø19,95
N270G90G43D28Z10S400M03;	Корекція довжини інструмента — зенківки, призначення режимів обробки
N280G81X60Y40Z-2A10B10 F60;	Зенкування фаски отвору 1 за циклом G81
N290Q100-160;	Повтор кадрів: повтор операції зенкування отворів 2–5, скасування циклу G81, виїзд в позицію заміни інструмента, заміна зенківки на розвертку Ø19,95, повернення зенківки в магазин

Закінчення табл. 2.5

Кадр	Програмовані дії
N300G91G00Y-80T24; (rozvertka D19.98)	Виїзд з позиції заміни інструмента, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор розвертки Ø19,98
N310G90G43D20Z10S50M03;	Корекція довжини інструмента — розвертки, призначення режимів обробки
N320G86X60Y40Z-2A10B10 F60;	Розвірчування отвору 1 за циклом G86
N330Q100-160;	Повтор кадрів: повтор операції розвірчування отворів 2–5, скасування циклу G86, виїзд в позицію заміни інструмента, заміна розвертки Ø19,95 на розвертку Ø19,98, повернення розвертки Ø19,95 в магазин
N340G91G00Y-80T04; (rozvertka D20H7)	Виїзд з позиції заміни інструмента, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор розвертки Ø20H7
N350G90G43D24Z10S40M03;	Корекція довжини інструмента — розвертки Ø19,98, призначення режимів обробки
N360G86 X60Y40Z-28A10B10 F40;	Розвірчування отвору 1 за циклом G86
N370Q100-160;	Повтор кадрів: повтор операції розвірчування отворів 2–5, скасування циклу G86, виїзд в позицію заміни інструмента, заміна розвертки Ø19,98 на розвертку Ø20H7, повернення розвертки Ø19,98 у своє гніздо в магазині
N380G91Y-80G00T08; (zentr. sverdlo D3.15);	Виїзд з позиції заміни інструмента, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор центрального свердла для початку обробки наступної деталі
N390G90G43D04Z10S30M03;	Корекція довжини інструмента — розвертки Ø20H7, призначення режимів обробки
N400G89 X60Y40Z-28A10B10 F36;	Розвірчування отвору 1 за циклом G89
N410Q100-140;	Повтор кадрів: повтор операції розвірчування отворів 2–5, скасування циклу G89
N420M30;	Кінець програми з поверненням системи у стан початку обробки

Після розробки програму заводимо в ПЧПК, виконуємо покадрове відпрацювання, контролюємо обробку першої деталі, здаємо контролеру, обробляємо партію.

Приклад 2. Потрібно виконати свердління отворів у деталі «плита», виготовленої зі сталі Ст45, товщиною 15 мм, на верстаті 2254 МФ4 (рис. 2.23).

План операції: центрувати всі отвори; свердлити два отвори $\varnothing 9,5$ (7 і 8); свердлити шість отворів $\varnothing 13$ (1, 2, 3, 4, 5, 6), зняти фаски.

Після вибору системи координат обираємо і розташовуємо в магазині інструмент, визначаємо значення корекції довжини для кожного, заносимо до коректорів за номером гнізда в магазині.

Встановлюємо режими обробки. Складаємо керуючу програму:

```
% 29;
N10G29;
N20G71X0Y0Z10;
N30T29; (ZENTR. SVERDLO D2,5)
N40G28;
N50M06;
N60G91X50T02; (SVERDLO D9,5)
N70G90G43D02Z10S1250M03M08;
N80G82X20Y17,5Z-8A5B5 F160;
N90X80;
N100X110;
N110X140;
N120Y182,5;
N130X80;
N140X50;
N150X20;
N160G80G40Z200S0M09;
N170G28;
N180M06;
N190G91X50T10; (SVERDLO D13)
N200G90G43D10Z10S800;
N210G81X110Y17,5Z-20A5B5F30;
N220X50Y182,5;
```

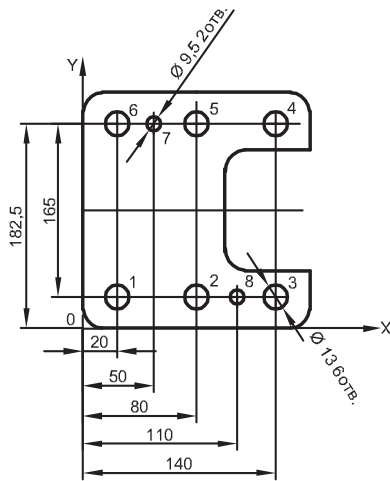


Рис. 2.23. Свердління отворів у деталі «плита»

N230G80G40Z200S0M09;
 N240G28;
 N250M06;
 N260G91X50T29; (ZENTR. SVERD. D2,5)
 N270G90G43D10Z10S630M08;
 N280G81X20Y17,5Z-20A10B10F25;
 N290X80;
 N300X140;
 N310Y182,5;
 N320X80;
 N330X20;
 N340G80G40Z200S0M09;
 N350M02;

Приклад 3. Розглянемо обробку отворів з різних сторін деталі на верстаті 2204ВМФ4 з використанням поворотного стола. В гладкій втулці (рис. 2.24) потрібно просвердлити три поперечні отвори $\varnothing 16$, розташовані на різній відстані від торця втулки і через 120° по колу від її осі.

Технологічний регламент обробки:

- 1) центрування отвору 1 центрувальним свердлом $\varnothing 3,15$;
- 2) свердління отвору 1 свердлом $\varnothing 16$.

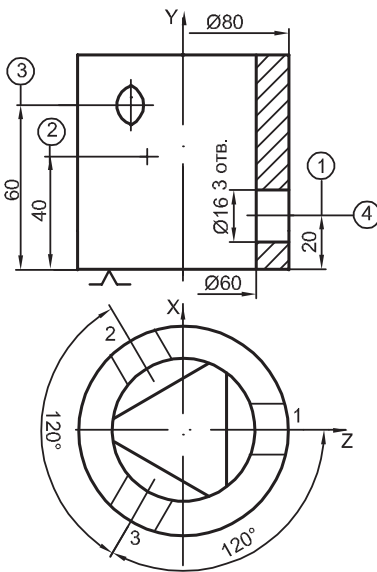


Рис. 2.24. Обробка отворів з різних сторін деталі

Переходи повторити в координатах отворів 2 і 3.

Для обробки закріплюємо деталь на розтискній оправці, де для виходу свердла відфрезеровані під кутом 120° лиски. Оправку попередньо встановлюємо й виставляємо співвісно зі столом, як у прикладі, розглянутому в параграфі 2.4. Лиска для виходу свердла виставлена паралельно осі X.

Щоб виставити деталь відносно осі X, підводимо закріплену в шпінделі оправку по осі Y на задану відстань (20 мм) від базової площини і перевіряємо цю відстань універсальними засобами. За результатами корегуємо положення початку

системи координат ХУ деталі. «Прив'язуємо» зібрані з базовою оправкою свердла по осі Z (в ручному режимі торкаємося кожним оброблюваною поверхні, показання монітора заносимо до відповідного коректора). Визначаємо положення шпінделя по осі Z перед початком робочого ходу (Z + 10).

Програму обробки наведено в табл. 2.6

Таблиця 2.6

Кадр	Програмовані дії
Обробка трьох отворів Ø16 на втулці	
(VTULKA) % 16;	
N10G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20G90G71B0X0Y20Z0;	Кутова орієнтація стола, призначення початку координат деталі по всіх осях, вихід в точку обробки отвору 1, відстань (1)
N30 M95;	Затискання стола
N40S0T08; (zentr. sverdlo D3.15)	Орієнтація шпінделя, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор інструмента
N50G28;	Виїзд в позицію заміни інструмента
N60M06;	Заміна інструмента (в шпінделі центрувальне свердло Ø3,15). Повернення вилученого зі шпінделя інструмента у своє гніздо в магазині
N70G00G91Y-80T11; (sverdlo D16.0)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — свердла Ø16
N80G90G43D08Z10S1250 M03;	Корекція довжини інструмента — центрувального свердла, призначення режимів обробки
N90G82Z-8A1B1F100;	Центрування отвору 1
N100G80G00Z400S0;	Зняття корекції, відведення стола
N120Q50-60;	Повторення кадрів 50–60. Заміна інструмента в шпінделі
N130 G00G91Y-80T08; (sverdlo D3.15)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — свердла Ø3,15
N140G90G43D11Z10 S1000F80M03;	Корекція довжини свердла Ø16, призначення режимів обробки
N150G81X0Y20Z-16;	Свердління отвору 1 Ø16 — поверхня (4)
N160 G80Z400S0;	Зняття корекції, відведення стола
N170G90B120;	Поворот стола на 120° за стрілкою годинника
N175 M95;	Затискання стола
N180G00G09G90Y40F300;	Виїзд в координату обробки отвору 2, відстань (2)
N190Q50-160;	Повтор кадрів — свердління отвору Ø16

Кадр	Програмовані дії
N200G90B240;	Поворот стола на 240° за стрілкою годинника
N205M95;	Затискання стола
N210G00G09G90Y60F300;	Виїзд в координату обробки отвору 3, відстань (3)
N220Q50-160;	Повтор кадрів — свердління отвору $\varnothing 16$ — поверхня (4)
N230M30;	Кінець програми з поверненням системи в стан початку обробки

Якщо оброблювані поверхні з різних сторін деталі розташовані на різних відстанях по осі Z, налагодження і «прив'язка» інструмента по довжині виконуються для кожної сторони окремо. Однакові інструменти або дублюють, якщо дозволяє кількість гнізд у магазині й наявність інструментів, або враховують довжину для кожної сторони значенням координати Z при підведенні до оброблюваної поверхні.

Якщо оброблювана деталь масивна, завантажується на стіл верстата підйомним механізмом, то найбільш раціонально виконувати налагодження на обробку кожної сторони такої деталі окремо, виставляючи її положення поворотом стола виходячи з реального розташування на столі верстата.

Виставивши корпусну деталь на верстаті, з однієї установки виконують усі види обробок, передбачені технологічним процесом.

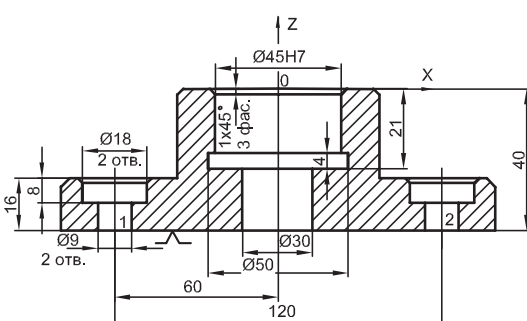


Рис. 2.25. Обробка отворів корпусної деталі

Отвори обробляють послідовно, в напрямку від основних високоточних до кріпильних, інших допоміжних. На перших переходах (центрування, чорнове свердління) можуть оброблюватися паралельно всі отвори (рис. 2.25).

Приклад 4. Потрібно виконати обробку отворів корпусної деталі. Заготовка — остаточно оброблена по зовнішніх поверхнях деталь, виготовлена зі сталі Ст45.

Складаємо технологічний регламент обробки, вибираємо інструмент:

- 1) призначити початок координат на осі отвору $\varnothing 45H7$ (виставляємо по зовнішньому діаметру) в його верхньому торці;
- 2) центрувати всі отвори свердлом центрувальним $\varnothing 3,15$, T08;
- 3) свердлими $\varnothing 30$ остаточно, свердло $\varnothing 30$, T11;
- 4) фрезерувати $\varnothing 45H7$ до $\varnothing 40$ на глибину 20,5 фрезою циліндричною $\varnothing 20$, T17;
- 5) розточити $\varnothing 45H7$ до $\varnothing 44,2$ на глибину 20,8 різцем упорно-розточувальним, T18;
- 6) прорізати канавку $\varnothing 50$ остаточно, витримати глибину $21+0,3$ різцем самовисувним канавковим, T20;
- 7) розточити отвір $\varnothing 45H7$ на глибину 20 остаточно різцем упорно-розточувальним, T21;
- 8) свердлими два отвори $\varnothing 9$ свердлом $\varnothing 9$, T25;
- 9) цекувати два отвори $\varnothing 18$ цеківкою $\varnothing 18$, T27;
- 10) зенкувати фаски $1 \times 45^\circ$ на отворах $\varnothing 18$ зенківкою $\varnothing 20$, T29.

Програму обробки наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Кадр	Програмовані дії
% % 44; (FLANEZ)	
N10G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20G71X0Y0Z10;	Зміщення початку відліку. Встановлення нульової точки деталі
N30S0T08; (zentr. sverdlo D3.15)	Орієнтація шпінделя, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор інструмента
N40G28 M06;	Заміна інструмента (в шпінделі центрувальне свердло $\varnothing 3,15$)
N60G91Y-80T11; (sverdlo D30)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — свердла $\varnothing 30$
N70G00G90G43D08Z10 S1250M03 M08;	Корекція довжини інструмента — центрувального свердла, призначення режимів обробки
N80G82Z-10A5B5 F100;	Центрування отвору $\varnothing 30$
N90 G00X-60;	Виїзд в координату отвору 1
N100G82Z-35A-23B5F0,1;	Центрування отвору 1 $\varnothing 9$
N110G00X60;	Центрування отвору 2 $\varnothing 9$
N120G80Z400S0M09;	Відхід по Z, скасування циклу G82, кутова орієнтація шпінделя

Продовження табл. 2.7

Кадр	Програмовані дії
N130G28 M06;	Заміна інструмента на свердло $\varnothing 30$, повернення свердла $\varnothing 3,15$ в магазин
N140G91G00Y-80T17; (FREZA D20)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор фрези
N150G90G43D11Z10X0Y0 S150M03;	Корекція довжини інструмента — свердла $\varnothing 30$, призначення режимів обробки
N160G81Z-46A10B10 F100M08;	Свердління отвору $\varnothing 30$ за циклом G81
N170G80Z400S0M09;	Відхід по Z, скасування циклу G81, кутова орієнтація шпінделя
N180G28 M06;	Заміна інструмента на фрезу, повернення свердла $\varnothing 30$ в магазин
N190G91G00Y-80T18; (RIZEC UPORNO-ROZT.)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор упорно-розточувального попереднього різця
N200G90G43D17Z10 S500M03;	Корекція довжини фрези, призначення режимів обробки
N210 X10 Z5M08;	Підведення фрези у вихідну точку
N220 G12X10Y0 I0J0Z-20,5 K7F60;	Фрезерування отвору до $\varnothing 40$ гвинтовою інтерполяцією за стрілкою годинника
N230G00Z400S0M09;	Відхід по Z, кутова орієнтація шпінделя
N240G28 M06;	Заміна інструмента на упорно-розточувальний різець попередній, повернення фрези $\varnothing 30$ в магазин
N250G91G00Y-80T20; (RIZEC KANAVKOV.)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження канавкового різця
N260G90G43D18Z10X0Y0 S500M03;	Корекція довжини упорно-розточувального різця, призначення режимів обробки
N270G01G09X0; (R22,1) N271Z2F500M08;	Підведення різця в початок обробки
N280Z-20,8F120;	Розточування отвору до $\varnothing 44,2$ довжиною 20,8
N300G00Z400S0M09;	Відвід різця по Z, кутова орієнтація шпінделя
N310G28 M06;	Заміна інструмента на самовисувний канавковий різець, повернення упорно-розточувального різця в магазин
N320G91G00Y-80T21; (RIZEC UPORNO-ROZT.)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор упорно-розточувального остаточного різця
N330G90G43D20Z10;	Корекція довжини самовисувного канавкового різця
N340 G00X0Y0Z5M08;	Підведення різця до деталі
N350G01 Z-21 F200;	Підведення різця в точку початку обробки

Продовження табл. 2.7

Кадр	Програмовані дії
N360S800M03 F40; (R25)	Розточування канавки
N370M05;	Виведення різця з канавки
N380G00Z400S0M09;	Відвід по Z, кутова орієнтація шпінделя
N390G28 M06;	Заміна інструмента на упорно-розточувальний різець остаточний
N400G91G00Y-80T25; (SVERDLO D9)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження свердла Ø9
N410G90G43D21Z10 S500 M03;	Корекція довжини упорно-розточувального різця, призначення режимів обробки
N420 G00X0Y0Z5;	Підведення різця до деталі
N430 G01G09Z1 F100M08;	Підведення різця в початок обробки
N440Z-21,2F80;	Розточування отвору Ø45H7 остаточне
N460G00Z400S0M09;	Відвід різця по Z, кутова орієнтація шпінделя
N470G28 M06;	Заміна інструмента (в шпінделі свердло Ø9)
N480G91Y-80T27; (ZEKIVKA D18)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — цеківки Ø18
N490G00G90G43D25Z10 S1000M03 M08;	Корекція довжини інструмента — свердла Ø9, призначення режимів обробки
N500 G00X-60;	Виїзд в координату отвору 1
N510G81Z-45A-23B5 F0,1;	Свердління отвору 1 Ø9
N520G00X60;	Свердління отвору 2 Ø9
N530G80Z400S0M09;	Відхід по Z, скасування циклу G81, кутова орієнтація шпінделя
N540G28 M06;	Заміна інструмента на цеківку Ø18, повернення свердла Ø9 в магазин
N550G00G91Y-80T29; (ZENKIVKA D20)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — зенківки Ø20
N560G00G90G43D27Z10 S1000M03 M08;	Корекція довжини інструмента — цеківки Ø18, призначення режимів обробки
N570 G00X-60;	Виїзд в координату отвору 1
N580G81Z-32A-23B5 F0,1;	Цекування отвору 1 Ø18
N590G00X60;	Цекування отвору 2 Ø9
N530G80Z400S0M09;	Відхід по Z, скасування циклу G81, кутова орієнтація шпінделя
N540G28 M06;	Заміна інструмента на зенківку Ø20, повернення цеківки Ø18 в магазин

Закінчення табл. 2.7

Кадр	Програмовані дії
N550G91Y-80T08; (SVERDLO D3.15)	Виїзд з позиції заміни, пошук та підготовка для завантаження в маніпулятор наступного інструмента — центрувального свердла $\varnothing 3,15$
N560G00G90G43D29Z10 S1000M03 M08;	Корекція довжини інструмента — зенківки $\varnothing 20$, призначення режимів обробки
N570 G00X-60;	Виїзд в координату отвору 1
N580G81Z-25A-23B5 F0,1;	Зенкування фаски на отворі 1 $\varnothing 18$
N590G00X60;	Зенкування фаски на отворі 2 $\varnothing 18$
N600G80Z400S0M09;	Відхід по Z, скасування циклу G81, кутова орієнтація шпінделя
N610M05 X250;	Зупинка шпінделя, знімання деталі
N620M30;	Кінець програми

Якщо ОЦ обладнаний пристроєм ЧПК «FANUK», можна за спеціальною програмою виконувати обробку ланцюжка однакових отворів (див. рис. 2.26).

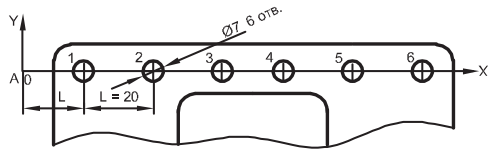


Рис. 2.26. Обробка ланцюжка отворів

Формат кадру: G91 G81 X...Y...Z...R...L...n...F;
 Позначення функцій, як у 2С-42, а параметри:
 R — відіграє роль А і В у 2С-42;
 L — відстань між отворами;
 n — кількість отворів.

Приклад 5. Розглянемо програму обробки шести отворів у плоскій деталі, виготовленій зі сталі Ст3, товщиною 10 мм.

Для використання можливості ланцюжкового програмування виносимо початок координат на відстань L від першого отвору, тоді програма буде такою:

```
% 3
N10 G29;
N20 G71 X20 Y0 Z10;
N30 S0 T08; (ZENTR. SVERDLO D3,15)
N40 G28;
N50 M06;
N60 G00G91 Y-80 T11; (SVERDLO D7)
N70 G90 G43 D08 Z10 S1250 M03;
N75 M08;
```

N80 G91 G82 X20 Y0 Z-8 R5 L20 n6 F80;
 N85 M09;
 N90 Z400 S0;
 N100 Q40-50;
 N110 G91G00 Y-80 T08; (ZENTR. SVERDLO D3,15)
 N120 G90 G43 D11 Z10 S1000 M03;
 N130 M08;
 N140 G91 G82 X20 Y0 Z-14 R5 L20 n6 F80;
 N145 M09;
 N150 Z400 S0;
 N160 G80;
 N170 M30;

Програмування обробки отворів у полярній системі координат на ОЦ 2204ВМФ4 з пристроєм ЧПК «FANUK» (див. рис. 2.27) найчастіше використовується для свердління кріпильних отворів на круглих деталях типу кришки. Для цього в ПЧПК «FANUK» передбачено спеціальну макропрограму з номером P9200, G65 — команда переходу до полярного відліку координат.

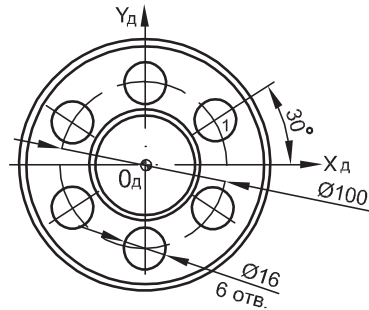


Рис. 2.27. Програмування обробки отворів у полярній системі координат

Формат кадру: G65P9200WАНCFZR;
 де P9200 — номер макропрограми;

W — радіус кола, на якому розташовані отвори;

A — початковий кут між отвором 1 і віссю координат X;

H — число отворів;

C — номер постійного свердлильного циклу, який треба застосувати;

F — подача;

Z — глибина свердління;

R — координата по Z підходу до оброблюваної поверхні прискореним рухом.

Початок координат завжди міститься на осі кола розташування отворів.

Приклад 6. З урахуванням викладеного розглянемо обробку деталі, виготовленої зі сталі Ст45, товщиною 6 мм. Враховуючи незначну товщину деталі й невелику точність розташування отворів, виконуватимемо відразу остаточне

свердління отворів $\varnothing 16$ мм без попереднього центрування.
Програма матиме вигляд:

% 17; (KRISHKA)
N10 G29;
N20 G71 X0Y0Z10;
N30 S0 T09; (SVERDLO D16)
N40 G28 M06;
N60 G00G91 Y-80;
N70 G90 G43 D09 Z10 S1000M03;
N80 M08;
N90 G65 P9200 W50 H6 C81 F100 Z-9 R5A30;
N100 M09;
N110 Z400 M05;
N120 G80;
N130 M30;

Приклад 7. Програмування обробки прямокутного масиву («решітки») отворів розглянемо для верстата з системою ЧПК «Sinumeric». В цій системі таку обробку можна виконати за допомогою циклу CYCLE801, згідно з яким в програмі вказуються координати опорної точки — вісь отвору масиву, від якої відраховуються відстані між стовпчиками та рядками (рис. 2.28, а), їх кількість та кут нахилу «решітки» до осі абсцис.

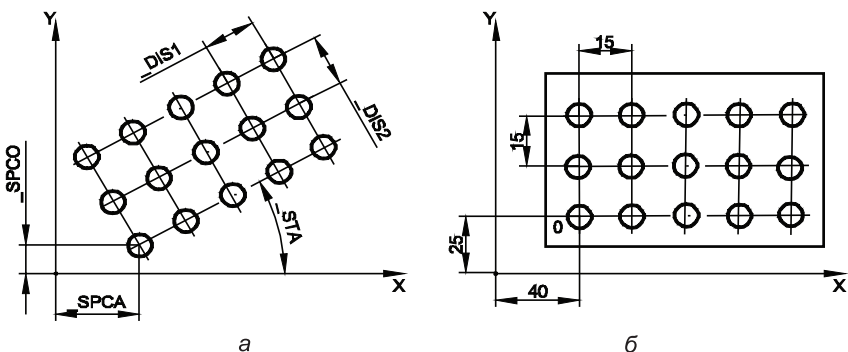


Рис. 2.28. Програмування обробки прямокутного масиву отворів

Формат циклу: CYCLE801 ($_SPCA$, $_SPCO$, $_STA$, $_DIS1$, $_DIS2$, $_NUM1$, $_NUM2$);

де `_SPCA` — абсциса опорної точки;
`_SPCO` — ордината опорної точки;
`_STA` — кут нахилу прямокутника масиву отворів до осі X, відраховується і програмується в градусах;
`_DIS1` — відстань між стовпчиками;
`_DIS2` — відстань між рядками;
`_NUM1` — кількість стовпчиків;
`_NUM2` — кількість рядків.

Розміри отвору і технічні вимоги забезпечуються через введення в програму модальних циклів його обробки. Якщо для обробки отвору треба задіяти кілька свердлильних циклів, вони використовуються в необхідній послідовності з обходом масиву кожним інструментом за циклом `CYCLE801`.

Цикл `CYCLE801` самостійно визначає послідовність обробки отворів так, щоб мінімізувати холості пробіги між ними. Координати опорної точки відраховуються від останньої координати в програмі перед початком обробки масиву.

В табл. 2.8 наведено фрагмент програми свердління прямокутного масиву з 15 отворів діаметром 6 мм (див. рис. 2.28, б) на верстаті з пристроєм ЧПК «Sinumeric-840», відстань до опорної точки $O(X40; Y25)$, кут нахилу до осі X — 0° , відстань між стовпчиками — 15 мм, між рядками — 15 мм, кількість стовпчиків — 5, рядків — 3.

Таблиця 2.8

Кадр	Програмовані дії
N10 T2 D1 G90 F900 S4000 M3; (SVERDLO 6)	Абсолютна система координат. Вибір інструмента, призначення режимів різання
N20 MCALL CYCLE82 (10, 0, 1, -18, 18, 0);	Свердлильний цикл G82. A=10, початок свердління Z=0, відступ від нульової площини на безпечну відстань 1 мм, глибина свердління 18 мм, витримка в кінці ходу 0 с
N30 CYCLE801 (40, 25, 0, 15, 15, 5, 3);	В дужках вказані вищезазначені параметри розташування отворів
N40 M30;	Кінець програми

2.15. Оптимізація програмування: повтор кадрів, підпрограма, поворот осей, віддзеркалювання та інші способи

Повтор кадрів. Якщо в тексті програми або підпрограми є частини, що програмуються однаковими кадрами, характерними тільки для даної деталі, то ця частина програми повторюється за допомогою адреси Q і номерів кадрів, що її обмежують (див. у прикладі програм %15 (Q100–160) і %16 (Q50–160)). Якщо послідовність кадрів має повторитися кілька разів, команду на повторювання позначають «Н» + кількість повторів. Наприклад, Q100–160Н4 — кадри з № 100 по № 160 будуть відпрацьовані чотири рази підряд.

Підпрограма (ПП) — частина програми, обмежена кадрами, які періодично повторюються за змістом і послідовністю. Через функцію підпрограми (L) головна керуюча програма може викликати з пам'яті пристрою ЧПК іншу програму (підпрограму) і виконувати її необхідну кількість разів. Якщо керуюча програма містить часто повторювані дії, то використання підпрограм дозволяє значно спростити її розробку і зменшити обсяг.

Математичне забезпечення пристрою ЧПК 2С-42 може викликати з тексту ПП наступну ПП. При цьому неодмінною умовою є виконання принципу вкладання (матрьошки), тобто ПП2, викликана із ПП1 після відпрацювання і команди кінця підпрограми M20, має повернути обробку ПП1 з наступного після того, що містить команду L02, кадру. Підпрограма ПП1 так само після команди M20 має повернути обробку головній програмі після кадру, що містить команду L01.

Описану схему наведено в табл. 2.9, де послідовність дій позначено стрілками.

Таблиця 2.9

Головна програма % A	Підпрограма L01	Підпрограма L02
N50G43T08D08Z5S630M03;	N10G01X5Y80 F80;	N10G01X4Y70 F80;
N60G00X40Y70;	N20G03X90R20;	N20 X90;
N65M08;	N30G01X90;	N30G00Y70;
N70G01X90F80;	N40X100Y20;	N40G01X100Y20;
N80X100Y20;	N50L02;	N50Z5;
N90L01;	N60 Z-5;	N60M20;
N100M09;	N70 X20Y100;	
N110Z400M05;	N80 M20;	
N120X200Y200;		
N130M30;		

Розглянутий у наведеному вище прикладі (див. табл. 2.5) повтор кадрів можна реалізувати через підпрограми L1 і L2:

L1	L2
N11Y100;	N17G28;
N12X160;	N18M06;
N13Y40;	N19M20;
N14X110Y70B0;	
N15G80Z400S0;	
N16M20;	

Тоді програма обробки тих самих п'яти отворів Ø20H7 матиме вигляд:

% 5;	N260G91Y-80T20; (rozvertka 19.95)
N10G29;	N270G90G43D28Z10S400F60M03;
N20G71(X350Y250Z400);	N280G81 X60Y40Z-2A10B10;
N30S0T08; (zentr. sverdlo D3.15)	N281L1;
N40G28;	N282L2;
N50M06;	N300G91Y-80T24; (rozvertka 19.98)
N60G91Y-80T11; (sverdlo D19.0)	N310G90G43D20Z10S50F60M03;
N70G90G43D08Z10S1250F100M03;	N320G86 X60Y40Z-2A10B10;
N80X60Y40;	N321L1;
N90G82Z-10A10B10;	N322L2;
N95L1;	N340G91Y-80T04; (rozvertka 20H7)
N96L2;	N350G90G43D24Z10S40F40M03;
N170G91Y-80T17; (zenker D19,9)	N360G86 X60Y40Z-28A10B10;
N180G90G43D11Z10S800F80M03;	N361L1;
N190X60Y40;	N362L2;
N200G81Z-31A10B10;	N380G91Y-80T08; (zentr. sverdlo D3.15)
N201L1;	N390G90G43D04Z10S30F36M03;
N202L2;	N400G86 X60Y40Z-28A10B10;
N220G91Y-80T28; (zenkivka D24)	N401L1;
N230G90G43D17Z10S400F30M03;	N420M30;
N240G81X60Y40Z-28A10B10;	
N241L1;	
N242L2;	

Підпрограми можуть бути *локальними* — такими, що належать лише до однієї програми (розглянутий приклад), і *глобальними* — частини програми спільні для багатьох програм. Глобальні програми можуть математично забезпечуватися через пристрій ЧПК (наприклад — свердлильні цикли, макропрограма обробки отворів у полярній системі координат та ін.). Підпрограма також може виконуватися кілька разів

підряд. Для повтору використовується та сама функція «Н» з однозначним числом повторів. Наприклад: N120L25H4;

У сучасних пристроях ЧПК, наприклад «FANUK», передбачено такі методи оптимізації, як *поворот координатних осей*. Використовується цей метод під час обробки великих масивних деталей, для яких легше і швидше повернути координатні осі по напрямку базових поверхонь, ніж втрачати час на виставлення деталі.

Для обробки осесиметричних елементів деталі (див. рис. 2.29) у тому ж «FANUK» передбачено функцію *віддзеркалювання G51*.

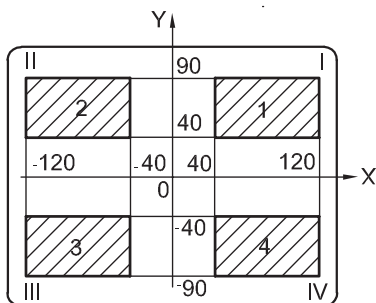


Рис. 2.29. Обробка осесиметричних елементів деталі з використанням функції віддзеркалювання

Використовуючи цю функцію, фрезерування по контуру чотирьох платиків (1, 2, 3, 4) висотою 4 мм можна запрограмувати так: призначити початок координат, як показано на рис. 2.29, розробити програму обробки 1-го платика у квадранті I і використовувати її як підпрограму; в головній програмі запрограмувати перехід між квадрантами з урахуванням знаків координат, наприклад, команда G51 X-1 Y1 M98 викличе обробку контуру з підпрограми

симетрично відносно осі Y (у квадранті II). Для цього математичне забезпечення ПЧПК автоматично перемножить значення координати X на «-1». Крім того, система після вводу в програму команди G51, залежно від знака при X і Y, автоматично переключить у потрібному напрямку команди корекції радіуса фрези G41 на G42 чи G42 на G41. Аналогічні дії відбудуться і з командами кругової інтерполяції G02 і G03. Тоді програма обробки чотирьох платиків набуде вигляду:

N10 G29;

N20 G00 G90 G71X0 Y0;

N30 S0 T03; (FREZA D16)

N40 G28 M06;

N45 G43 D01 Z10 G97 S630 M03;

N50 M08;

N55 M98 P110; — ввід підпрограми P110, обробка у квадранті I;

N70 G51 X-1 Y1; — віддзеркалення відносно осі Y;
N80 M98 P110; обробка у квадранті II;
N90 G51 X-1 Y-1; — віддзеркалення відносно осі X;
N100 M98 P110; обробка у квадранті III;
N110 G51 X1 Y-1; — віддзеркалення відносно осі Y;
N120 M98 P110; обробка у квадранті IV;
N125 M99;
N130 G00 Z150 M09;
N140 G70 G40;
N150 G00X250 M05;
N160 M30;

Підпрограма P110

N10 G64 G01 G90 X40 Y35 G41 D31 F100;
N20 Z-5;
N30 Y90;
N40 X120;
N50 Y40;
N60 X40;
N70 M99;

Розробляючи підпрограму, початок координат призначають такий, як у головній програмі. Якщо елемент віддзеркалювання має свою систему координат, її треба врахувати в головній програмі, — значення X і Y будуть результатом множення «-1» або «1» на координати початку системи координат елемента в головній програмі.

Для обробки деталей, однакових за формою, але різних за розмірами, у пристрої ЧПК «FANUK» передбачено функцію *масштабування* G38. Наприклад, фрезерування шестигранника на токарному верстаті з автономно приводним шпінделем (див. параграф 3.15). Розробивши програму обробки одного шестигранника, через масштаб можна перейти до обробки шестигранників усіх розмірів, використовуючи їх відношення до розміру шестигранника 20 (підпрограма 7020 буде для всіх спільною).

2.16. Параметричне програмування

У програмі замість числових значень біля адреси координати можуть використовувати їх параметричне позначення «P» із двозначним числом. Завдяки цьому з'являється можливість створення програм, які описують обробку контурів і повер-

хонь, що збігаються за формою, а відрізняються лише розмірами. У програмі можна вводити арифметичні дії між параметрами або між параметром і числом. Наприклад, програма обробки контуру (див. рис. 2.12) в параметрах буде такою:

```
% 5A;  
N5P1(10)P2(40)P3(40)P4(0)P5(20)P6(30)P7(40)P8(40);  
N10G00G90X0Y0;  
N20G43D01Z(-P1)F400S600;  
N30G01G44D32X(P2)G44D32Y(P3);  
N40G91G43Y(P5+P6);  
N50G43X(P7);  
N60Y(-P6);  
N70X(P8);  
N80G44Y(-P5);  
N90G44X(-P7-P8);  
N100D00X0D00Y0;  
N110G00Z0;
```

Параметри P2–P8 вказані на рис. 2.12, параметр P1 — переміщення фрези по Z для обробки контуру деталі.

Програма знімання заходів (% 12, табл. 2.2) в параметрах матиме вигляд:

```
% 3A  
(P1 — RADIUS VPADIN)  
N5P1(120.0);  
(P2 — RADIUS FREZI)  
N6P2(10.0);  
(P3 — NEDOYIZD)  
N7P3(10.0);  
(P4 — KROK RIZBI)  
N8P4(5.0);  
(KILCE — P2+P3)  
(PROBKA — P2-P3)  
N10G90G71XOY(-P1+P2+P3)E01;  
N20G43D01Z0S1500M03;  
N30G01Y(-P1+P2)F400;  
(PRAVIY — G12)  
(LEVIY — G13)  
N40G12X0Y(-P1+P2)I0J0K(P4)Z(-P4)F500;  
N50G01Y(-P1+P2+P3)F1000;  
N60G00Z150M05;  
N70X-150Y200;  
N80M02;
```

У програмі передбачено знімання заходів із внутрішньої (кільце) та із зовнішньої (пробка) різьби, правої і лівої. Арифметичні дії між параметрами забезпечують правильне позиціонування фрези під час обробки.

Значення параметрів задається з пульта або в тексті програми.

Недоліком параметричного програмування вважається неможливість перевірки програми в параметрах (без їх числових значень) через комп'ютерну програму бекплотом або верифікацією. Для цього потрібно ввести конкретні значення параметрів, отримати звичайну програму і виконати її перевірку відомими методами.

2.17. Обробка плоских поверхонь.

Підсумовуюча програма обробки на свердильно-фрезерно-розточувальному центрі

Обробка плоских поверхонь на верстатах з ЧПК проводиться переважно кінцевими і торцевими фрезами.

Залежно від розташування відносно інших елементів деталі оброблювані площини поділяються на:

— відкриті — фрезу для обробки можна заводити з усіх сторін оброблюваної поверхні. В таких випадках застосовують торцеві фрези зі змінними твердосплавними пластинами;

— напіввідкриті площини — є сторони, через які введення фрези для обробки неможливе. Фрезерування може виконуватися торцевими й кінцевими фрезами;

— закриті площини — обмежені з усіх сторін стінками, інструмент у зону обробки можна ввести лише зверху врізанням (шпонкові пази) або через заздалегідь підготовлений отвір. Для обробки використовують тільки кінцеві фрези.

Фрезерування відкритих площин виконують торцевими фрезами, оснащеними швидкозамінними квадратними, ромбічними, п'ятигранними, круглими твердосплавними пластинами. Для знімання великого об'єму металу рекомендовано застосовувати твердосплавні пластини круглої форми, які покращують процес різання за силовими характеристиками, дають змогу водночас працювати з великими глибинами різання і подачами, підвищують таким чином продуктивність обробки. Круглі пластини використовують під час фрезерування важкооброблюваних матеріалів: титан, жароміцні сплави.

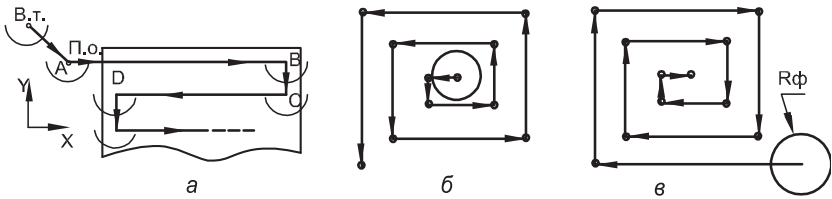


Рис. 2.30. Фрезерування відкритої поверхні:
 а — зигзагоподібна схема; б, в — спіралеподібні схеми

Програмують обробку відкритої поверхні в параметрах. Вихідну точку по осях X і Y вибирають у зручному для оператора місці. Початок фрезерування по осі Z обирають так, щоб відношення повного припуску до призначеної глибини фрезерування на одному проході було кратним цілому числу, або, враховуючи вимоги до оброблюваної поверхні, останній прохід програмують зі зменшеною глибиною фрезерування і подачею. Щоб отримати поверхню з низькою шорсткістю, застосовують торцеві фрези із пластинами з мінералокераміки ВОК70 або ВОК71. Обирають напрям фрезерування — в одну чи дві сторони. У програму, розроблену в параметрах, підставляють їх значення залежно від оброблюваної поверхні деталі. Схему такої обробки наведено на рис. 2.30, а і в табл. 2.10.

Така схема знімання припуску називається *зигзагоподібною*. Через простоту програмування вона є найпоширенішою, хоча має певні недоліки: робочі рухи в процесі обробки здійснюються у протилежні сторони, створюючи змінний характер фрезерування — по і проти подачі, що негативно впливає на точність обробки і шорсткість поверхні.

Обробка за такою схемою можлива також лише в одну сторону, потім відбувається повертання фрези прискореним рухом з відводом по осі Z і наступний робочий хід (відома як Ш-схема). Незважаючи на очевидний недолік — збільшення трудомісткості процесу, значно покращується якість обробки, тому цю схему використовують для фінішних проходів.

Зигзагоподібна схема має багато зломів на траєкторії, розгонів, гальмувань, в результаті — збільшену трудомісткість.

Таблиця 2.10

Кадр	Програмовані дії
% 20; (Фрезерування відкритої плоскої поверхні торцевою фрезею)	
N10G00X(P10)Y(P11);	Вихідна точка. P10 і P11 — координати, вибрані довільно
N20G43D01Z0F300S500M03;	Корекція довжини інструмента, призначення режимів
N30G90G44D61X(P1)G43D61Y(P2);	Рух в точку початку обробки (П.о.), P1 і P2 — координати точки П.о. по X та Y (по Y фреза виходить за межі поверхні обробки на (0,15–0,20) Dф (діаметр фрези)
N40G00G91Z(-P8);	Набір глибини фрезерування на першому проході — P8
N60G90G01X(P4+20);	P4 — робочий хід в точку B, 2 мм — перебіг по осі X
N70G91Y(-P3);	Рух по Y на ширину фрезерування P3, що становить (0,7–0,8) від Dф
N80G90X(P1-20);	Робочий хід по X в точку D, 20 мм — перебіг
Так продовжується до закінчення обробки по першому шару припуску	
NnG00G90G44D61X(P1)G43D61Y(P2);	Повернення в точку П.о. по X і Y
N(n+1)Q40-80;	Знімання другого шару припуску. Повторюється до повної обробки
N(n+m)M30;	

Спіралеподібна схема фрезерування характеризується тим, що обробка ведеться круговими траєкторіями інструмента вздовж зовнішньої границі, змінюючи відстані між витками спіралі на крок, що дорівнює 0,8 від діаметра фрези, в напрямку до центру поверхні (рис. 2.30, а) або від центру до граничних обмежень (рис. 2.30, б). Ця схема вигідно відрізняється від зигзагоподібної більш плавним характером обробки. Вона забезпечує незмінний напрям фрезерування (по подачі або проти) і не викликає додаткових (крім тих, що на контурі) зламів траєкторії руху фрези. Для обробки «від центру» під захід фрези, як правило, свердлиться отвір.

Якщо оброблювана поверхня круга, то спіралевидна схема перетворюється у спіраль Архімеда, яку важко запрограмувати в ручному режимі математично, тому для круглих поверхонь, передусім вибірок, обробку виконують круговими траєкторіями у вигляді спряжених дуг, якщо програмування ручне.

Під час обробки потужними фрезами великих поверхонь важливо до закінчення процесу не виводити фрезу з металу, щоб не створювати додаткових ударів від врізання. В ході торцевого фрезерування треба також уникати поверхонь з пазами й отворами, бо в місцях зустрічі з ними різальні крайки працюватимуть у незадовільних умовах переривчастого різання. Тому бажано отвори й вибірки виконувати після фрезерування площини, а якщо це неможливо, при підході до такої поверхні треба знизити подачу до 50 % від рекомендованої.

Якщо діаметр фрези перевищує ширину оброблюваної поверхні, для обробки за один прохід вісь фрези треба змістити з осі симетрії, оскільки циклічність колювання сили різання під час врізання й на виході призведуть до вібрацій, унаслідок яких частіше ламаються пластини і погіршується шорсткість поверхні.

Фрезерування напіввідкритих площин виконується кінцевими фрезами за схемою «стрічка» (див. рис. 2.31). Під час обробки за такою схемою глибоких контурів чи високих уступів важливо забезпечити достатню жорсткість інструмента, щоб уникнути його відгинання і, як результат, отримати нахил оброблюваної поверхні, більший за допустимий. Тому бажано, щоб діаметр фрези D задовольняв таку умову: $H < 2,5D$, де H — максимальна висота оброблюваної стінки. Обробку кутів такої

поверхні по радіусу потрібно виконувати фрезою радіусом, меншим за радіус контуру, щоб виключити можливі вібрації в цьому місці через різке збільшення кута обхвату фрези.

Важливим моментом є врізання. Підведення фрези і набір глибини різання, особливо на чистових проходах і за високошвидкісної обробки, треба виконувати плавно, по радіусу, щоб не спричинити поломку фрези або значні дефекти поверхні. Найбільш технологічним є вхід фрези прямо або по дузі іззовні (програмується циклами G64, G65, G66 або командами G02, G03). Для обробки закритих поверхонь це виконати неможливо, і тому врізання здійснюється торцем

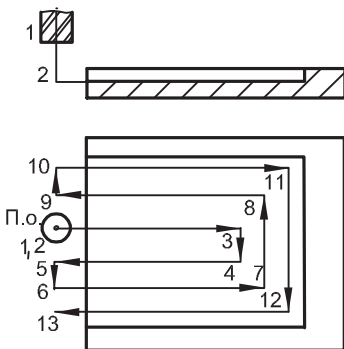


Рис. 2.31. Фрезерування напіввідкритої поверхні

фрези або через попередньо просвердлений отвір. Врізання торцем фрези не завжди можливе за її конструктивними можливостями. Крім того, цей метод неефективний, оскільки фрези погано працюють на свердління, тому застосовують попереднє засвердлювання поверхні або маятникове чи спіральне (кругла вибірка) врізання, за якого глибина різання поступово зростає впродовж проходу.

Фрезерування закритої поверхні розглянемо на прикладі фрезерування наскрізного вікна в стінці циліндричної втулки з товщиною стінки 5 мм (рис. 2.32). Вікно строго орієнтоване відносно інших елементів деталі. Деталь типова, вікна відрізняються лише розмірами B , L та кутом α , тому програму вигідно розробляти в параметрах.

З метою дотримання вимог до точності обробка виконується в послідовності:

1) «пробивання вікна» зворотно-поступальними рухами кінцевої фрези між точками а і б. Обробка починається з координати «0» — це найвища точка на циліндричній поверхні, таким чином забезпечується поступовість врізання фрези;

2) обхід тою ж фрезою контуру вікна. Для цього діаметр фрези зменшують на припуск під остаточну обробку обходом по контуру. Так, для вікна з розмірами $L = 24$, $B = 12$ вибираємо кінцеву фрезу $\varnothing 10,8$, щоб забезпечити припуск на остаточну обробку 0,6 мм на стороні.

Параметри траєкторії руху фрези вираховуємо від розмірів вікна через математичні залежності з рис. 2.32:

$$P3 = \frac{L - B}{2} \sin \alpha, P4 = \frac{L - B}{2} \cos \alpha, P5 = P3, P6 = P4,$$

$$P7 = \frac{B}{2} \cos \alpha, P8 = \frac{B}{2} \sin \alpha.$$

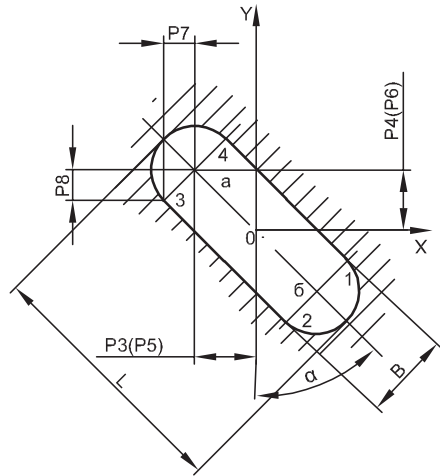


Рис. 2.32. Фрезерування закритої поверхні

Якщо програму розробляти у спеціальній комп'ютерній програмі, розрахунки виконуються автоматично, а програма обробки матиме вигляд:

% 32;
N40P3(8,076);
N45P4(4.679);
N50P5(P3);
N52P6(P4);
N54P7(2.700);
(FREZA 10.8)
N62G90X0Y0;
N64G43D01Z10S600F300M08;
N67G91G01X(-P3)Y(P4);
N68G90Z0;
N69G91G09X(P3+P3)Y(-P4-P4)Z-0.25F250;
N70G09X(-P3-P3)Y(P4+P4)Z-0.25;
N72Q69-70H20;
N73G90G01X0Y0;
N77Q200-212;
N200G91G01G64X(P7+P5)Y(-P6+P8)G42D32F25;
N202G02X(-P7-P7)Y(-P8-P8)I(-P7)J(-P8)F15;
N205G09 G01X(-P5-P5)Y(P6+P6)F25;
N206G02X(P7+P7)Y(P8+P8)I(P7)J(P8)F15;
N208G09G01X(P5+P5)Y(-P6-P6)F25;
N210G90X0Y0D00F300;
N212G00G90Z2;
N78G90G00Z200M05M09;
N80G90X200;
N82M02;

Фрезерування скосів та уклонів на верстатах з ЧПК, як і на універсальних верстатах, виконують:

- нахилом деталі на потрібний кут за допомогою спеціальних пристосувань;
- використанням, коли це можливо, спеціальних кутових фрез;
- на фрезерному верстаті зі шпінделем, поворотним у вертикальній площині, в тому числі й за програмою.

Розглянемо підсумковий приклад обробки деталі (рис. 2.33) на ОЦ 2254ВМФ4 із застосуванням розглянутих операцій.

Матеріал деталі — сталь 45, заготовка — попередньо оброблена по контуру плита товщиною 50 мм. Інструмент: кінцеві фрези, свердла.

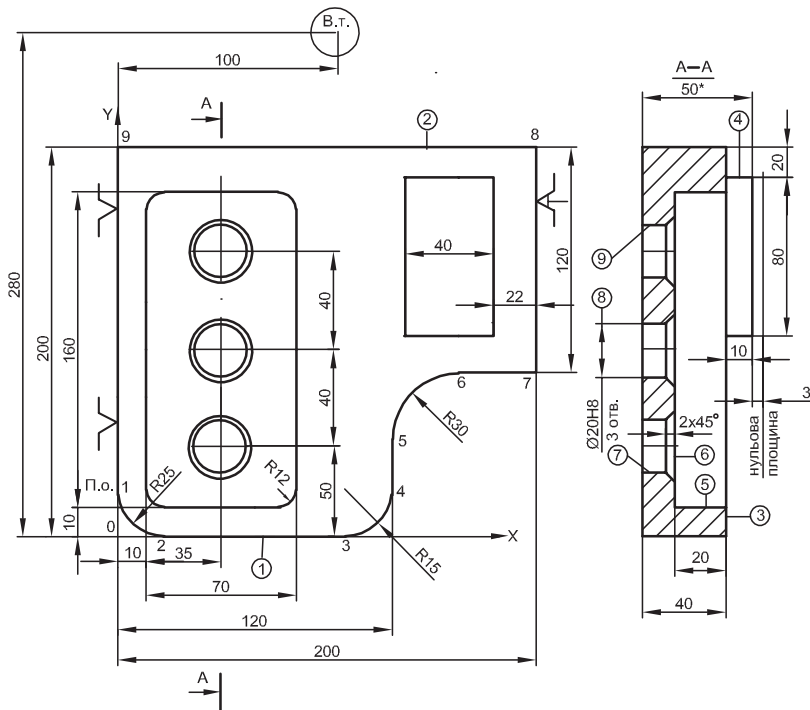


Рис. 2.33. Обробка комплексної деталі «плита»

Для обробки деталь затискуємо в лещатах за попередньо оброблені поверхні.

План операції:

1) обробку контуру: П.о—1—2—3—4—5—6—7 виконати за два проходи з глибиною різання на кожному 28 мм. Оберти шпінделя — 630 об./хв за стрілкою годинника, робоча подача — 60 мм/хв;

2) обробку контуру 8—9 (на рис. поверхня 2) виконати за тими самими режимами;

3) обробку плоскої поверхні 3 виконати за два проходи з глибиною різання на першому проході 7 мм, на другому — 3 мм. Врахувати положення нульової площини по Z — +3 мм. Оберти шпінделя — 630 об./хв за стрілкою годинника, подача — 60 мм/хв;

4) обробку контуру виступу 40×80 (поверхня 4) виконати за тими самими режимами;

5) обробку вибірки 70×160 (поверхні 5, 6) виконати попередньо за чотири проходи з глибиною різання 20 мм і ра-

діальною подачею 5 мм. Оберти шпінделя — 630 об./хв за стрілкою годинника, поздовжня робоча подача — 60 мм/хв;

6) виконати контурну обробку вибірки (поверхня 5) з глибиною різання 20 мм; оберти шпінделя — 630 об./хв за стрілкою годинника, поздовжня робоча подача — 60 мм/хв;

7) виконати обробку трьох отворів (поверхні 7, 8, 9) Ø20H8.

Для обробки зовнішнього контуру застосуємо кінцеву фрезу Ø30 (T01), для обробки площини і контуру виступу 40×80 попередньо і остаточно — кінцеву фрезу Ø60 (T02), для обробки вибірки — кінцеву фрезу Ø20 (T03), для формування технологічного отвору для заходу фрези під час фрезерування вибірки — свердло Ø20 (T10). Для обробки отворів Ø20H8 вибираємо: свердло Ø19 (T04), зенкер Ø19,95 (T05), розвертку Ø20H8 (T06), зенківку для знімання фасок Ø25 (T07).

Програму обробки наведено в табл. 2.11.

Таблиця 2.11

Кадр	Програмовані дії
% 22; (PLITA)	
N10G29;	Вихід в постійні (нульові) точки верстата
N20G71X0Y0Z5T01S0; (FREZAD30)	Вибір системи координат деталі, пошук інструмента T01, кутова орієнтація шпінделя
N30G28M06;	Вихід в позицію заміни інструмента. Заміна
N40G00X-50Y25;	Вихід в точку початку обробки контуру по X і Y
N45G43D01Z10S630M03;	Корекція довжини інструмента, призначення швидкості різання
N50Z-28;	Набір глибини фрезерування контуру
N60G90G01G65 X0Y25G42D31F60;	Вихід на еквідистанту, корекція радіуса фрези при обході контуру праворуч, робоча подача
N70G03X25Y0R25;	Обробка контуру 1 між опорними точками 1—2 радіусом R25 мм, кругова інтерполяція проти стрілки годинника
N80G01X105;	Між точками 2—3 лінійна інтерполяція
N90G03X120Y15R15;	Між точками 3—4 кругова інтерполяція R15 проти стрілки годинника
N100G01Y50;	Між точками 4—5 лінійна інтерполяція
N110G02X150Y80R30;	Між точками 5—6 кругова інтерполяція R30 за стрілкою годинника
N120G01X200;	Між точками 6—7 лінійна інтерполяція

Продовження табл. 2.11

Кадр	Програмовані дії
N130G66Y60F1000;	Відвід фрези по X, Y
N140G00Z10;	Відвід фрези по Z
N150Y250;	Перехід до обробки поверхні 2 від точки 8
N160Z-28;	Набір глибини по Z
N170G91G01 G65X0Y-50F60;	Вихід на обробку поверхні 2
N180G90X0;	Обробка поверхні 2 між точками 8 і 9
N190G66X0Y250F1000;	Вихід з еквідистанти
N200G00Z10;	Відвід фрези по Z
N210X-50Y25;	Вихід в точку початку обробки другого проходу по контуру
N220Z-55;	Набір повної глибини обробки
N230Q60-150;	Повтор кадрів обробки контуру до точки 8
N240Z-55T02; (FREZAD60)	Набір глибини пошук інструмента T02
N250Q170-200;	Обробка поверхні 2 між точками 8—9
N260S0;	Орієнтована зупинка шпінделя
N270G28M06;	Заміна інструмента
N280X-32Y-32;	Вихід в точку початку обробки поверхні 3
N290G43D0Z-10;	Корекція фрези по довжині, глибина фрезерування 7 мм
N300L1P1(17)P2(265)H4;	Обробка поверхні 3 за підпрограмою L1
N310G90G00X106Y70;	Вихід в точку початку обробки контуру виступу 40×80 (поверхня 4)
N320G01G64X138Y100 G42D32F60S630M08;	Вихід на еквідистанту, корекція радіуса фрези, обхід праворуч, призначення режимів обробки, подача ЗОР
N330X178G37;	Обхід поверхні 4 (виступу) по контуру. Обхід кутів за допомогою циклу G37 забезпечує їх гостровершинність
N340Y180G37;	
N350X138G37;	
N360Y100G30;	Зняття циклу обходу кутів
N370G66X100Y100F1000;	Вихід з контуру обробки виступу 4
N380G00X-32Y-32T10; (SVERDLOD20)	Повернення в точку початку обробки площини 3, пошук наступного інструмента
N390Z-13;	Набір глибини фрезерування на другому проході (3 мм)
N400Q300-370;	Фрезерування поверхні 3 і 4 повторно
N410S0;	Кутова орієнтація шпінделя
N420G28M06;	Заміна інструмента
N430X25Y25 T3; (FREZAD20)	Вихід в точку початку обробки вибірки (поверхні 5 і 6), пошук наступного інструмента

Продовження табл. 2.11

Кадр	Програмовані дії
N440G43D10Z10S500M03;	Корекція довжини свердла, призначення режимів обробки
N450G81A10B10Z-20F40;	Свердління отвору для входу фрези
N460G80;	Відміна циклу свердління
N470G28M06;	Заміна інструмента на фрезу
N475G01G43D03Z-20F30;	Корекція довжини фрези, подача на глибину фрезерування по отвору
N480G19Y155S630F30M08;	Обробка в площині YZ. Призначення режимів обробки, подача ЗОР
N490L2P3(5)P4(130)H4;	Обробка вибірки (поверхні 5 і 6) за підпрограмою L2, заданою параметрами, чотири повтори
N520GOOX45Y90;	Вихід в точку початку обробки вибірки по контуру 5
N530G65G01X80Y90 G41D33F20;	Вихід на контур, корекція радіуса фрези, призначення режимів обробки
N540Y158;	Обхід вибірки по контуру 5
N550G03X68Y170R12;	
N560G01X22;	
N570G03X10Y158R12;	
N580G01Y22;	
N590C03X22Y10R12;	
N600G01X68;	
N610G03X80Y22R12;	
N620G01Y90;	
N630G66X45Y90F1000;	Вихід фрези з контуру 5
N640S0T04; (SVERDLOD19,7)	Орієнтована зупинка шпінделя, пошук інструмента T04
N650G28M06;	Заміна інструмента
N660X45Y50F100S800T05; (ZENKERD19,9)	Вихід в точку свердління отвору 7, призначення режимів, пошук інструмента T05
N670G43D04Z10M08;	Корекція довжини свердла T04, подача ЗОР
N680G81Z-60A-20B-20;	Свердління отвору 7
N690Y90;	Свердління отворів 8 і 9
N700Y130;	
N710G80S0;	Відміна циклу свердління, кутова орієнтація шпінделя
N720G28M06;	Заміна інструмента
N730X45Y50F60S630T06; (ROZVERTKAD20H8)	Вихід в отвір 7, призначення режимів обробки, пошук розвертки, T06
N740G43D05Z10;	Корекція довжини зенкера

Закінчення табл. 2.11

Кадр	Програмовані дії
N750Q680-720;	Зенкерування отворів 7, 8, 9
N760X45Y50F40S80T07; (ZENKIVKAD25)	Вихід в отвір 7, призначення режимів обробки, пошук зенківки T07
N770G43D06Z10 M08;	Корекція довжини розвертки, подача ЗОР
N780G85Z-60A-18B-18;	Цикл розвірчування
N790Q690-710;	Розвірчування отворів 7, 8, 9
N800X45Y50F40S400T01; (FREZAD30)	Вихід в отвір 7, призначення режимів, пошук фрези T01
N810G43D07Z10 M08;	Корекція дожини зенківки, подача ЗОР
N820G81Z-22A-18B-18;	Знімання фасок на отворах 7, 8, 9. Відміна циклу. Кутова орієнтація шпінделя
N830Q690-710;	
N800M30;	Кінець програми
L1;	Підпрограма 1
N10G91G00X(P1);	Прискорений рух по X на P1 = 17 мм
N20G01Y(P2)S500F60;	Фрезерування за схемою «зигзаг» 1-го відрізка
N30G00X(P1);	Прискорене зміщення по X
N40G01Y(-P2);	Фрезерування 2-го відрізка у зворотному напрямі
N50M20;	Кінець підпрограми
L2;	Підпрограма 2
N10G91G01Y(P4)F40S400;	Фрезерування по схемі «зигзаг». Робочий рух по осі Y
N20X(P3);	Робочий рух по осі X
N30Y(-P4);	Фрезерування у зворотному напрямі
N40X(P3);	Робочий рух по осі X
N50M20;	Кінець підпрограми

Після розроблення та перед застосуванням програми обробки її слід перевірити на правильність і відсутність помилок випадкового характеру, використовуючи всі доступні методи (див. параграф 2.18).

2.18. Розробка програми вручну, її верифікація. Перевірка на верстаті

Програма керування процесом металообробки на верстатах з ЧПК може бути записана вручну двома способами:

- з клавіатури пристрою ЧПК;
- на персональному комп'ютері з подальшим передаванням до пристрою ЧПК.

Програмування з пристроєм ЧПК ефективно тільки для простих малокадрових програм, тому що:

— ручне введення фізично заважає оператору в роботі з іншими деталями, крім випадків вмонтованих САМ-систем (див. параграф 2.21);

— робота з клавіатури пульта незручна і має менше можливостей.

Сучасний розвиток систем ЧПК та вдосконалення їх інтерфейсу дають змогу оператору під час розробки програми за пультом верстата візуалізувати траєкторію руху інструмента, певною мірою виконати початкову перевірку програми. Є системи ЧПК, які пропонують свою діалогову мову програмування в режимі: «запитання — відповідь», яка полегшує процес спілкування оператора з ПЧПК. У сучасних пристроях ЧПК оператор може зберігати шаблони програм обробки однотипних деталей і поверхонь. Це активізувало процес розробки керуючої програми безпосередньо за верстатом.

Більш ефективним, особливо для великих за обсягом програм, є написання тексту програми на комп'ютері в одному з текстових редакторів. Існують текстові редактори, створені спеціально для роботи з кодом програми. В них передбачено автоматичне виконання ряду операцій, які полегшують набір та читання тексту, — наприклад, автоматична нумерація кадрів кроком через 2, 5 або 10, для позначення кінця кадру в них не потрібно ставити розділовий знак «;». Такі редактори мають інструменти для графічної перевірки програми та її трансляції на верстат, інші можливості.

Наприклад, найвідоміший текстовий редактор керуючих програм «*Cimco Edit*» використовується як для набору керуючих програм вручну, так і для перевірки готових.

Текст програми можна вводити в розділі «Editor» (редактор), безпосередньо набираючи його на клавіатурі або користуючись наведеним на екрані переліком G-кодів — клікнути двічі на потрібній команді. На правій половині екрана розроблюваний текст може візуалізуватися. Прискорити складання програми в «*Cimco Edit*» дозволяє набір макросів для типових фрагментів тексту і типових операцій обробки: початок і закінчення програми; фрезерування згідно з усталеною стратегією: контуру, площини, кармана, символів, літер або циклів; токарна обробка чистова і чорнова, підрізання торців, осьове свердління, нарізання різьби, канавок тощо.

У редакторі «Cimco Edit» для розробки програми можна спочатку створити в розділі «Drowing window» траєкторії руху інструментів, а потім їх конвертувати в текст програми для передачі у пристрій ЧПК. Для цього в «Drowing window» є достатня кількість графічних інструментів. Рух різального інструмента призначається згідно з алгоритмом:

- 1) вибір точки початку обробки;
- 2) вибір траєкторії і напрямку руху;
- 3) позначення напрямку руху стрілкою;
- 4) у точках перетину ліній уточнення напрямку подальшого руху;
- 5) завершення формування контуру поверненням у вихідну точку.

Натиснувши кнопку «Export Edit», у розділі «Editor» отримуємо текст програми.

Програміст або оператор проглядає текст, вносить режими обробки, інші необхідні доповнення й виправлення. Для полегшення читання при наведенні курсору на позначення команд виводяться підказки — призначення функції.

У редакторі «Cimco Edit» можна виконувати всі типові дії, характерні для редагування: копіювати, вставити або видалити будь-який фрагмент програми, автоматично змінювати одні дані на інші, переходити на потрібний номер кадру, змінювати нумерацію кадрів, швидко знайти відмінні у двох ідентичних програмах кадри тощо. Текст програми можна відтворити у різних кольорах: наприклад, кадри прискороного руху (G00) — червоні, лінійної інтерполяції — зелені, кругової інтерполяції — голубі, кадри підготовчих та допоміжних функцій — чорні.

Функція «прийом — передача» забезпечує передавання керуючої програми через постпроцесор RS-232 або USB на різні пристрої ЧПК верстатів, використовується для роботи в режимі прямого числового вводу програми з комп'ютера в пристрій ЧПК під час обробки (у разі великих за обсягом програм).

Функція «Статистика траєкторії» в «Cimco Edit» автоматично визначає максимальні й мінімальні координати програми, стрічковий час, машинний час роботи кожного інструмента, іншу важливу інформацію.

Функція «Backplot» візуалізує 3D-фрезерні і 2D-токарні програми: забезпечує об'ємне зображення траєкторій руху інструментів, контурів деталі з перевіркою на зіткнення і

зарізи. Вимірюванням на зображенні контролюється відповідність розмірів оброблюваних поверхонь запрограмованим значенням.

Останні версії редактора «Cimco Edit» мають навчальну вкладку, що на прикладах простих програм показує, як користуватись редактором (докладніше в Додатку 3).

Перевірка тексту керуючої програми на правильність є важливим етапом її розробки. Помилки під час написання тексту можуть спричинити: поломку інструмента, брак деталі, пошкодження верстата і, що найгірше, травмування оператора. Тому в ході розробки на комп'ютері програма зазвичай перевіряється візуалізацією траєкторій руху інструментів або цілковитою імітацією процесу обробки на верстаті, включаючи видалення стружки, — так звану симуляцію обробки, під час якої віртуальний інструмент оброблює віртуальну деталь. У редакторі «Cimco Edit» це передбачено.

Передусім помилку можна побачити, спостерігаючи за траєкторією руху інструмента. Така перевірка називається *бекплотом* (від англ. *Backplot*). Наприклад, у кадрі N80 (див. нижче) випадково не проставлено крапку, її в тексті можна й не побачити, особливо якщо програма об'ємна, а бекплот це відразу покаже на переміщенні інструмента, відмінному від очікуваного:

Правильно
N70G01X5Y50
N80X10Y5.0

Неправильно
N70G01X5Y50
N80X10Y50

Потужним інструментом перевірки керуючої програми на комп'ютері є твердотільна верифікація (від англ. *Verifikation* — перевірка). Ця перевірка демонструє процес видалення стружки, показує модель заготовки і результат обробки — модель готової деталі. «Віртуально» отриману на екрані деталь в об'ємному зображенні можна обертати, змінювати масштаб, щоб якомога детальніше роздивитися з усіх боків і переконатися, що всі елементи майбутньої деталі будуть виконані правильно, а на поверхні не виявиться дефектів від врізів або зіткнень інструмента з деталлю. Динамічна симуляція обробки дає змогу стежити за процесом покрокового видалення металу шар за шаром, поверхня за поверхнею. Застосовують

твердотільну верифікацію на завершальному етапі підготовки й перевірки програми. На окремих етапах відпрацювання використовують бекплот. Можливість порівняння розмірів отриманої після віртуальної обробки деталі з її конструкторською версією гарантує точність на стадії розробки програми.

Після розробки та комп'ютерної перевірки програма передається з комп'ютера в пристрій ЧПК верстата. Для цього існує спеціальне комунікаційне програмне забезпечення, наприклад RS-232 або USB. Комп'ютер і пристрій ЧПК з'єднуються через спеціальний провід. Синхронізують пристрій ЧПК із комунікаційною програмою відповідною настройкою їх параметрів.

У верстатах, обладнаних власними дисководами, програму можна передавати через дискету або флешку.

Розглянута перевірка програми у разі створення віртуальної ситуації обробки на екрані комп'ютера (симуляція обробки) є важливою, але не дає остаточної відповіді щодо її придатності для застосування, враховуючи поведінку системи верстат — пристосування — інструмент — деталь під час силових і теплових процесів різання, можливих відхилень у роботі пристрою ЧПК при зчитуванні тексту програми. На екрані комп'ютера також не можна побачити відсутність у програмі таких команд, як обертання шпінделя і його напрям, подачу ЗОР, помилки оператора під час внесення корекції на довжину й радіус інструмента, розташування у гніздах магазину. Все це може мати місце і призвести до небажаних наслідків — браку деталі.

Тому *остаточну перевірку програми виконують на верстаті призначення*. Для цього перед обробкою деталі здійснюють тестовий «прогін» програми холостим ходом. Якщо заблокувати рух по Z, то можна перевірити координати X і Y.

Режим покадрового відпрацювання дає змогу перевірити координати кожного кадру — система ЧПК зупиняє роботу в кінці кожного кадру до натискування клавіші «Пуск». Оператор перевіряє, чи прийшов інструмент у запрограмовану точку правильно. Покадрове відпрацювання може виконуватися в режимі холостого ходу або з «піднятою» нульовою площиною деталі.

Контроль правильності переміщень можна здійснювати через екранний режим, візуально, відстежуючи пройдені

інструментом відстані й відрізки, що залишилися до кінця кадру. Оператор спостерігає і зрівнює відстані до кінця кадру на екрані й реальні на верстаті. Наприклад, візуально фрези до оброблюваної поверхні лишилося пройти близько 50 мм, а на екрані висвітлюється 100 мм. Якщо фреза їх пройде, то вріжеться в деталь. Це є сигналом для негайної зупинки, виявлення і виправлення помилки, щоб запобігти аварії.

Програму можна перевірити, піднявши по Z нульову площину на висоту, більшу за найглибше переміщення інструмента під час обробки. В цьому разі хід виконання програми відповідатиме задуму програміста, з тією різницею, що інструмент різатиме повітря.

Найреалістичнішим способом перевірки програми є обробка деталі, де, крім зазначеного, враховуються всі можливі деформації системи верстат — пристосування — інструмент — деталь, а також дрібні за масштабом помилки програміста і відхилення в роботі пристрою ЧПК. Для цього бажано використати браковану заготовку. Якщо заготовок багато і вони переважно невеликі й прості, беруть саму деталь. Для складних, обмежених за кількістю деталей використовують заготовку з пластика, дерева або спеціального воску, хоча виявлені у цьому разі похибки можуть бути необ'єктивними через деформації від дії сили різання. Досвідчений програміст так досконало перевіряє не всю програму, а лише окремі її фрагменти, для аналізу яких можна використати заготовки, відмінні від цілої деталі.

У табл. 2.12 наведено перелік помилок, що трапляються найчастіше під час розробки програми, та їх можливі наслідки.

Після перевірки програми і виконання всіх налагоджувальних робіт обробляють першу деталь. Якщо заготовка складна і коштує дорого, деталь, по можливості, не обробляють відразу остаточно, контролюючи результати пробних проходів. Першу виготовлену деталь здають контролеру, за потреби вносять поправки в карту наладки й керуючу програму і переходять до обробки партії. Якщо верстат не оснащений системою активного контролю, оператор, керуючись власним досвідом і зважаючи на умови обробки, встановлює періодичність контролю деталей, для чого використовує у програмі кадр із позначкою «/».

Таблиця 2.12

№ з/п	Сутність помилки	Можливі наслідки
1	Не ввімкнено вчасно подачу ЗОР (у тексті програми пропущено M08)	Знижена стійкість інструмента, погіршена шорсткість поверхні
2	Не ввімкнено оберти шпінделя (пропущено M03 або M04)	Зіпсовані інструмент і заготовка
3	Неправильні режими обробки	Якщо надто завищені, може зрушити з місця заготовка, зіпсуватися різальна крайка інструмента
4	Помилка в розташуванні інструмента в магазині	Неправильна деталь або аварійна ситуація в зоні обробки
5	Перекручена послідовність переходів (наприклад: спочатку нарізання різьби, потім обробка поверхні під різьбу)	Зіпсовані інструмент і заготовка
6	В коректорі введено неправильні значення	Зіпсовані інструмент і заготовка, неправильні розміри деталі
7	Рухаючись по G00, інструмент наїхав на пристосування	Зламаний інструмент, зіпсоване пристосування
8	Оператор неправильно «прив'язав» інструмент по Z	Зіпсовані інструмент і заготовка, неправильні розміри деталі

Розглянуте програмування і контроль називають ручним, тому що програму складає технолог-програміст, описуючи кадр за кадром рух задіяних інструментів для перетворення заготовки в заплановану деталь. Якщо програма за розмірами велика, то процес її створення кропіткий і тривалий, проте з технікою ручного програмування має бути обізнаний кожен програміст-технолог, незалежно від того, якими сучасними методами програмування він користується. Це як буквар школяру для подальшої освіти.

2.19. Програмування з пристрою ЧПК мовою діалогу фірми «Heidenhain»

Для полегшення розробки керуючих програм оператором або наладчиком з пристрою ЧПК фірма «Heidenhain» розробила спеціальну мову для діалогового програмування. Вона виявилась успішною. На багатьох її положеннях ґрунтується розробка нового міжнародного стандарту на програмування для верстатів з ЧПК — «STEP — NC» або ISO 14649. Особливість мови полягає в тому, що позначення функцій G і M замінили на більш зрозумілі оператору слова, які відображають суть команди. Розглянемо основні з них.

Лінійна інтерполяція відображена словом L (від англ. *Line* — лінія); наприклад, переміщення в точку з координатами 80; 90 запрограмується: L X80 Y90 F60;

Прискорений рух позначається FMAX — зрозуміло.

Кругова інтерполяція позначається словом C (від англ. *CIRCLE* — коло), а центр дуги позначається як CC (від англ. *CIRCLE CENTER*). Якщо дуга менша за 180°, кругову інтерполяцію позначають DR+, а якщо більша — DR-.

Наприклад, переміщення по дузі в координату (-40; 48) можна запрограмувати кадрами:

N10 CC X-30 Y+20; — координати центру дуги;

N20 CX-40 Y+48; — переміщення по дузі в кінцеву точку.

Корекція на радіус інструмента при обході контуру зліва позначається як RL, а справа — RR, наприклад, L X80 RL — лінійне переміщення, фреза зліва.

Замість вводу в програму корекції на довжину інструмента виконують його ініціалізацію — активацію геометричних параметрів у пам'яті ПЧПК.

Таблиця 2.13

Кадр	Виконувані дії
% 39; (KRYSHKA,KONTUR)	
N10 BEGIN PGM 0 MM;	Вихід в початок координат
N20 TOOL DEF 3; (FREZA D30)	Ініціалізація інструмента N3
N30 TOOL CALL 3 S800 M03;	Виклик інструмента N3, режими
N40 L X-20 Y140 FMAX;	Позиціонування по X і Y у точку початку обробки
N50 L Z10 FMAX;	Підхід фрези по Z до оброблюваного контуру прискореним рухом
N60 L Z-17 FMAX M08;	Опускання фрези в робочу позицію, подача ЗОР
N70 L X0 F80;	Підхід фрези в точку початку обробки
N80 CC X10 Y140;	Координати центру дуги
N90 CX10 Y150;	Обробка контуру 1—2—3—4—5—6—7—8—1 з рис. 2.34 і відвід фрези із зони обробки
N100 LX140;	
N110 CC X140 Y140;	
N120 CX150 Y140;	
N130 LY10;	
N140 CC X140 Y10;	
N150 CX140 Y0;	
N160 LX10;	
N170 CCX10 Y10;	
N175 CX0 Y10	
N180 LY170;	
N190 LZ400 FMAX M09;	Відвід фрези по Z
N200 X250 Y200 FMAX;	Відвід фрези по XY в точку заміни деталі
N210 M02;	Кінець програми
N210 END PGM 0 MM;	Повернення в початок обробки

Наприклад:

TOOL DEF 3 — ініціалізація даних інструмента №3,

TOOL CALL 3 — виклик інструмента №3.

Розглянемо приклад програмування обробки контуру деталі (рис. 2.34, табл. 2.13).

Як бачимо з програми, для англомовного оператора позначення багатьох команд схоже на слово, яким називається цей параметр або команда, що значно полегшує його роботу з розробки або читання програми.

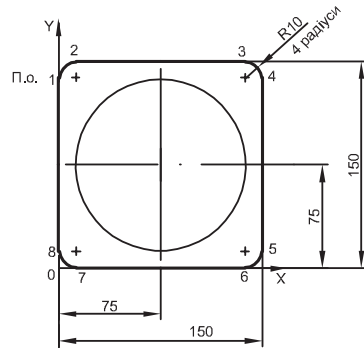


Рис. 2.34. Контурна обробка деталі «кришка» в «Heidenhain»

2.20. Точність обробки на верстатах з ЧПК. Контрольно-вимірjuвальні системи (КВС). Програмне базування

Головні показники якості обробки на верстаті з ЧПК — це точність дотримання розмірів оброблюваних поверхонь та їх геометричної орієнтації, шорсткість і хвилястість поверхні. Нижче розглянемо основні фактори, що на них впливають.

1. Точність верстата, яка визначається точністю геометричних форм і відносного положення опорних поверхонь, що базують заготовку й інструмент, точністю рухів по напрямних робочих органів верстата, точністю лінійного позиціонування робочих органів, точністю переміщень під час кругової інтерполяції, точністю повернення робочих органів у початкове положення, стабільністю виходу робочих органів у задану точку, стабільністю положення інструмента після автоматичної заміни.

2. Точність системи керування зумовлюється відхиленням відпрацьованої траєкторії від заданої; неточністю у передачі руху приводами подач, наприклад у ходових гвинтах, колесах зубчастих передач та ін.; похибкою апроксимації дуги кола прямими відрізками, яка перебуває в межах ціни імпульсу (для сучасних верстатів 0,001–0,002 мм), останнє може спричинити збільшення шорсткості поверхні, не впливаючи на геометричну точність.

3. Похибка установки і закріплення заготовки. Виникає в разі несуміщення установочних і вимірювальних баз. Для її мінімізації важливо вимірювальну базу обробити з тієї ж установки, що й установочну, розміри якої підлягають контролю. Наприклад, під час контролю поздовжніх розмірів, витримуваних на токарному верстаті з ЧПК від правого торця, бажано почати обробку з його підрізки.

Крім зазначеного, на точність обробки впливають якість базових поверхонь, спосіб і стабільність кріплення заготовки.

4. Похибка настроювання інструмента на розмір, визначається точністю застосовуваного вимірювального приладу і системою закріплення настроєного інструмента.

5. Похибка налагодження верстата на виконуваних розміри. Виникає через неможливість розташувати деталь та інструмент точно в розрахованому положенні, від якого відраховуються робочі переміщення. Для зменшення цієї похибки наладчик часто виконує пробні проходи для подальшого корегування координат обробки. Ця похибка виникає також по мірі зношування інструмента, нагрівання і деформації вузлів верстата. Для її зменшення наладчик періодично може виконувати так звану підналадку, вносячи корекцію в положення інструмента й деталі. Знаючи інтенсивність цих процесів, досвідчений наладчик чи оператор періодично вносить потрібну корекцію або передбачає її в тексті програми через певні проміжки часу або визначену кількість деталей.

6. Похибка виготовлення мірного інструменту. Такі інструменти, як свердла, шпонкові фрези, розвертки тощо, можуть давати погрішність обробки як через неточність діаметра, так і внаслідок їх биття при закріпленні в допоміжному інструменті.

У разі точної токарної обробки (чистові операції) слід враховувати радіус на вершині різця корекціями, в окремих випадках проводити його вимірювання в лабораторних умовах, розраховувати еквідистанту.

7. Жорсткість системи верстат — пристосування — інструмент — деталь. Жорсткість пружної системи — це її спроможність чинити опір діючим силам закріплення, різання та ін. — що більші сили різання, то більше навантаження на систему, то вище значення виниклих погрішностей. Для їх зниження зменшують припуск на один прохід (глибину різання). Повторювану частину похибок можна

компенсувати через корекції. Залишаються некомпенсованими ті, що викликані коливанням припуску заготовки, її твердості й ін. Верстати з ЧПК, порівняно з їх універсальними аналогами, жорсткіші на 40–50 %. Це зменшує вказані погрішності, хоча і не усуває їх остаточно.

8. Теплові деформації вузлів верстата й деформації від внутрішніх напружень деталі. Теплові деформації інтенсивно впливають на заготовку на початку обробки, поки рухомі вузли верстата не прогрілися до якогось стабільного значення. Для мінімізації їх впливу потрібно верстат перед початком оброблення прогріти роботою на холостому ході.

Теплові деформації заготовки під час обробки зменшують подачею в зону різання ЗОР. Знімаючи шари металу із заготовки, вивільняють її внутрішні напруження різного походження (спосіб отримання, додаткова термічна обробка, особливо гартуванням, тощо). Що більший об'єм металу знімається, то більше цих напружень вивільняється і збільшуються відхилення форми деталі після обробки. Зменшити вплив цього явища можна розділенням обробки на чорнову і чистову операції, між якими провести термічне старіння деталі.

Чимало із зазначених похибок мають систематичний характер, їх можна усунути або звести до мінімуму в ході налагодження верстата (див. параграфи 2.4 і 3.2) корекціями на траєкторію руху інструмента.

Під час обробки виникають пружні, температурні деформації, тертя, коливання, які спричиняють зміни розмірів і відносні повороти поверхонь. Це призводить до відхилення положення баз верстата та відхилення від заданої точності руху інструмента. Зазначені процеси нестабільні, тому зумовлені ними похибки мають розсіювальний характер і врахувати їх математично неможливо.

Завдання усунення цих похибок найкраще виконують системи адаптивного зв'язку (див. параграф 1.3). Під час процесу різання за допомогою датчиків силових параметрів (сили або моменту різання), датчиків температури, деформацій, вібрацій, зміщень тощо вимірюють параметри настроювання для забезпечення їх корекції. Керування точністю обробки здійснюється через датчики зворотного зв'язку приводами подач.

Система керування, яка працює на основі спільного використання інформації, що задається, та інформації зво-

ротного зв'язку, називається замкненою системою керування.

За даними сучасної статистики, точність і стабільність обробки на такому верстаті ЧПК порівняно з його універсальним аналогом на 20–25 % вища.

Наявність системи зворотного зв'язку ускладнює та здорожує верстат з ЧПК, хоча не завжди вирішує поставлене завдання точності обробки остаточно.

Контрольно-вимірювальні системи (КВС). Для подальшого підвищення точності і стабільності обробки на верстатах з ЧПК в сучасній металообробці застосовують спеціальні контрольно-вимірювальні системи, принцип дії яких базується на обході контрольованої деталі в робочій позиції на верстаті спеціальним щупом-датчиком (контактним або безконтактним), за результатами сигналів якого створюється геометричний образ вимірюваної поверхні. КВС порівнює цю геометрію з даними, введеними в пристрій ЧПК керуючою програмою, або даними креслення, імпортованого з САД-системи, і видає файл з результатами вимірювання та, за потреби, команду на введення корекцій. Система особливо ефективна для вимірювання й контролю закріплених на верстаті габаритних деталей великої ваги, зрушення з місця яких для вимірювання небажане, бо потім, за необхідності дообробки, розмістити важку деталь на верстаті абсолютно так само і в тому самому місці практично неможливо. Наприклад, якщо контроль показав, що до остаточного розміру залишився зовсім незначний шар металу, співмірний із точністю повторної установки на верстаті, виникає реальна небезпека браку.

Для контролю таких деталей у робочій позиції на верстаті створено спеціальні переносні координатно-вимірювальні машини (КВМ) [6], виконані у вигляді маніпулятора. Машина складається з плити, яка може через магніти кріпитися в довільній точці верстата до його металевої частини, і кількох з'єднаних між собою шарнірних колін (конструкція нагадує будову людської руки). В кожному шарнірі є датчик контролю кутових переміщень, який відстежує поворот коліна, в результаті цього програмне забезпечення прораховує координати вершини відкаліброваного щупа, що контактує з точками оброблюваної поверхні в заданій системі координат і фіксує їх у файлі вимірювальної програми комп'ютера. Це можуть бути або абсолютні значен-

ня вимірювання, або відхилення вимірюваного розміру від його значення в кресленні. Залежно від кількості колін КВМ може бути з шістьма або сімома ступенями свободи. Робоча зона такої КВМ — сфера діаметром, залежно від моделі, 1,2; 1,8; 2,4; 3,0; 3,7 метра (вказано для КВМ FARO). Завдяки шарнірним з'єднанням щуп може легко потрапити практично в кожну точку всередині сфери, тому всі розміри, що підлягають контролю (вимірюванню), можна опрацювати одним прибором — КВМ. Результати вимірювань можна отримати текстовим файлом або у графічному вигляді. Точність контролю такою КВМ, наприклад FARO — $\pm 0,016$ мм, стабільність — $\pm 0,006$ мм. Довжина вимірювання при цьому 1,2÷3,6 м. Машина стійка до вібрацій та ударів, має перезарядне безперебійне джерело живлення «FARO Powerhouse» (працює 8 годин без підзарядки). Це дозволяє використовувати її в жорстких умовах механічного цеху.

Існують також спеціальні програми контролю та вимірювання деталі на робочому місці верстата з ЧПК (ADEM-VX, PowerINSPECT OMV (від англ. *On-Machine Verification* — перевірка на верстаті) та ін., для роботи яких верстат оснащується спеціальною вимірювальною головкою. Розташовується вона, як і звичайний різальний інструмент, у гнізді інструментального магазину оброблювального центру чи револьверній головці токарного верстата. Для роботи так само встановлюється в шпінделі ОЦ чи індексується в револьверній головці токарного верстата. Пристрій ЧПК такого верстата повинен забезпечити набір стандартних і спеціальних циклів вимірювання. Прості вимірювання програмує та виконує з пристроєм ЧПК оператор.

Наприклад, для вимірювання (контролю) відстані між осями паза й отвору на рис. 2.35 оператору необхідно запрограмувати і виконати такі дії:

- 1) використати цикл вимірювання паза, виміряти і записати координату X_1 його осі;
- 2) використати цикл вимірювання отвору, виміряти і записати координату X_2 його центру;
- 3) знайти значення відстані A простим відніманням: $A = X_1 - X_2$.

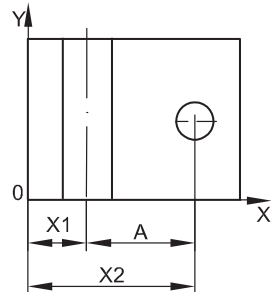


Рис. 2.35. Приклад вимірювання за програмою

Такий контроль оператор виконує періодично, через установлений проміжок часу чи кількість деталей, використовуючи для цього кадр керуючої програми з позначкою «/».

Для деталей, де елементи вимірювання розташовані в різних площинах, поверхні складні за формою, їх багато, процес програмування вимірювань значно ускладнюється. Розробку програми контролю (вимірювання) такої деталі виконує вже кваліфікований технолог-програміст в одній із призначених для цього комп'ютерних програм, використовуючи креслення, імпортовані з САД-системи, або створює їх самостійно в даній програмі.

Вимірювання та контроль можна виконувати як після повної обробки деталі, так і в довільному місці процесу обробки за керуючою програмою. Результат контролю (вимірювання) виводиться у спеціальний файл-звіт — текстовий або графічний.

Такі програми ефективно застосовуються для корегування або встановлення системи відліку деталі (початку координат). Найчастіше це відбувається за потреби дообробки деталі після вимірювання на стаціонарній КВМ, а також під час обробки деталей, що не мають установлених базових елементів, наприклад лопатки турбін, компресорних коліс, криволінійні тонкостінні деталі з аеродинамічним профілем, масивні деталі, які важко розташувати на столі верстата. Вимірявши таку деталь, КВС (наприклад, PowerINSPECT OMV) може визначити, наскільки місце її розташування і кут повороту не збігаються з передбаченими керуючою програмою. За отриманими даними корегують або положення системи координат деталі через пристрій ЧПК, або елементи наладки (див. рис. 2.36, а).

На рис. 2.36 наведено приклади визначення точки початку відліку (системи координат деталі), що зустрічаються найчастіше, за допомогою КВС і контактного датчика:

а) за програмою КВС щупом контактного датчика через координати точок 1 і 2 визначається кут нахилу базової сторони деталі α . Його компенсацію можна виконати поворотом системи координат деталі ($X'Y'$) або, якщо дозволяє обладнання, поворотом стола (ОЦ 2204ВМФ4);

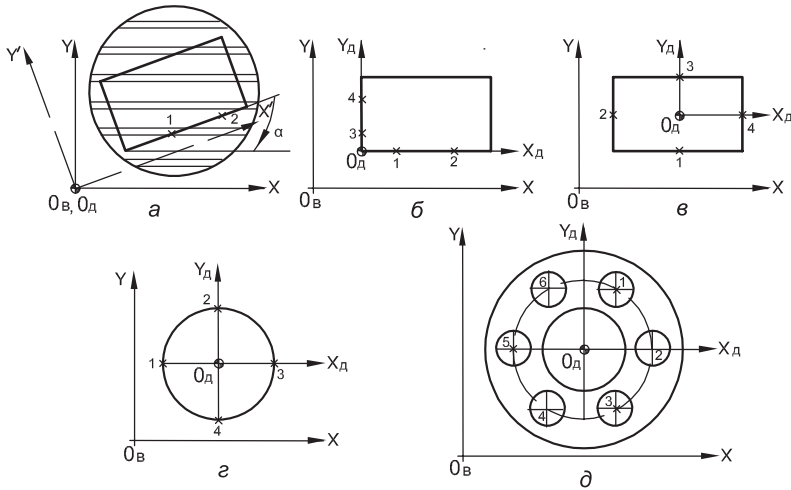
б) за допомогою щупа контактного датчика знімаються координати точок 1, 2, 3, 4. По них КВС визначає в координатній системі верстата координати вершини зовнішнього кута прямокутної деталі або її елемента (виступ, вибірка),

де призначено початок системи координат деталі під час розробки керуючої програми;

в) по координатах точок 1, 2, 3, 4, отриманих за допомогою щупа, КВС розраховує координати центру прямокутної деталі в системі координат верстата, прийняті за початок координат деталі під час розробки програми;

г) по координатах точок 1, 2, 3, 4, отриманих за допомогою щупа, КВС розраховує координати центру кола, що описує зовнішню чи внутрішню оброблювану поверхню, які прийняті за початок відліку під час розробки керуючої програми. Методику визначення координат універсальними засобами розглянуто в параграфі 2.4;

д) по координатах осей трьох (1, 3, 5) із шести отворів, що визначені за допомогою щупа вимірювальної головки, КВС розраховує координати центру кола, на якому отвори розташовані. Під час розробки керуючої програми даний центр прийнято за початок відліку.



x - точки контакту щупа

Рис. 2.36. Використання КВС у налагодженні деталі

Розглянуті методи визначення початку координат деталі називають **програмним базуванням** — положення деталі відносно базових точок верстата визначається не установочними елементами пристрою, а результатами вимірювання за програмою.

Метод можна використовувати також для вимірювання заготовки перед обробкою, з подальшим корегуванням початку відліку для найбільш сприятливого розподілу припуску, що зніматиметься на операції. Це робить процес обробки гнучкішим, дає можливість оператору, технологу і наладчику втручатися в обробку, поліпшуючи хід процесу в потрібному напрямі, що особливо актуально під час оброблювання відливок складної форми.

Для високоточного оброблення деталей на токарних верстатах з ЧПК використовують активний контроль поверхні під час знімання припуску за допомогою контактних або безконтактних датчиків. Найбільш поширеною є схема, де один з датчиків (вимірювальна головка інструмента), встановлений на передній бабці верстата, контролює положення різальної крайки інструмента, закріпленого в револьверній головці. Другий (вимірювальна головка деталі), встановлений у гнізді револьверної головки, контролює розмір і шорсткість оброблюваної поверхні. У разі виходу вершини різця за межі поля допуску або погіршення шорсткості поверхні датчики подають сигнал у пристрій ЧПК на зміну в керуючій програмі відповідної координати і режиму різання або зупиняють обробку для ручного вводу корекції.

2.21. CAD/CAM/CAE-системи. Адитивні технології

Як уже зазначалося, в сучасному машинобудуванні зростає кількість деталей складної тривимірної форми — пуансони, матриці, моделі точного литва, вимірювальні шаблони і контршаблони, лопатки турбін, лопасті, кулачки верстатів-автоматів тощо. Водночас ускладнюється конструкція верстатів для їх виготовлення. Нині впроваджені у виробництво фрезерні верстати три-, чотири- і п'ятикоординатної обробки. Ручне програмування в таких випадках неймовірно трудомістке, а інколи навіть неможливе, якщо йдеться про тривимірні поверхні, описані складними математичними відношеннями.

Розвиток комп'ютерних та інформаційних технологій зумовив появу CAD/CAM/CAE-систем, які сьогодні є найбільш продуктивним інструментом для вирішення зазначених завдань. Розглянемо їх.

CAD-система (англ. *Computer-Aided Design* — комп'ютерна підтримка проектування) — програмне забезпечення, яке значною мірою автоматизує працю конструктора. Проектування конструкцій, їх елементів і оформлення технічної документації виконується на екрані комп'ютера за допомогою спеціальних прийомів і стандартизованих елементів, що значно скорочує термін конструкторської розробки.

CAM-система (англ. *Computer-Manufacturing* — комп'ютерна підтримка виготовлення) автоматизує розрахунки траєкторії руху інструмента під час обробки на верстатах з ЧПК і забезпечує видачу керуючої програми з комп'ютера у пристрій ЧПК.

CAE-система (англ. *Computer-Aided Engineering* — комп'ютерна підтримка інженерних розрахунків, що супроводжують роботу двох попередніх систем).

CAD/CAM-система — об'єднання можливостей перших двох систем за наведеною нижче схемою.

1. У CAD-системі («Автокад», «Компас» та ін.) розробляється креслення деталі у двовимірній системі або її об'ємна 3D-модель. Для технологічної роботи CAM-системи об'ємна або 3D-модель, імпортована з CAD-системи, однозначно визначає геометрію і розміри оброблюваної поверхні за трьома координатами.

Для роботи з двовимірним кресленням CAM-системі потрібна інформація про третю координату на кожній оброблюваній поверхні, або «глибину геометрії». Якщо поверхня плоска, досить вказати значення Z або кількість проходів із заданою глибиною різання (оброблюваний контур міститься в площині XY). Під час обробки деталі складної конфігурації створюють *каркасну модель* (рис. 2.37, а), яка складається з оброблюваних поверхонь та граней, а також обмежувальних поверхонь, необхідних для запобігання зіткненням інструмента з деталлю.

Поверхнева модель відрізняється від каркасної тільки непрозорістю граней (рис. 2.37, б), що робить зображення зручнішим для читання, особливо якщо деталь складна і оброблюваних поверхонь багато. Таким чином, черезрозглянуті поверхні можна уявити всі — як прості, так і складні — поверхні. Сьогодні поверхневі моделі є до-

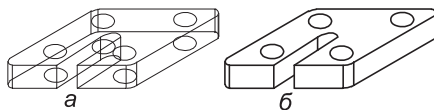


Рис. 2.37. Приклад каркасної (а) та поверхневої (б) моделі

силь поширеною формою зображення деталі в САМ-системі для розробки керуючої програми оброблювання складних поверхонь.

Для створення 3D-моделі в САД-програмах застосовують *твердотільне моделювання*, згідно з яким елементи конструкції зображують у вигляді окремих простих твердих тіл, в яких можна робити різні вирізки, видавлювання, витягування, нарощування. Деталь — це сума створених елементів. На відміну від поверхневої моделі твердотільна має об'ємну густину. Основною перевагою твердотільної моделі є можливість її параметризації, тобто можна міняти розміри окремих або всіх елементів моделі, заданих в параметрах, змінюючи таким чином розміри і конфігурацію деталі. Створення розглянутих тривимірних моделей можливе також безпосередньо в САМ-системі.

2. *Об'ємна 3D-модель деталі або одна зі спеціально створених об'ємних моделей імпортуються в САМ-систему.* Існує значна кількість САМ-систем, які відрізняються інтерфейсами, можливостями й іншими характеристиками, але, незважаючи на це, алгоритм роботи в них, практично, однаковий. Розглянемо його.

2.1. Технолог-програміст відповідно до технологічного процесу на операцію в САМ-системі *вибирає описання верстата*, яке містить: тип верстата, наприклад горизонтально-фрезерний, кількість програмованих осей, наприклад три, пристрій ЧПК, наприклад «FANUK», інформація з якого потрібна для забезпечення постпроцесором редакції керуючої програми обробки в кодах цього пристрою. Вибір верстата змінює інтерфейс у САМ-програмі так, що залишаються доступними тільки ті функції та обмеження, які підтримуються цим верстатом, пристроєм ЧПК і постпроцесором.

2.2. Технолог *визначає оброблювані поверхні, їх конфігурації та послідовність обробки.* Вибирає початок системи координат, методику (стратегію) обробки кожної поверхні. САМ-система містить набір рекомендованих методик обробки і траєкторій інструмента залежно від конфігурації оброблюваної поверхні, шару металу, який підлягає зніманню, застосовуваних режимів обробки, зокрема високошвидкісної, що дозволяє вибрати кілька способів обробки для однієї і тієї самої поверхні. Основні з них такі:

2.2.1. Плоска обробка. Застосовується при 2,5-координатній обробці, яка включає:

- фрезерування площини або торцювання;
- обхід контуру — інструмент рухається по контуру серіями горизонтальних ходів (для вертикального верстата), які різняться між собою тільки рівнем горизонтальної площини (координати Z);
- обробку карманів, напіввідкритої або відкритої вибірки;
- обробку отворів різного призначення. Бібліотека САМ-системи містить такі самі цикли обробки отворів, що й система ЧПК верстата. Якщо в системі ЧПК верстата такого циклу немає, САМ-система описує операцію обробки покроково, від чого розмір програми значно збільшується. Програміст може розроблювати та заносити в бібліотеку САМ-системи свої робочі цикли або підпрограми.

2.2.2. Об'ємна обробка. Включає велику кількість підходів, які можна розділити на чорнові й чистові. Методики чорнкової обробки націлені на швидке знімання пошарово великого об'єму металу та підготовку деталі до наступної чистової обробки. У процесі чистової обробки тривимірної поверхні, наприклад фрезеруванням, інструмент (як правило, сферична фреза) рухається одночасно мінімум по трьох координатах. Розрахувати його траєкторії вручну майже неможливо. В сучасних САМ-системах створено для цього спеціальні методики.

Типовими прикладами об'ємної обробки є:

- обробка закритих та напіввідкритих карманів залежно від їх розміру і конфігурації відомими схемами — зигзаг, фрезерування в одну сторону, стрічкове фрезерування, спіраль. САМ-система сама вибирає оптимальну схему, яка забезпечує максимальну продуктивність обробки з мінімальною кількістю холостих ходів. Спочатку відбувається пошарове знімання основного припуску, а потім виконується заключний чистовий обхід контуру на глибині, заданій кресленням;
- чорнова вертикальна вибірка, що складається з рухів, подібних до свердління. Продуктивність такої обробки надзвичайно висока, але вимагає застосування спеціальних плунжерних фрез, які мають підвід ЗОР через осьовий отвір. Використовується для обробки глибоких карманів у серійному виробництві;
- фрезерування залишків (дообробка), спрямоване на видалення металу, який залишився від попередньої оброб-

ки. Залишки утворюються, коли для підвищення продуктивності спочатку фрезерують вибірку інструментом великого діаметра, а потім виконують фрезерування у важкодоступних місцях інструментом меншого діаметра, який вибирають, наприклад, залежно від допустимого радіуса переходу в місцях стиків двох поверхонь (див. рис. 2.12). САМ-система аналізує об'єм знятого і залишеного металу й автоматично генерує траєкторію для вибірки металу, який не був видалений попередньою фрезою;

— контурна обробка, що застосовується для чорнового та чистового оброблювання деталей з попередньо сформованими поверхнями литвом, штамповкою й іншими методами. Ця методика передбачає видалення припуску рухом інструмента траєкторіями, еквідистантними оброблюваній поверхні з конструкторськими розмірами, з поступовим наближенням до них.

Сучасні САМ-системи орієнтують різальний інструмент не тільки відносно оброблювальної поверхні, а й відносно інших геометричних елементів. Це використовується, щоб обійти елементи, яких інструмент не повинен торкатися, забезпечуючи таким чином інструмент і деталь (заготовку, пристрій, верстат) від можливого зіткнення. Деякі системи враховують геометрію заготовки на початку проектування обробки. Це значить, що система розраховуватиме траєкторії робочих рухів з урахуванням реального припуску. Якщо система не враховує геометрію заготовки на цьому етапі, заготовка не бере участі в процесі розподілу припуску і формуванні траєкторій обробки, а використовується тільки на етапі верифікації. Такий варіант менш ефективний, адже під час розрахунків система виходитиме із заготовки правильної форми (паралелепіпед, циліндр). Якщо заготовка неправильної форми або попередньо сформована, то система виконуватиме зайві траєкторії, на яких метал, практично, не зніматиметься.

3. Призначаються інструмент і режими обробки. Для цього використовується бібліотека САМ-системи інструментів і матеріалів. САМ-системи постачаються на виробництво зі сформованими бібліотеками інструментів за видами обробки (фрезерна, свердлильна, токарна), які містять стандартний інструмент загального призначення. За потреби технолог-програміст або наладчик може доповнити бібліотеку своїми спеціальними інструментами або створити

власну одну чи кілька бібліотек інструментів, «прив'язаних» до конкретних верстатів. Можна задавати додаткові параметри, наприклад стійкість інструмента в годинах. Після відпрацювання заданого терміну в керуючій програмі виводиться команда на заміну інструмента або надходить сигнал про це оператору в іншій формі.

У САМ-системі існує бібліотека матеріалів, з якої програміст-технолог обирає потрібний матеріал. На базі цих даних (інструмент і матеріал) САМ-система пропонує швидкість різання (число обертів шпінделя за хвилину), робочу подачу на зуб та хвилинну. Технолог-програміст може підтвердити ці дані або внести свої, подати команду на подачу ЗОР. У ході експлуатації програміст поступово технологічно адаптує САМ-систему до умов конкретного виробництва, спираючись на власний досвід.

Система містить бібліотеку шаблонів траєкторій, які визначають методикку обробки, параметри, геометрію. Набір шаблонів залежить від виду обробки.

Для фрезерних верстатів: 2,5 D-траєкторії; поверхневі траєкторії; багатоосові; ВШО 2D і 3D-траєкторії; допоміжні.

Для токарних верстатів: типові токарні операції; токарні цикли; операції з програмуванням осі С; допоміжні; токарно-фрезерувальні операції.

4. *Призначаються траєкторії та послідовність їх обробки.* Це завершальна фаза підготовки, після чого операція вважається сформованою, вона об'єднує всю інформацію, потрібну для виконання конкретної обробки. САМ-система генерує нову технологічну операцію, що з'явиться у вкладці «Toolpath Manager» нижче від заголовка активної групи операцій. Система виконує розрахунок траєкторій руху обраних інструментів в операції з великою швидкістю — одна з основних переваг САМ-системи.

5. В САМ-системі виконуються попередня, в міру розробки керуючої програми, *перевірка траєкторій руху окремих інструментів* (бекплот, див. параграф 2.18) і остаточна перевірка програми — *верифікація* — після її остаточної розробки. Верифікатор показує модель деталі в об'ємному зображенні, може обертати її з усіх сторін, збільшувати або зменшувати, залежно від потреби, та переміщати по екрану. Якщо на поверхні є зарізи або сліди зіткнення, система їх фарбує в інший колір. Є можливість виконати вимірювання та редагування траєкторій, за потреби — експорту-

вати отримані дані в САD-системі для доопрацювання конструкції, усунення помилок.

Усю цю інформацію САМ-система акумулює своєю мовою в проміжному файлі, який називається СL-файлом (Cutter Location) або СLDATA-файлом. Це дає змогу технологу-програмісту вести розробку програми, не «прив'язуючись» до конкретного верстата чи пристрою ЧПК.

6. Остаточним продуктом САМ-системи є *керуюча програма*, сформована під вимоги конкретного верстата кодами його системи ЧПК за допомогою спеціального постпроцесора, який вибирається залежно від конкретного комплексу верстат — пристрій ЧПК.

Постпроцесор — програма, яка перетворює проміжний СL-файл у файл керуючої програми для вибраного верстата мовою його пристрою ЧПК. Схематично це показано на рис. 2.38.

Отже, САD/САМ-система забезпечила безперервну передачу інформації від креслення деталі до команд керуючої програми верстата з ЧПК на її обробку.

Можлива ситуація, коли геометрія деталі створена в САD-системі, яка не працює із запропонованою САМ-системою. В такому разі використовують спеціальні транслятори — конвертери.

Найбільш відомими й потужними САМ-системами, в які можлива передача моделі з «Компасу» і «Автокаду», є «ESPRIT», «Sprut САМ», «Feature САМ», «Master САМ», додаток до САD-системи «Компас» САМ-система «Компас». Відрізняються ці системи галуззю застосування і рівнем можливостей. Наприклад, САМ-системи для фрезерної обробки відмінні від систем для токарної обробки і різняться між собою, чому сприяє модульність їх побудови. Завдяки цьому можна вибрати систему лише для потрібної конкретної обробки. Так, для свердлильно-фрезерно-розточувальних ОЦ існує система для:

— 2,5-координатної обробки. На такому рівні система виконує розрахунки траєкторії руху інструмента для двокоординатного контурного фрезерування на різних рівнях по Z і обробку отворів;

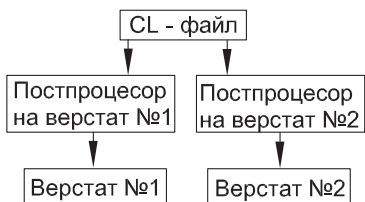


Рис. 2.38. Схеми передачі керуючої програми в пристрій ЧПК

— тривісної обробки з позиціонуванням четвертої осі. Ця система спроможна скласти програму об'ємного фрезерування складної поверхні;

— багатовісної обробки. Така система працює із сучасним обладнанням, спроможна створити керуючу програму для п'ятивісного фрезерування надскладних поверхонь.

Об'ємна п'ятикоординатна обробка має свої особливості і специфічні технології знімання припуску. На чорнових операціях для вибору основного об'єму металу застосовуються такі види обробки: радіальна, вертикальна вибірка металу, контурна, за потоковими лініями, проєкційна та ін. [11].

У ході чистової обробки, щоб виконати вимоги креслення щодо точності й шорсткості поверхні, різальний інструмент здійснює рух мінімум по трьох координатах водночас, як правило, сферичним торцем кінцевої фрези або її циліндричною боковою поверхнею. Контакт у точці різання, відповідно, точковий або лінійний.

Існує два види п'ятикоординатної обробки: безперервна і з індикацією. У першому випадку в кожному кадрі керуючої програми буде зазначено п'ять адрес переміщення, наприклад: X, Y, Z, A, B.

У другому випадку в кожному кадрі наявні лише три координати, решта — допоміжні й використовуються для повороту інструмента або деталі в положення для подальшої трикоординатної обробки.

Такі програми створюються виключно CAD/CAM-системами.

Подібно до двокоординатної обробки, під час чотири- або п'ятикоординатної можуть виникати незначні відхилення оброблюваної поверхні від заданих розмірів. Ввести корекцію тут значно складніше: треба визначити точку на поверхні деталі і знайти її в тексті програми, що важко через велику кількість кадрів, тому зазвичай вводять тільки загальну корекцію на радіус в « + » або « - ». Перед цим використовують верифікацію програми, порівнюючи об'ємну модель обробки з моделлю, створеною в CAD-системі.

Серед сучасних САМ-систем однією з універсальних і пристосованих до обробки на токарних, свердлильних, фрезерних верстатах і ОЦ на їх базі є система «Master CAM». Розробка керуючої програми для верстата з ЧПК у такій системі, наприклад для 2,5-координатної обробки на свердильно-фрезерно-розточувальному ОЦ, відбувається в наведеній нижче послідовності.

1. Технолог-програміст активізує в програмі верстат для обробки і його пристрій ЧПК. Після цього, завдяки постпроцесорній комунікації, текст розробленої програми для вказаного верстата буде сформований кодом пристрою ЧПК.

2. У програму переноситься 3D-модель, каркасна або поверхнева модель деталі, наприклад, з «Компасу» або «Автокаду». Можливе створення тривимірного ескізу деталі за операційним ескізом або двовимірним кресленням безпосередньо у цій програмі. Технолог-програміст визначає початок координат, оброблювані поверхні, їх конфігурації, висоту контурів, послідовність оброблювання.

3. Технолог призначає інструмент з бібліотеки програми, за потреби вносить свій оригінальний. Позначає через бібліотеку матеріал. Аналізує запропоновані програмою або призначає свої режими обробки: подача, швидкість різання, глибина різання на прохід, подача ЗОР. Визначає нульове положення площини XY по Z і точку, з якої почнеться обробка.

4. У визначеній в п. 2 послідовності програмуються траєкторії інструментів для обробки поверхонь, для чого їх активізують одна за одною у міру просування обробки. Якщо обробка високошвидкісна (ВШО), в «Master CAM» передбачено спеціальні функції для реалізації особливостей ВШО (автоматизована обробка по спіралі торця, петлеподібні переходи між Z-шарами тощо).

5. Після завершення програмування обробки кожної поверхні виконують її перевірку через візуалізацію траєкторії руху інструмента (бекплат).

Після закінчення повної розробки програми здійснюють її верифікацію — на екрані віртуальний інструмент, рухаючись по запрограмованих траєкторіях, фарбує перепони, що виникають під час обробки віртуальної деталі, в червоний колір.

Основними причинами таких перепон (помилки), що можуть призвести до дефектів обробки або аварії, можуть бути:

- неправильний порядок проходів;
- некоректна точка врізання;
- зіткнення із заготовкою або нерухомим органом верстата;
- неправильний вибір інструмента;
- зміни в конструкції деталі;
- зміни в конструкції і розмірах заготовки;
- використання іншого обладнання або оснащення.

Завдання технолога-програміста разом із наладчиком — ввести необхідні зміни до програми або карти наладки на обробку деталі для усунення виявлених недоліків.

Далі керуючу програму пересилають у пристрій ЧПК. Технолог-програміст перевіряє її на відповідність коду пристрою ЧПК.

Для прикладу розглянемо програмування обробки в «Master CAM» елементарної поверхні — прямокутного паза з рис. 2.39, а (САМ-системи ефективно використовувати під час обробки складних деталей з багатьма поверхнями).

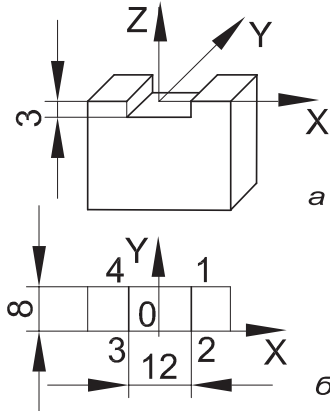


Рис. 2.39. Приклад програмування в САМ-системі

1. Призначаємо верстат обробки трикоординатний фрезерний з вертикальним шпінделем із пристроєм ЧПК «FANUK».

2. До САМ-системи переносимо або створюємо ескіз обробки (рис. 2.39, б) і задаємо глибину по Z 3 мм з глибиною різання 0,5 мм або замість глибини різання вказуємо кількість проходів — 6. Система сама розрахує глибину на прохід.

3. Призначаємо початок координат в точці «0». Інструмент — твердосплавна кінцева фреза діаметром 10 мм. Швидкість різання 180 м/хв (5500 об./хв).

4. Призначаємо методику (стратегію) обробки — обхід по контуру (точки 1—2—3—4).

5. Виконуємо верифікацію обробки. Відстежуємо рухи фрези в ході формування паза на екрані комп'ютера.

6. Пересилаємо в пристрій ЧПК керуючу програму. На екрані пристрою пересвідчуємось у відповідності тексту програми (% 30, табл. 2.14) коду пристрою ЧПК «FANUK»:

Таблиця 2.14

% 30; Кадр	Програмовані дії
(FREZA 10) T1 M06	Установка інструмента
G90 G71 X0 Y0	Встановлення початку координат
G00 X1 Y21	Вихід в точку початку обробки
D01 Z10 S5500 M3 M08 F500	Призначення режимів обробки, корекція довжини інструмента

% 30; Кадр	Програмовані дії
G01 Z0	Підхід по Z у початок обробки
L01 H6	Обхід контуру за підпрограмою шість разів
G90 G00 Z150	Відвід фрези по Z
G53 X-450 Y-10	Скасування всіх команд і корекцій
M30	Кінець програми
L01	Підпрограма
N10 G91 G01 Z-0,5 F1000	Набір глибини різання по Z
N11 G90 G01 Y-12	Робочий хід уздовж паза по Y
N12 X-1	Перехід по X на 2 мм
N13 Y21	Робочий хід по Y у зворотному напрямку
N14 X1	Перехід по X на першу траєкторію
N15 M20	Кінець підпрограми

Розглянемо інший приклад — нанесення на поверхню деталі тексту гравіруванням за програмою на фрезерному верстаті. Програмувати елементарні рухи, наносячи кожену букву, — це вкрай трудомісткий процес.

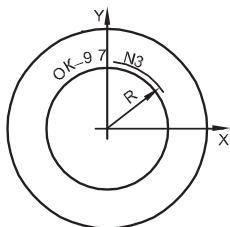


Рис. 2.40.
Програмування
тексту

1. Використовуючи програму «Master CAM», вводимо дані про верстат і пристрій ЧПК, на якому виконуватиметься обробка.

2. На екрані комп'ютера зображуємо (або переносимо з CAD-програми) ескіз поверхні, на якій треба зробити напис (рис. 2.40).

3. Призначаємо початок координат у центрі кола, інструмент, режими обробки, глибину фрезерування, переміщення по Z.

4. Нехай треба гравірувати напис «OK-97 N3». Набираємо на клавіатурі текст, призначаємо висоту літер, радіус, на якому їх розташовують, інтервал між ними, глибину контуру фрезерування.

5. Дивлячись на екран, змінюємо «картинку» в бажаному напрямі.

6. Після вводу всіх даних програму передаємо відомими засобами в ПЧПК верстата. Переглядаємо текст на екрані пристрою ЧПК на відповідність коду. В табл. 2.15 наведено програму нанесення тексту, запропоновану «Master CAM»:

Таблиця 2.15

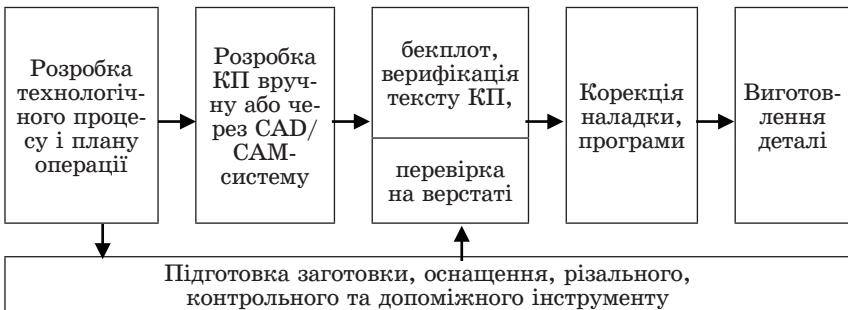
% 30а; Програмування тексту	
N1G90G00G71E01	N202G00Z10
N100X-11.35Y9.47S1500	N204X-2.44Y12.32
N102G43D1Z10.	N206Z1.
N104Z1. N106G01Z0.F30	N208G01Z0.F30 N210G03X-.57Y12.73I-1.59J12.93F100
N108G03X-9.91Y8.09I- 8.59J10.92F100	N212X-.73Y14.72I-3.6J13.49 N214X-2.73Y14.56I-1.71J14.36F100
N110X-8.52Y9.54I-9.42J9.01	N216X-.73Y14.72I-1.71J14.36
N112X-9.97Y10.92I-11.29J8.09	N218G01Z1.
N114X-11.35Y9.47I-10.45J10.	N220G00Z10.
N116G01Z1.	N222X.84Y15.51
N118G00Z10.	N224Z1.
N120X-7.96Y10.59	N226G01Z0.F30
N122Z1.	N228X2.93Y15.26F100
N124G01Z0.F30	N230G03X1.46Y11.91I7.77J11.14
N126X-7.3Y9.57F100	N232G01Z1.
N128Z1.	N234G00Z10.
N130G00Z10.	N236X5.7Y10.61
N132X-7.96Y10.59	N238Z1.
N134Z1.	N240G01Z0.F30
N136G01Z0.F30	N242X7.62Y13.54F100
N138X-9.2Y12.52F100	N244X7.49Y9.43
N140Z1.	N246X9.42Y12.36
N142G00Z10.	N248Z1.
N144X-7.78Y11.94	N250G00Z10.
N146Z1.	N252X10.25Y10.99
% 30а; Програмування тексту	
N148G01Z0.F30	N254Z1.
N150X-7.55Y13.57F100	N256G01Z0.F30
N152Z1.	N258G02X11.22Y10.71I0.48J10.0 1F100
N154G00Z10.	N260G01X11.3Y10.61
N156X-7.78Y11.94	N262G02X11.6Y9.89I10.5J9.85
N158Z1.	N264X11.35Y9.28I10.8J9.86
N160G01Z0.F30	N266X10.21Y9.22I10.75J9.92
N162X-5.66Y10.63F100	N268G01X10.03Y9.41F100
N164Z1.	N270Z1.
N166G00Z10. N168X-5.62Y12.59	N272G00Z10. N274X10.21Y9.22
N170Z1.	N276Z1.

Закінчення табл. 2.15

N172G01Z0.F30	N278G01Z0.F30
N174X-3.74Y13.27F100	N280G02X10.11Y8.04I9.5J8.69F100
N176Z1.	N282X9.48Y7.83I9.56J8.63
N178G00Z10.	N284X8.79Y8.17I9.59J8.93
N180X-3.98Y13.18	N286G01X8.63Y8.34
N182Z1.	N288G02X8.4Y9.32I9.36J9.03
N184G01Z0.F30	N290G01Z1.0
N186X-5.39Y12.67F100	N292G00Z10.
N188Z1.	N294M05M09
N190G00Z10.	N296M02
N192X-7.78Y11.94	
N194Z1.	
N196G01Z0.F30	
N198X-7.96Y10.59F100	
N200Z1.0	

Незважаючи на короткий текст напису, на відміну від попередньої, програма для гравірування вийшла досить великою, її складання вручну не виправдовує себе за жодних обставин. Існує спеціальний стандарт на шрифт зі спрощеним зображенням літер — спеціально для гравірування на верстатах з ЧПК. Це трохи скорочує наведену вище програму, але не суттєво. Тому літерні позначення й написи на верстатах з ЧПК, як і п'ятикоординатне програмування, до появи САМ-систем практично не виконувалися. Для гравірування текстів, складних тривимірних узорчатих поверхонь існує спеціальна програма «Art САМ».

Підсумовуючи викладене, можна скласти такий алгоритм підходу до розробки та впровадження керуючої програми обробки на верстатах з ЧПК:



Адитивні технології (АТ). Адитивні технології (від англ. *add* — додати, *Additive Manufacturing*) забезпечують виготовлення деталі або її фізичного макета по 3D-моделі шляхом пошарового нарощування матеріалу в адитивній установці або на спеціальному 3D-принтері різними методами — напилюванням або наплавленням порошку, нанесенням рідких полімерів, композитних матеріалів тощо.

В основі адитивних технологій — використання CAD/CAM/CAE-систем.

Для виготовлення деталі адитивна технологія передбачає певну послідовність операцій.

1. Розробка в CAD-програмі об'ємної моделі деталі, виробу. Зчитування та передавання до CAM-програми.

2. Створення STL-файла (від англ. *Stereolithography*) — формат файла для зберігання тривимірних моделей.

3. За допомогою спеціальної програми, що може постачатися з адитивною установкою, поділ об'ємної моделі на шари, паралельні площині робочого стола, через заданий по глибині інтервал (до 0,02 мм), визначення геометрії перерізу деталі кожним шаром, передача даних у пристрій керування виконавчим органом нанесення та закріплення шару. По команді від програми стіл покривається надтонким шаром порошку (якщо будівельний матеріал порошок, а не розчин) — кілька десятків мікрон. Лазерний промінь по заданій траєкторії виконує спікання порошку, після чого робочий стіл опускається на висоту шару і процес повторюється шар за шаром до повного формування виробу. Так можна «виростити» деталі найскладнішої форми і навіть одну деталь всередині іншої. В ливарній промисловості АТ на основі CAD/CAM/CAE-систем дозволяють проектувати й виготовлювати форми і стержні складних конфігурацій як одне ціле, що неможливо у класичній технології. Якщо форма містить консольні конструкції, в об'ємній моделі CAD-програми передбачають спеціальні підтримувальні елементи. Після виготовлення виріб дістають з установки і очищують від залишків порошку.

Властивості матеріалу виробу після спікання залежать від технологічних можливостей камери, за потреби — практично відповідають властивостям такого самого монолітного. Якщо в зону спікання позмінно подавати різний порошок, наприклад мідний і з нержавіючої сталі, можна отримати біметалічні вироби.

Точність «вирощеної» деталі залежить від технології нанесення шарів, може бути досить високою — до 10÷15 мкм. Продуктивність вирощування залежить від потужності й розміру адитивної установки або 3D-принтера, швидкості нанесення матеріалу, інших чинників. Більш точними, потужними і досконалими є спеціальні адитивні установки, кількість моделей яких, що відрізняються можливостями, технологією нарощування, призначенням, стрімко зростає. За розмірами камери найбільші з відомих сьогодні — до 400 мм × 600 мм × 400 мм.

Перевага 3D-принтера полягає в тому, що завдяки своїй компактності він може розташовуватися безпосередньо біля робочого місця конструктора, виконувати перевірку проекту або його елементів відразу після проектування на фізичній моделі.

Такі можливості визначили два основні напрями використання адитивних технологій.

1. Виготовлення виробів складної конструкції з криволінійними зовнішніми та внутрішніми поверхнями, каналами, отворами в одиничному і дрібносерійному виробництві. Це — деталі літаків, космічних апаратів, підводних човнів, робочі органи турбін, інструменти, протези, імплантанти, ювелірні вироби. В машинобудуванні — це вставки термопласт-автоматів, шаблони, майстер-моделі для литва тощо. Така технологія різко скорочує підготовку їх виробництва, час і собівартість виготовлення.

2. Створення прототипів, зразків і моделей виробу за максимально коротким терміном. Прототип — це прообраз виробу, потрібний для оптимізації його форми, перевірки функціонального призначення, можливості складання в механізм призначення і розбирання, виконання інших вимог. Виготовлення першого фізичного зразка або прототипу виробу є найбільш вузьким місцем в освоєнні випуску нової продукції. У класичній технології витрати на розробку необхідного оснащення, технології виготовлення часто співмірні з вартістю виготовлення самого виробу. Використання АТ остаточно усуває ці проблеми, значно скорочує термін виготовлення і, відповідно, термін освоєння випуску продукції.

Адитивні технології різняться залежно від:

- застосування лазера;
- способу скріплення печатних шарів між собою (теплова дія, опромінення ультрафіолетом або видимим світлом, спеціальними з'єднувальними сумішами);

- способу утворення шару;
- способу подачі формоутворюючого матеріалу;
- виду формоутворюючих матеріалів — порошки металів із заданими властивостями після спікання, синтетичні смоли, пластмаса, цемент, гіпс, пісок тощо.

Нині використання адитивних технологій на базі CAD/CAM/CAE-систем є найбільш прогресивним напрямом розвитку металообробки, який інтенсивно розвивається, часом кардинально змінюючи наші уявлення про способи виготовлення та обробки. Згідно з даними проведених досліджень [18] рівень застосування АТ-технологій у різних галузях такий:

- 21 % — виробництво товарів споживання та електроніки;
- 20 % — автомобілебудування;
- 15 % — медицина, стоматологія включно;
- 12 % — авіабудування і космічна галузь;
- 11 % — верстатобудування та інструментальне виробництво;
- 8 % — військова техніка;
- 3 % — будівельна галузь.

2.22. Призначення та програмування швидкості різання й подачі

Основним параметром, що впливає на вибір швидкості різання V , мм/хв, є стійкість інструмента до заміни, T . Між цими параметрами існує залежність:

$$V \text{ (мм/хв)} = \frac{C}{T^m \text{ (хв)}}, \quad (2.4)$$

де C , m — постійні числа. Для кожної трійки: верстат — інструмент — деталь ці числа свої — результат практичного досвіду налагодчика, оператора;

T залежить від вимог виконуваної операції. При фрезеруванні оцінюють стійкість T до заміни інструмента величиною стирання задньої поверхні фрези, як правило, це $0,15 \div 0,30$ мм. V призначають залежно від необхідного значення T .

Щоб перейти від швидкості різання до чисел обертів шпінделя, використовують відому залежність:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/хв, звідки: } n = \frac{1000v}{\pi D} \text{ об/хв.} \quad (2.5)$$

Середня швидкість різання під час фрезерування відомими на пострадянському просторі різальними матеріалами: сталі — фрезою із Р6М5 — $25 \div 30$ м/хв; чавуну — 40 м/хв;

сталі — фрезою з твердосплавними пластинами (Т15К6) — 50 м/хв; чавуну (ВК8) — 50÷70 м/хв.

Використовуючи сучасні різальні матеріали й відповідну геометрію різальної частини інструмента, а також сучасні верстати з підвищеною жорсткістю, швидкість різання можна істотно збільшити (до 200÷300 м/хв і більше), підвищивши таким чином інтенсивність і якість обробки. Така обробка називається високошвидкісною, має свої особливості (див. параграф 2.24).

Наладчик має призначати швидкість різання (оберти шпінделя), беручи до уваги такі параметри:

— оптимальний діапазон обертів шпінделя під час роботи на даному верстаті;

— стійкість інструмента, необхідну для оброблюваної деталі чи партії (можлива обробка за програмою кількома однаковими інструментами — після відпрацювання за показником стійкості одного інструмента програмою задається наступний);

— властивості оброблюваного матеріалу, його стан перед обробкою (після поставки, попередньої чи остаточної термічної обробки тощо);

— характеристику різального інструмента.

Після цього за значенням наведених вище параметрів відшукати у каталогах фірм — виробників відповідного інструменту рекомендований діапазон швидкостей різання.

Для визначення робочої подачі використовують дані того ж каталогу, з урахуванням особливостей деталі й верстата. Зазвичай застосовують емпіричне співвідношення: $F = S/10$ мм/хв.

Команда швидкості різання (числа обертів шпінделя) запам'ятовується пристроєм ЧПК до відміни новою командою S. Якщо задати $S = 0$, відбудеться кутова орієнтація шпінделя під заміну інструмента або перед роботою по команді C в режимі стеження.

Швидкість різання може бути скорегована під час обробки на ± 20 % тумблером на пульті пристрою ЧПК.

Програмування подачі відбувається адресою F та чотиризначним числом у мм/хв для лінійних переміщень і адресою B (верстат 2204ВМФ4) у град./хв — для кутових переміщень. «0» перед першою значущою цифрою опускають. Наприклад: 50 мм/хв → F50; 0050 мм/хв → F50;

Після прискороного руху на якомусь відрізку траєкторії (команда G00) відновлюється робоча подача, що діяла раніше.

В межах, закладених у пристрої ЧПК і механізмах верстата, при змінах подач відбувається розгін на початку руху, а в кінці кадру — гальмування подачі до мінімальної, закладеної в параметрах верстата. За підвищених вимог до точності позиціонування в кадрі додатково використовують команду G09 — гальмування на підході до точки обробки. Корегування подачі на $\pm 20\%$, як і швидкості різання, можливе безпосередньо під час обробки тумблером на пульті ЧПК. Спеціальною адресою E і двозначним числом через програму можна корегувати подачу в широкому діапазоні.

Основні команди корекції режимів обробки:

E00 — заборона корекції S і F, виконується за замовчуванням;

E01 — дозвіл корекції S і F від тумблера на пульті, заборона корекції від програми;

E02 — дозвіл корекції швидкості шпінделя від тумблера, заборона корекції подачі;

E03 — дозвіл корекції подачі тумблером, заборона корекції швидкості різання;

E11–E40 — введення корекції подачі через програму і коректори на пульті (в програмі зазначають E і номер коректора, а в коректор з пульта вносять значення корекції у процентах від основної подачі). При цьому корекція подачі з пульта можлива.

Для визначення корекції подачі в ручному режимі обробляють всі поверхні деталі і встановлюють для кожної прийнятне значення подачі. Аналізуючи результат, призначають основне значення подачі, далі вираховують від прийнятого основного значення процент корекції, заносять його до відповідних коректорів.

2.23. Різальний та допоміжний інструмент. Робота інструментального магазину

Як здійснюється вибір інструменту для обробки отворів, описано в параграфі 2.14.

Розглянемо послідовність вибору інструменту для фрезерування.

Тип фрези вибирається залежно від схеми знімання припуску. Для обробки плоскої поверхні використовують торцеву фрезу, контуру — кінцеву. Якщо плоска поверхня напіввідкрита або закрита, обробку виконують також кінцевою фрезою.

Діаметр фрези вибирають виходячи з міркувань найвищої продуктивності та стійкості інструмента. Для фрезерування відкритої поверхні вибирають торцеву фрезу якомога більшого діаметра з твердосплавними швидкозамінними, непереточуваними пластинами. Обмеженням служить технічна можливість верстата. У випадку знімання великого шару металу перспективно використовувати торцеві фрези з круглими пластинами, які дають змогу працювати з великими подачами і глибиною різання водночас. На фінішній обробці, щоб отримати поверхню низької шорсткості, при невеликому припуску застосовують торцеві фрези з пластинами з мінералокераміки. Кінцевими фрезами відкрита плоскість оброблюється тоді, коли цю ж фрезу використовують для фрезерування ще й інших поверхонь (уступів, пазів).

Для обробки контурів, а також напіввідкритих та закритих поверхонь застосовують кінцеві фрези, максимальний діаметр яких обмежується мінімальним радіусом на оброблюваному контурі (див. рис. 2.12).

Для забезпечення жорсткості інструмента бажано, щоб його діаметр D задовольняв умову: $H \leq 2,5D$, де H — максимальна висота стінки оброблюваної поверхні. Якщо ця умова не виконується, вибирають фрезу з найближчим більшим стандартним значенням діаметра або виконують обробку за кілька проходів.

Довжина різальної частини інструмента для обробки напіввідкритих і закритих поверхонь, L , має дорівнювати: $L = H + r + 5$, де r — радіус заокруглення біля торця фрези. Якщо стінка висока, міняють фрезу або операцію виконують за два і більше проходів.

Обробляючи пази, для підвищення точності ширини паза діаметр фрези вибирають меншим його ширини. Такою фрезою спочатку фрезерують середину, а потім обходять сторони паза по контуру з використанням корекцій (див. параграф 2.17, рис. 2.32).

Матеріал різальної частини, напрям та нахил спіралі, число зуб'їв, параметри заточування вибирають, залежно від

оброблюваного матеріалу та його стану, за каталогами фірм-виробників згідно з рекомендаціями ISO. Для підвищення стійкості, поліпшення умов відводу стружки при обробці глухих пазів застосовують кінцеві фрези зі збільшеним кутом нахилу спіралі й полірованими канавками. Зменшення вібрації досягається застосуванням три- і чотиризубих фрез із різними відстанями між зуб'ями (різнокрокові фрези).

Кругове фрезерування або фрезерування з гвинтовою інтерполяцією (див. параграф 2.7), що можливе на трьох координатних ОЦ, дедалі більше витісняє розточування в корпусних деталях. Продуктивність кругового фрезерування значно вища за розточування і нема потреби в точному налагоджуванні інструмента на розточуваний діаметр. Обмеженнями для кругового фрезерування є глибина отвору (залежно від довжини кінцевої фрези — 60–80 мм), його діаметр і точність обробки.

Об'ємне фрезерування (інструмент рухається водночас по трьох координатах) найчастіше виконують фрезами зі сферичною поверхнею на торці. За заданих параметрів оброблюваної поверхні подача і глибина фрезерування визначаються допустимою висотою гребінця на поверхні після обробки такою фрезою (допуск на обрєбріння). Використовуються сферичні фрези передусім під час виготовлення штампів та прес-форм.

Конічні кінцеві фрези застосовуються для обробки нахилів плоскої поверхні, внутрішніх вибірок.

На вибір фрези для обробки впливають також форма і розміри кріпильної частини, враховується наявний допоміжний інструмент.

Допоміжний інструмент. Основне завдання допоміжного інструменту — надійна і точна (співвісна з віссю обертання шпінделя) фіксація різального інструменту в шпінделі верстата і передача йому крутильного моменту. Установку й закріплення різального інструменту в шпінделі ОЦ забезпечує система компоновки спеціальних функціональних одиниць — інструментальних блоків, комбінацій різального і допоміжного інструментів.

Для цього різальний інструмент безпосередньо або через перехідні елементи (оправки, втулки, цангові патрони, розточувальні головки, свердлильні патрони, втулки для закріплення фрез, різьбонарізні патрони тощо) установлюють і укріплюють в спеціальних базових оправках. Як перехідні для кінцевих фрез і отвороутворюючого інструменту

найчастіше використовують цангові патрони. В конічний отвір цангового патрона вставляють змінні цанги. Цанга має циліндричний отвір, куди вставляється циліндричний хвостовик різального інструменту. Діаметр хвостовика має відповідати номеру цанги. Основна перевага цангового патрона — це можливість закріплення широкого діапазону різальних інструментів за допомогою комплекту змінних цанг. Один патрон містить цанги для інструментів від 6 до 30 мм. Цанга добре й надійно центрує і закріплює інструмент, але через недостатню збалансованість маси не рекомендується для високошвидкісної обробки.

Базові оправки, щоб забезпечити якісну і надійну роботу різального інструменту, теж повинні відповідати ряду жорстких вимог, тому вони стандартизовані на міжнародному рівні, а їх виробництво організоване на спеціалізованих підприємствах.

Базова оправка повинна мати такі стандартизовані приєднувальні поверхні (рис. 2.41):

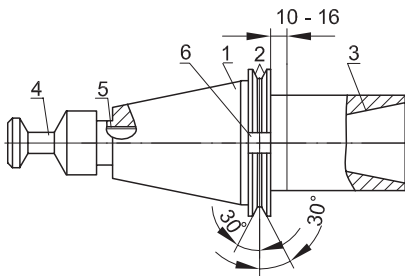


Рис. 2.41. Базова оправка

цеві пази 6 для шпонкового з'єднання зі шпінделем. Перед фланцем обов'язково має бути вільний простір для руки маніпулятора: не менше 10 мм для хвостовика № 40 і 16 мм для хвостовика № 50;

3 — поверхня для установки і закріплення різальних та допоміжних інструментів;

5 — різьбова поверхня для установки захвата 4 механізму осевого кріплення базової оправки.

Кожен верстат у достатній кількості комплектується базовими оправками. Випускаються також готові комплекти, що включають базову оправку і набір необхідних перехідних елементів до різального інструменту. Від якості допоміжного інструменту залежить стійкість різального,

1 — поверхня базування в шпінделі верстата, хвостовик (згідно з ISO існує два номери конусів хвостовика — 40 і 50);

2 — поверхні для установки на них «руки» маніпулятора, виконані як кільцева виточка на фланці оправки з кутом конуса в ній 60°. На фланці прорізані два торцеві пази

стабільність і точність обробки. Для якісного зберігання базових оправок, зібраних з різальним інструментом і не зібраних, оброблювальні центри оснащуються спеціальними стандартизованими інструментальними тумбами, на конічній поверхні яких розташовані гнізда під базові оправки.

Організація інструментального забезпечення програми

1. Після відбору необхідного для обробки інструменту виконується його перевірка по масі, діаметру та довжині на відповідність обмежень технічною характеристикою верстата.

2. Відібраний і оглянутий на відповідність всім вимогам інструмент збирають у блоки з базовими оправками, розміщують у гніздах магазину з урахуванням вимог до розташування (рівномірно по колу, поряд з інструментами великого діаметра бажано, щоб були порожні гнізда тощо). Записують і переносять у текст програми і карту наладки адреси кожного.

3. Визначають корекції на кожний інструмент по довжині та радіусу. Заносять до коректорів пристрою ЧПК, записують у карту наладки. Номер коректора відповідає номеру гнізда інструмента.

4. Інструмент Т30 вставляють у шпіндель. Це може бути довільний, навіть не задіяний у роботі, інструмент або просто оправка. Такої дії вимагає система ЧПК у вихідному положенні перед початком роботи, тому найбільша кількість інструментів у 30-місному магазині — 29 (30-й завжди в шпінделі).

Заміна інструмента програмується кількома кадрами:

1) пошук інструмента — відбувається через обертання барабана магазину після зчитування в програмі кадру Txx. Гніздо з інструментом стає навпроти автооператора («руки»), інструмент переводиться з магазину в гніздо автооператора;

2) орієнтація шпінделя в положення заміни інструмента — команда S0;

3) вихід верстата в позицію заміни інструмента — команда G28;

4) заміна інструмента, команда M06: автооператор виймає інструмент зі шпінделя, обертається на 180°, вставляє в шпіндель новий інструмент.

Одночасно відбувається пошук гнізда магазину, в яке потрібно повернути вилучений зі шпінделя інструмент (обертається барабан магазину), відпрацьований інструмент повертається у відповідне гніздо магазину;

5) виїзд з позиції заміни інструмента.

2.24. Високошвидкісна обробка (ВШО)

Завдяки конструктивному удосконаленню металорізальних верстатів та розвитку технології обробки деталей швидкість обертання шпінделя може сягати 60 000 об./хв, а швидкість подачі — 30 м/хв. Це дає змогу реалізувати високошвидкісну обробку, теоретичні основи якої були відомі фахівцям давно. Експериментально встановлено, що зі збільшенням швидкості різання температура в зоні різання спочатку зростає, досягає максимального значення, а потім, з подальшим підвищенням швидкості різання, на деякому відрізку швидкостей поступово знижується і через певний інтервал знову зростає (рис. 2.42).

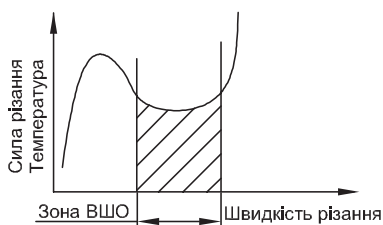


Рис. 2.42. Діапазон ВШО

Це пояснюється зменшенням кількості тепла, яке встигає зі стружки перейти в деталь та інструмент.

Водночас падає крутильний момент або потужність різання, зменшуються сили різання. Тобто існує область високих швидкостей обробки, де різання відбувається у сприятливіших умовах порівняно

з рекомендованими режимами. Оскільки при цьому зменшується навантаження на інструмент, різальна крайка зберігає свої параметри довше, якість обробки поверхні зростає, підвищуються стійкість інструмента і продуктивність обробки. Зменшення кількості тепла, що попадає в оброблювану деталь, дає змогу обробляти гартовані поверхні без загрози зниження їх твердості через відпускання поверхневого шару.

Поки що ця область швидкостей різання для кожного інструмента і оброблюваного матеріалу визначається експериментально.

Робота з високою швидкістю різання ставить свої умови до програмування траєкторії руху інструмента на верстаті з ЧПК і розподілу припуску між проходами. Співвідношення подач при ВШО значно менше, ніж за звичайного фрезерування. Траєкторія робочого руху має бути плавною, без різких змін напрямку і швидкості подачі. У зв'язку з цим лінійні переміщення часто замінюються на петлеподібні. Врізання в метал виконують не вертикальною подачею по Z, а по спіралі або під невеликим кутом. Ці прийоми роб-

лять стабільнішими умови різання, зменшують навантаження на інструмент і небезпеку його поломки.

Оскільки складова сили різання по Z не міняється, то ВШО поки що застосовують, в основному, для чистових операцій. Рекомендована глибина різання — не більше 10 % від довжини робочої частини фрези. Замість свердління доцільно, по можливості, використовувати розфрезеровування по спіралі (див. гвинтову інтерполяцію).

Обладнання з ЧПК, на якому виконується ВШО, має відповідати вимогам:

- частота обертання шпінделя до 15 000 об./хв і подача — не менше 15 000 мм/хв;

- механізми верстата повинні встигати за програмою, оперативно змінюючи швидкість і напрям подачі;

- верстат конструктивно має бути настільки жорстким, щоб не викликати вібрації на високих швидкостях;

- застосований патрон має бути ідеально відбалансованим, найменший дисбаланс зумовить биття, вкрай небезпечне у таких випадках;

- виліт інструмента має бути мінімально можливим;

- верстати з можливістю ВШО повинні мати механізм швидкого постійного видалення стружки;

- при ВШО рекомендується попутне фрезерування для отримання кращих результатів щодо шорсткості поверхні, швидшого відведення стружки, підвищення стійкості фрези;

- стійкість фрези збільшується при охолодженні обдувом. У разі застосування охолоджувальної рідини стійкість різального інструмента нижча, ніж за її відсутності. Це пояснюється циклічним температурним навантаженням різальної крайки, в результаті чого вона викришується.

Обмежувачем швидкості при ВШО виступає різальний і допоміжний інструмент. Для покращання показників на поверхню різального інструменту наносять спеціальні зносостійкі покриття, підвищують вимоги до биття допоміжних інструментів (за даними різних досліджень, залежність стійкості інструменту від биття практично лінійна). З огляду на це, спеціально для високошвидкісної обробки спроектовано і стандартизовано ISO конуси HSK, призначені для більш жорсткого кріплення інструменту:

- HSK A 100 — рекомендовано до 20 000 об./хв;

- HSK A 63 — до 25 000 об./хв;

- HSK A 50 — до 35 000 об./хв;

ISO 30 — до 45 000 об./хв;

ISO 40 — до 30 000 об./хв;

ISO 50 — до 15 000 об./хв;

Умови їх застосування:

для силового шпінделя потужністю 45 кВт — частота обертання 15 000 об./хв, конус ISO 50, діаметр 100 мм;

для середнього шпінделя потужністю 20 кВт — частота обертання 24 000 об./хв, конус ISO 40, діаметр 70 мм;

для швидкісного шпінделя потужністю 12 кВт — частота обертання 40 000 об./хв, конус ISO 30, діаметр 45 мм.

Щоб забезпечити відповідність режимам і умовам різання ВШО, робочі органи верстата налагоджують на виконання значно більших і швидших переміщень, обсяг керуючої програми зростає і може перевищувати обсяг звичайної в десятки, а то й сотні разів. Система ЧПК повинна встигати відпрацьовувати кадри і мати достатній програмний буфер для підготовки наступних переміщень, має «дивитися вперед» зі швидкістю 100–200 кадрів у секунду, щоб встигнути зробити розрахунки для гальмування при підході до вершини кута і розгону після повороту. Деякі фірми («Power Mill») під час програмування обходу кутів, виконуючи подібні розрахунки, орієнтуються на досвід гонщиків при обході віражу. Якщо пам'яті системи недостатньо, користуються DNC-режимом, який забезпечує роботу верстата від комп'ютера через пристрій ЧПК. При цьому ставляться особливі вимоги до персонального комп'ютера щодо швидкодії та надійності комунікаційного забезпечення.

З огляду на викладене, чорнову обробку виконують із дотриманням звичайних режимів, крім випадків гартованої поверхні, а ВШО застосовують для фінішної обробки.

Менші крок подач та глибина фрезерування за великих обертів шпінделя, крім підвищення точності і зменшення трудомісткості обробки, істотно покращують якість поверхні. Це дозволяє уникнути ручної доводки для деталей зі складними поверхнями, такими, наприклад, як пресформи. Використання інструментів малого діаметра дає змогу обробити дрібні елементи поверхні, гострі внутрішні кути й под.

Прикладом високошвидкісної обробки може бути охоплює фрезерування гартованих ходових гвинтів спеціальною фрезою, різальні елементи якої розташовані на внутрішній стороні корпусу. Щоб уникнути спотворення про-

філю різьби, корпус розташований на супорті, який має змогу повертатися на кут підйому гвинтової лінії. Зона різання — у вертикальній осьовій площині виробу зверху. Подача на врізання — зверху вниз. Різальний матеріал фрези — кубічний нітрид бору (кубоніт, ельбор, CNB). Оберти фрези розраховуються виходячи зі швидкості різання до 200 м/хв і подачі на зуб, залежно від твердості й марки оброблюваного матеріалу, в межах 0,03÷0,08 мм. Від подачі на зуб розраховуються оберти шпінделя виробу і поздовжня швидкість руху супорта з фрезою.

Операція використовується в реальному виробництві на машинобудівних заводах.

2.25. Роботизовані технологічні комплекси (РТК)

Роботизований технологічний комплекс (РТК) — це виробнича система, в якій діюче обладнання, пристрої, оснащення, транспортні, контрольні механізми і роботи реалізують усю технологію виробництва, за винятком функцій управління та контролю, які виконує людина. Керування РТК відбувається за програмою від єдиного центру і здійснюється тим самим G-кодом. Сучасні РТК призначені для виконання багаторазово повторюваних операцій. Розглянемо найбільш поширені галузі застосування РТК.

1. Зварювання. Зварювальний робот — це пристрій з механічною рукою, яка виконує основну роботу зварювання. Керування «рукою» дистанційне. Крім основного достоїнства — звільнення людини від небезпечної роботи, зварювальні роботи мають ще такі переваги:

- краща якість зварювання;
- більша швидкість, тобто вища продуктивність обробки;
- точніше прокладання шва, отже, менший процент браку;
- вища стабільність результату — виключено вплив на якість людського чинника;
- можливість зварювати в недоступних для людини місцях.

2. Автомобільна промисловість. Уздовж складального конвеєра розташовані роботи-маніпулятори, які виконують захоплення та переміщення в потрібну точку деталей і вузлів. Застосовуються також вимірювальні пристрої — автомати для контролю якості та пристрої — автомати для сортування.

3. Виробництво підшипників здійснюється, практично, заводом-автоматом, де всі процеси — від заготовки до вихідного контролю, складання та пакування — автоматизовані.

4. У металургійні промисловості широковідомі лінії безперервного литва, роботизовані комплекси литва під тиском, різання й розкром металу, роботи-формульовальники, маніпулятори рознесення ковшів з рідким металом тощо.

5. Хімічна й нафтогазова промисловість через особливу небезпеку праці мають високий ступінь автоматизації контролю навколишнього середовища, вловлювання газів, пилу, контролю стану продуктопроводів. Корозія труб від агресивних речовин може призвести до витоків, тому науковці впроваджують нанороботи з мікроскопічними камерами нагляді і датчиками, які, самостійно рухаючись по трубах, передають інформацію про їх стан.

6. Відома роль роботів у легкій промисловості — фасування, пакування, складування продукції, автоматизовані технологічні лінії виробництва. Тут найбільше автоматизованих ліній з маніпуляторами-роботами.

Розглянута роботизація стала можливою завдяки високому програмному забезпеченню, яке, постійно удосконалюючись, практично, створило механізми, наділені інтелектом, що замінили людину в найбільш трудомістких, важких і небезпечних галузях.

Розглянемо найпоширеніші випадки використання РТК у механообробці.

Організація роботи двох токарних верстатів із переміщенням маніпулятором заготовки з одного верстата на другий. Усі механізми працюють від одного пристрою ЧПК. Верстати розташовані один навпроти одного. На першому деталь оброблюється з однієї сторони, на другому — з другої. Завдання програміста-технолога і наладчика — розподілити обробку за стрічковим часом так, щоб він був приблизно однаковим для обох верстатів. Відомі токарні РТК на базі двошпіндельних токарних верстатів з ЧПК із двома восьмипозиційними револьверними головками, які одночасно оброблюють дві деталі. За такт з верстата сходять повністю оброблена з двох сторін деталь. Для цього спеціальний маніпулятор забезпечує установку та переустановку деталі. Поворотний пристрій маніпулятора повертає заготовку на 180° під час переміщення з першого на другий шпіндель.

Роботизований комплекс РТК 16К20Ф3Р132 призначений для обробки деталей типу «вал» або «фланець» вагою до 5 кг, діаметром 20÷150 мм, довжиною до 500 мм з двох установок. Роботи виконуються за допомогою промислового робота М10П.62.01. Система ЧПК ПР — «Контур 1.03». Кількість програмованих координат робота — шість [21].

Робота лінії, що складається з двох ОЦ 2254ВМФ4, для обробки корпусних деталей. Розподіл роботи між оброблювальними центрами: чорнова і чистова обробка. Стрічковий час приблизно однаковий. Між верстатами і столом операційного накопичувача рухається керований від програми маніпулятор з позиційним поворотом на 360°. Деталі обробки укріплені на спеціальних палетах або супутниках.

Ці палети-супутники проходять шлях від позиції завантаження міжопераційного столика накопичувача до першого верстата, після обробки на ньому — до другого, з другого повертаються на той самий стіл накопичувача в позицію вивантаження. Програмне забезпечення централізоване. Схему обробки зображено на рис. 2.43. Вся система працює за програмою таким чином:

1. Маніпулятор, керований програмою, спеціальними захватами переміщує супутник із заготовкою від столика накопичувача до першого верстата, установлює в позицію завантаження.

2. По команді від програми з позиції вивантаження стола ОЦ1 маніпулятор знімає оброблену начорно заготовку і, обертаючись, установлює її в позицію завантаження на стіл верстата чистової обробки ОЦ2.

3. Знімає палету з деталлю з позиції вивантаження верстата чистової обробки ОЦ2 і переміщує на стіл накопичувача в позицію вивантаження 4.

Далі рухи повторюються. Повороти в позиції зміни і укріплення палет-супутників на верстатах програмуються командами G31 і G32. Завантаження на верстат і вивантаження в перевантажувач програмуються командами M60 і M61 відповідно. M64 — завантаження з накопичувача в пе-

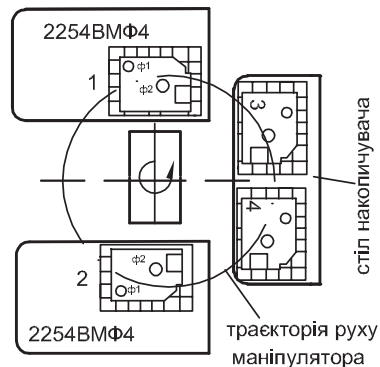


Рис. 2.43. Обробка на РТК з двох ОЦ 2254ВМФ4

ревантажувач; М65 — вивантаження з перевантажувача в накопичувач.

Точність обробки деталі залежить від точності її установки на палеті й точності установки самої палети на столі верстата, що може створити певні проблеми, шляхи розв'язання яких такі:

1) палети установлюються на верстаті по спеціальних напрямних і двох базових фіксаторах з наступним кріпленням. Похибка, яка тут може виникнути, — це зазори у з'єднанні з фіксаторами (зношені фіксатори та базові отвори палети);

2) контроль положення палети або безпосередньо самої деталі після закріплення на столі верстата з наступним вводом корекції в керуючу програму. Застосовується контрольно-вимірвальна система.

Закріплюють палети на столі за допомогою спеціального пристрою з гідрозатискувачем або спеціальними Г-подібними прихоплювачами через потужні тарільчасті пружини.

Використання палет-супутників, особливо для складних корпусних деталей з великою масою, виправдане навіть без організації РТК, оскільки налагодження деталі на обробку виконується на столі накопичувача під час обробки на верстаті другої деталі, економлячи таким чином машинний час.

У табл. 2.16 наведено приклад програмування обробки на ОЦ 2254ВМФ4 з установленням деталей на палетах-супутниках.

Таблиця 2.16

Кадр	Програмовані дії
% 23; (KORPUS)	
N10G90S0E01;	Кутова орієнтація шпінделя, абсолютна система, дозвіл на корекцію режимів під час обробки
N20G29;	Вихід в постійні точки верстата
N30M64;	Завантаження перевантажувача
N40M60;	Завантаження верстата 1 з перевантажувача
N50M64;	Завдання на пошук наступної палети-супутника
N60 — N790;	Обробка деталі на верстаті (кадри умовні)
N800M61;	Вивантаження палети-супутника з обробленою деталлю
N810M60;	Завантаження верстата 2
N820M65;	Вивантаження палети-супутника з обробленою деталлю в накопичувач
N825 Q50-820H11;	Повтор кадрів програми 11 разів — за кількістю місць у накопичувачі
N830M02;	Кінець програми

2.26. Робота пристрою ЧПК 2С-42

Модернізований ПЧПК 2С-42 дозволяє вводити програму безпосередньо з комп'ютера або через електронний носій (для цього використано вхід для фотозчитувального пристрою). У пристрої ЧПК 2С-42 передбачено режими й підрежими роботи, описані нижче.

1. *Режим «Автомат»* — призначений для організації роботи верстата за керуючою програмою, що заведена в ПЧПК. Для виклику та запуску програми на клавіатурі пульта набирають її номер і натискають кнопку «Пуск». У кінці відпрацювання програми на екрані висвічується «кінець КП». У режимі «Автомат» функціонують підрежими:

1.1. *«Основна програма»* — не відпрацьовує кадри, помічені навскісною рисою. Для їх активації потрібно натиснути відповідну кнопку;

1.2. *«Прискорена програма»* — прискореним рухом відпрацьовує всі переміщення робочих органів;

1.3. *«Пуск з підтвердженням»* — при першому натискуванні на кнопку «Пуск» оператор має можливість побачити на моніторі координати кінця кадру, при повторному натискуванні починається відпрацювання кадру;

1.4. *«Зупинка з підтвердженням»* — наявність у програмі кадру М01 зупиняє програму. Для відновлення роботи треба натиснути кнопку «Пуск»;

1.5. *«Зупинка в кінці кадру»* — відпрацювання програми відбувається із зупинками в кінці кожного кадру. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск»;

1.6. *«Зупинка по елементах циклу»* — зупинка програми відбувається після кожного кадру підпрограми або в кінці циклу. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

2. *Режим «Ручне керування»* забезпечує такі підрежими:

2.1. *Переміщення виконавчих органів* верстата по всіх координатах із фіксованою швидкістю або мірні переміщення;

2.2. *Переміщення на задану відстань*;

2.3. *Ручне керування механізмами верстата*: виїзд у позицію заміни інструмента, віджимання-затискання інструмента, віджимання-затискання координати, заміна інструмента, заміна деталі, керування обертами шпінделя, відпрацювання М-функцій по преднабору; переміщення ви-

конавчих органів у координату, набрану на клавіатурі; повернення на траєкторію.

3. *Режим «Вихід у вихідне положення».* Якщо верстат знаходиться в позиції заміни інструмента, потрібно через ручний режим вийти з неї, потім — у вихідне положення (постійні координати верстата).

4. *Режим «Вихід у кадр»* забезпечує пошук потрібного кадру і вихід у точку, що відповідає його початку. Для цього потрібно набрати номер програми і номер кадру (наприклад, %2; N360) і натиснути кнопку «Пуск». Відбудеться прискорений рух по всіх задіяних координатах у координату точки початку кадру N360. Треба мати на увазі, що рух нескоординований, аби не створити аварійної ситуації.

5. *Режим «Редактор керуючої програми»* служить для корекції програм, що містяться в пам'яті ПЧПК, а також для розробки нових. Має два підрежими: командний і екранний. Розробка та редагування керуючих програм відбувається в екранному режимі.

6. *Режим «Редактор коректорів та параметрів»* використовують для редагування з пульта ПЧПК верстатних параметрів, коректорів і параметрів підпрограм у пам'яті пристрою.

7. *Ввід керуючої програми* служить для вводу інформації з незалежного носія: перфострічки, комп'ютера безпосередньо чи по мережі, дискети, флешки тощо.

8. *Допоміжні підрежими* — передбачена можливість оперативної (під час роботи) корекції подачі, прискореного руху, швидкості різання, а також можливість блокування руху по вказаних координатах.

9. *Скасовування.* У ПЧПК передбачено кілька режимів скасовування: поточних позицій, накопичувачів по координатах, відпрацювання програми, загальне скасовування, скасовування корекцій на інструмент, корекцій зміщення нуля, корекції швидкості.

10. *Індикація.* У ПЧПК передбачено такі формати індикації:

– *геометричні:* поточні й кінцеві координати, відвід і залишок шляху, «плаваючий нуль» та зміщення нуля, абсолютні та неузгоджені координати верстата;

– *діючі G, M та T-функції:* у цьому форматі індикуються дії G і M-функцій, поточне положення інструментально-го магазину, номер інструмента в первантажувачі, номер

інструмента в шпінделі, неузгодженість інструментального магазину, заблокований стан, фактичні оберти шпінделя (об./хв), загальний термін роботи, термін роботи програми в режимі «автомат», термін витримки по G04;

– *оперативна інформація*: у цьому форматі індикуються: поточне положення по координатах, величина і знак корекції по координатах, кінцеві положення по координатах, кадри, що відпрацьовуються;

– *каталог керуючих програм та підпрограм*: у цьому форматі індикуються номери всіх програм, що зберігаються в пам'яті ПЧПК, та підпрограм;

– *коректори і параметри* — індикація та керування маркером такі самі, як у режимі «Редактор коректорів та параметрів», але тут коректори й параметри можна лише переглянути, не змінюючи їхніх значень.

Перелік режимів роботи пристрою ЧПК з їх номерами виводиться на екран натискуванням спеціальної кнопки на клавіатурі.

2.27. Програмування обробки на верстатах з ЧПК за стандартом ISO 14649

На відміну від ISO 6983 (система кодування координатних переміщень осі інструмента, G01, G02, G03, та прості команди логічного змісту виконавчим органам верстата), стандарт ISO 14649 пропонує концепцію числового програмного керування обробкою деталі шляхом видалення із заготовки типових форм (feature), які складають частину оброблюваної поверхні, виконуючи для цього необхідні переходи (workingsteps). Керування переходами та їх послідовністю здійснюється виконавчими блоками (executable), необхідним інструментом із заданою точністю. Таке програмування відповідає сучасним технологіям металообробки, націленим на автоматизацію виробничих процесів через створення інформаційної моделі деталі, що використовується від комп'ютерного проектування до завершального етапу обробки на верстаті з ЧПК або складання. Відповідна модель окреслена комплексом стандартів STEP-Standard for the Exchange of Product model data (стандарти обміну даними моделі і виробу), які склали основу ISO 14649 або стандарту STEP-NC, згідно з яким в циклі існування деталі

від проектування до завершення її виготовлення розрізняють такі фази:

- проектування CAD (Computer-Aided Design) — створення деталі в графічному вигляді;

- макропланування технологічного процесу виготовлення CAPP (Computer-Aided Process Planning) — розробка технологічного маршруту обробки деталі із закріпленням операцій за верстатами з ЧПК, де можуть бути використані комп'ютерні програми технологічної підготовки;

- мікропланування операцій CAM (Computer-Aided Manufacturing) — розробка керуючих програм обробки деталі в САМ-програмі з їх передачею через постпроцесор у пристрій ЧПК конкретного верстата (розглянуто в параграфі 2.21);

- керування обробкою NC (Numerical Control).

На сьогодні перехід від автоматичного проектування виробу (CAD) до автоматичного програмування його обробки (CAM) в достатній мірі відпрацьований, узгоджений і не викликає значних проблем. Слабкою ланкою є перехід САМ — CNC (ЧПК). Керуючу програму, створену в CAD/САМ-системі, передати в пристрій ЧПК і трансформувати в елементарні переміщення робочих органів верстата для знімання стружки можливо тільки через спеціально для цього призначені постпроцесори, які для кожного пристрою ЧПК, практично, індивідуальні. Крім того, відсутня можливість двостороннього обміну інформацією — зміни в КІ неможливо автоматично відобразити в САМ/САД-системі, а деталізація знімання припуску до елементарних переходів часто робить програму громіздкою і незручною для читання та редагування.

В ISO 14649 створена узагальнена STEP-NC-модель, згідно з якою пристрій ЧПК отримує великий обсяг інформації, що об'єднує тривимірні геометричні дані заготовки, деталі та інструмента, допуски, технологічні параметри і сам хід процесу, а інтелектуальні системи ЧПК самостійно розраховують траєкторії руху інструмента для обробки деталі.

Складається ISO 14649 з наступних частин:

Частина 1. Огляд та основні принципи.

Частина 10. Загальні дані процесу.

Частина 11. Дані процесу для фрезерування.

Частина 12. Дані процесу для токарної обробки.

Частина 111. Інструменти для фрезерних верстатів.

Частина 112. Інструменти для токарної обробки.

Розглянемо детальніше частину 11. В ній представлено числове програмне керування функціями верстата, необхідними для здійснення різноманітних схем фрезерування та циклів обробки отворів. Для цього запропоновано спеціальну структуру керуючої програми (programstructure) та встановлено сім компонентів функціональності (Unit of Functionality, UOFs): проект (project), деталь (workpiece), типова форма (feature), виконавчий блок (executable), операція (operation), траєкторія інструмента (toolpath), вимірювання (measure). Концепцію програмування та взаємозв'язок між компонентами в КП показано на рис. 2.44. Розглянемо призначення кожної складової.



Рис. 2.44. Керуюча інформація (компоненти функціональності) відповідно до стандарту ISO 14649

Деталь (workpiece) — наводяться назва та конструкторський номер деталі, матеріал, його властивості, розробник, дата.

Типові форми (feature) — визначають область заготовки, звідки видаляється матеріал, а їх зовнішня поверхня є частиною зовнішності деталі. Задають типові форми в параметричному вигляді як сукупність твірної та прямої. Якщо поверхня не «вписується» в типову форму, задають область на заготовці, в межах якої вона розташована. Приклади типових форм: плоскість, отвір, карман, вибірка, паз, радіусний випуклий або вгнутий профіль, куля тощо.

План операції (workplans) — це ядро програми STEP-NC, являє собою послідовність переходів (*workingsteps*). Кожен перехід відповідає операції, що виконується для якоїсь з типових форм деталі. Операція містить дані про інструмент, режими оброблення, технологічний алгоритм, включаючи стратегію врізання та виходу інструмента з металу, вказівки щодо налаштувань, має чорнову і чистову версію.

Виконавчий блок (executable) описує хід керування і послідовність переходів, пов'язаних з операціями і типовими формами, технологічно незалежний. Містить кроки програми, що не передбачають переміщень (повідомлення на екрані тощо), кроки програми з координатними переміщеннями (робочий хід, прискорений рух, підвід-відвід та под.), структуру програми та команди керування в ній.

Траєкторія інструмента (toolpath) встановлює точне переміщення по координатах, містить зупинки у визначеному положенні, рух по заданих траєкторіях відносно встановлених базових точок, рух, що генерує сама система ЧПК.

Вимірювання (measure) визначає засоби й методи вимірювання (контролю), допуски на розміри та розташування оброблюваних поверхонь моделі.

Узагальнюючим компонентом функціональності служить *проект (project)*. Загальна модель програми може описувати кілька споріднених за певними ознаками деталей і мати множину планів операцій. Проект ідентифікує план операції для конкретної деталі.

У стандарті, як і в САМ-програмах (див. параграф 2.21), пропонуються всі можливі типові переходи і стратегії чистової та чорнової обробки. Це — чорнове та чистове фрезерування торцевих закритих, напівзакритих і відкритих поверхонь; фрезерування стінок, карманів, прямолінійних, радіусних, зигзагоподібних, паралельних контурів, пазів; формування зовнішніх, внутрішніх і торцевих різьб, складних тривимірних зовнішніх та внутрішніх поверхонь; свердлильні цикли різноманітного призначення.

Мова програмування не містить G- і M-команд. Програмування здійснюється за повною або скороченою назвою виконуваних переходів. Нижче наведені найбільш вживані з них та їх можливе скорочення при використанні в програмі: ADAPTIVE_CONTROL (адаптивне керування) — ADPCNT; ALONG_PATH (поздовжнє переміщення) — ALNPTH; AP_RETRACT_ANGLE (відвести під кутом) — APRTAN;

AP RETRACT TANGENT ТАНГЕНС (відвести по дотичній) — APRTTN;
APPROACH RETRACT STRATEGY (стратегія підводу із заглибленнями) — APRTST;
BACK BORING (вивід свердла) — BCKBRN;
BIDIRECTIONAL (зигзагоподібний) — BDRCTN;
BIDIRECTIONAL CONTOUR (зигзагоподібний контур) — BDRCNT;
BORING (розточування) — BORING;
BORING OPERATION (операції формування отвору) — BRNOPR;
BOTTOM AND SIDE FINISH MILLING (фінішне фрезерування торцем і боковою поверхнею фрези одночасно) — BASFM;
BOTTOM AND SIDE MILLING (фрезерування торцем і боковою поверхнею фрези одночасно) — BASM;
BOTTOM AND SIDE ROUGH MILLING (чорнове фрезерування торцем і боковою поверхнею фрези одночасно) — BASRM;
CENTER DRILLING (центр свердління) — CNTDRL;
CENTER MILLING (центр фрезерування) — CNTMLL;
CONTOUR PARALLEL (паралельний контур) — CNTPRL;
CONTOUR SPIRAL (спіральний контур) — CNTSPR;
COUNTER SINKING (заглиблений контур — контурна вибірка) — CNTSNK;
DRILLING (свердління) — DRLLNG;
DRILLING OPERATION (свердлильна операція) — DRLOPR;
DRILLING TYPE OPERATION (операція вибору металу інструментами свердлильної групи) — DRTYOP;
DRILLING TYPE STRATEGY (стратегія вибору металу на зразок свердління) — DRTYST;
EXCHANGE PALLET (зміна палети) — EXGPLL;
EXPLICIT STRATEGY (точна стратегія) — EXPSTR;
FIVE AXES CONST TILT YAW (п'ятивісна обробка з фіксованим нахилом осі торкання інструментом оброблюваної поверхні) — FACTY;
FIVE AXES VAR TILT YAW (п'ятивісна обробка зі змінюваним нахилом осі торкання інструментом оброблюваної поверхні) — FAVTY;
FREEFORM OPERATION (обробка нетипової форми) — FRFOPR;
FREEFORM STRATEGY (стратегія обробки нетипової форми) — FRFSTR;
INDEX PALLET (індексація палети) — INDPLL;
INDEX TABLE (індексація стола) — INDTBL;
LEADING LINE STRATEGY (головна лінія стратегії) — LDLNST;

LOAD_TOOL (завантаження інструмента) — LDTL;
MILLING_MACHINE_FUNCTIONS (функції фрезерного верстата) — MLMCFN;
MILLING_MACHINING_OPERATION (операції фрезерного верстата) — MLMCOP;
MILLING_TECHNOLOGY (технологія фрезерування) — MLLTCH;
MILLING_TYPE_OPERATION (фрезерувальний тип операції) — MLTYOP;
MULTI_STEP_DRILLING (багатокрокове свердління) — MLTDRL;
PLANE_FINISH_MILLING (фінішне фрезерування площини) — PLFNML;
PLANE_MILLING (фрезерування площини) — PLNMLL;
PLANE_ROUGH_MILLING (чорнове фрезерування площини) — PLRGML;
PLUNGE_HELIX (нахил спіралі) — PLNHLX;
PLUNGE_RAMP (уклон) — PLNRMP;
PLUNGE_STRATEGY (стратегія обробки уклонів) — PLNSTR;
PLUNGE_TOOL_AXIS (нахил осі інструмента) — PLNTLX;
PLUNGE_ZIGZAG (вибірка зигзагом) — PLNZGZ;
PROCESS_MODEL (технологічний регламент обробки моделі) — PRCMDL;
PROCESS_MODEL_LIST (технологічний регламент обробки списку моделей) — PRMDLS;
REAMING (розвірчування) — RMNG;
SIDE_FINISH_MILLING (остаточне бокове фрезерування) — SDFNML;
SIDE_MILLING (бокове фрезерування) — SDMLL;
SIDE_ROUGH_MILLING (бокове чорнове фрезерування) — SDRGML;
TAPPING (нарізання різьби мітчиком) — TPPNG;
THREAD_DRILLING (нарізання внутрішньої різьби) — THRDRL;
THREE_AXIS_TILTED_TOOL (нахил інструмента до трьох осей) — TATT;
TOLERANCES (допуски) — TLRNCS;
TOOL_DIRECTION_FOR_MILLING (напрямок інструмента для фрезерування) — TDFM;
TWO5D_MILLING_OPERATION (здвоєне п'ятивісне фрезерування) — TWMLOP;
TWO5D_MILLING_STRATEGY (здвоєна п'ятивісна фрезерувальна стратегія) — TWMLST;
UNIDIRECTIONAL (однонаправлений або з одним ступенем свободи) — UNDRCT;

UNLOAD_TOOL (вивантаження інструмента) — UNLTL та інші стратегії.

Щоб виконати такий різкий перехід від однієї системи програмування до іншої, хоч і більш досконалої, необхідні нові сучасні пристрої ЧПК, створити які та забезпечити ними виробництва в достатній кількості за короткий термін практично неможливо. Тому здійснюється поступовий перехід від існуючої системи програмування до запропонованої. Відповідно до цього сьогодні за стандартом ISO 14649 працюють три типи систем ЧПК:

Тип 1 — базується на традиційному використанні G- та M-кодів (ISO 6983), тобто побудований на базі звичайної системи ЧПК без будь-яких внутрішніх доопрацювань та змін. Тут керуюча програма за ISO 14649 конвертується в формат ISO 6983 через постпроцесування. Якщо бути точним, цей тип не можна назвати STEP-NC-CNC.

Тип 2 — пристрій ЧПК має вмонтовану додаткову частину, яка інтерпретує керуючу програму, розроблену за ISO 14649, в ISO 6983 самотужки, при цьому будь-який штучний інтелект відсутній.

Тип 3 — повномасштабний варіант STEP-NC-CNC, за яким інтелектуальні функції системи ЧПК підтримують ланку STEP-NC-CNC, виконану на базі стандарту ISO 14649. Штучний інтелект системи уможливорює автономне керування обробленням деталі від наладки до контрольного вимірювання.

Контрольні запитання

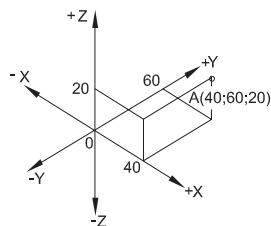
- 1. Як визначається напрям осей координат верстата?*
- 2. Як призначити систему координат деталі в системі координат верстата?*
- 3. Охарактеризуйте абсолютну та відносну систему відліку.*
- 4. Поясніть сутність зміщення системи координат деталі.*
- 5. Що таке вибір баз? Наведіть приклади.*
- 6. Назвіть функції G для позиціонування, лінійної, кругової та гвинтової інтерполяції.*
- 7. Охарактеризуйте службові функції. Наведіть приклади.*
- 8. Назвіть функції корекції довжини та радіуса інструмента, їх місце в кадрі. Наведіть приклади використання кожної та застереження щодо їх застосування.*
- 9. Що таке цикл? Охарактеризуйте застосування циклів G65 та G66.*

10. Які Ви знаєте схеми обробки отворів на верстатах з ЧПК?
11. Напишіть формат кадру свердлильного циклу та покажіть схему рухів.
12. Назвіть відомі Вам свердлильні цикли. Прокоментуйте кадри програми %29.
13. Охарактеризуйте особливості програмування в полярній системі. Наведіть приклад.
14. Наведіть приклад ланцюжкового програмування обробки отворів.
15. Назвіть особливості програмування фрезерної обробки відкритих, напіввідкритих та закритих площин.
16. Наведіть приклади повтору кадрів та підпрограм.
17. Що таке віддзеркалення, поворот осей, масштабування?
18. Поясніть сутність параметричного програмування.
19. Опишіть можливості та порядок ручного програмування на верстаті з пульта, на комп'ютері в спеціальній програмі («Cimco Edit»).
20. Які Ви знаєте способи перевірки правильності керуючої програми? Охарактеризуйте кожний.
21. Назвіть особливості програмування в CAD/CAM-системах.
22. Що таке адитивні технології?
23. Назвіть фактори, які найбільше впливають на точність обробки на верстаті з ЧПК.
24. Охарактеризуйте контрольно-вимірвальну систему для верстатів з ЧПК.
25. Поясніть сутність програмного базування, наведіть приклади.
26. Розкажіть про вибір різального інструменту, вибір та можливу корекцію режимів різання для обробки на свердлильно-фрезерно-розточувальних центрах.
27. Охарактеризуйте призначення та вибір допоміжного інструменту.
28. Поясніть особливості ВШО.
29. Назвіть основні режими роботи пристрою ЧПК 2С-42.

Завдання для самостійних занять

Завдання 2.1. За вказаним на рисунку зразком накресліть систему координат та позначте в ній точку з координатами Вашого варіанта з табл. 2.1.1

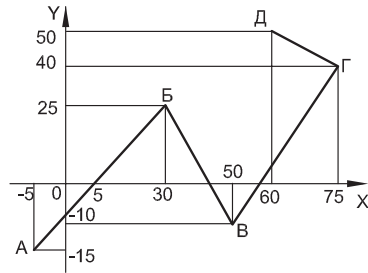
Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів 2.2 і 2.3.



Таблиця 2.1.1

Варіант	Координати точки			Варіант	Координати точки		
	X	Y	Z		X	Y	Z
1	10	-30	20	9	-50	-20	30
2	50	20	-40	10	45	30	-20
3	-20	10	-50	11	-30	-40	-50
4	-40	-40	-20	12	50	40	30
5	30	20	-40	13	25	25	50
6	20	10	50	14	-30	20	40
7	45	25	-30	15	-30	-30	-40
8	-20	40	10	16	10	20	50

Завдання 2.2. Накресліть за вказаним на рисунку зразком систему координат. Перенесіть туди координати точок Вашого варіанта з табл. 2.2.1, з'єднайте прямими відрізками, як показано на рисунку. Відповідно до наведеного прикладу опишіть рух з точки А у точку Д в абсолютній і відносній системі.



Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів 2.2 і 2.3.

Лінійні переміщення.
Абсолютний та відносний відлік

Приклад програмування переміщень в абсолютній та відносній системі:

Абсолютна система	Відносна система
N10 G90 G00 X-5 Y-15;	N10 G91 G00 X-5 Y-15;
N20 G01 X30 Y25 S500 F0,5;	N20 G01 X35 Y40 S500 F0,5;
N30 X50 Y-10;	N30 X20 Y-35;
N40 X75 Y40;	N40 X25 Y50;
N50 X60 Y50;	N50 X-15 Y10;

Таблиця 2.2.1

Варіант	А	Б	В	Г	Д
1	-10;-30	-10;-5	40;10	60;10	50;20
2	-5;0	10;20	40;-10	50;30	40;50
3	10;-10	50;40	70;0	80;30	20;60
4	-40;-50	5;10	40;-20	70;0	65;10
5	5;5;	25;25;	40;5	60;25	50;50
6	0;-10	10;30	40;-5	70;40	50;60
7	-5;-20	30;20	50;-50	80;10	80;40
8	10;10	30;30	60;-5	80;40	60;50
9	-10;10	40;30	60;-10	80;30	60;60
10	0;-20	5;-10	30;-20	60;-10	60;40
11	5;5;	60;10	70;-5	80;10	60;40
12	0;0	20;20	50;-5	70;40	80;70
13	-10;-5	30;10	40;-5	60;60	40;90
14	5;5	20;40	60;-5	80;80	60;80
15	10;-5	30;50	60;0	70;40	60;40
16	-20;10	25;15	50;0	60;30	50;50

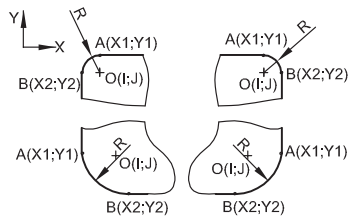
Завдання 2.3. Кругова інтерполяція. Користуючись даними табл. 2.3.1, напишіть два варіанти програмування переходу лінійного переміщення в заокруглення в абсолютній і відносній системах для деталі з рисунку. Розгляньте рух інструмента в кожному випадку за стрілкою годинника і проти неї. Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів 2.3 і 2.7.

Таблиця 2.3.1

Координата точки	1	2	3	4	5	6	7	8
А	40;90	60;110	80;40	70;30	50;65	75;90	100;50	50;40
В	50;80	70;100	60;20	50;10	65;50	90;75	75;25	25;15
О	50;90	60;100	80;20	50;30	50;50	75;75	75;50	25;40
R	10	10	20	20	15	15	25	25

Наприклад, інструмент виконує прямолінійний робочий рух у точку $A(40;90)$, а з точки A у $B(50;80)$ виконує заокруглення радіусом 10 мм з центром в точці $O(40;80)$. Ці рухи програмуються в абсолютній системі так:

$N10 G90 G01X40 Y90 F0,3;$
 $N20 G02 X50 Y80 I40 J80;$
 або через радіус:
 $N10 G90 G01X40 Y90 F0,3;$
 $N20 G02 X50 Y80 R10;$
 У відносній системі:
 $N20 G91 G02 X10 Y-10 I0 J-10;$
 або через радіус:
 $N20 G91 G02 X10 Y-10 R10;$

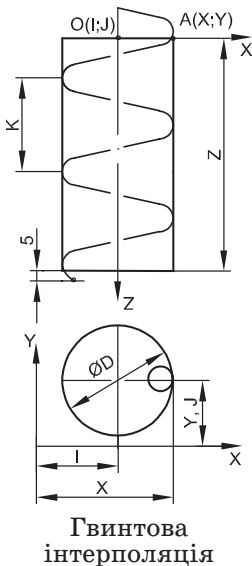


Кругова інтерполяція

Завдання 2.4. Гвинтова інтерполяція. Користуючись даними табл. 2.4.1, напишіть кадр програми руху по гвинтовій лінії за стрілкою годинника і проти неї в абсолютній і відносній системах для деталі, зображеної на рисунку.

D — діаметр різьби;
 $I = X - D/2; Y = J.$

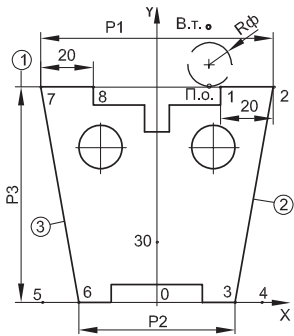
Таблиця 2.4.1



Варіант	A	Z	K	D
1	90;90	-60	10	80
2	80;80	-30	5	100
3	110;110	-80	10	90
4	120;120	-90	6	75
5	60;60	-30	3	50
6	50;50	-25	5	60
7	140;140	-60	4	100
8	70;70	-50	5	80
9	100;100	-70	10	100

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів 2.3 і 2.7.

Наприклад, для варіанта 9:
 N10 G17 G90 G12 X100 Y100 I50 J100 Z-75 K10 F0,2 S400;
 N10 G17 G91 G12 X0 Y0 I-50 J0 Z-75 K10 F0,2 S400;



Обробка контуру деталі

Завдання 2.5. Контурна обробка. Користуючись даними табл. 2.5.1 для свого варіанта, розробіть програму фрезерування контуру деталі, зображеної на рисунку, циліндричною кінцевою фрезою діаметром 32 мм. Висота фрезерування 17 мм.

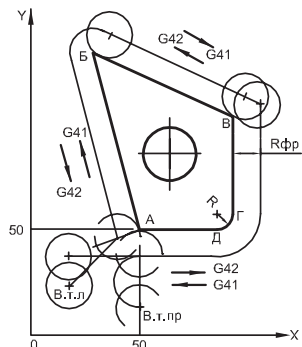
Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.11, 2.12, 2.13.1, 2.13.2, 2.13.3.

Таблиця 2.5.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P1	118	140	150	162	170	178	220	248	325	275	305	340
P2	82	105	125	148	145	140	215	240	320	265	298	320
P3	96	116	127	140	128	132	90	90	90	95	95	95

Завдання 2.6. Корекція праворуч і ліворуч. Користуючись даними табл. 2.6.1, розробіть програму фрезерування контуру деталі, зображеного на рисунку, циліндричною кінцевою фрезою при обході його ліворуч (функція корекції G41) та праворуч (функція корекції G42).

У програмі використайте команду підходу до поверхні обробки G64 та команди плавного врізання і відводу фрези (G65 і G66). Використайте команди обходу кутів, вважайте, що вершина В може бути технологічно заокругленою, а вершина Б має бути гострою. Товщина пластини 4 мм.



Корекція при обході контуру ліворуч і праворуч

Таблиця 2.6.1

Варіант	А	Б	В	Г	Д	Р	Дфр	Z
1	50;50	40;130	100;100	100;60	90;50	10	30	5
2	45;45	30;120	90;95	90;55	70;35	20	20	6
3	40;40	35;125	95;90	95;60	65;30	30	16	4
4	60;60	55;125	85;95	85;55	70;40	15	24	3
5	55;55	45;130	105;85	105;60	80;35	25	16	6
6	30;30	25;110	80;90	80;60	45;25	35	20	4
7	35;35	30;140	100;120	100;80	90;70	10	40	5
8	50;50	40;135	110;100	110;70	80;50	20	30	4

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.12, 2.13.1, 2.13.2, 2.13.3 та розгляньте наведені нижче приклади.

Таблиця 2.6.2

Обробка деталі обходом контуру ліворуч (G41)	
Кадр	Виконувані дії
N10 G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20 G90 G71 X50 Y50;	Встановлення «0» деталі
N30 M00;	Перевірка відстані до «0»
N40 S0 T03; (FREZA D30)	Підготовка інструмента
N50 G28 M06;	Установка в шпіндель
N60 G00 G91 Y40;	Виїзд з позиції заміни інструмента
N70 G00 X30 Y30;	Підведення фрези до контуру
N80 G00 G43 D03 Z10 S500 M03;	Підведення фрези по Z, введення корекції на довжину, призначення режимів
N90 G01 Z-7 F60M08;	Подача фрези на робочу глибину, ЗОР
N100 G64 G01 G90 X50 Y50 G41 D41;	Підведення фрези до оброблюваної поверхні циклом G64, корекція на радіус при обході ліворуч
N110 G37 X40 Y130 F60;	Обробка сторони А—Б, цикл обходу гостровершинного кута
N120 G36 X100 Y100;	Обробка сторони Б—В, цикл обходу кута дугою
N130 Y60;	Обробка сторони В—Г
N140 G02 X90 Y50 R10;	Кругова інтерполяція за стрілкою годинника, обробка заокруглення Г—Д
N150 G01 X47;	Обробка сторони Д—А, вихід фрези
N160 G00 Z150 M05 M09;	Відвід фрези по Z, зупинка шпінделя
N170 G40 G70;	Скасування корекцій і зміщення «0»
N180 G00 X250;	Відхід в позицію перезавантаження
N190 M30;	Кінець програми

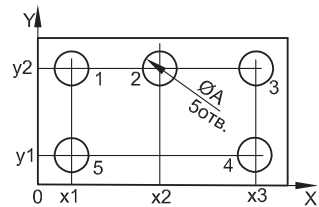
Таблиця 2.6.3

Обробка деталі обходом контура праворуч (G42)	
Кадр	Виконувані дії
N10 G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20 G90 G71 X50 Y50;	Встановлення «0» деталі
N30 M00;	Перевірка відстані до «0»
N40 S0 T03; (FREZA D30)	Підготовка інструмента
N50 G28 M06;	Установка в шпіндель
N60 G91 Y40;	Виїзд з позиції заміни інструмента
N70 G00 X50 Y10;	Підведення фрези до контуру
N80 G00 G43 D03 Z10 S500 M03;	Підведення фрези по Z, введення корекції на довжину, призначення режимів
N90 G01 Z-7 F60 M08;	Подача фрези на робочу глибину, ЗОР
N100 G65 G01 G91 X0 Y40 G42 D41;	Підведення фрези до оброблюваної поверхні циклом G65, корекція на радіус при обході праворуч
N110 G90 X90 F60;	Обробка сторони А—Д
N120 G03 X100 Y60 R10;	Обробка заокруглення Д—Г, кругова інтерполяція проти стрілки годинника
N130 G01 G36 Y100;	Обробка сторони Г—В, обхід кута
N140 G37 X40 Y130;	Обробка сторони В—Б, обхід гостровершинного кута
N150 X50 Y50;	Обробка сторони Б—А
N155 G66 X50 Y10 M09;	Плавний відвід фрези по дузі
N160 G00 Z150 M05 M09;	Відвід фрези по Z
N170 G40 G70;	Скасування корекцій і зміщення «0»
N180 G00 X250;	Відхід в позицію перезавантаження
N190 M30;	Кінець програми

Завдання 2.7. Обробка отворів на свердлильно-фрезерному ОЦ.

Завдання 2.7.1. У плиті товщиною 40 мм за розробленою Вами програмою просвердліть отвори. Дані для варіантів подано в табл. 2.7.1.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.14.1, 2.14.2, 2.14.3.



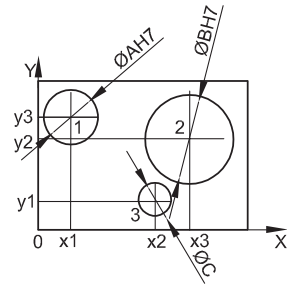
Свердління неточних отворів

Таблиця 2.7.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	15	10	6	8	16	20	18	4	5	15	12	10
X1	30	35	28	27	36	40	42	0	-5	-10	-4	-2
X2	60	55	68	70	70	80	75	50	45	50	46	58
X3	80	75	95	100	96	110	108	90	80	85	90	100
Y1	30	40	25	10	5	8	15	20	32	40	38	35
Y2	60	70	60	50	38	45	50	55	68	78	80	70

Завдання 2.7.2. Запрограмуйте обробку трьох отворів, зображених на рисунку, попередньо склавши технологічний регламент обробки кожного. Товщина плити 30 мм. Дані для варіантів подано в табл. 2.7.2.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.14.1, 2.14.2, 2.14.3.



Обробка отворів різного діаметра і точності

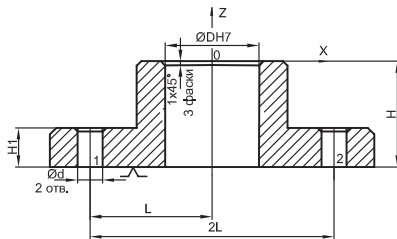
Таблиця 2.7.2

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AH7	80	75	70	65	60	85	90	70	75	80	85	80
BH7	40	30	25	30	40	50	45	50	55	40	40	40
C	20	15	15	20	25	20	15	25	25	20	20	20
X1	50	40	40	60	50	65	60	55	50	45	40	50
X2	100	80	75	100	80	100	90	100	80	90	75	80
X3	140	120	110	130	120	140	160	180	155	140	150	180
Y1	30	20	25	20	30	25	15	25	30	35	20	30
Y2	80	70	75	70	80	75	70	80	85	90	80	75
Y3	110	100	105	170	150	140	145	155	170	165	155	180

Завдання 2.7.3. Складіть програму обробки трьох отворів, зображених на рисунку, попередньо склавши технологічний регламент обробки кожного.

Дані для варіантів подано в табл. 2.7.3

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.14.1, 2.14.2, 2.14.3.

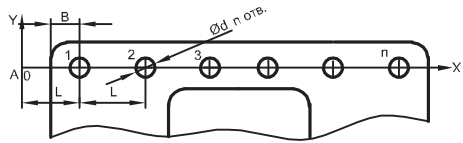


Обробка отворів у корпусі

Таблиця 2.7.3

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DN7	45	48	50	52	54	56	58	60	55	52	48	46
d	9	8	7	10	11	12	9	8	7	6	8	7
H1	16	13	12	10	12	14	15	16	14	12	14	16
H	40	35	36	29	34	35	38	40	36	37	39	40
L	60	50	55	58	62	64	56	54	62	60	58	56

Завдання 2.7.4. Складіть програму обробки отворів, зображених на рисунку, використавши метод програмування отворів, розташованих ланцюжком. Товщина деталі 15 мм.



Обробка ланцюжка отворів

Дані для варіантів подано в табл. 2.7.4.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.14.1, 2.14.2, 2.14.3.

Таблиця 2.7.4

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
d	5	6	7	8	9	10	9	8	7	6	5	4
L	20	35	44	25	45	36	43	55	42	34	44	50
B	17	4	8	7	35	13	21	27	44	39	29	40
n	5	8	3	4	7	13	17	8	7	13	3	4

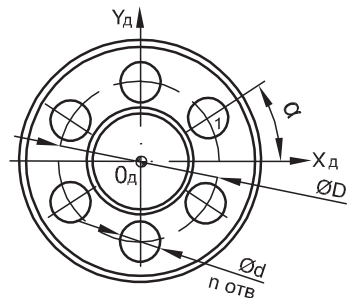
Завдання 2.7.5. Складіть програму обробки отворів на деталі, зображеній на рисунку, використавши метод програмування обробки в полярній системі координат для отворів, розташованих по колу. Товщина фланця 15 мм.

Дані для варіантів подано в табл. 2.7.5, де:

α° — кут зміщення першого отвору з осі X;

D — діаметр кола, на якому розташовані осі отворів;

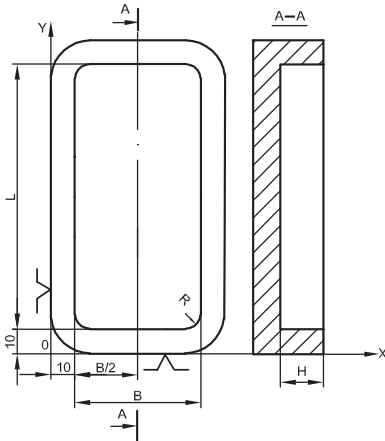
n — кількість отворів по колу.



Обробка отворів у полярній системі координат

Таблиця 2.7.5

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D	80	90	100	110	120	130	140	145	155	160	170	180
d	5	6	7	8	9	4	5	6	7	8	9	10
α°	10	20	0	30	40	50	55	60	75	90	0	25
n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	17



Обробка вибірки

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.14.1, 2.14.2, 2.14.3.

Завдання 2.8. Обробка вибірки. Використовуючи дані табл. 2.8.1, складіть програму обробки вибірки на деталі, зображеній на рисунку.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів 2.15, 2.17, а також проаналізуйте наведений нижче приклад.

Таблиця 2.8.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L	160	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	170
B	70	60	62	65	67	68	70	72	74	70	80	78
H	20	13	17	19	21	23	24	25	26	27	29	27
R	12	7	8	9	10	12	13	17	19	21	27	29

Розглянемо приклад програми обробки деталі по варіанту 1 (табл. 2.8.2)

Таблиця 2.8.2

% 2.08.1 Кадр	Виконувані дії
N10 G29;	Вихід в постійні точки верстата
N20 G90 G71 X0 Y0;	Встановлення «0» деталі
N30 S0 T03; (SVERDLO D20)	Підготовка інструмента
N35 G28 M06;	Установка в шпіндель
N40 G00 Y40; (FREZA D20)	Вихід з позиції заміни, підведення фрези
N50 G00 X25 Y25;	Підхід свердла у вихідну точку

Закінчення табл. 2.8.2

% 2.08.1 Кадр	Виконувані дії
N80 G00 G43 D03 Z10 S500 M03 M08;	Підведення свердла по Z, введення корекції на довжину, призначення режимів, подача ЗОР
N90 G01G81 Z-20A5B5 F80;	Свердління отвору Ø20 на глибину 20
N100G80S0;	Відміна циклу свердління, кутова орієнтація шпінделя
N110G28M06;	Заміна інструмента на фрезу
N120 G00 Y40;	Вихід з позиції заміни
N130G19Y25S630F30M08;	Перехід на обробку в площині YZ. Призначення режимів
N140L2P3(5)P4(110)H4;	Обробка вибірки за підпрограмою L2, заданою параметрами P3 і P4, 4 повтори
N150G00X45Y90;	Вихід в точку початку обробки вибірки по контуру 5
N160G65G01X80Y90G41D33 F20;	Вихід на контур по дузі, корекція радіуса фрези, призначення режимів обробки
N170Y158;	Обхід вибірки по контуру 5
N180G03X68Y170R12;	
N190G01X22;	
N200G03X10Y158R12;	
N210G01Y22;	
N220C03X22Y10R12;	
N230G01X68;	
N240G03X80Y22R12;	
N250G01Y90;	
N260G66X45Y90F1000 M09;	Вихід фрези з контуру 5
N270G00G70G40Z150S0;	Відвід фрези по Z, відміна корекцій і зміщення
N280M30;	Кінець програми
L2;	Підпрограма 2
N10G91G01Y(P4)F40S400;	Фрезерування по схемі «зигзаг». Робочий рух по осі Y
N20X(P3);	Робочий рух по осі X
N30Y(-P4);	Фрезерування у зворотному напрямі
N40X(P3);	Робочий рух по осі X
N50M20;	Кінець підпрограми

Завдання 2.9. Обробка контурів

Завдання 2.9.1. Нижче наведено програму обробки контуру деталі «кришка» і чотирьох отворів (див. рисунок).

Товщина деталі 14 мм.

Уважно прочитайте програму, прокоментуйте письмово кожний кадр. Напишіть технологічний регламент обробки, зобразіть траєкторії руху інструментів.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.11, 2.12, 2.13, 2.14.

% 2.09.1; (KRISHKA)

N10G29;

N20G00G90G71X0Y0;

N22S0T03; (FREZA D32)

N24G28M06;

N30G00G91Y-80T08; (ZENTR. SVERDLO D3.15)

N40G00G90G09X-60Y90;

N45G43D03Z10S800M03;

N48G01Z-17F200M08;

N50G65G91X0Y90G41D31F60;

N60G02X10Y10R10;

N70G01G90X90;

N80G02X100Y90R10;

N90G01Y10;

N100G02X90Y0R10;

N110G01X10;

N120G02X0Y10R10;

N130G01Y90;

N140G66X-60Y90M09;

N145 G00Z150S0;

N150G28 M06;

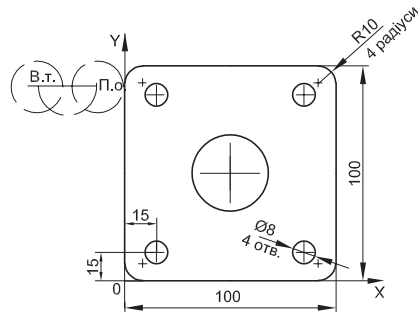
N160G00G91Y-80T11; (SVERDLO D8)

N170G00G90G43D08Z10S1250M03;

N180G00G09X15Y15;

N190G82Z-8A10B10 F100;

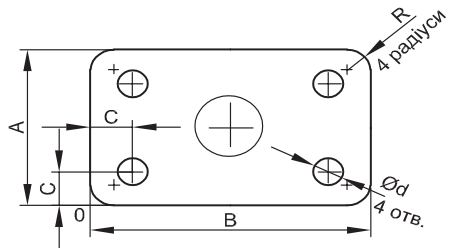
N200Y85;



Обробка контуру деталі «кришка»

N210X85;
 N220Y15;
 N230X15;
 N240G80Z400S0;
 N250G28 M06;
 N260G91G00Y-80T17; (ZENKIVKA D10)
 N270G90G43D11Z10S1000M03;
 N280G00X15Y15;
 N290G81Z-19A10B10 F80;
 N300Q200-250;
 N310G91G00Y-80T03; (FREZA D32)
 N320G90G43D17Z10S400M03;
 N325X15Y15;
 N330G81Z-1A10B10 F30;
 N340Q200-240;
 N160X250;
 N170M30;

Завдання 2.9.2. Призначте початок координат, напишіть технологічний регламент обробки, розробіть самостійно керуючу програму обробки контуру і чотирьох отворів деталі «кришка» (див. рисунок) для свого варіанта (табл. 2.9.1). Товщина деталі 8 мм. Розташування контуру і отворів осесиметричне.



Завдання на обробку деталі «кришка»

Таблиця 2.9.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	100	110	105	95	90	115	120	125	110	115	120	125
B	60	70	75	70	70	70	70	70	65	65	65	80
C	15	16	17	21	22	20	19	18	15	15	15	17
R	10	8	9	12	8	10	12	7	8	5	12	7
d	4	5	6	7	8	7	6	5	4	9	8	7

Завдання 2.9.3. Нижче наведено програму обробки контуру панелі і двох отворів (див. рисунок).

Опишіть на прикладі базування в координатний кут. Прокоментуйте кадри. Напишіть технологічний регламент обробки, зобразіть траєкторії руху інструментів. Визначте початок системи координат у програмі.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфів: 2.11, 2.12, 2.13, 2.14.

% 2.09.3; (PANEL)

N10G29;

N20G00G90G71X0Y0;

N22S0T03; (FREZA D32)

N24G28M06;

N30G00G91Y-80T08; (ZENTR. SVERDLO D3.15)

N40G00G09X0Y-20;

N45G43D03Z10S800M03;

N48G01Z-5F200M08;

N50G64G90G01X20Y-3G41D31F60;

N60Y100G37;

N70X60G37;

N80Y20G37;

N90X15;

N91Y-3;

N94Z-8 F120;

N95X20;

N96 Q60-90;

N100 G00Z150S0;

N110G28 M06;

N120G00G91Y-80T11; (SVERDLO D6)

N130G00G90G43D08Z10S1250M03;

N140G09X40Y40;

N150G82Z-8A10B10 F80;

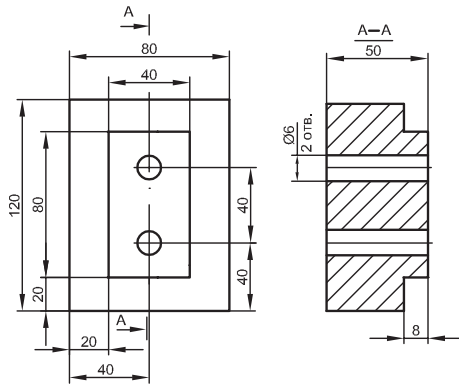
N160Y80;

N170G00Z400S0;

N180G28 M06;

N190G91G00Y-80T17; (ZENKIVKA D8)

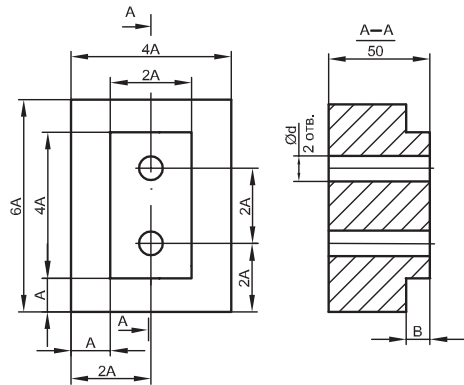
N200G00G90G43D11Z10S1000M03;



Завдання на обробку панелі 1

N210X40Y40;
 N220G83Z-53Q9A10B10 F100;
 N230Y80;
 N240G00Z400S0;
 N250G28 M06;
 N260G91G00Y-80T03; (FREZA D32)
 N270G00G90G43D17Z10S1000M03;
 N280X40Y40;
 N290G81Z-1A10B10 F100;
 N300Y80;
 N310G00G80Z400S0M09;
 N320X250;
 N330M30;

Завдання 2.9.3. Розробіть самостійно програму обробки контуру $2A \times 4A$ і двох отворів панелі (див. рисунок) для свого варіанта (табл. 2.9.2). Виберіть початок координат, розробіть технологічний регламент.



Завдання на обробку панелі 2

Таблиця 2.9.2

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	13	16	17	18	19	20	21	22	29	24	25	27
B	8	10	5,5	9,5	6	9	6,5	8,5	7	8	7,5	8
d	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6

РОЗДІЛ III

ПРОГРАМУВАННЯ ОБРОБКИ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Токарні верстати з ЧПК становлять найбільшу групу у верстатному парку. Незважаючи на велику кількість модифікацій, типорозмірів та інших відмінностей, об'єднує їх те, що для програмування обробки потрібно лише дві осі, щоб задати рух інструмента відносно деталі, що обертається.

Інструмент установлюється в спеціальній 4-, 6-, 8-, 12-, 16-позиційній револьверній головці. Револьверна головка може оснащуватися, крім традиційних інструментів (нерухомо закріплених в головці), інструментами з автономним приводом, розташованими паралельно, перпендикулярно або з нахилом до осі обертання деталі.

Вісь Z верстата збігається з віссю обертання деталі, а вісь X визначає радіальне положення формоутворюючого (різального) інструмента (рис. 3.1).

Токарні верстати оснащуються пристроями ЧПК з контурними системами. Найбільш поширеними з них є: «Електроніка-НЦ-31», «Електроніка НЦ-80-31» (МС-21), «2Р 22», «FANUC», «Сінумерік», «Міллтронікс», «Маяк» та ін.

Принципової відмінності між ними немає. Програмування відбувається тією самою мовою міжнародного стандарту ISO 6983 з «діалектами», які виникають у виробників пристроїв ЧПК та верстатів.

Пристрій ЧПК, програмування для якого розглянемо далі, — НЦ-80-31 (МС-21). Завдяки нескладній модернізації він може отримувати програми безпосередньо з комп'ютера або через флешку (як і в пристрої ЧПК 2С-42, це зроблено замість входу для фотозчитувального пристрою). Керуюча програма може задаватися також і в ручному режимі з

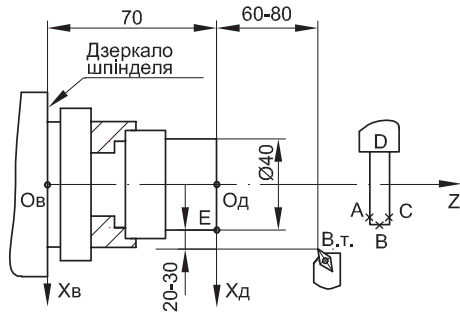


Рис. 3.1. Осі координат.
«Прив'язка» інструмента

клавіатури пульта пристрою ЧПК, закріпленого на супорті верстата.

Режими роботи пристрою НЦ-80-31 такі самі, як і пристрою 2С-42: автомат, ручний, вихідне положення, вихід у кадр, редактор керуючої програми, редактор коректорів і параметрів. В усіх режимах є такі самі підрежими. Ці режими роботи ПЧПК забезпечують введення та редагування керуючої програми, її перевірку прискореним рухом, по-кадрово та ін.

3.1. Заготовки, деталі для обробки на токарному верстаті з ЧПК. Вимоги до них

На верстатах з ЧПК обробка відбувається з мінімальним втручанням оператора, тому до заготовок ставляться підвищені вимоги щодо їх точності та правильності геометричної форми. Найбільш поширеним видом заготовок для токарної обробки є прокат (діаметральна точність залежно від діаметра — $0,4 \div 1,0$ мм). Для верстатів з отвором у шпінделі заготовкою відразу для кількох деталей може слугувати прут з максимальним діаметром, на $3 \div 4$ мм меншим діаметра отвору (до 55 мм для 16К20Ф3).

Для деталей більшого діаметра заготовки із прокату штучні. Під час обробки їх закріплюють у трикулачковому патроні з пневмо- або електромеханічним затискуванням.

Залежно від серійності, конфігурації та габаритних розмірів деталі, заготовками можуть бути також поковки, виливки, штамповки.

Поверхні, по яких базується заготовка на верстаті, як правило, обробляють окремою операцією попередньо. Якщо виробництво дрібносерійне, частіше це виконують на універсальному верстаті.

Перед чистовою обробкою, за підвищених вимог до розташування оброблюваних поверхонь, кулачки патрона обточують зверху на діаметр розтиснення (деталь кріпиться розтисненням в отворі) або розточують на діаметр затиску (база в деталі — зовнішній діаметр). Кулачки перед розточуванням попередньо фіксують — затискуючи коротку деталь з діаметром, трохи меншим від того, за який кріпиться заготовка. Програмують обробку в послідовності —

від жорсткішого більшого діаметра до зони малої жорсткості — малих діаметрів.

Кількість інструментів для обробки деталі на токарному верстаті з ЧПК з однієї установки обмежена кількістю гнізд у різцетримаючій головці — 6, 8, 12, 16 (у верстатах з інструментальним магазином — до 30, 40), тому до деталей для обробки на токарному верстаті з ЧПК ставляться підвищені вимоги щодо технологічності.

Технологічність — це комплекс особливостей конструкції деталі, що дозволяє застосувати найбільш досконалі сучасні технології її виготовлення. Оцінюється за такими ознаками:

- можливість групової обробки, що знижує кількість потрібного оснащення й інструменту; може використовуватись одна базова комплексна керуюча програма, в результаті редагування якої отримують програми на деталі групи;

- ступінь уніфікації елементів деталі — визначається кількістю інструментів, застосованих для обробки;

- інструмент має бути стандартним; використання спеціального інструменту можливе тільки як виняток;

- мінімальна кількість перестановок у ході обробки;

- жорсткість деталі — мінімальна деформація під час обробки;

- оброблюваний контур деталі має складатися з відрізків прямої, дуг кола, відрізків параболи, іншої кривої, яку можна описати математично.

Підготовку обробки деталі починають, як і на ОЦ, з аналізу її конструкції на технологічність.

3.2. Технологічна підготовка

3.2.1. План операції. Опорні точки. Еквідистанта

План операції обробки деталі на токарному верстаті з ЧПК розробляють за такою самою схемою, як на ОЦ.

1. Аналізують креслення, виділяють поверхні обробки та базові поверхні, за потреби — узгоджують конструктивні зміни, наносять розташування притискувачів, зон кріплення деталі, призначають додаткову обробку базових поверхонь.

2. Встановлюють вимоги до оброблюваних поверхонь після обробки: точність виконуваних розмірів та геометрич-

ного розташування поверхонь, шорсткість, припуски й допуски на поверхні, які оброблюються на верстаті з ЧПК не остаточно тощо.

3. Складають план операції: послідовність обробки поверхонь і технологічний регламент обробки кожної. Якщо в різцевій головці недостатньо позицій для встановлення всіх необхідних інструментів, то операцію ділять на дві або програмують зупинку для заміни інструмента, що відпрацював, на наступний, потрібний за програмою.

На відміну від універсальних верстатів, де технологічний процес (особливо в дрібносерійному виробництві) не завжди деталізується (спеціаліст знає, як операцію виконати найкраще), для верстатів з ЧПК технологія деталізується до елементарних рухів. Основна структурна одиниця технологічного процесу, від якої починається розробка програми, — перехід, що може містити кілька проходів. Виконує цю детальну розробку технологічного процесу технолог-програміст або наладчик у дрібносерійному виробництві, для чого розробляє ескіз обробки, який вносить у карту наладки. Аналізуючи характер траєкторії руху різця й умови роботи, розробник вибирає геометрію його різальної частини.

Відпрацювання переміщень відбувається: прискореним рухом по команді G0, на контурній робочій подачі за командами G1, G2, G3. При цьому слід дотримуватися правил:

- довжина холостих переміщень має бути мінімальною;
- неприпустимими є зупинка інструмента і різка зміна подачі в процесі різання, коли різальна крайка торкається оброблюваної поверхні, інакше неминуче пошкодження і оброблюваної поверхні, і різальної крайки різця;

- перед зупинкою інструмент потрібно на робочій подачі відвести від оброблюваної поверхні;

- щоб виключити вплив на точність обробки люфтів, деформацій від сили різання тощо, слід передбачити додаткові петлеподібні переходи для вибору зазорів або уникнення удару від різкої зміни величини чи напрямку дії сили різання.

Залежно від вимог до точності обробки та якості поверхні токарні операції поділяють на чорнові й чистові. Під час *чорнкової обробки*, завдання якої — зняти основний припуск і підготувати деталь до чистової операції, рекомендована така приблизна послідовність переходів:

- 1) підрізка торця, щоб підготувати базу для виконання і контролю поздовжніх розмірів;

2) свердління центрального отвору. Перед свердлінням бажано зацентрувати торець, особливо якщо довжина свердла велика, щоб уникнути зміщення і викривлення осі отвору. Отвір бажано свердлити до зовнішнього поздовжнього обточування, тому що потужні сили різання під час свердління можуть спричинити деформації деталі, особливо якщо деталь тонкостінна. Якщо діаметр отвору перевищує 30 мм, щоб знизити сили різання, його свердлять за кілька переходів, застосовуючи набір сверدل із перепадом діаметрів $10 \div 15$ мм;

3) чорнова обробка зовнішніх поверхонь;

4) чорнове розточування внутрішніх карманів.

Точність чорнкової обробки забезпечується «прив'язкою» інструментів перед обробкою по осях, періодичним контролем деталі та підналадкою верстата, на верстатах із сучасними пристроями ЧПК — через програму.

Якщо обробка поверхні остаточна, з жорсткими вимогами до точності розмірів і розташування поверхонь, програміст-технолог розглядає і програмує рух центру вершини різця по еквідистанті.

В токарній обробці еквідистанта розташована на відстані радіуса вершини різця від оброблюваної поверхні.

Для поверхні з прямолінійною твірною (циліндрична, конічна, торцева) еквідистанта — теж відрізок прямої, паралельний оброблюваному. Радіус вершини різця у цьому разі враховують корекцією з пульта ПЧПК під час наладки (див. параграф 3.3, «прив'язка» інструмента). Одночасно вводять корекцію на оброблюваний розмір (залежно від розташування поля допуску), вносять поправку на відтискування технологічної системи дією сили різання, інші можливі радіальні корекції. У програмі зазначають номінальне значення розміру. Відбувається паралельне зміщення еквідистанти до потрібного значення радіальних розмірів деталі.

Якщо поверхня складається з послідовно розташованих конічних, циліндричних ступенів, торців, карманів, вибірок, криволінійних ділянок, то для дотримання усіх заданих розмірів розраховують опорні точки еквідистанти, залежно від попередньо визначених опорних точок контуру деталі.

Наприклад, розглянемо побудову еквідистанти для обробки деталі, зображеної на рис. 3.2, а. Починаємо з опорних точок контуру деталі: 1—2—3—4—5—6—7—8—9—10—11.

Точка 3 — опорна технологічна, в ній не змінюється напрям руху різця, а через підвищені вимоги до шорсткості поверхні змінюється робоча подача.

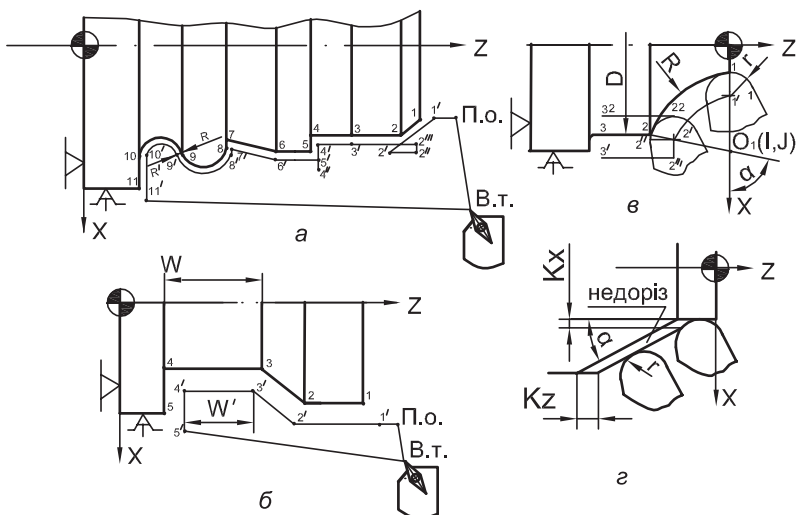


Рис. 3.2. Опорні точки. Еквідистанта

Після цього призначаємо необхідні переміщення центру вершини різця і фіксуємо опорні точки еквідистанти.

Обробка деталі починається з фаски, яка програмується як переміщення одночасно по осях X і Z . У такому разі вхід і вихід різця програмується із запасом, щоб не лишити уступ, якщо наступний діаметр або довжина будуть більшими за очікувані, а опорні точки еквідистанти 1'—2' розташуються, як показано на рис. 3.2, а. Далі, щоб перейти після фаски до обробки діаметра із заданою точністю, потрібно відійти по Z , потім повернутися по X до потрібного значення для обробки циліндра. У точці 3 на контурі (3' на еквідистанті) для забезпечення підвищених вимог до шорсткості поверхні необхідно змінити режими обробки, обточувати до точки 4 на контурі (4' на еквідистанті). Далі знов змінити режими до попередніх, підрізати торець і продовжити рух до точки 4'', повернутися в точку 5' на еквідистанті, обточувати діаметр на відріжку деталі 5—6. Така «петля» у траєкторії руху інструмента необхідна для забезпечення одностороннього підведення різця, вибору можливих зазорів у системі. Крім того, різка зміна напрямку обробки, величини

та напряму дії сили різання може призвести до «зарізів» на оброблюваній поверхні.

Якщо твірна контуру — дуга, то еквідистанта — концентрична їй дуга з тим самим центральним кутом (точки 8, 9, 10). Причому, якщо дуга радіусом R на деталі вгнута, радіус еквідистанти буде $R - r$ (рис. 3.2, а, в). Радіус еквідистанти випуклого контуру — $R + r$ (рис. 3.2, а), де r — радіус вершини різця.

При переході контуру з прямої на радіус або навпаки опорна точка еквідистанти (7' на рис. 3.2, а і 2''' на 3.2, в) у разі ручного програмування розраховується за математичними залежностями (див. приклад нижче).

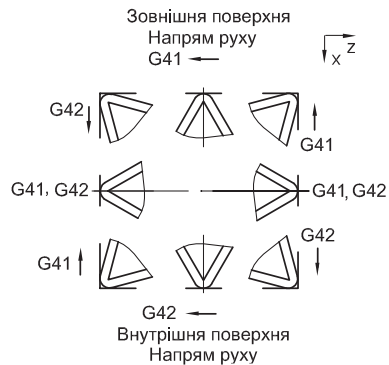
Якщо оброблювана поверхня криволінійна і переходить з випуклості на вгнутість або навпаки, опорною точкою еквідистанти буде точка її перетину лінією, що з'єднує центри дуг кривизни (9'), яку також треба розраховувати математично.

З урахуванням цих особливостей обробки, опорні точки еквідистанти для деталі (рис. 3.2, а) будуть: П.о.—1'—2'—2''—2'''—3'—4'—4''—5'—6'—7'—8'—9'—10'—11', тобто 15 опорних точок на еквідистанті при 11 на контурі деталі.

Під час обробки східчастої поверхні радіус вершини різця r впливає на значення координати Z (довжину) відповідного відрізка контуру. Наприклад, у ході обробки заниження на зовнішньому діаметрі (рис. 3.2, б) або кармана на внутрішній поверхні, щоб витримати значення довжини відрізка на деталі 3—4 рівним W , треба стежити за значенням довжини відповідного відрізка еквідистанти 3'—4', яке має дорівнювати $W' = W - 2r$.

Якщо цього не врахувати на чистовій операції, деталь може піти в брак.

У ході чистової обробки радіус вершини різця потрібно враховувати і при переходах з обробки циліндричної поверхні на конічну або навпаки (див. рис. 3.2, з). Через зміну точки контакту на радіусній поверхні вершини різця можуть виникати «недорізи» K_x і K_z , які враховують залежно від значення



радіуса на вершині різця r і кута нахилу α . Для цього існують спеціальні таблиці [16].

У сучасних пристроях ЧПК («FANUK», «Sienumeric» та ін.) в токарній обробці передбачено систему корекцій радіуса вершини різця (див. рис. 3.3): G41 — різець зліва від оброблюваної поверхні, G42 — різець з правого боку від оброблюваної поверхні.

Розглянемо приклад обробки вгнутої поверхні 1—2 (рис. 3.2, *в*) різцем з радіусом вершини r . Відомі: координати опорних точок деталі 1 і 2, координати центру дуги $I = I_i$ і $J = 0$, радіус вершини різця r .

Координати опорної точки еквідистанти $1'$ будуть:

$$X_{1'} = X_1 + r; Z_1 = 0. \quad (3.1)$$

Опорній точці контуру 2 відповідає опорна точка еквідистанти $2'$, яка лежить на радіусі $R - r$. Її координати треба розраховувати. Для цього розглянемо трикутник 2— $2'$ — $2''$, скористаємось відомими геометричними залежностями. Із трикутника:

$$X_{2'} = X_2 + b; b = 2-2'' = r \cos \alpha; \quad (3.2)$$

$$Z_{2'} = Z_2 + c; c = 2'-2'' = r \sin \alpha,$$

де α — кут дуги оброблюваного контуру. Якщо він невідомий, його знаходять за геометричним співвідношенням (рис. 3.2, *в*):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(J - Z_2)}{(I - X_2)}, \quad (3.3)$$

де I і J — координати центру дуги (рис. 3.2, *в*).

Якщо відомий радіус кривизни відрізка 1—2, R , кут дуги визначають зі співвідношення

$$\cos \alpha = \frac{R - (X_2 - X_1)}{R}. \quad (3.4)$$

Якщо далі задати рух інструмента вздовж циліндричної твірної, то різець знімить зайвий припуск з діаметра D , рухаючись вершиною по лінії 22—32. Тому, щоб витримати відстань до еквідистанти r , треба відвести різець по X на величину h в точку $2'''$. $h = r - b$ (довжина відрізка 2'— $2'''$ з рис. 3.2, *в*).

Як бачимо, математичні розрахунки кропіткі, а їх якість визначається здібностями та уважністю програміста.

З використанням графічного моделювання в САМ- або САД-програмі координати опорних точок визначаються прорисовуванням з високою точністю. Знижується ймовірність помилки в розрахунках і скорочується час підготовки керуючої програми.

У комп'ютеризованих пристроях ЧПК, в САМ-програмах, а також у спеціальних комп'ютерних програмах для обслуговування верстатів з ЧПК (наприклад, «Cimco Edit») еквідистанта розраховується автоматично по контуру деталі й заданому радіусу інструмента. Приклад обробки подібної деталі наведено в параграфі 3.9.

3.2.2. Технологічні бази

На рис. 3.4 наведені найбільш поширені методи установа та кріплення деталі для обробки на токарному верстаті з ЧПК:

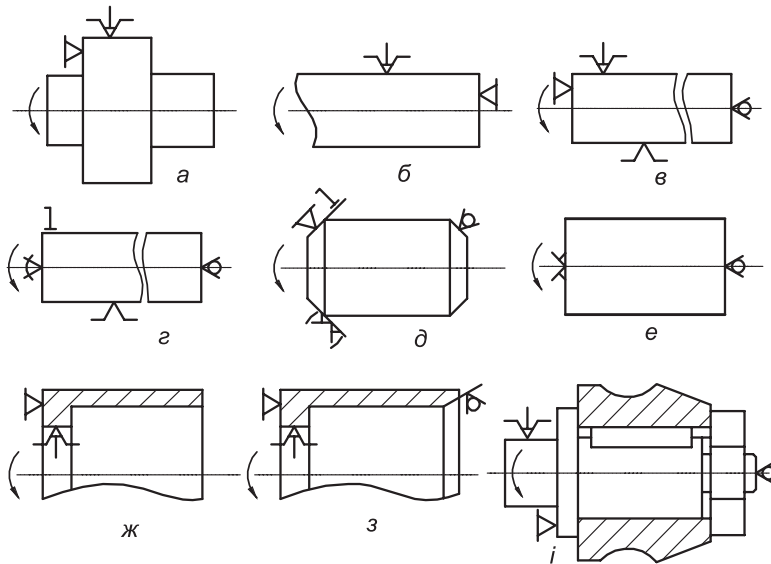


Рис. 3.4. Базування та кріплення деталі: *a, б* — затиск у патроні; *в* — затиск у патроні з підпором заднім центром; *г* — установка в центрах з поводком; *д* — в «рюмках» тертя; *е* — передній «йорш» і задній обертальний центр; *ж* — в патроні «на розтиснення»; *з* — в патроні «на розтиснення» з підпором заднім обертальним грибоквим центром; *і* — на оправці, виставленій і закріпленій в патроні

a, б — затиск у патроні з пневмо- чи електромеханічним приводом за зовнішній діаметр з упором в торець: (*a*) — лівий, (*б*) — правий, якщо прут проходить через шпіндель. Використовують для коротких деталей: $l \leq 5d$, де l — довжина деталі, d — діаметр (кришка, короткий валик, фланець, втулка тощо);

в — затиск у патроні з підпором обертальним заднім центром — використовується для діномірних деталей типу ходових гвинтів, гребних валів тощо: $l \geq 15d$. Для збільшення жорсткості кріплення таких деталей можна установити додатковий нерухомий люнет, в якому вал підтримується трьома центруючими його вісь упорами, виконаними для зменшення тертя з чавуну, фторопласту або у вигляді спеціальних обертальних гартованих і шліфованих роликів;

г — у центрах з поводком або в центрах і патроні — використовують, якщо підвищені вимоги до співвісності оброблених поверхонь;

д — передній поводок — «рюмка» тертя, задній — обертальний центр, також «рюмка» тертя. Застосовують за потреби обробки деталі з великими фасками (4 мм і більше) з однієї установки на всю довжину;

е — передній зубчастий торцевий поводок («йорш») і задній обертальний центр. Сфера застосування така сама, як і для «рюмок» тертя, а також для коротких деталей типу диск: $l < d$. Таким поводком може слугувати затиснута і виставлена в патроні торцева фреза;

ж — в патроні «на розтиснення» з упором деталі в передній торець, використовують для обробки коротких порожнистих деталей ($l \approx d$);

з — в патроні «на розтиснення», з базуванням ідентично позиції «ж», з підпором грибоквим обертальним центром. Сфера застосування — довгі порожнисті деталі: $l \geq 3d$;

і — порожнисті деталі, внутрішній діаметр яких недостатній для установки «на розтиснення» кулачками універсального патрона. Їх установлюють і закріплюють на спеціальних технологічних оправках, а самі оправки установлюють, вивіряють та закріплюють в патроні верстата. Залежно від серійності випуску, деталь на оправці може кріпитися через шпонку на жорсткій точній оправці по посадці ковзання, на цанговій оправці або спеціальній гідропластовій, а також у спеціальному патроні «на розтиснення».

3.2.3. Режими обробки

Призначення режимів різання (глибини, подачі, швидкості різання) залежить від багатьох чинників, основні з яких:

- заготовка — розміри та їх коливання, форма, матеріал та його стан, інше;
- вимоги до деталі — вказані у кресленні або операційному ескізі;
- вибраний інструмент;
- загальний стан системи верстат — пристрій — інструмент — деталь (ВПД).

Зазначені чинники взаємно впливають один на одного, це враховується корекцією режимів уже під час обробки.

Якщо операція чорнова, режими призначаються з міркувань якомога повнішого використання потужності верстата і можливостей різального інструмента (обробка з максимальною продуктивністю). Глибину різання призначають максимально можливою, уточнюючи її розподілом припуску по проходах.

Для поверхні з допуском 0,3 мм і менше слід планувати після чорнової обробки чистову операцію. На чистовій операції глибина різання вибирається залежно від вимог креслення або операційного ескізу до точності і шорсткості поверхні, в межах 0,2–2,0 мм.

Максимально допустима подача обмежується низкою факторів: жорсткість оброблюваної деталі, різальний матеріал різця та геометрія його заточки, жорсткість різця, потужність і жорсткість верстата, точність і шорсткість оброблюваної поверхні. Наприклад, для деталі зовнішнього діаметра 60 мм, довжиною 70 мм зі сталі Ст45 у стані поставки і вимогою шорсткості $Rz \leq 20$ мкм раціональна глибина різання на чистовому проході 0,25÷0,40 мм, а подача 0,1 мм.

Подача на чорнових проходах призначається виходячи із жорсткості системи ВПД та потужності головного приводу верстата.

Швидкість різання призначається передусім залежно від закладеної стійкості інструмента, його різальної характеристики.

Для призначення режимів різання можна користуватися загальновідомими довідниками для токарних універсальних верстатів. Враховуючи те, що верстати з ЧПК на 15–20 % жорсткіші від своїх універсальних аналогів, рекомендовані там режими можна відповідно збільшувати.

3.2.4. Вибір інструменту. Допоміжний інструмент

Для обробки деталей на верстатах з ЧПК, де є час неkontrolьованої роботи, до якості інструменту ставляться більш жорсткі вимоги:

- стабільна різальна характеристика — для прогнозованого періоду заміни;
- задовільний відвід та подрібнення стружки;
- забезпечення точності обробки;
- максимальна універсальність геометрії;
- швидкозамінність.

Тому металорізальний інструмент повинен мати:

- високу твердість — щоб різати метал;
- високу зносостійкість — інструмент зазнає великого тертя і зношується;
- теплостійкість — інструмент не повинен втрачати різальних властивостей за високої (до 700°C) температури в зоні різання;
- високу механічну міцність — інструмент під час роботи сприймає значні сили різання.

Крім того, для збереження різальних властивостей інструменту на тривалий період у ході розробки програми необхідно програмувати кінець підведення інструменту до оброблюваної поверхні та початок відведення не з максимальною швидкістю руху (G0), а на збільшеній подачі лінійною чи круговою інтерполяцією.

Неприпустима різка зміна подачі під час різання, коли поверхні інструменту в металі. Це може призвести до зарізів на оброблюваній поверхні та ушкодження різальної крайки.

Оптимізуючи призначення характеристики різального інструменту і режимів обробки, ISO (міжнародною організацією по стандартизації) розроблено класифікацію характеристик оброблюваних матеріалів для вибору інструменту (ISO 513), згідно з якою оброблювані матеріали поділяються на шість груп:

ISO P — найбільша за складом група, включає різні сталі: від простих до високолегованих, у вигляді прокату, литва, поковок. Як правило, матеріали цієї групи характеризує гарна оброблюваність, хоча це залежить значною мірою від марки сталі;

ISO M — включає нержавіючі сталі з аустенітною, ферітною та мартенсітною структурою, жароміцні й титанові ста-

лі. Характерним при обробці таких матеріалів є інтенсивне термічне зношування різальної крайки, наростування;

ISO K — включає чавуни з різною оброблюваністю, залежно від їх складу. Оскільки до складу легованих білих чавунів входять карбіди хрому, титану, молібдену, кремнію (твердість HB 800–850), це визначає абразивний характер зношування різальної крайки;

ISO N — кольорові метали, алюміній, мідь, латунь та под. Оброблюються інструментом з гострими різальними крайками, з високою швидкістю різання і великим терміном стійкості;

ISO S — жароміцні сплави — високолеговані матеріали на основі заліза, нікелю, кобальту й титану. Всі вони вирізняються високою в'язкістю, що спричинює наростування у процесі обробки, виділенням великої кількості тепла і, внаслідок цього, — невеликий термін служби різальної пластини;

ISO H — матеріали високої твердості: гартовані сталі (45–65 HRC), відбілений чавун (400–600 HB) — важко оброблюються різанням, виділяють багато тепла при обробці, різальна крайка швидко зношується.

Для обробки матеріалів цих груп класифікація ISO рекомендує тверді сплави, що поділяються на групи, позначені так само, як і відповідна група матеріалів.

Тверді сплави — це найбільш поширений інструментальний матеріал. Завдяки наявності в їх структурі тугоплавких карбідів, твердість інструменту досягає 73–76 HRC, а теплостійкість — (800–1000)°C. Це робить можливою обробку з швидкостями різання, що в разі перевищують можливості швидкорізальних сталей.

Недоліком твердих сплавів є їх обмежена шліфуємість — тільки алмазними кругами. Тому тверді сплави, в основному, застосовуються у вигляді непереточуваних твердосплавних пластин з механічним кріпленням, інколи напайних. У сучасному металообробному виробництві 80–85 % різців оснащені пластинами з твердих сплавів. Найпоширенішими і для верстатів з ЧПК є різці з багатограничними непереточуваними пластинами, в яких після затуплення різальної крайки пластина повертається наступною гранню, а після затуплення всіх крайок підлягає переробці.

Більшість пластин покриті карбідом титану, оксидом алюмінію, нітридом або карбонітридом титану.

Карбід титану і оксид алюмінію — надтверді матеріали. Вони забезпечують високу зносостійкість, хімічно інертні, тому створюють хімічний і термічний бар'єри між інструментом та оброблюваним матеріалом.

Нітрид титану не такий твердий, але він забезпечує низький коефіцієнт тертя на поверхні інструменту і стійкість до кратерного зношування.

Покриття на твердих сплавах надтонкі — не перевищують 2–12 мкм. Склад і технологія нанесення покриття безперервно удосконалюються, поліпшуючи різальні якості інструменту. Наприклад, відоме нано-текстуроване покриття «Mitsubishi» (пластина за класифікацією ISO MC 6015) підвищує довговічність інструменту на стирання і водночас покращує твердосплавну основу пластини, зменшуючи вірогідність сколів різальної крайки, що вкрай важливо при високошвидкісній обробці.

Крім твердих сплавів, для обробки гартованої поверхні (HRC \geq 50) застосовуються надтверді композитні матеріали: кубоніт (ельбор, CNB), гексоніт, мінералокераміка BOK70, BOK71.

Для обробки твердих білих чавунів та кольорових металів використовують штучний і природний алмаз.

Поєднання в композитних матеріалах високої твердості з високою теплостійкістю зробило можливою остаточну лезвийну обробку точних гартованих поверхонь, виключивши операцію шліфування.

Сьогодні класифікація ISO є відправною точкою вибору інструменту для роботи в усіх визначених умовах.

1	2	3	4	5	6	7	8
C	N	M	G	12	04	12	PM
<i>a</i>							
1	2	3	4	5	6	7	8
P	C	L	N	L	32	25	P12
<i>б</i>							

Рис. 3.5. Приклад позначення в ISO:
a — непереточуваної пластини; *б* — державки

Правильний вибір марки твердого сплаву і геометрії передньої поверхні інструменту (F — для чистової обробки, M — для універсальних випадків, R — для чорнової об-

робки) оптимізує обробку залежно від умов. Позначення непереточуваних пластин стандартизоване в міжнародному масштабі (див. рис. 3.5, а):

- 1 — форма пластини; С — ромбічна з кутом при вершині 80°;
- 2 — задній кут, N — задній кут відсутній;
- 3 — визначає точність пластини по товщині та діаметру вписаного кола. М — пластина розміром 12 мм з допуском на вписаний діаметр $\pm 0,08$ мм і допуском на товщину $\pm 0,13$ мм;
- 4 — визначає конструктивні особливості пластини (може бути плоскою або зі стружколамальною канавкою, з отвором чи без нього, за кількістю робочих сторін (одно- чи двосторонні). G — двостороння пластина зі стружколамальною канавкою;
- 5 — розмір різальної крайки, 12;
- 6 — товщина пластини, 4.
- 7 — вказує на радіус при вершині, 12 — 1,2 мм.
- 8 — описує геометрію, РМ — призначається для обробки сталей групи Р. Ця геометрія універсальна, забезпечує додатні передні кути для пластин без задніх кутів, надійне стружколамання під час обробки на подачах 0,15–0,5 мм/об. і глибиною різання 0,5–5,5 мм. Можуть бути й інші відомості про пластину.

Радіус на вершині пластини вибирають залежно від призначеної подачі [15] (див. табл. 3.1). При виборі радіуса подача не повинна бути більшою за радіус.

Таблиця 3.1

Вибір радіуса при вершині твердосплавної пластини					
Діапазон подач, мм/об.	0,25–0,35	0,4–0,7	0,5–1,0	0,7–1,3	1,0–1,8
Радіус при вершині пластини, мм	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4

Позначення державок також регламентується ISO. Наприклад (рис 3.5, б):

- 1 — спосіб укріплення різальної пластини на корпусі державки: С — притиск зверху, М — притиск зверху і підтискання за отвір, Р — притиск важелем за отвір, S — кріплення гвинтом;
- 2 — визначає форму пластини. Існує всього вісім форм. С — ромбічна пластина з кутом 80° при вершині, універсальна, може працювати у двох напрямках;

3 — L — головний кут у плані в державки 95° . Існує 18 різних типів державок;

4 — визначає величину заднього кута пластини. Символ N означає, що пластина без задніх кутів, її потрібно нахилити в корпусі державки;

5 — L — державка ліва (існують ще праві й нейтральні);

6 — 32 — ширина державки;

7 — 25 — висота державки;

8 — P — довжина державки 170 мм, 12 — довжина різальної крайки.

Допоміжний інструмент для токарної обробки

Для встановлення різального інструменту на токарних верстатах з ЧПК найчастіше використовують револьверні головки на 4, 6, 8, 12 та 16 позицій. Як правило (до 70 % заготовок), токарна обробка потребує не більше восьми інструментів, тому найбільш поширеними є верстати з восьмипозиційними револьверними головками. Відомі також верстати з двома револьверними головками з незалежним програмуванням обробки кожної, що дає змогу задіяти в обробці водночас два різальні інструменти. Токарні верстати з багатоінструментними магазинами, на зразок оброблювальних центрів (ОЦ), дозволяють під час обробки однієї деталі комплектувати набір інструментів у магазині під наступну, економити таким чином час на наладку. Такі магазини, інколи вкупі з револьверною головкою, використовуються на токарних ОЦ — верстатах з додатковим заднім або верхнім супортом з можливістю фрезерної і свердлильної поперечної та позацентрової обробки (див. параграф 3.15).

Револьверні головки відносно осі шпінделя верстата бувають з вертикальною, горизонтальною та нахиленою віссю обертання, розташованими відносно робочого місця верстатника перед або за віссю Z. Заміна інструмента в робочій позиції головки відбувається її позиційним поворотом з наступною фіксацією (індексація). Під час обробки револьверна головка, як та, що несе різальний інструмент, сприймає доволі потужні сили різання, тому вона відповідає жорстким вимогам щодо міцності елементів, жорсткості конструкції, високої точності позиціонування. Інструменти в робочих гніздах повинні розташовуватися так, щоб не заважати один одному (для внутрішньої та зовнішньої оброб-

ки), легко й швидко з високою точністю встановлюватися й зніматися, надійно кріпитися. Має бути можливість на-строювання інструмента поза верстатом.

В револьверних головках сучасних токарних верстатів з ЧПК передбачені гнізда для установки інструмента з автономним приводом. Це створює можливість фрезерної і свердлильної перпендикулярної та позацентрної обробки в торці деталі. Залежно від призначення вісь такого інструмента може бути паралельною або перпендикулярною осі Z верстата, за спеціальним замовленням — нахиленою під заданим кутом.

Різальний інструмент може встановлюватися і кріпитися безпосередньо в гнізді револьверної головки або через допоміжний інструмент, так звані блоки, які одними поверхнями жорстко з'єднані з головкою, а в гніздах протилежної сторони орієнтується і не менш жорстко кріпиться різальний інструмент. Допоміжний інструмент, як і різальний, залежно від його точності, жорсткості, інших характеристик, суттєво впливає на процес обробки, його точність та надійність. Конструктивно способи установки, базування та кріплення допоміжного інструменту в револьверній головці можуть бути різними: центрування по конусному або циліндричному хвостовику з кутовою орієнтацією по лисці та закріпленням гвинтами за фланець або в лиску хвостовика. На лисці можуть бути рифлення, по яких відбувається кріплення рифленим клином. Використовується базування та кріплення по напрямних типу «ластівчин хвіст», прямокутні пази, шпонкові з'єднання тощо.

Як і в ОЦ, різальний інструмент з допоміжним можна скласти в блоки окремо від верстата із заздалегідь визначеними розмірами розташування різальної крайки. Заміна різального інструменту в таких випадках відбувається разом з блоком, що скорочує час підготовки операції.

На рис. 3.6 наведено приклади конструкцій допоміжного інструменту, згідно з ГОСТ 24900, яким найчастіше укомплектовані верстати 16К20ФЗ:

a — блок для установки призматичних різців або спеціальних різцевих вставок під твердосплавні пластини, орієнтується і кріпиться в револьверній головці за допомогою циліндричного хвостовика *1* та лиски з рифленою рейкою *2*. Кріплення відбувається рифленим клином. Поздовжнє базування здійснюється упором в торець *A* (рис. 3.6, *a*, *b*).

В тілі блока передбачено спеціальний канал 5 для подачі змащувально-охолоджувальної рідини.

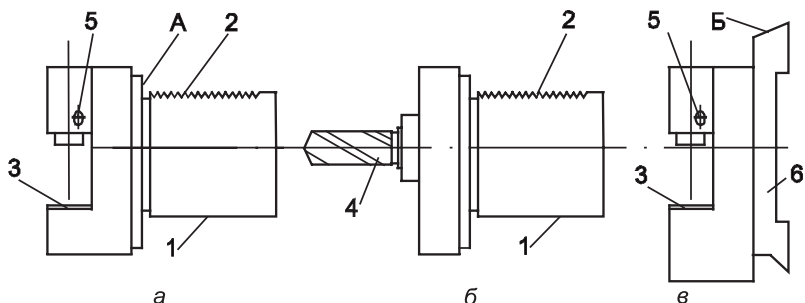


Рис. 3.6. Допоміжний інструмент: *а, в* — під призматичні різці; *б* — під інструмент для внутрішньої обробки

Спеціальні різцеві вставки (рис. 3.7), якими комплектується верстат з ЧПК, мають сферичну упорну поверхню, розташовану на головці гвинта 4, поворотом якого в певних межах можна регулювати довжину вставки «L», а гвинтом зі сферичною упорною поверхнею 2 можна регулювати положення вершини різальної крайки відносно базової бокової стінки 3, незначно міняючи кути в плані ϕ і $\phi 1$. Настроювання вставок, як правило, відбувається поза верстатом. Твердосплавні пластини 1 можна міняти або повертати на наступну робочу грань безпосередньо в місці установки в револьверній головці, але треба мати на увазі, що точність такої заміни чи повороту знаходиться в межах 0,2 мм. Регулювання різальної крайки по висоті виконується, як і на універсальному верстаті, за допомогою підкладок 3 (рис. 3.6, *а* і *в*). Кріплення тіла різця здійснюється спеціальними гвинтами зверху.

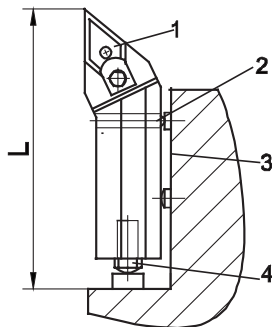


Рис. 3.7. Різцева вставка

За потреби в таких блоках можуть встановлюватись універсальні різці без попереднього настроювання окремо від верстата, тоді настроювання виконується під час наладки, як розглянуто в параграфі 3.3. Гнізда під призматичні різці можуть виконуватись і безпосередньо в корпусі револьверної головки з оснащенням розглянутими спеціальними

вставками або без них. Наладка на обробку виконується аналогічно;

б — блок під інструмент для внутрішньої обробки може кріпитись в револьверній головці так само, а замість гнізда під призматичні різці виконується отвір для кріплення розточувальних різців, свердл 4, інших інструментів для обробки внутрішніх поверхонь. Як і в різцевих вставках, можливе регулювання вильоту інструмента за допомогою спеціальних гвинтів у торці. Кутова орієнтація розточувальних різців здійснюється через лиску на оправці інструмента з кріпленням гвинтами в корпусі головки. Встановлення мірного різального інструменту (свердла з конічними та циліндричними хвостовиками, зенкери, розвертки, мітчики, плашки тощо), як і в ОЦ, може супроводжуватися додатковими перехідними втулками під цангові патрони, конуси різного значення, циліндри тощо;

в — інструментальні блоки з базуючою призмою Б. Корпус допоміжного інструмента базується спеціальними призматичними поверхнями на корпусі та револьверній головці, закріплюється гвинтами, має отвір для подачі ЗОР через корпус. Частина блока для установки та кріплення різального інструменту така сама, як і в попередніх випадках.

3.3. Програмування для верстата 16К20Ф3 з ЧПК «Електроніка НЦ-80-31» (МС-21). Системи координат, основні положення. «Прив'язка» інструмента

Верстат 16К20Ф3 з пристроєм ЧПК «Електроніка НЦ-80-31» призначений для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання з прямолінійним, східчастим і криволінійним профілем, для нарізання зовнішніх і внутрішніх конічних та циліндричних різьб. На верстаті можна виконувати обробку з використанням багатопрохідних циклів. У верстаті вирізняють три системи координат: верстата, деталі та інструмента.

Система координат верстата, X, Z. Z збігається з віссю обертання деталі та напрямом поздовжньої подачі: «+» — від патрона, «-» — до патрона. X збігається з поперечною подачею, напрям осі залежить від розташування різцетримача — за віссю обертання деталі чи перед нею.

Рух врізання — до оператора або від нього. В усіх випадках «+» — у бік збільшення діаметра деталі. Для токарних верстатів, оснащених заднім або верхнім супортом, є додаткова вісь Y , яка завжди направлена вгору і призначена для програмування обробки фрезеруванням шпонкових пазів, лисок, шліців, інших подібних елементів деталі, свердління поперечних отворів.

Початок системи координат верстата — в центрі торця шпінделя перед посадочним конусом, що центрує планшайбу патрона. Початок координати Y (якщо така є) знаходиться на осі Z на визначеній для кожного окремого випадку відстані від дзеркала патрона.

Система координат інструмента. Її початок знаходиться в центрі різцетримача. Технолог-програміст, наладчик та оператор не використовують її. Ними відстежується відносне розташування різальної крайки інструмента і оброблюваної поверхні в системі координат деталі. Різцетримаюча головка відводиться при індексації на безпечну відстань, щоб інструмент при повороті не врізався в деталь. З іншого боку, ця відстань не має бути надто великою, щоб не втрачати час на позиціонування, яке теж відбувається в системі координат деталі. Координати точки індексації вибираються під час наладки, експериментально. Є верстати з фіксованою точкою індексації інструмента.

Система координат деталі. Її вибирають під час розробки програми так, щоб зберегти максимальну кількість розмірів, призначених конструктором — взятих безпосередньо з креслення деталі без перерахунку. Осі X і Z деталі збігаються з осями X і Z верстата за напрямом, а початок координат вибирає наладчик або технолог-програміст. Найчастіше це правий торець деталі. В такому разі обробка відбуватиметься у квадранті II системи координат: значення X завжди буде додатним, а Z — від'ємним.

Система координат розташовуватиметься у квадранті I, якщо початок координат — у лівому торці деталі (в напрямку від нього конструктор проставив лінійні розміри). Таке ж розташування системи координат характерне для верстатів, оснащених субшпінделем (другим робочим шпінделем замість заднього центру). Розглянемо це на прикладах.

На рис. 3.8, *a* лінійні розміри проставлені в напрямку від лівого торця. Траєкторія руху різця при цьому буде та-

кою, як зображено на рисунку. Напрямок координати Z завжди від патрона. Оскільки різцетримач знаходиться з боку оператора, а додатний напрямок руху завжди від деталі, координата X направлена на оператора (вниз на рис. 3.8, а). Траєкторія руху інструмента буде такою: В.т.—П.о.—1—2—3—4—5—6—7—8—9—10—11—В.т.

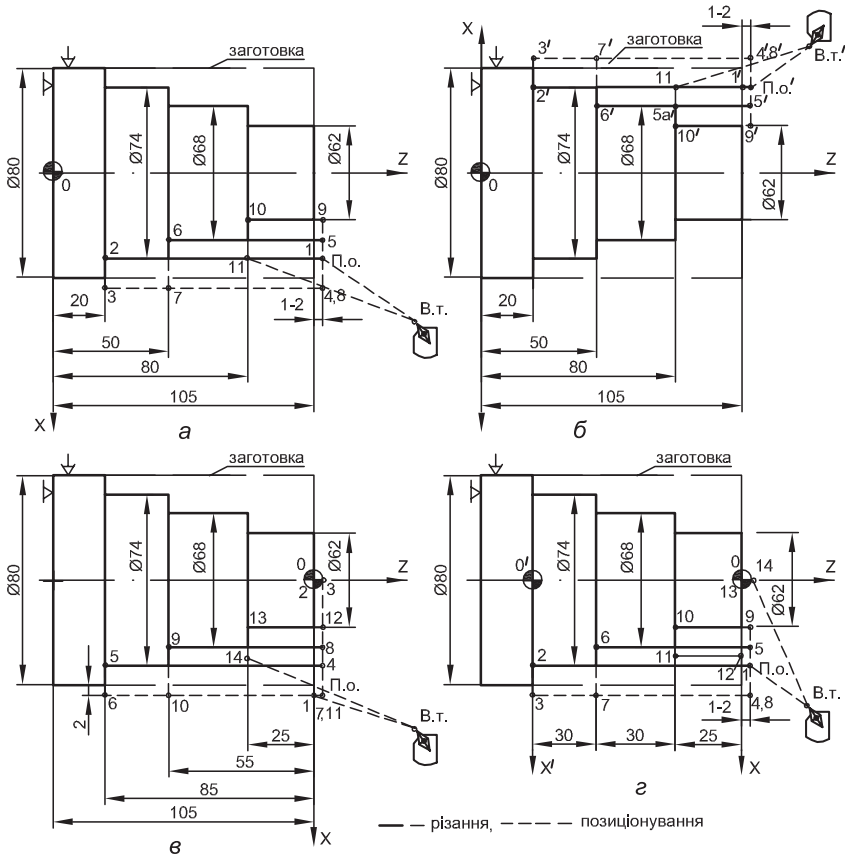


Рис. 3.8. Системи координат деталі: а, б — початок у лівому торці; в, г — початок у правому торці і на деталі

Якщо різцетримач знаходиться за віссю обертання (Z), то з тих же міркувань вісь X буде направлена вгору (рис. 3.8, б). Траєкторія руху інструмента буде такою: В.т.—П.о.—1'—2'—3'—4'—5'—6'—7'—8'—9'—10'—11'—В.т. В обох випадках контроль поздовжніх розмірів виконується від патрона.

Якщо розміри в кресленні проставлені від меншого торця, то правильним буде розташувати початок координат у правому торці деталі і обробку почати з його підрізки — від нього витримуватимуться поздовжні розміри (рис. 3.8, *в*) під час обробки, а також виконуватиметься їх контроль. Траєкторія руху інструмента буде такою: В.т.—П.о.—1—2—3—4—5—6—7—8—9—10—11—12—13—14—В.т.

Якщо поздовжні розміри проставлені ланцюжком (рис. 3.8, *г*), то, щоб повторити конструкторські розміри, доцільно програмувати обробку у відносній системі. Значення прирощення переміщень будуть, залежно від напрямку руху інструмента, з «+» або «-». Як і при фрезерній обробці, у відносній системі є більша небезпека помилки, тому її використовують рідше, окремою частиною програми.

В табл. 3.2 наведено приклад керуючої програми обробки деталі, зображеної на рис. 3.8, для розглянутих різних початкових умов обробки. Обробка однакових відрізків профілю запрограмована, по можливості, кадрами з однаковими номерами.

Таблиця 3.2

Рис. 3.6, а, б	Рис. 3.6, в	Рис. 3.6, г, 0(X,Z)	Рис. 3.6, г, 0'(X',Z)
N10T1M6;	N10T1M6;	N10T1M6;	N10T1M6;
N15G90G97S630M3;	N15G90G97 S630M3;	N15G90G97S630 M3;	N15G90G97S630M3;
N20G0X84Z107;	N20G0X84Z2;	N20G0X84Z2;	N20G0X84Z87;
N30G1X74F2M8;	N21G1Z0F2M8;	N24X74F2M8;	N30G1X74F2M8;
N40Z20F0,3;	N22X-1F0,2;	N40Z-85F0,3;	N40Z0F0,3;
N50X84;	N23Z2F2;	N50X84;	N50X84;
N60G0Z107;	N24X74;	N60G0Z2;	N60G0Z87;
N70X68F2;	N40Z-85F0,3;	N70X68F2;	N70X68F2;
N80Z50F0,3;	N50X84;	N80Z-55F0,3;	N80Z30F0,3;
N90X76;	N60G0Z2;	N90X76;	N90X76;
N100G0X84Z107;	N70X68F2;	N100G0X84Z2;	N100G0X84Z87;
N110X62F2;	N80Z-55F0,3;	N110X62F2;	N110X62F2;
N120Z80F0,3;	N90X76;	N120Z-25F0,3;	N120Z60F0,3;
N130X70;	N100G0X84Z2;	N130X70;	N130X70;
N140X84Z107M9M5;	N110X62F2;	N131Z0F2;	N131Z85F2;
N150M30;	N120Z-25F0,3;	N132X-1F0,2;	N132X-1F0,2;
	N130X70;	N133Z2F2;	N133Z2F2;
	N140X84Z2M9M5;	N140G0X84M9M5;	N140G0X84M9 M5;
	N150M30;	N150M30;	N150M30;

Як бачимо з програми, у випадку (а) і (б) програмування відбувається у квадранті I. Незалежно від розташування різцевої головки, Z завжди додатне. У випадку (в) і (г) — у квадранті II, Z завжди від'ємне.

Якщо розміри проставлені ланцюжком, то у випадку (г) по приросту їх програмувати неможливо, доведеться перераховувати в абсолютну систему і враховувати 1 мм на підрізку правого торця, щоб витримати поздовжній розмір 25 мм.

Початок координат може бути не в крайньому торці деталі, якщо того вимагають проставлені конструктором розміри (рис. 3.8, з, $O'(X',Z)$).

Вихідна точка обробки (В.т.) є початком і закінченням траєкторії руху інструмента під час обробки. Вибирають її з міркувань:

— переміщення інструмента з вихідної точки до початку обробки і з кінцевої точки обробки у вихідну мають бути мінімальними;

— положення інструмента у вихідній точці має бути добре видимим оператору;

— інструмент у вихідній точці не повинен заважати контрольним операціям, якщо такі потрібні впродовж обробки;

— інструмент не повинен заважати установленню, вивірненню, закріпленню та зніманню деталі.

З урахуванням зазначених обмежень, це — 60÷80 мм від торця та 10÷30 мм від зовнішнього діаметра деталі (див. рис. 3.1).

Початок обробки (П.о.), як правило, вибирають на відстані 2–3 мм від торця та діаметра. Він може «плавати» вздовж осі Z при заміні патрона, пристосувань, відхиленні довжини деталі. У цьому разі передбачено корекцію по осі Z (G56 — внести корекцію, G53 — відмінити).

«Прив'язка» інструмента. Орієнтація кожного інструмента, задіяного в обробці, у системі координат деталі називається «прив'язкою» інструментів. Залежно від оснащення верстата її виконують вручну або за допомогою спеціального приладу в розглянутій нижче послідовності.

1. До закріпленої в патроні деталі в ручному режимі підводять різець. Підрізають торець і проточують зовнішній діаметр. З належною точністю заміряють проточений діаметр та відстань від торця деталі до дзеркала патрона. Наприклад, $\varnothing 40$, відстань 70 мм.

Для даного різця (Т *i*-го) ці координати вводять у пристрій ЧПК, тобто коли вершина різця торкається зовнішнього діаметра в площині торця, її координати будуть: 40;70. Якщо «0» по Z вибирають не на дзеркалі патрона, а в правому торці деталі, то координати точки будуть: 40;0.

Якщо в обробці задіяні кілька або всі позиції різцетримаючої головки, то різець кожної позиції підводять почергово до координат X40 і Z70 (або X40 і Z0), для впевненості — підводять різець, допоки на поверхні циліндра і торця не з'явиться слід від вершини різця (риска), потім у програму заводять цю координату для кожного різця. Таким чином, під час обробки всі різці рухатимуться траєкторіями від точки відліку E (40;70) або (40;0), дотримуючись заданих картою наладки розмірів з точністю нанесення риски: 0,01÷0,02 мм.

2. Експериментальним шляхом визначають точку відводу різцетримаючої головки для індексації. Для цього в ручному режимі проводять індексацію всіх інструментів. Відстежуючи їх положення відносно деталі, переконуються у правильності вибору точки або вносять поправку. Точку індексації вносять до програми як координату заміни інструмента. В одній програмі таких точок може бути кілька для різних інструментів. Після цього можна розпочинати обробку.

Сучасні токарні верстати оснащують спеціальним приладом для налагоджування різців на розміри обробки. Прилад особливо ефективний при налагодженні на обробку внутрішніх закритих поверхонь (кармани, канавки), заміні твердосплавних пластин при точній обробці, в інших подібних випадках.

Розглянемо приклад — заміна зношеної пластини.

1. Вершину різця зі зношеною пластиною підводять до стикання з елементом датчика приладу, встановленого на верстаті (D на рис. 3.1), до сигнального засвічування лампочки — окремо по X і Z, записують координати.

2. Заміняють пластину.

3. Так само підводять новий різець під датчик по кожній осі до світового сигналу. Змінюють значення X і Z на екрані на ті, що були зі зношеним різцем. За потреби вводять корекцію на величину зношування.

3.4. Формат кадру

Формат кадру має вигляд:

N04G02X±053Z±053R±053I±053±053K±053F023(F05)
E034S04T04D02M02 P02Q02H04L04;

Формат додаткових адрес:

A±053B±053C±053U±053V±053W±053J±053Y±053.

N — номер кадру, 04 — максимальна кількість кадрів — 9999 (найбільше чотиризначне число);

G — підготовчі (технологічні) функції, постійні цикли; максимальна кількість — 99, нуль перед другою цифрою можна не ставити (G01→G1);

X, Z — дані по осях X і Z в абсолютній або відносній системах, ±053 — 5 значущих цифр до крапки, 3 — після крапки. «0» перед першою значущою цифрою цілої частини числа та після останньої значущої цифри в дробовій частині можна не ставити;

U, W — дані по осях X і Z відповідно в абсолютній системі в приростах координат;

R — радіус дуги, мм;

I, K — координати центра дуги по осях X і Z;

S — швидкість різання, м/хв, або кількість обертів шпінделя, п/хв;

H — кількість повторів частини керуючої програми;

T — номер інструмента і номер коректора інструмента;

M — допоміжні функції (команди);

L — номер підпрограми;

P, Q — номер першого та останнього кадру частини програми, що повторюється;

F, E — функції подачі, крок різьби, F — модальна, E — діє тільки в тому кадрі, де задана;

A, B, C, I, V, Y, Q — додаткові параметри циклів та керуючої програми;

% 02 — початок та номер програми. Бібліотека програм зберігається в електронній пам'яті ПЧПК на жорсткому диску, що забезпечує енергонезалежність, зокрема в разі довготривалих відключень верстата від живлення. Максимальна кількість програм — 99.

3.5. Підготовчі (технологічні) функції G і цикли

Функції G визначають технологічні можливості комплексу: верстат — пристрій ЧПК, можуть діяти до відміни — модальні (м) або тільки в одному кадрі. Нижче наведено перелік основних функцій G в токарній обробці.

G0 — позиціонування, прискорений рух на максимальній швидкості, закладений у технічній характеристиці верстата (м);

G1 — лінійна інтерполяція (м);

G2, G3 — кругова інтерполяція за стрілкою годинника та проти неї (м);

G04 — програмована витримка часу;

G25, G26 — встановлення та відміна, відповідно, заборонної зони переміщень;

G27 — однопрохідний поздовжній цикл точіння (м);

G28 — однопрохідний поздовжній цикл різенарізання (м);

G29 — однопрохідний поперечний цикл точіння (м);

G33 — цикл нарізання різьби з постійним кроком (м);

G37 — вихід у фіксовану точку (м);

G38 — повернення з фіксованої точки (м);

G39 — однопрохідний цикл поперечного різенарізання (м);

G56 — лінійне зміщення по осі;

G53 — відміна лінійного зміщення;

G60 — однопрохідний поздовжній чистовий цикл;

G61 — багатопрохідний чорновий поздовжній цикл;

G62 — багатопрохідний чорновий поперечний цикл;

G65 — цикл нарізання поперечних канавок;

G66 — багатопрохідний чорновий цикл поздовжнього різенарізання;

G67 — багатопрохідний чорновий цикл поперечного різенарізання;

G68 — багатопрохідний чорновий копіювальний цикл;

G69, G70 — цикли нарізання торцевих канавок;

G82, G83 — цикли глибокого свердління;

G84 — цикл нарізання різьби мітчиком або плашкою;

G90 — абсолютна система відліку (м);

G91 — відносна система відліку: розміри у прирощеннях від попереднього значення (м);

G94 — подача, мм/хв (м);

G95 — подача, мм/об. (м);

G96 — постійна швидкість різання, м/хв (м);

G97 — відміна постійної швидкості різання, постійні оберти шпінделя — кількість обертів за хвилину (м);

У технологічних функціях для пристрою ЧПК НЦ-80-31«0» після G перед значущою цифрою можна не ставити. (Це правило діє також для пристрою ЧПК НЦ-31.)

3.6. Допоміжні функції M

Поділяються на ті, що виконуються до переміщення, й ті, що виконуються після переміщення, діють до відміни іншою функцією M та лише в одному кадрі (див. табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Допоміжні функції M					
1	2	3	4	5	6
M00	Програмована зупинка	-	+	-	+
M01	Зупинка з підтвердженням	-	+	-	+
M02	Кінець програми	-	+	-	+
M03	Оберти шпінделя за стрілкою годинника	+	-	+	-
M04	Оберти шпінделя проти стрілки годинника	+	-	+	-
M05	Зупинка шпінделя	-	+	+	-
M06	Заміна інструмента	+	-	-	+
M08	Включення змащувально-охолоджувальної рідини	+	-	+	-
M09	Виключення змащувально-охолоджувальної рідини	-	+	+	-
M12	Реверс головного приводу	+	-	+	-
M17	Кінець підпрограми з поверненням в основну програму	-	+	-	+
M19	Орієнтована зупинка шпінделя	+	-	-	+
M30	Кінець програми з поверненням системи у стан перед першим кадром	-	+	-	+

Позначення в табл. 3.3:

- 1 — код допоміжної функції;
- 2 — призначення допоміжної функції;
- 3 — функція починає діяти до початку переміщення;
- 4 — функція починає діяти після переміщення;
- 5 — функція діє до відміни іншою;
- 6 — функція діє лише в одному кадрі.

Так само, як і в G-функціях, «0» перед другою значущою цифрою можна не ставити.

3.7. Програмування лінійних переміщень, G0, G1

Виконується як в абсолютній системі (G90), так і у відносній (G91) за адресами X і Z. Крім того, в абсолютній системі з командою G90 можливе програмування за приростами координат з використанням адрес U і W. Поперечне переміщення з U, на відміну від X, програмується тільки на радіус. По команді G91 пристрій ЧПК X і Z зчитує у відносній системі, а U і W не зчитує.

G0-позиціонування забезпечує, на відміну від ОЦ із пристроєм ЧПК 2С-42, лінійну інтерполяцію, тобто виконавчий орган рухається в точку призначення по прямій на максимально можливій для даного верстата швидкості.

Формат кадру функції: G0{X/U} {Z/W};

Параметри:

X, U — координата точки призначення прискореного руху по осі X або приріст U по осі X від попередньої до наступної точки;

Z, W — координата точки призначення прискореного руху по осі Z або приріст W по осі Z від попередньої до наступної точки;

Лінійна інтерполяція G1 у токарній обробці застосовується для програмування оброблення поверхонь з лінійною твірною: циліндричних, конічних, торцевих.

Формат кадру функції: G1{X/U} {Z/W} F(E);

Параметри:

X, U — координата наступної точки переміщення по осі X або приріст U по осі X від попередньої до наступної точки;

Z, W — координата наступної точки переміщення по осі Z або приріст W по осі Z від попередньої до наступної точки.

Траєкторія руху по команді G1 показана на рис. 3.9, може бути відпрацьована кадром:

N10G01X100Z100F200; або

N10G01U-100W-150F200;

Якщо одна з координат у кадрі відсутня, відбувається рух вздовж координати, вказаної у кадрі: X — поперечний напрям, Z — поздовжній. Відсутність у кадрі команди подачі призводить до відпрацювання руху з останньою, вказаною в тексті програми раніше, подачею F як модаль-

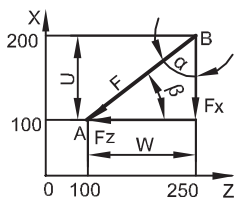


Рис. 3.9. Лінійна інтерполяція

ною. Програмується подача F у мм/об. (обертна подача, обов'язкова при різенарізанні) або в мм/хв (хвилинна подача). За замовчуванням у програмі після коду F автоматично спрацьовує обертна подача (команда G95) у дискретах (ціна дискрети 0,01 мм) або міліметрах. У сучасних ПЧПК подача задається лише в міліметрах ($F0,3$). Якщо доцільніше вказати хвилинну подачу, її вводять командою G94 ($G94 F18$ мм/хв). При нарізанні різьби подача може бути тільки обертною і дорівнювати кроку різьби. Вирізнюють контурну і осьову подачі, між якими існує таке співвідношення (див. рис. 3.9):

$$F = \frac{F_x}{\cos\alpha} \quad \text{або} \quad F = \frac{F_z}{\cos\beta}. \quad (3.5)$$

Як правило, використовують контурну подачу, а осьову — в спеціальних випадках, наприклад нарізання різьби на конічних поверхнях із кроком, заданим паралельно осі. Подача, позначена командою E, діє тільки в тому кадрі, де вона задана.

На рис. 3.10 наведено приклад чорнової обробки прямолінійних поверхонь східчастої деталі з використанням лінійної інтерполяції без розрахунку руху осі вершини різця по еквідистанті. Корекція введена «прив'язкою» різця під час налагоджування операції. Програму обробки подано в табл. 3.4.

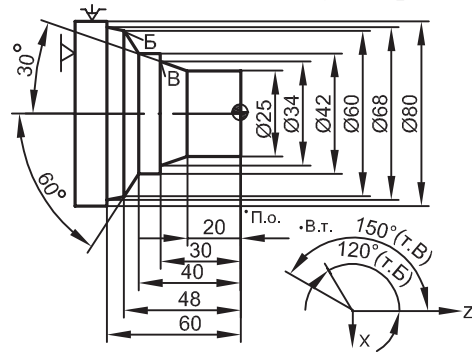


Рис. 3.10. Лінійна інтерполяція, чорнова обробка

Таблиця 3.4

Кадр	Програмовані дії
% 40; (STUPIN. VALIK)	
N10 T1 M6;	Виведення в робочу позицію різця T1
N20 G90 G97 S800 M4;	Призначення режимів обробки
N30 G0 X82 Z5 M8;	Підведення різця до оброблюваної поверхні прискореним рухом
N40 G1 Z0 F2;	Підведення різця в точку початку обробки на збільшеній подачі
N50 X-1 F0,2;	Підрізання торця
N60 Z2 F2;	Відвід різця по Z
N70 G0 X82;	Відвід різця по X

Закінчення табл. 3.4

Кадр	Програмовані дії
N80 G61 P200 Q280 U0,5 W0,5 B1 F0,5;	Обробка контуру деталі багатопрхідним чорновим поздовжнім циклом G61 (детальніше — див. параграф 3.13.6)
N200 G0 X25 Z2;	Опис оброблюваного контуру
N210 G1 Z1;	
N220 Z-20;	
N230 X34 Z-30;	
N240 X42;	
N250 Z-40;	
N260 X60 Z-48;	
N270 X68 Z-60;	
N280 X82;	
N80 X84 F2 M09;	Відвід різця по X, відміна подачі ЗОР
N90 G0 X200 Z200;	Вихід в позицію заміни інструмента
N100 M05;	Зупинка шпінделя
N110 M30;	Кінець програми

Початок координат — у правому торці. Для обробки застосовано універсальний прохідний різець з твердосплавною непереточуваною пластиною.

В сучасних пристроях ЧПК («FANUK», «Siemens») координати точок перетину нахилених до осі твірних (Б і В на рис. 3.10) розраховуються автоматично, якщо задати кут нахилу твірної до додатного напрямку осі Z. Тоді кадри програми обробки N230 і N260 будуть такими:

N230 Z-30 A150;

N260 X60 A120;

A150 і A120 — кути між додатним напрямком осі Z і твірною оброблюваних поверхонь.

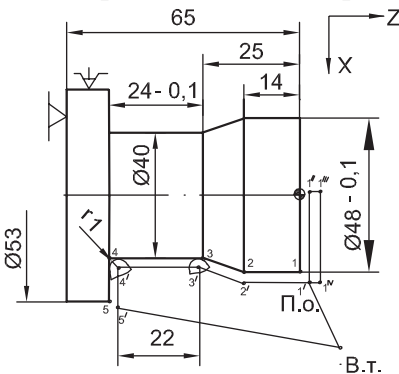


Рис. 3.11. Лінійна інтерполяція чистової обробки деталі

Така можливість програмування звільняє технолога-програміста чи наладчика, оператора від додаткових обчислень координат перетину поверхонь (точки Б і В на рис. 3.10: $\varnothing 34$ і довжина 48).

Розглянемо приклад програмування через лінійну інтерполяцію чистової обробки деталі (рис. 3.11).

Заготовка — деталь після чорнової обробки з припуском 1 мм.

Для обробки виберемо прохідний різець з непереточуваною пластиною CNMG120410PM, геометрія якої дозволяє виконати обробку зовнішнього діаметра і підрізки торця, радіус на вершині 1,0 мм. Початок координат вибираємо в центрі правого торця обробленої деталі. Щоб на точність поздовжніх розмірів не вплинули коливання довжини деталі, обробку починаємо з підрізки правого торця в розмір згідно з кресленням. Програму обробки наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Кадр	Програмовані дії
% 21; (VALIK)	
N10T1M6;	Виведення в робочу позицію інструмента T1
N20G97G90S800M3;	Призначення режимів. Абсолютна система відліку, 800 обертів шпінделя за стрілкою годинника
N30G0X70Z40;	Підведення інструмента у вихідну точку обробки (В.т.)
N40G1G09X50Z0F2M8;	Підведення інструмента в точку початку обробки (П.о.), подача ЗОР
N50X-1F0,2;	Підрізання торця
N60Z1F2;	Відвід різця по Z
N70 X48;	Підведення різця в точку початку обробки зовнішнього діаметра
N80Z-14F0,2;	Точіння $\varnothing 48-0,1$
N90Z-(25+1)X40;	Точіння конуса з врахуванням в переміщенні по Z радіуса вершини різця 1 мм
N100W-(24-1-1);	Точіння заниження $\varnothing 40$ (відрізок 3—4), хід різця 22 мм, довжина еквідистанти скорочена на 2 радіуси вершини різця (праворуч і ліворуч по 1 мм)
N110X57;	Підрізання торця (відрізок 4—5)
N120G0X70Z40M9M5;	Відвід різця у вихідну точку. Відміна подачі ЗОР. Зупинка шпінделя
N130M30;	Кінець програми

3.8. Обробка фасок і галтелей

Якщо у форматі кадру функції G1 замість $\frac{Z}{W}$ задати $\frac{K}{R}$, то формат кадру набуде вигляду:

$$G1 \left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{K}{R} \right\} F(E);$$

а в кінці основного руху по осі X відбудеться додатковий рух по закону фаски катетом K під кутом 45° або галтелі радіусом R . Напрямок фаски визначається напрямком обробки по перпендикулярній координаті, а напрям галтелі чи радіуса — рухом годинникової стрілки (за стрілкою — «+»; проти — «-»). Значення параметра K завжди відпрацьовується на радіус.

Схему рухів на рис. 3.12, а можна відпрацьовувати такими кадрами:

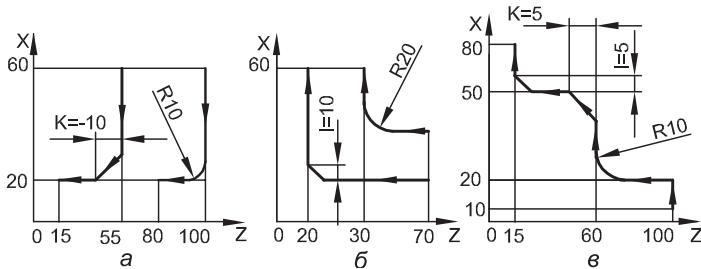


Рис. 3.12. Обробка фасок і галтелей: а — поперечний рух; б — поздовжній; в — послідовні ступені

Абсолютні значення
 N10G90G1X20K-10;
 N20Z15;
 N40G90G1X20R10;
 N50Z80;

У прирощеннях
 N10G90G1U-40K-10;
 N20W-40;
 N40G90G1U-40R10;
 N50W-20;

У разі одночасного задання параметрів K та R пристрій ЧПК зчитує тільки R .

Якщо у форматі кадру функції G1 замість $\frac{X}{U}$ задати $\frac{I}{R}$, то формат кадру набуде вигляду:

$$G1 \left\{ \frac{Z}{W} \right\} \left\{ \frac{I}{R} \right\} F(E);$$

тоді в кінці основного руху по осі Z відбудеться додатковий рух по закону фаски катетом I під кутом 45° або галтелі радіусом R .

Схема рухів на рис. 3.12, б буде відпрацьована кадрами:

Абсолютні значення
 N10G90G1Z20I10;
 N20X60;
 N40G90G1Z30R20;
 N50X60;

У прирощеннях
 N10G90G1W-50I10;
 N20U40;
 N40G90G1W-40R20;
 N50U30;

Значення параметра I завжди відпрацьовується на радіус. У разі одночасного задання параметрів I та R пристрій ЧПК зчитує лише R. Якщо помилково задати I, K та R, система ЧПК зчитає тільки R. Якщо величина фаски (I, K) більша за переміщення, відбувається аварійний збій, що висвітлюється на екрані монітора пристрою ЧПК. Наприклад, кадри G1U20K25; G1W50I-70; неправильні, система їх не відпрацьоє, бо фаски K та I більші за переміщення U та W.

Крім того, використовуючи в програмі кадр із функцією G1, що задає кінцеву фаску чи галтель, потрібно передбачити наступний кадр програми, який містив би переміщення, задане командою G0 або G1, направлене перпендикулярно основному рухові першого кадру, інакше система знову висвітлить на екрані «збій програми». Наприклад, послідовність рухів:

N120G1U-18K2F250;
N130W300R-15;
N140U- 25K-10;
N150G0W400;

є коректною, а послідовність:

N120G1U-18K2F250;
N130U-25K5;

є некоректною: після поперечного переміщення, що закінчується фаскою, відсутнє переміщення поздовжнє.

Під час програмування контуру обробки у вигляді послідовності ступенів і торців з фасками (галтелями) за допомогою функції G1 розміри ступенів і торців задаються повними, тобто без врахування розмірів фасок і галтелей. Наприклад (рис. 3.12, в):

Абсолютні значення	У прирощеннях
N10G90G1X20;	N10G90G1U10;
N20G1Z60R10;	N20G1W-40R10;
N30G1X50K5;	N30U30K5;
N20G1Z15I5;	N40G1W-45I5;
N50X80;	N50U30;

Якщо кут фаски відмінний від 45°, фаску програмують як обробку окремої конічної поверхні. В таких випадках зручно для основного контуру використовувати абсолютну систему координат з координатами X і Z, а для фасок — з U і W.

правому торці деталі. Для обробки візьмемо універсальний прохідний різець. Аналізуємо дотримання умов програмування галтелей і заокруглень, використовуючи функцію G1: після обох заокруглень і галтели напрям руху міняється на перпендикулярний. Це відповідає необхідній умові. Тоді програма обробки буде такою:

```
%7; (STUP. VALIK)
N10 T1 M6;
N20 G90 G96 S800M3;
N30 G0 X42 Z5;
N40 G1 Z0 M8 F2;
N50 X-1F0,2;
N60 Z2 F2;
N65X38;
N68X40 F0,5;
N70 Z-24 F0,2;
N90 X60 R6;
N100 Z-48 R-8;
N110 X80R2;
N115 X84;
N120G0 Z2 M9 M5;
N130 X200 Z200;
N140 M30;
```

Розглянемо приклад програмування обробки галтели на внутрішній поверхні деталі (рис. 3.15, а).

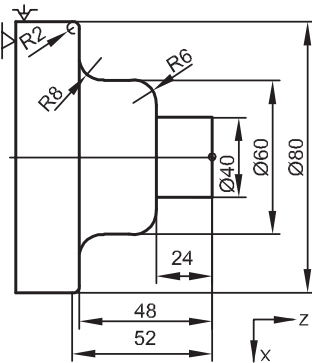


Рис. 3.14. Приклад обробки галтелей і заокруглень

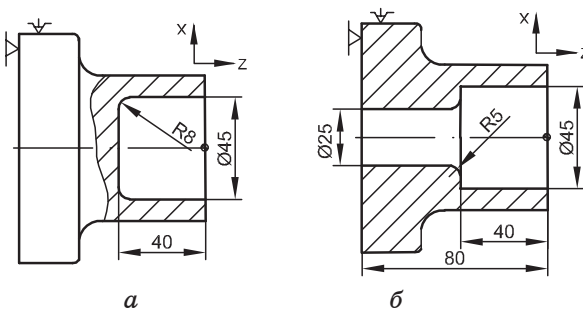


Рис. 3.15. Обробка на внутрішній поверхні деталі: а — галтели; б — заокруглення

Заготовка попередньо оброблена з припуском під остаточну обробку 2 мм. Початок координат призначимо в правому торці деталі. Для обробки візьмемо універсальний розточувальний різець. Аналізуємо дотримання умов програмування галтелей, використовуючи функцію G1: після заокруглення напрям руху змінюється на перпендикулярний. Це відповідає необхідній умові. Тоді програма обробки буде такою:

```
% 9; (NASADKA)  
N10 T4 M6;  
N20 G90 G97 S800 M4;  
N30 G0 X-40 Z3 M8;  
N40 G1 X-45F2;  
N50 Z-40 F0,2;  
N60 X1 R8;  
N70Z3 F2 M9;  
N80 G0 X200 Z200 M5;  
N90 M30;
```

Розглянемо приклад програмування обробки заокруглення на внутрішній поверхні деталі (рис. 3.15, б).

Заготовка попередньо оброблена з припуском під остаточну обробку 2 мм. Початок координат — в правому торці деталі. Для обробки візьмемо універсальний розточувальний різець. Умови програмування заокруглень, використовуючи функцію G1, витримані: після заокруглення напрям руху змінюється на перпендикулярний. Програма обробки буде такою:

```
% 14; (VTULKA)  
N10 T4 M6;  
N20 G90 G97 S800 M4;  
N30 G0 X-40 Z3 M8;  
N40 G1 X-45 F2;  
N50 Z-40 F0,2;  
N60 X-25 R-5;  
N62 Z-82;  
N64 X-23;  
N70Z3 F2 M9;  
N80 G0 X200 Z200 M5;  
N90 M30;
```

3.9. Кругова інтерполяція (G2, G3)

Обробка сферичних поверхонь — один зі складних видів оброблення та програмування. Сферична або, для випадку токарної обробки, опукла торова поверхня описується кривою, яка є дугою кола. Поверхні з твірною у вигляді дуги кола можуть бути також вгнутими. Програмування обробки таких поверхонь здійснюється функціями кругової інтерполяції G2 і G3. Попередня вибірка металу виконується за допомогою чорнових циклів G61 або G62. Якщо заготовка є поковкою або відливкою (має попередньо сформовану поверхню), то застосовують чорновий цикл G68.

Рух по дузі кола за стрілкою годинника забезпечується командою G2 або, якщо проти стрілки годинника, — G3 на контурній робочій подачі.

Формат кадру $\{ \frac{G2}{G3} \} \{ \frac{X}{U} \} \{ \frac{Z}{W} \} \{ \frac{I, K}{R} \} F;$

Параметри:

X, U — координата X кінцевої точки переміщення по осі X або приріст координати X від початкової до кінцевої точки дуги;

Z, W — координата Z кінцевої точки переміщення по осі Z або приріст координати Z від початкової до кінцевої точки дуги;

I, K — координати відповідно по осі X і Z центру дуги відносно координат точки початку обробки по дузі, тобто завжди задаються в прирощенні;

R — радіус дуги оброблюваного контуру;

F — контурна робоча подача.

При використанні функцій G2, G3 діють обмеження:

— дуга, задана параметрами I і K, не має дорівнювати або перевищувати 360° ;

— дуга, задана радіусом R, не має дорівнювати або перевищувати 180° .

У разі помилкового одночасного задання параме-

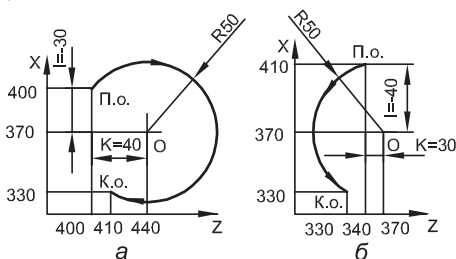


Рис. 3.16. Кругова інтерполяція:
а — за стрілкою годинника;
б — проти стрілки годинника

трів I, K, R пристрій ЧПК зчитає лише R. Відсутність цих параметрів у кадрі призведе до аварійної зупинки з відповідною індикацією на екрані. Якщо помилка виникне в розрахунку координат кінцевої точки дуги, теж відбудеться аварійна зупинка верстата.

Наприклад, якщо початкова точка має координату X400Z400, то переміщення по дузі радіусом 50 мм за стрілкою годинника (рис. 3.16, а) у програмі може бути задане кадром:

N20G2X330Z410I-30K40; або

N20G2U-70W10I-30K40;

Програмування через радіус R50 неможливе — кут більший за 180°.

Переміщення проти стрілки годинника (рис. 3.16, б) можна задати одним із чотирьох кадрів (кут менший за 180°):

N20G3X330Z330R50;

N20G3U-80W-10R50;

N20G3X330Z330I-40K30;

N20G3U-80W-10I-40K30;

Розглянемо на прикладі чистову обробку деталі із вгнутою поверхнею радіусом R25 (рис. 3.17, а).

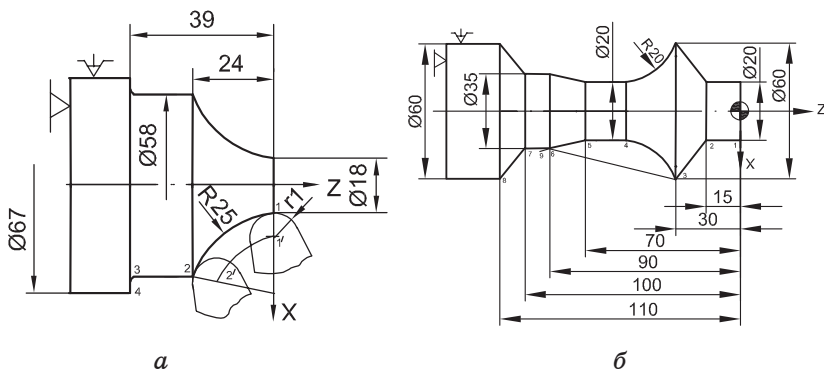


Рис. 3.17. Обробка з круговою інтерполяцією вгнутої поверхні:
а — вгнутість праворуч; б — вгнутість ліворуч

Для обробки використаємо різець з непереточуваною пластиною CNMG120410PM, радіус на вершині 1,0 мм. Заготовка попередньо оброблена з припуском 2 мм. Початок координат призначаємо в центрі правого торця деталі. При налагоджуванні, виконуючи «прив'язку» різця, враховуємо радіус його вершини і вводимо координати еквідистанти.

У програмі зазначаємо координати траєкторії руху центру вершини різця по еквідистанті. Програму обробки наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Кадр	Програмовані дії
% 23; (VALIK)	
N10T1M6;	Виведення в робочу позицію різця T1
N20G97G90S800M3;	Призначення режимів обробки
N30G0X70Z40;	Підведення різця у вихідну точку прискореним рухом
N40G1X61Z12F5;	Підведення різця в точку початку обробки з поступовим зниженням швидкості F. Подача ЗОР
N50G9X60F1M8;	
N60 Z-38F0,2;	Обточування $\varnothing 58$ на довжину $(38 + 1)$, 1 — радіус вершини різця
N70X70;	Підрізання торця 3—4
N80G0X60Z1;	Підведення різця в точку початку обробки дуги вгнутості прискореним рухом
N90G1X(18 + 2)F5;	Подальше підведення різця в точку початку обробки вгнутої поверхні зі зниженням швидкості в кінці руху
N100G9Z0,2F1;	
N110G3X60,68 Z23,19R(25-1);	Обробка вгнутої поверхні
N120G1X62F1M9;	Відвід різця по X, відміна подачі ЗОР
N130G0X70Z40M5;	Відвід різця у В.т. Зупинка шпінделя
N140M30;	Кінець програми

Якщо обробка виконується різцем, корекцію на радіус якого було враховано під час його «прив'язки», то ним можна обробити лише циліндричну частину деталі. Тоді кадр N50 запишеться як: N50G9X58F1M8; а після кадру N80 з пульта ПЧПК потрібно буде ввести корекцію на діаметр +2 мм, необхідну для обробки вгнутої частини поверхні.

Розглянемо приклад обробки лівосторонньої радіусної вгнутої поверхні (рис. 3.17, б), програму обробки наведено в табл. 3.7).

Розробляємо план операції:

1) обробити універсальним правостороннім різцем контур 0—1—2—3—6—7—8;

2) обробити лівостороннім різцем контур 9—6—5—4—3. При переході до лівосторонньої обробки передбачити зупинку для підтискання деталі заднім центром.

Таблиця 3.7

Кадр	Програмовані дії
% 8; (LIV.WIS)	
N10 T1 M6;	Виведення в робочу позицію різця T1
N20 G90 G96 S80 M3;	Призначення режимів
N30 G0 X62 Z2 M8;	Підведення різця до деталі, подача ЗОР
N40 G1 G29 X-1 Z0 F0,2;	Підрізання торця поперечним чистовим циклом
N50 G61 P60 Q68 U0,5 W0,5 B1F0,3;	Обробка контуру 1—2—3—6—7—8 поздовжнім чорновим циклом
N60 X20;	Опис контуру обробки
N61 Z-15;	
N62 X60 Z-30;	
N63 X35 Z-90;	
N65 Z-100;	
N67 X60 Z-110;	
N68 X62 M9;	
N70 G0 X200 Z200;	Вихід в точку заміни інструмента
N80 T2 M6;	Виведення в робочу позицію різця T2
N90 M5 M0; (ZADNYA BAVKA)	Підтискання деталі центром задньої бабки
N100 G90 G96 S800 M4;	Призначення режимів
N110 G0 X35,8 Z-95 M8;	Підведення різця у вихідну точку циклу
N120 G61 P121 Q125 U0,5 W0,5 B1F0,3;	Обробка контуру 9—6—5—4—3 поздовжнім чорновим циклом
N121 X35 Z-90;	Опис контуру обробки
N122 X20 Z-70;	
N123 Z-50;	
N124 G2 X60 Z-30 R20;	
N125 X62;	
N140 M9 M5;	Зупинка шпінделя, відміна подачі ЗОР
N150 G0 X200 Z200;	Відвід інструмента від деталі
N160 M30;	Кінець програми

Розглянемо приклад кругової інтерполяції при витоцванні сфери на зовнішній поверхні (рис. 3.18, а). Початок координат призначаємо на вершині сфери в правому торці деталі. Вибираємо різець — прохідний універсальний з ра-

діусом на вершині, виходячи з точності обробки, 0,8 мм. Координату 39,8 розраховуємо як точку перетину радіуса R20 з кінчною поверхнею або знаходимо її графічно за допомогою прорисовки в одній з комп'ютерних програм.

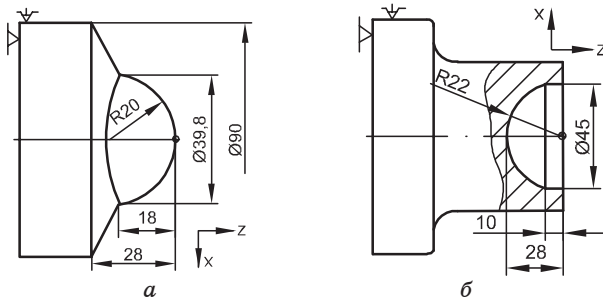


Рис. 3.18. Обробка з круговою інтерполяцією сфери: *а* — зовнішньої; *б* — внутрішньої

Розроблюємо текст керуючої програми (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Кадр	Програмовані дії
% 17; (ZOVN. SFERA)	
N10 T1 M6;	Виведення в робочу позицію різця T1
N20 G90 G96 S800 M3;	Призначення режимів
N30 G0 X94 Z2 M8;	Підведення різця до деталі, подача ЗОР
N40 G62 P200 Q205 U0,3 W0,3 B1 F0,2;	Обточування оброблюваної поверхні чорновим поперечним багатопрохідним циклом
N200 X92 Z0;	Опис оброблюваного контуру
N201 X-0,5;	
N202 G2 X39,8 Z-18 R20;	
N203 X90 Z-28;	
N205 X94;	
N50 G60 P200 Q205;	Чистова обробка контуру
N55 G0 X200 Z200 M09 M5;	Відвід різця
N60 M30;	Кінець програми

Розглянемо приклад кругової інтерполяції при розточуванні внутрішньої сфери (рис. 3.18, б).

Початок координат призначаємо в правому торці деталі. Заготовка — попередньо оброблена деталь з припуском 3 мм.

Вибираємо різець — розточувальний універсальний.

Розроблюємо текст керуючої програми:

% 9; (NASADKA)
N10 T3 M6;
N20 G90 G97 S800 M4;
N25 G0 X0 Z5;
N30 G1 X-40 Z2 F5 M8;
N40 X-45 F2;
N50 Z-10 F0,2;
N60 G2 X0,2 Z-28 R22;
N70 Z3 F5 M9;
N80 G0 X200 Z200 M5;
N90 M30;

3.10. Нарізання різьби (G33)

Функція G33 виконує синхронізацію лінійного переміщення різця з обертами шпінделя, що забезпечує при нарізанні різьби за декілька проходів «попадання в нитку». Крок різьби дорівнює подачі на оберт в міліметрах. Використовується ця функція в процесі обробки деталей, на яких послідовно розташовані відрізки різьби з різними кроками, конусністю.

Наприклад, нехай початкова точка обробки різьби кроком 2 мм має координати: X30Z90, а кінцева — X30Z50, тоді запрограмувати її обробку можна одним з таких кадрів:

G33X30Z50F2 або G33W-40F2 або
G33X30Z50E2 або G33W-40E2. Подача скрізь дорівнює 2 мм.
Послідовність кадрів:
N80G33W-40E2;
N90W-25F1;
N100U6W-35E4;

забезпечує нарізання циліндричної різьби кроком 2 мм на відрізьку 40 мм, потім циліндричної різьби кроком 1 мм на відрізьку 25 мм і нарешті конічної різьби кроком 4 мм на довжині 35 мм.

Якщо різьбу нарізають на конічній поверхні, контурна подача дорівнюватиме $\frac{Fz}{\cos \alpha}$, де α — кут нахилу твірної конуса до осі Z.

Наприклад, якщо контурна подача 2 мм, $\alpha = 30^\circ$, тоді осьова $F(E) = 1,74$ мм/об.

Якщо під час формування різьби з використанням функції G33 натиснути на кнопку «Стоп подачі» на пульті пристрою ЧПК, відбудеться аварійний вихід різця з різьби під кутом 45° до осі Z без втрати кроку.

3.11. Службові функції G04, G25, G26, G37, G38, G56, G53, G94–G97

Розглянемо призначення службових функцій в програмуванні обробки на токарних верстатах з ЧПК.

Витримка часу — функція G4 забезпечує витримку часу в секундах.

Формат функції: G4P, де P — термін витримки, с. Наприклад, витримка 10 с програмується кадром: G4P10.

Встановлення, G25, та відміна, G26, заборонної зони переміщень. G25 і G26 враховуються програмою при відпрацюванні робочих переміщень.

Формат функцій: G25(G26)PQIKXZ,

де P — номер зони (1, 2, 3, ...); Q — тип зони (0 — внутрішня, 1 — зовнішня);

I, K — координати відповідно по осях X і Z, точки 1 зони в системі координат верстата;

X, Z — координати точки 2 в системі координат верстата (рис. 3.19).

Зазначені дані можуть бути введені через програму або з пульта.

Пристрій ЧПК контролює проходження через заборонну зону прямої траєкторії (функції G0, G1, G33). Якщо виконується робочий рух по дузі (G2, G3), ПЧПК контролює перетин заборонної зони хордою цієї дуги між її початковою та кінцевою точками. Це може спричинити попадання лінії хорди в заборонну зону, хоча дуга її огинає, і помилково викликати аварійну зупинку верстата. В подібних випадках дугу розбивають на декілька і описують її такою ж кількістю кадрів, це дає можливість обійти заборонну зону. Функція G26 скасовує заборонну зону.

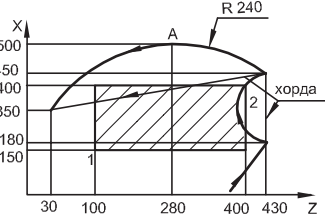


Рис. 3.19. Заборонна зона

Наприклад, обробку фрагмента деталі (рис. 3.19) з використанням заборонної зони можна запрограмувати кадрами:

N40G25P2Q0I150K100X400Z400S800F0,3; — введення заборонної зони.

N50G1X180Z430; — лінійний рух в точку.

N60G2X450R200; — рух по дузі радіусом 200, під час якого різець входить у заборонну зону, проте оскільки хорда дуги не перетинає заборонної зони, сигнал на аварійну зупинку в ПЧПК не надійде, і аварія може статися.

N70G26P2;

N80G3X350Z30R240; — рух в точку 3 по дузі R240 не перетинає заборонної зони, але хорда дуги її перетинає, тож відбудеться аварійна зупинка. Щоб запобігти цьому, кадром N70 відключають дію заборонної зони або розбивають точкою А (рис. 3.19) переміщення по дузі на два кадри:

N70G3X500Z280R240;

N80G3X350Z30R240;

Вихід у фіксовану точку, G37, повернення з фіксованої точки в роботу, G38 — функція G37 забезпечує позиціонування в задану фіксовану точку верстата через можливу проміжну (рис 3.20), де:

ф. т. — фіксована точка верстата, координати якої задані в системі координат верстата параметрами ПЧПК;

п. т. — проміжна точка, координати якої задані в системі координат деталі.

Формат функції: G37 { $\frac{X}{U}$ } { $\frac{Z}{W}$ } P, де

P — номер фіксованої точки верстата (1, 2, ... 8);

X, Z — координати п. т. у системі координат деталі;

U, W — приріст координат по осях X і Z відповідно від початкової точки позиціонування до проміжної.

Відсутність параметрів X, Z, U, W призведе до позиціонування відразу у фіксовану точку, що у випадку, зображеному на рис. 3.20, може зумовити аварійну ситуацію. Відсутність параметра P призведе до аварійної зупинки верстата.

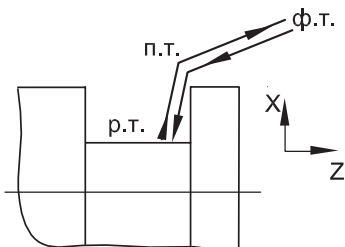


Рис. 3.20. Вихід у фіксовану точку верстата і повернення

Функція G37 використовується для відводу інструмента у ф. т. верстата через проміжну, в разі, коли потрібно обійти виступи на деталі під час обробки, з метою заміни інструмента, контрольних вимірів, установки оснащення

тощо. Відпрацювання функції G37 відбувається переміщеннями в системі координат деталі.

Функція G38 виконує дії, зворотні щодо G37, тобто здійснює позиціонування з ф. т. у кінцеву через п. т.

Формат функції: G38 Q $\left\{\frac{X}{U}\right\} \left\{\frac{Z}{W}\right\}$;

Параметри:

X, Z — координати кінцевої точки;

U, W — приріст координат, відповідно по осях X і Z, від початкової точки до кінцевої;

Q — ознака врахування (0) чи блокування (1) проміжної точки (п. т.).

За проміжну використовують точку, задану функцією G37. Якщо п. т. раніше не задавалася або заблокована (Q=1), переміщення виконується відразу з фіксованої в кінцеву точку.

Встановлення (G56) та відміна (G53) лінійного зміщення по Z використовується у разі коливань початку відліку по Z (зміна довжини оброблюваної деталі, використання іншого патрона, інших пристосувань), зміщуючи його на задану відстань. Діє в одному кадрі. Щоб запрограмувати наступне зміщення, необхідно відмінити діюче, якщо таке є. Приклад використання функції наведено в параграфі 3.14, де розглядається програмування послідовної обробки кількох деталей з одного прутка — основна обробка виконується за підпрограмою, а перехід до обробки наступної деталі здійснюється зміщенням початку відліку через G56.

Встановлення розмірності робочої подачі відбувається функціями:

G94 — хвилинна, встановлює подачу в мм/хв;

G95 — обертна, встановлює подачу в об./хв.

Встановлення розмірності швидкості різання відбувається функціями: G96 — постійна швидкість різання, м/хв, з адресою S. ПЧПК відстежує кількість обертів шпінделя за хвилину для забезпечення постійної швидкості різання.

G97 відмінює постійну швидкість різання, встановлює постійні оберти шпінделя за хвилину, з тою ж адресою S. До функції G97 переходять у разі обробки конусних поверхонь з великим перепадом діаметрів, торців, в інших подібних випадках. Стрімке зменшення діаметра за дотримання постійної швидкості різання може зумовити різке збіль-

шення обертів шпінделя до неможливого. У верстатах із сучасними пристроями ЧПК є команда обмеження обертів шпінделя за хвилину. Завдяки їй під час підрізання торців або обробки крутого конуса з досягненням обмежувальної частоти обертання шпінделя верстат автоматично перейде в режим роботи з граничною частотою обертання. Наприклад, у верстатах із пристроєм ЧПК «FANUK» це запрограмується так:

N10 G92 2000; — обмеження обертів шпінделя, не більше 2000 об./хв;

N20 G90 G96 S120 F0,2 M8; — робота з постійною швидкістю різання;

N30 X20 Z-30; — якщо на якійсь координаті X для 120 м/хв частота обертів шпінделя має збільшитися понад 2000 об./хв, вона залишиться на рівні 2000.

3.12. Багатоінструментна обробка

Розглянемо приклад програмування обробки деталі з використанням кількох інструментів — обробки східчастої втулки, зображеної на рис. 3.21.

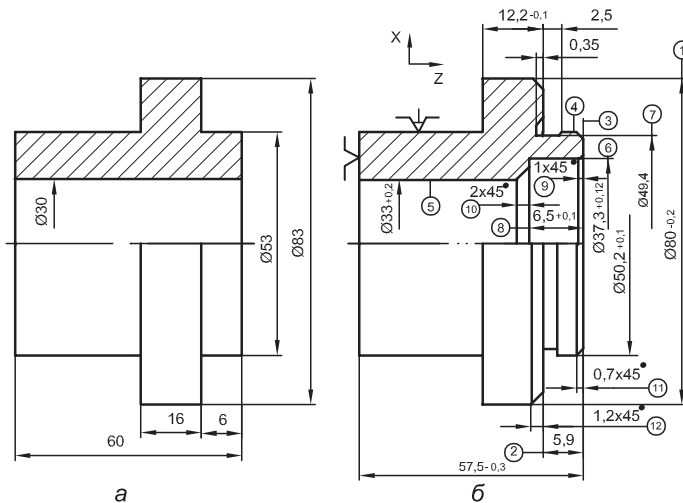


Рис. 3.21. Східчаста втулка: *a* — ескіз заготовки після чорної токарної обробки; *б* — ескіз деталі після чистої токарної обробки

1. Вивчаємо ескіз заготовки (рис. 3.21, *a*), попередньо обробленої на верстаті з ЧПК (чорнова токарна операція), і ескіз деталі після обробки (чистова токарна операція, рис. 3.21, *б*).

Із розмірів заготовки і готової деталі вираховуємо припуски на кожну поверхню. Аналізуючи вимоги до точності і шорсткості поверхонь деталі, розробляємо технологічний регламент обробки кожної поверхні й послідовність обробки всіх поверхонь — план операції. Вибираємо інструмент, закріплюємо за гніздами в інструментальній головці, фіксуємо це в карті наладки. Оскільки поздовжні розміри на деталі проставлені від її правого торця, вибираємо початок координат у центрі правого торця (на відстані довжини деталі 57,5 мм від упорного торця). Після розміщення наладичиком інструментів у відповідні гнізда експериментальним шляхом визначаємо координати індексації головки для кожного інструмента. Якщо вони майже не відрізняються одна від одної, призначається одна точка індексації для всіх інструментів (у нашому випадку: X250; Z250;).

У протилежному разі кожен інструмент матиме свою координату відводу для заміни. Визначені таким чином координати вводимо в керуючу програму і записуємо в карту наладки.

2. Вибираємо інструмент. Враховуючи великий обсяг обробки й вимоги до точності, обробку зовнішніх поверхонь виконуємо двома різцями — Т5 (попередньо) і Т6 (остаточно). Різець Т5 прохідний універсальний зі змінною твёрдосплавною пластинкою CNMG120410PM, державка PCLNL3225P12. Вибираємо його згідно з правилами (див. параграф 3.2). Різець Т6 вибираємо так само, з меншим кутом різання та радіусом на вершині 0,8. За тими ж правилами вибираємо всі потрібні для обробки різці: Т7 — канавковий спеціальний для зовнішньої канавки (7) $\varnothing 49,4$; Т1 — розточувальний для наскрізного отвору (5) $\varnothing 33+0,2$; Т3 — розточувальний, з можливістю підрізання внутрішнього торця (8) та знімання фасок (9) і (10), для кармана (6) $\varnothing 37,3+0,12$.

3. Розроблюємо технологічний регламент.

Різець Т5. Точити поверхні: (1) — $\varnothing 80-0,2$ до $\varnothing 80,4$ за два проходи, глибина різання на кожному 1,3 мм. Підрізати торець (2) — $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$ в розмір 5,6 за два проходи з глибиною різання 1,3 мм і 0,7 мм відповідно. Підрізати торець (3) — $\varnothing 50,2-0,1 / \varnothing 37,3+0,12$, за два проходи з глибиною різання 1,6 мм і 0,6 мм відповідно. Зали-

шити припуск на чистову обробку 0,3 мм. Точити поверхню (4) — $\varnothing 50,2-0,1$ до $\varnothing 50,6$ за два проходи з глибиною різання 1,3 мм і 1,1 мм відповідно.

Різець Т6. Підрізати торець (2) — $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$ до номінального значення, підрізати торець (3) — $\varnothing 50,2-0,1$ остаточно. Точити зовнішні фаски (11) і (12) остаточно. Точити поверхню (4) — $\varnothing 50,2-0,1$ остаточно, підрізати торець (2) — $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$ в розмір середини поля допуску. Точити $\varnothing 80-0,2$ остаточно.

Різець Т7. Точити канавку (7) на $\varnothing 50,2-0,1$, дотримуючись вимог креслення.

Різець Т1. Розточити отвір (5) — $\varnothing 33+0,2$ багатопрхідним циклом остаточно. Глибина різання на прохід 0,5 мм. Припуск на чистовий прохід 0,5 мм.

Різець Т3. Розточити карман (6) — $\varnothing 37,3+0,12$ багатопрхідним циклом остаточно. Глибина різання на прохід 0,5 мм, припуск на чистовий прохід 0,5 мм. Точити зовнішню (9) та внутрішню (10) фаски $1 \times 45^\circ$ остаточно.

4. Виконуємо «прив'язку» кожного інструмента діаметрально та по довжині. За потреби вводимо корекції. Призначаємо координати точки заміни інструмента.

5. Розробляємо траєкторію руху кожного інструмента. Встановлюємо координати опорних точок.

Траєкторії руху інструментів зображено на рис. 3.22. Координати опорних точок зведено в табл. 3.9, 3.10.

Таблиця 3.9

Т5			О.т	X _{мм}	Z _{мм}	Т6			Т7		
О.т	X _{мм}	Z _{мм}	15	55,0	-4,0	О.т	X _{мм}	Z _{мм}	О.т	X _{мм}	Z _{мм}
1	88,0	0,0	16	—	0,9	1	85,0	0,0	1	55,0	0,0
2	81,7	-3,0	17	27,0	—	2	82,0	-5,9	2	50,8	-2,83
3	—	-24	18	—	2,0	3	50,8	—	3	49,4	-5,44
4	83,0	—	19	55,0	—	4	52,0	0,0	4	—	-6,25
5	—	-3,0	20	—	0,3	5	28,0	—	5	50,5	-4,0
6	80,4	—	21	27,0	—	6	—	1,0	6	55,0	0,0
7	—	-24	22	—	1,0	7	47,6	—	Т1		
8	83,0	—	23	51,7	—	8	—	0,1	О.т.	X _{мм}	Z _{мм}
9	—	-4,9	24	—	-5,6	9	50,2	-1,2	1	-25,0	7,0
10	53,5	—	25	53,0	—	10	—	-5,93	2	-30,5	2,0
11	—	-4,0	26	—	1,0	11	80,0	K-1,2	3*	-33,0	-60,0
12	83,0	—	27	50,6	—	12	—	-23,0	4	—	10,0
13	—	-5,6	28	—	-5,6	13	81,0	—	* Багатопрхідний цикл		
14	53,5	—	29	58,0	5,0	14	85,0	0			

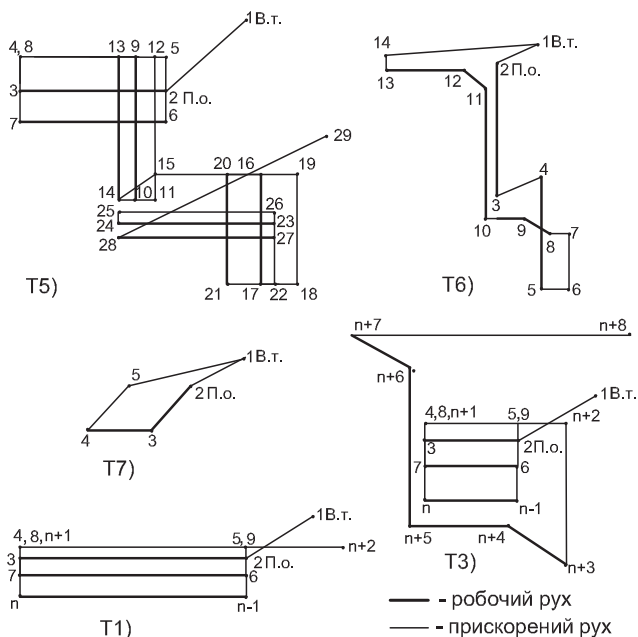


Рис. 3.22. Траєкторії руху різців Т1, Т3, Т5, Т6, Т7

Таблиця 3.10

ТЗ	О.т.	1	2	3*	4	5	6	7	8	9	10
	X _{ММ}	-28	-32	-37	-35	-39,7	-37,3	—	-36,7	-33,3	—
	Z _{ММ}	7,0	2,0	-6,5	1,0	0,1	-1,1	-6,53	—	-7,55	10,0

* Багатопрохідний цикл.

Обробку виконуємо з подачею змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР).

6. Програму обробки наведено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Кадр	Програмовані дії
Програма обробки східчастої втулки	
(STUP. VTULKA) % 3;	
N10T5M6;	Виведення в робочу позицію різця Т5
N20G97G90S270M4;	Призначення режимів обробки. Постійні оберти шпінделя проти стрілки годинника, абсолютна система відліку
N30G0X88Z0M8;	Підведення різця у вихідну точку прискореним рухом, подача ЗОР

Продовження табл. 3.11

Кадр	Програмовані дії
N40G1X81.7Z-3F2;	Підведення різця в точку початку обробки на збільшеній подачі
N50Z-24F0.3;	Точіння фланця (1) — $\varnothing 80-0,2$ до $\varnothing 81,7$ (перший прохід)
N60X83F0.5;	Відвід різця по X
N70Z-3F3;	Відвід різця по Z в точку початку обробки
N80X80.4F2;	Підведення різця по X до $\varnothing 80,4$ на збільшеній подачі
N90Z-24F0.3;	Точіння фланця (1) — $\varnothing 80-0,2$ до $\varnothing 80,4$ (другий прохід)
N100X83F0.5;	Відвід різця по X
N110Z-4.9F3;	Підведення різця в точку підрізання торця (2) — $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$
N120X53.5F0.25;	Підрізання торця (2) — перший прохід
N130Z-4;	Відвід різця по Z
N140X83F3;	Відвід різця по X
N150Z-5.6F2;	Підведення різця для підрізання торця (2) $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$
N160X53.5F0.25;	Підрізання торця (2) — другий прохід
N170X55Z-4F0.5;	Відвід різця
N180Z0.9F3;	Відвід різця для підрізання торця (3) — $\varnothing 50,2-0,1$
N190X27F0.25;	Підрізання торця (3) — перший прохід
N200Z2F0.5;	Відвід різця по Z
N210X55F3;	Відвід різця по X
N220Z0.3F2;	Підведення різця для підрізання торця (3) — $\varnothing 50,2-0,1$
N230X27F0.25;	Підрізання торця (3) — другий прохід
N240Z1F0.5;	Відвід різця по Z
N250X51.7F2;	Підведення різця в точку початку обробки поверхні (4) — $\varnothing 50,2-0,1$
N260Z-5.6F0.3;	Точіння поверхні (4) — $\varnothing 50,2-0,1$ до $\varnothing 51,7$ (перший прохід)
N270X53;	Відвід різця по X
N280Z1F3;	Відвід різця по Z
N290X50.6F2;	Підведення різця в точку початку другого проходу обробки поверхні (4) $\varnothing 50,2-0,1$
N300Z-5.6F0.3;	Точіння поверхні (4) — $\varnothing 50,2-0,1$ до $\varnothing 50,6$ (другий прохід)
N320X58Z5F3M9;	Відвід різця з робочої зони, відміна подачі ЗОР
N330G0X250Z250M9;	Відвід різцетримача в точку індексації
N340T6M6;	Виведення в робочу позицію різця T6

Продовження табл. 3.11

Кадр	Програмовані дії
N350S280M4;	Призначення режимів різання
N360G0X85Z4M8;	Підведення різця у вихідну точку прискореним рухом, подача ЗОР
N370G1X82Z-5.9F3;	Підведення різця в точку початку обробки на збільшеній подачі
N380X50.8F0.2;	Підрізання торця (2) — $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$ до номінального значення
N390X52Z0F3;	Підведення різця в початок обробки торця (3) $\varnothing 50,2-0,1 / \varnothing 37,3+0,12$
N410X28F0.2;	Підрізання торця (3) — $\varnothing 50,2-0,1 / \varnothing 37,3+0,12$ остаточно
N420Z1F0.5;	Відвід різця по Z
N430X47.6F2;	Відвід різця по X у точку, звідки почнеться робочий рух по зніманню фаски на (4) — $\varnothing 50,2-0,1$
N440Z0.1F0.5;	Відвід різця по Z у точку, звідки почнеться робочий рух по зніманню фаски на (4) — $\varnothing 50,2-0,1$
N450X50.2Z-1.2F0.15;	Точіння фаски $1,2 \times 45^\circ$ на $\varnothing 50,2-0,1$
N460Z-5.95F0.25;	Точіння поверхні (4) — $\varnothing 50,2-0,1$ остаточно
N470G1X80K-1.2F0.2;	Підрізання торця (2) — $\varnothing 80-0,2 / \varnothing 50,2-0,1$ до значення середини поля допуску. Точіння фаски $1,2 \times 45^\circ$
N490Z-23;	Точіння фланця (1) — $\varnothing 80-0,2$ остаточно
N500X81F0.5;	Відвід різця від оброблюваної поверхні по X
N510X87Z-4F3 M9;	Відвід різця у вихідну точку, відміна подачі ЗОР
N520G0X250Z250M5;	Відвід різцетримача в точку індексації
N530T7M6;	Вивід в робочу позицію різця T7 для формування канавки (7)
N540S250M4;	Призначення режимів різання
N550G0X55Z0M8;	Підведення різця у вихідну точку проходу прискореним рухом; подача ЗОР
N560G1X50.8Z-2.83F3;	Підведення різця в точку початку обробки поверхні (7) на робочій збільшеній подачі
N570X49.4Z-5.44F0.06;	Точіння канавки (7)
N580Z-6.25;	Завершення формування канавки (7) на відповідність кресленню
N590X50.5Z-4F0.3;	Виведення різця з канавки
N600X55Z0F3M9;	Відвід різця в точку початку обробки, відміна подачі ЗОР
N610G0X250Z250;	Відвід різцетримача в точку індексації
N620T1M6;	Виведення в робочу позицію розточувального різця
N630S260M3;	Призначення величини й напрямку швидкості різання

Закінчення табл. 3.11

Кадр	Програмовані дії
N640G0X-25Z7M8;	Виведення різця у вихідну точку переходу прискореним рухом, подача ЗОР
N650G1X-30.5Z2F3;	Підведення різця в початок обробки отвору на збільшеній подачі
N670G61P800Q820B0.5I0 F0.25;	Розточування отвору багатопрохідним циклом, виконання чистового проходу
N800G1X-33; N810G1Z-60;	Опис контуру: заданий діаметр отвору, довжина розточування
N820Z10F5 M9;	Відвід різця, відміна подачі ЗОР
N690G0X250Z250;	Відвід різцетримача в точку індексації
N695T3M6;	Виведення в робочу позицію різця ТЗ для формування кармана (6) — $\varnothing 37,3+0,12$
N700S270M3;	Призначення режимів різання
N705G0X-28Z7M8;	Виведення різця у вихідну точку переходу прискореним рухом, подача ЗОР
N710G1X-32Z2F3;	Підведення різця в початок обробки кармана (6) на збільшеній подачі
N720G61P900Q920V-34B0.5I0 F0.25;	Розточування кармана багатопрохідним циклом. Глибина різання 0,5 мм, подача 0,25 мм, виконання чистового проходу
N900G1X-37; N915Z-6.5;	Опис контуру. Діаметр, глибина
N920X-35Z1F3;	Виведення різця на збільшеній подачі з кармана (6)
N730X-39.7 Z 0.1F2;	Підведення різця в точку початку знімання зовнішньої фаски
N740X-37.3Z-1.1F0.15;	Точіння фаски
N745Z-6.53F0.2;	Розточування кармана (6) — $\varnothing 37,3+0,12$ остаточно
N750X-36.7 F0,2;	Підрізання внутрішнього торця до точки початку знімання фаски на поверхні (5) — $\varnothing 33 \pm 0,10$
N755X-33.3Z-7.55F0.15;	Точіння фаски
N760Z10F5 M9;	Виведення різця за деталь, відміна подачі ЗОР
N765G0X250Z250M5;	Відвід різцетримача в точку індексації
N770M30;	Кінець програми

Наведений приклад розробки програми оброблення східчастої втулки ще раз демонструє високу трудомісткість процесу розробки програми вручну і велику вірогідність випадкових помилок. Сучасні комп'ютеризовані методи програмування обробки на верстатах з ЧПК, використання CAD/CAM-систем багаторазово його скорочують, роблять надійнішим, виконують попередню перевірку траєкторії руху

кожного інструмента і обробки деталі в цілому на екрані комп'ютера до установки її на верстат (див. параграф 2.19).

3.13. Цикли

Циклом у токарній обробці називається замкнута послідовність більше ніж двох елементарних переміщень. Розглянемо зміст найпоширеніших циклів, використовуючи такі позначення:

В.т. — вихідна точка циклу;

П.о. — початок обробки;

1, 2, 3, ... — номери елементарних рухів циклу в порядку виконання;

R — прискорений рух;

F — рух на робочій подачі.

Однопрохідний поздовжній цикл G27

працює за схемою, наведеною на рис. 3.23: інструмент прискореним рухом переміщається з В.т. в П.о. (1), виконує робочий рух точіння (2), підрізку торця (3), прискореним рухом (4) повертається у В.т. Застосовується для чистової обробки

циліндричних або конічних поверхонь з підрізкою торця. Чорнова обробка при цьому може виконуватись одним із циклів: G61 або G68.

Формат циклу:

$$G27 \left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} I F;$$

Параметри:

X, U, Z, W — координати точки D (X, Z) або приріст від вихідної точки до D (U, W);

I — розмір конуса, приріст по X від точки B до D, задається на радіус.

Якщо параметр I дорівнює нулю або відсутній, поверхня оброблюється як циліндрична.

Якщо більший діаметр оброблюваного конуса розташований зліва (ближче до патрона), значення I від'ємне, і навпаки;

F — робоча подача в мм (або мкм) на оберт.

Відсутність якогось з параметрів призведе до врахування ПЧПК їх модальних (заданих раніше) значень.

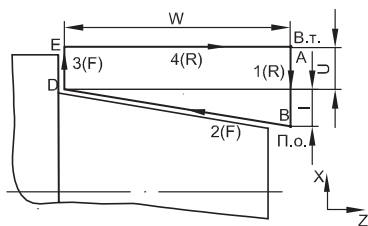


Рис. 3.23. Однопрохідний поздовжній цикл G27

Наприклад, обробка поверхні на рис. 3.23 при $U = -100$, $I = -75$, $W = -300$, може бути запрограмована таким одним кадром:

G27U-100W-300I-75S800F500M3;

замість чотирьох:

N1 G0 U-175 S800 M3;

N2 U75 W-300 F500;

N3 U100;

N4 G0 W300;

Рухи 3 і 4 забезпечуються ПЧПК автоматично.

Однопрохідний цикл поздовжнього різенарізання G28 виконує чистове різенарізання на циліндричних або конічних ступенях деталі. Працює за схемою, наведеною на рис. 3.24, а: інструмент прискореним рухом переміщається з В.т. у П.о. (1), виконує робочий рух нарізання різьби (2), збіг (3), прискореним рухом (4, 5) повертається у В.т. Якщо потрібно виконати кілька проходів, кожен програмують окремо. Чорнова обробка може виконуватися багатопрохідним циклом G66.

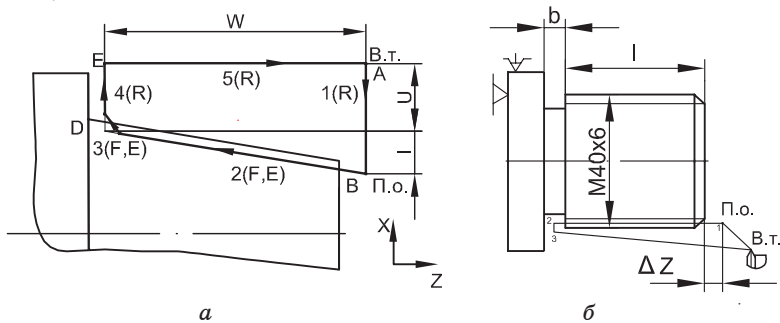


Рис. 3.24. Однопрохідний цикл поздовжнього різенарізання G28

Формат циклу:

G28 $\left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} I \left\{ \frac{F}{E} \right\};$

Параметри:

X , U , Z , W — абсолютні координати точки D (рис. 3.24, а) або приріст від вихідної точки до D ; координати модальні — відсутність якогось з них призведе до врахування ПЧПК попереднього значення;

I — розмір конуса — приріст по осі X від D до B , задається на радіус. Якщо $I = 0$ або відсутнє, оброблювальна різьба циліндрична (рис. 3.24, б);

F , E — крок різьби.

Схема обробки, наведена на рис. 3.24, *a*, при $U = -75$, $I = -25$, $W = -200$, $F = 5$ може бути запрограмована таким кадром:

G28 U-75 W-200 I-25 F5;

Різенарізання — відповідальна операція, потребує високої кваліфікації робітника, особливо під час нарізання крупномодульних різьб з великим кроком, яке супроводжується великими швидкостями поздовжнього руху — токар повинен встигнути «вихопити» різець перед патроном. Цю проблему усунуто завдяки виконанню операції на верстаті з ЧПК. Система своєчасно і чітко виводить різець з різьби, працюючи на обертах шпінделя значно вищих, порівняно з універсальним верстатом, чим додатково підвищує продуктивність обробки. Збільшення швидкості різання дало також змогу під час різенарізання використовувати стандартизовані ISO твердосплавні пластини. Кут профілю різьби забезпечується формою пластини (60° — метрична різьба, 55° — дюймова).

Хід різця L визначається відношенням:

$$L = l + \Delta Z + b/2, \quad (3.6)$$

де l — довжина різьби (рис. 3.24, *б*);

ΔZ — підхід різця — відстань від його вершини до початку різьби на деталі, зазвичай це $1,5 \div 2,0$ кроки різьби;

b — ширина зарізьбової канавки.

Якщо зарізьбову канавку в деталі не передбачено, тобто різьба збігає (рис. 3.24, *a*), хід різця $L = l + \Delta Z$.

При нарізанні лівої різьби врізання перед обробкою відбувається в зарізьбовій канавці, яку передбачають обов'язково, якщо конструкція деталі не дозволяє різати від патрона.

Якщо різьба багатозахідна, програмують кожен захід окремо, з осьовим зміщенням кожного проходу на $\frac{F}{n}$, де F — крок різьби, n — кількість заходів.

Наприклад (рис. 3.24, *б*), нехай треба нарізати різьбу метричну $M40 \times 6$, однозахідну, довжиною $l = 50$ мм, ширина зарізьбової канавки $b = 6$ мм. ΔZ призначаємо рівним 9 мм. Хід різця програмуємо: $L = 50 + 9 + 3 = 62$ мм.

Якщо різьба буде двозахідною, то початок обробки другого витка різьби потрібно змістити від початку різенарізання першого на півкроку: $6:2 = 3$ мм праворуч і врахувати це для виходу різця в центр зарізьбової канавки.

Тоді: $\Delta Z_2 = 3 + 9 = 12$ мм, а $L_2 = 50 + 12 + 3 = 65$ мм;

Якщо різьба тризахідна, то перший виток нарізається так само, як в однозахідній різьбі.

Для другого витка $\Delta Z2 = 6:3 + \Delta Z = 2 + 9 = 11$ мм, а довжина ходу:

$$L2 = 50 + 11 + 3 = 64 \text{ мм.}$$

Друге зміщення для нарізання третього витка різьби відраховується від другого витка $\Delta Z3 = 6:3 + \Delta Z2 = 13$ мм, а довжина ходу:

$$L3 = 50 + 13 + 3 = 66 \text{ мм.}$$

Якщо для повного нарізання різьби необхідно виконати кілька проходів, цикл G28 програмується кожного разу. Глибина різання від проходу до проходу, з урахуванням зрізуваної площі припуску, має прогресивно падати і на останньому проході становити не більше 0,1–0,12 мм.

У ПЧПК передбачено автоматичний кінцевий збіг різьби «від металу», який діє також у разі непередбачуваних аварійних зупинок верстата, крок різьби при цьому витримується.

Однопрохідний поперечний цикл G29 використовується для чистової обробки торців, зокрема конічних та прилеглих до них циліндричних ступенів. Схему обробки наведено на рис. 3.25: прискорений рух з В.т. у П.о. (1), робочі рухи (2 і 3), прискорений рух (4) у В.т. Попередня обробка при цьому може виконуватися багатопрохідним циклом G62 або G68. Якщо треба виконати кілька проходів, цикл програмується кожного разу заново.

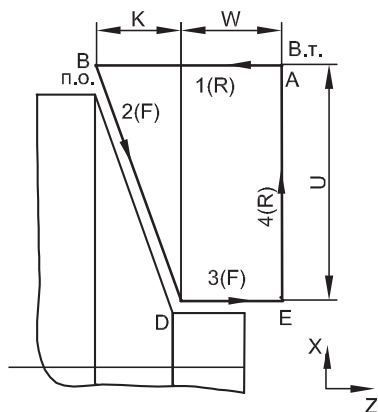


Рис. 3.25. Однопрохідний поперечний цикл G29

Формат циклу:

$$G29 \left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} K F;$$

Параметри:

X, U, Z, W — абсолютні координати точки D (рис. 3.25) або приріст по координатах від вихідної точки до точки D.

Якщо не вказати якийсь з параметрів, ПЧПК врахує його попереднє значення;

K — розмір конуса, приріст по осі Z від точки D до В. Якщо параметр K дорівнює нулю або відсутній в кадрі, від-

будеться обробка перпендикулярної до осі Z торцевої поверхні;

F — контурна робоча подача для рухів 2 і 3 циклу.

Якщо $U = 100$, $W = -50$, $K = -25$, схема обробки, наведена на рис. 3.25, може бути запрограмована таким кадром:

G29U-100W-50K-25F500;

Якщо K задати додатним, відбудеться обробка конічної впадини в торці.

Однопрохідний цикл поперечного різенарізнання G39 використовують для чистового нарізнання торцевих (спіральних) різьб, а також конічних різьб з великим значенням конусності (≥ 1). Схему обробки наведено на рис. 3.26: прискорений рух з В.т. у П.о. (1), робочий рух нарізнання різьби (2), вихід (3), прискорений рух (4) у В.т. Якщо треба виконати декілька проходів, кожен програмують окремо. Попередня обробка може виконуватися багатопрхідним циклом G67.

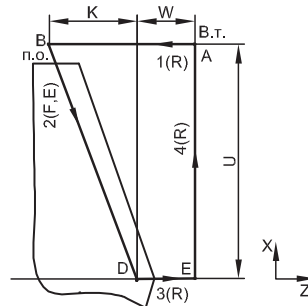


Рис. 3.26. Однопрохідний цикл поперечного різенарізнання G39

Формат циклу:

G39 $\left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} K \left\{ \frac{F}{E} \right\}$;

Параметри:

X, U, Z, W — абсолютні координати точки D (рис. 3.26) або приріст по координатах від вихідної точки до точки D;

K — розмір конуса, приріст по осі Z від точки D до В (П.о.);

F, E — крок різьби.

Відсутність якогось з параметрів призведе до врахування ПЧПК його попереднього значення. Відсутність K або його рівність нулю зумовить нарізнання торцевої (спіральної) різьби.

Аварійний збіг різьби «від металу» ПЧПК розраховує автоматично, заданий крок при цьому витримується.

Якщо $U = -100$, $W = -50$, $K = -25$, схема обробки, наведена на рис. 3.24, відпрацьовується кадром:

G39U-100W-50K-25F5;

Якщо K додатне (G39U-100W-50K25F5), оброблювана поверхня набуде вигляду конічної різьбової воронки в торці.

Однопрохідний чистовий цикл G60 забезпечує обробку складних монотонних контурів — без гострих піків та

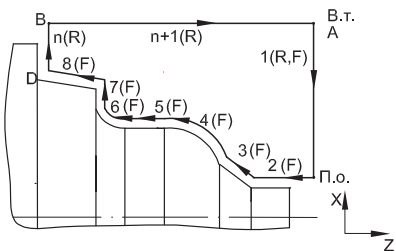


Рис. 3.27. Однопрохідний чистовий цикл G60

канавок (рис. 3.27). Рух по контуру 1, 2, 3, ... n задають програмою, що складається з послідовності елементарних команд (G0, G1, G2, G3, G33). Рухи 1-й та $(n+1)$ -й не входять до керуючої програми, ПЧПК виконує їх автоматично циклом G60. Вони являють собою вихід в робочу позицію (П.о.) та повернення прискореним

рухом у вихідну точку циклу (В.т.). Цикл враховує всі модальні команди, задані раніше (функції M, S, F, E, T, L, G25, G26, G90, G91, G92, G94, G95, G96, G97), хоча ці функції можуть задаватися і всередині циклу.

Формат циклу: G60 P Q;

де: параметри P і Q — номери початкового і кінцевого кадру циклу відповідно. Відсутність P і Q в кадрі з G60 спричинить зупинку верстата з індикацією на екрані ПЧПК «помилка програми». Цикл G60 використовують для чистової обробки довільного контуру деталі чи його частини. Попередня обробка може виконуватися з використанням чорнових багатопрохідних циклів G61, G62, G68. Схема рухів, поданих на рис. 3.27, з використанням циклу G60, може бути відпрацьована такою частиною програми:

```
N50G60P300Q309;
N300G0U-145;
N301G1U-3F500;
N302W-15;
N303U10W-15;
N304G3U30W-50R60;
N305G1W-30;
N306G2U20W-20R20;
N307G1U20;
N308U15W-30;
N309U30;
```

Якщо під час виконання циклу G60 перейти в режим «Покадровий», то відбуватиметься зупинка після кожного простого (між двома сусідніми опорними точками) руху циклу. Для продовження роботи треба натиснути кнопку ПЧПК «Пуск». Якщо на оброблюваній поверхні є канавки, різкі виступи й под., то, щоб уникнути їх

пошкодження врізанням, контур ділять в екстремальних точках на монотонні частини і обробляють кожну за окремою програмою.

Цикл G60 може використовуватися з повторами, наприклад: N200G60P100Q170H5 — обробка контуру, описаного кадрами P100Q170, повториться п'ять разів.

Багатопрохідний чорновий поздовжній цикл G61 забезпечує знімання великого припуску в поздовжньому напрямі, обмеженому «монотонним» контуром — на якому немає локальних максимумів (гостровершинних виступів) або мінімумів (канавок). Контур, що містить такі екстремальні точки, для запобігання їх зрізання розбивають на «монотонні» відрізки, які обробляють окремо за тими ж циклами.

Формат циклу:

G61 P Q U W V I (F);

Параметри:

P, Q — номери першого та останнього кадру частини програми відповідно, що задає переміщення по чистовому контуру (рис. 3.28).

U, W — припуск на чистовий прохід по осях X і Z відповідно;

V — глибина різання по осі X на чорнових проходах, програмується тільки на радіус;

I — ознака виконання (I = 0) або блокування (I = 1) напівчистового проходу;

F — контурна робоча подача.

e — параметр циклу, що вводиться з ПЧПК, задає відвід різця по осі X у кінці проходу, щоб уникнути його контакту з обробленою поверхнею при поверненні в точку, з якої почнеться наступний робочий прохід.

Відсутність у циклі параметрів P, Q і V спричинить аварійну зупинку обробки. Відсутність параметрів U та W виключає наступну чистову обробку, наприклад циклом G60, за тою самою програмою. Відсутність параметра I призведе до відпрацювання напівчистового проходу. В циклі можна використовувати G-функції тільки елементарного типу (G0–G3, G33). Функції G25, G26, G92 в циклі G61 спричинять аварійну зупинку обробки. Функції G53, G56, G91, G94–G97, M, S, T, L, F, E в циклі G61 не зчитуються на чорнових проходах, але виконуються на напівчистовому проході.

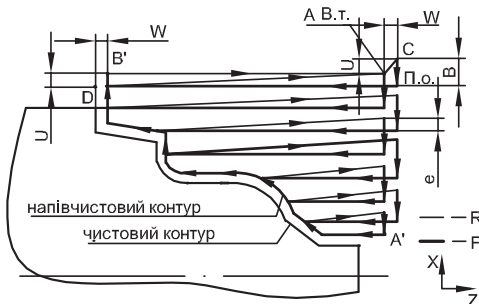


Рис. 3.28. Багатопрхідний чорновий поздовжній цикл G61

Цикл G61 реалізує таку послідовність рухів (рис. 3.28):

1 — вихід прискореним рухом у вихідну точку напівчистового контуру (A → C);

2 — рух вздовж осі X на глибину різання B у напрямку до деталі;

3 — рух різання на робочій подачі вздовж

осі Z до перетину напівчистового контуру;

4 — відхід прискореним рухом на «e» по осі X, відхід по Z прискореним рухом до початку обробки по Z (кінець першого проходу);

5 — рух на врізання по осі X на величину «e+B», далі рух різання і відхід (другий прохід);

6 — чорнові проходи продовжуватимуться доти, поки залишок чорнового припуску не буде меншим за глибину різання B;

7 — якщо параметр I відсутній або дорівнює нулю, після чорнових проходів виконується обробка напівчистового контуру, який зміщений відносно остаточного по X та Z на U і W відповідно (A' → B' на рис. 3.28);

8 — якщо параметр I не дорівнює нулю, то після останнього чорнового проходу інструмент прискореним рухом повертається у вихідну точку. Напівчистовий прохід не виконується.

Контур, поданий на рис. 3.28, може бути відпрацьований циклом G61 кадрами:

N200G61P500Q509U1W1B1.3I0F300S800;

N500G0U-145;

N501G1U-3F500;

N502W-15;

N503U5W-10;

N504G3U30W-50R60;

N505G1W-30;

N506G2U20W-20R20;

N507G1U20;

N508U15W-30;

N509U30;

У розглянутому прикладі чорновий припуск розділено на 11 чорнових проходів з глибиною різання 1,3 мм та 12-й прохід — напівчистовий із залишеним припуском на чистову обробку –1 мм по кожній осі.

Якщо перейти в режим «Покадровий», то під час виконання циклу G61 зупинка відбуватиметься після кожного чорнового проходу (після руху відводу різця) та після кожного простого руху (пряма, дуга) під час напівчистового проходу. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Багатопрохідний чорновий поперечний цикл G62 забезпечує знімання в поперечному напрямі чорнового припуску, обмеженого «монотонним» контуром без екстремумів типу виступів, канавок і под., щоб не пошкодити поверхню зрізами або залишити недорізи.

Формат циклу: G62 P Q U W B I (F);

Параметри:

P, Q — номери, відповідно, першого та останнього кадру частини керуючої програми, що описує рух по чистовому контуру. За відсутності параметрів P і Q ПЧПК генерує аварійну зупинку обробки;

U, W — припуск на чистовий прохід по осях X та Z відповідно. Якщо параметри U і W відсутні, чистовий прохід не виконується;

B — глибина різання по осі Z на чорновому проході. Відсутність параметра B спричинить аварійну зупинку обробки;

I — ознака виконання (I = 0 або відсутнє) або невиконання (I = 1) напівчистового проходу;

F — контурна робоча подача.

«e» — відхід різця по осі Z після відпрацювання робочого руху різання, задається ПЧПК.

У циклі можна використовувати G-функції тільки елементарного типу (G0–G3, G33). Функції G25, G26, G92 в циклі G62 зумовляють аварійну зупинку обробки. Функції G53, G56, G91, G94–G97, M, S, T, L, F, E в циклі G62 не зчитуються на чорнових проходах, але виконуються на напівчистовому проході.

Цикл G62 складається з такої послідовності рухів (рис. 3.29):

1 — вихід прискореним рухом інструмента у вихідну точку напівчистового проходу (A → C);

2 — вихід вздовж осі Z у початкову точку різання з глибиною різання B;

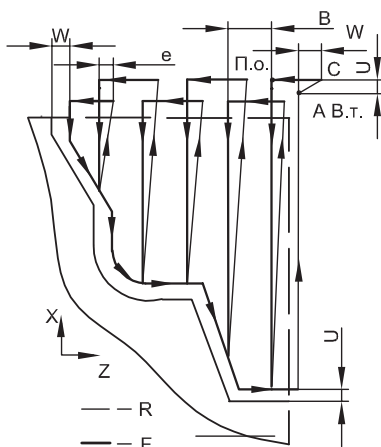


Рис. 3.29. Багатопохідний чорновий поперечний цикл G62

3 — основний рух чорнового проходу на робочій подачі вздовж осі X до перетину з напівцистивим контуром;

4 — відхід прискореним рухом по осі Z на величину «e», а по осі X — до координати точки П.о. Рухи 2, 3 і 4 становлять перший чорновий робочий прохід;

5 — другий чорновий прохід: подача вздовж осі Z на «e+B», рух різання вздовж осі X до перетину з напівцистивим контуром, прискорений рух по Z на величину «e», а по X — до координати точки П.о.;

6 — чорнові проходи виконуються доти, поки залишок чорнового припуску не буде меншим за глибину різання B;

7 — якщо параметр I відсутній або дорівнює нулю, то виконується напівцистивий прохід;

8 — якщо параметр I дорівнює 1, то після останнього чорнового проходу інструмент повертається у вихідну точку циклу без напівцистивого проходу.

8 — якщо параметр I дорівнює 1, то після останнього чорнового проходу інструмент повертається у вихідну точку циклу без напівцистивого проходу.

Схема рухів, наведених на рис 3.29, може бути відпрацьована кадром:

N300G62P600Q607U2W2B4I1F0.5S1000;

N310G60P600Q607S1200;

N600G0W-21;

N601G1U-5;

N602U-7W4;

N603U-3;

N604G3U-5W5R5;

N605G1W2;

N606U-10W4;

N607W6;

Цей кадр передбачає поділ чорнового припуску на п'ять чорнових проходів з глибиною різання 4 мм, із блокуванням напівцистивого проходу, з припуском 2 мм по кожній осі на чистовий прохід, який відпрацьовується кадром N310.

Якщо перейти в режим «Покадровий», то під час виконання циклу G62 буде виконуватися зупинка після кожного чорнового проходу (після відводу) і після кожного простого руху в напівчистовому проході. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Багатопохідний чорновий копіювальний цикл G68.

На відміну від циклів G61 та G62, які застосовують під час обробки деталей із заготовок з великим припуском (круглий прокат), цикл G68 застосовують для обробки деталей із заготовок, близьких за формою до остаточного контуру (поковки, штамповки, виливки), тобто з незначним припуском. Робочий рух різання в циклі G68 відбувається по траєкторії, еквідистантній остаточному оброблюваному контуру. Можливе застосування циклу G68 після попередньої обробки деталі з використанням циклу G61 чи G62 або обох відразу до того моменту, поки оброблюваний контур не стане подібним за формою до готової деталі.

Формат циклу:

G68 P Q U W I K B (F);

Параметри:

P, Q — номери, відповідно, першого та останнього кадру частини керуючої програми руху по чистовому контуру;

U, W — припуск на чистовий прохід по осі X та Z відповідно;

I, K — повний припуск по осі X та Z відповідно. Параметр I задається на радіус;

B — кількість чорнових проходів;

F — контурна робоча подача.

Відсутність параметрів U та W зумовить чорнову обробку до чистового контуру. Відсутність якогось з параметрів P, Q, I, K, B призведе до аварійної зупинки програми.

В циклі G68 можна використовувати G-функції тільки елементарного типу (G0–G3, G33), враховуються встановлені раніше функції G25, G26, G92 G53, G56, G91, G94–G97, M, S, T, L, F, E. Ці функції також можуть встановлюватися в самому циклі G68.

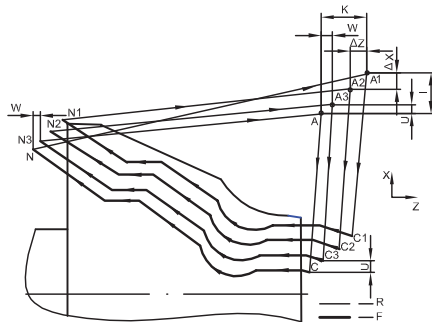


Рис. 3.30. Багатопохідний чорновий копіювальний цикл G68

Якщо припуск на чистовий прохід передбачено, зона чорнового зняття припуску в циклі G68 дорівнюватиме:

по $X = |I| - U$, по $Z = |K| - W$;

А глибина різання становитиме:

$$\Delta X = \frac{X}{B-1}; \quad \Delta Z = \frac{Z}{B-1}. \quad (3.7)$$

Повна глибина різання $\Delta = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Z^2}$.

Розглянемо приклад обробки контуру за циклом G68 (рис 3.30).

Перший робочий прохід здійснюється з вихідної точки циклу за траєкторією $A1 \rightarrow C1 \rightarrow N1$ паралельно чистовому контуру, після чого виконується вихід прискореним рухом у вихідну точку другого проходу $A2$, яка від $A1$ на відстані глибини різання Δ і наближена до оброблюваного контуру.

Другий прохід реалізується траєкторією $A2 \rightarrow C2 \rightarrow N2$, також паралельною чистовому контуру з тою ж глибиною різання і наступним виходом у вихідну точку третього проходу і т. д. Після відпрацювання останнього B проходу інструмент повертається прискореним рухом у вихідну точку циклу $A1$. Схему рухів, подану на рис 3.30, можна відпрацювати кадром:

N300G68P500Q508U2W3I-10K-15B4F0.3S800;

де N500G0U-60W-5;

N501G1U2W-10;

N502W-10;

N504G2U2W-16R20;

N505G1W-27U20;

506W-15;

N508U15W-17;

Якщо перейти в режим «Покадровий», під час виконання циклу G68 відбудуться зупинки після кожного простого руху (рух між двома послідовними опорними точками). Для подальшої роботи треба натиснути кнопку «Пуск» на ПЧПК.

Багатопрохідний чорновий цикл поздовжнього різання G66 забезпечує знімання в поздовжньому напрямку чорнового припуску циліндричної або конічної різьби за кілька проходів.

Формат циклу: G66 $\left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} I R B \left\{ \frac{F}{E} \right\} A P$;

Параметри: X, U, Z, W — координати кінцевої точки різання в абсолютній або відносній системі;

I — розмір конуса (завжди на радіус) — нахил до осі Z (визначається як різниця діаметрів у крайніх точках конічного відрізка, поділена на 2). Якщо параметр I відсутній, різьба циліндрична;

R — глибина різьбової канавки або висота профілю різьби, задається на радіус;

B — глибина різання, задається на радіус, по осі X на один прохід;

F, E — крок різьби;

A — кут врізання по осі X . При $A = 0$ (рис. 3.31, *a*) відбувається врізання строго по осі X з однаковим навантаженням сторін різця. Така схема застосовується для нарізання різьби кроком до 2,5 мм. Якщо $0 \leq A \leq \xi/2$, де ξ — кут різця або профілю різьби, нарізання різьби відбувається одною стороною різця більше, ніж другою (рис. 3.31, *в*).

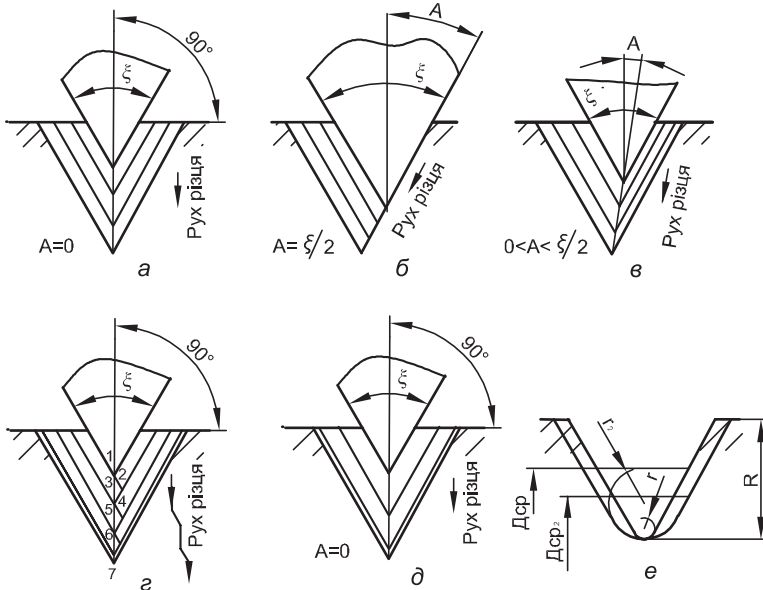


Рис. 3.31. Розподіл припуску між проходами при нарізні різьби

У крайньому разі, коли A дорівнює половині кута профілю різьби ξ , працює лише одна сторона різця (рис. 3.31, *б*). Таку схему бажано застосовувати для різьби кроком, більшим за 2,5 мм. Недоліком схеми є нерівномірне зношування різальної крайки різця, тому для формування крупномодульних різьб рекомендована схема «вробивку» (рис. 3.31, *г*),

де обидві сторони різальної крайки працюють. Розбивку здійснюють шляхом почергового заглиблювання по осі X і під кутом $\xi/2$. Зміщення різця може бути як вправо (рис. 3.31, z), так і вліво. Перемінність значення A між проходами (1-й прохід: $A = 0$; 2-й прохід: $A = \xi/2$; 3-й прохід: $A = 0$; 4-й прохід: $A = \xi/2$ і т. д.) викликає незручність під час програмування, оскільки в більшості пристроїв ЧПК значення A вводиться вручну з пульта, тобто необхідне втручання оператора перед кожним проходом. При нарізанні крупномодульних різьб на довгомірних деталях (ходові гвинти, гвинти підйомних механізмів, шнеки тощо) це себе виправдовує. Останній прохід, як правило, виконується прямим врізанням.

Якщо розподіл припуску між проходами передбачено за потужністю різання, схема може бути такою, як показано на рис. 3.31, d — площа поперечного перерізу стружки на всіх проходах однакова, взята з останнього фінішного проходу.

Важливим параметром при нарізанні гостровершинних різьб є радіус у дні різьби, його значення вказується в кресленні деталі. За чорнового різенарізання цей радіус потрібно обмежувати залежно від припуску на середній діаметр різьби ($D_{\text{ср}}$ — діаметр, на якому ширина зуба і впадини різьби однакові). Наприклад (див. рис. 3.31, d), параметр контролю операції різенарізання — глибина різьбової канавки R . Якщо радіус на вершині різця перевищуватиме допустимий, то значення $D_{\text{ср}}$ буде меншим для зовнішньої різьби ($D_{\text{ср}2}$) і, аналогічно, більшим для внутрішньої різьби, за тієї самої висоти профілю, настільки, що деталь може бути забракованою;

P — характеризує силовий режим різання — з однаковою глибиною чи однаковим зусиллям різання.

Якщо $P = 4$ при $A = 0$, відбувається різання з однаковою глибиною на всіх проходах. Кількість проходів $n = \frac{R}{B}$.

Якщо $P = 2$ при $A = 0$, відбувається різання з однаковою потужністю на кожному проході. При цьому площа поперечного перерізу знятої стружки однакова на всіх проходах, тобто, задаючи оптимальну глибину різання для останнього проходу, на першому її можна істотно збільшити. В результаті кількість проходів зменшиться, а продуктивність обробки підвищиться. Якість оброблюваної поверхні у другому випадку також поліпшиться, оскільки режими призначаються на останньому проході залежно від вимог до

якості обробки. Процес оптимізується і щодо стійкості різця. Тобто, цей метод розподілу припуску досконаліший, хоча частіше, через простоту реалізації, перевагу надають першому.

P1 і P3 використовують при несиметричному зніманні припуску.

Відсутність в кадрі циклу параметрів R, B, A спричинить аварійну зупинку верстата.

Чистовий прохід циклом G66 не виконується. За його потреби застосовують цикл G28 або G33.

У циклі G66 чорнові проходи реалізуються послідовністю рухів, схему яких наведено на рис. 3.32 (а — $A = 0$; б — $A = \xi/2$):

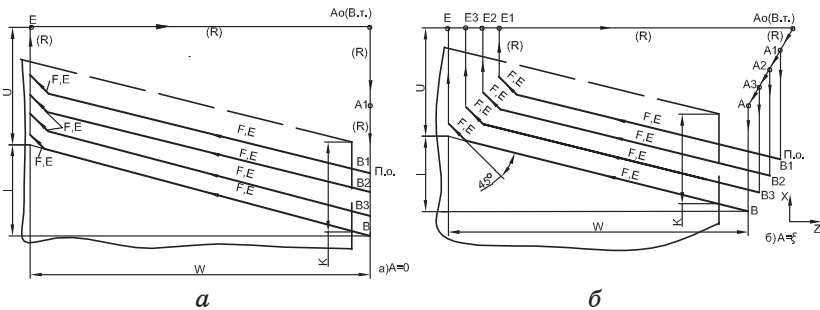


Рис. 3.32. Багатопрохідний поздовжній чорновий цикл різенарізаня G66

1) вихід прискореним рухом у вихідну точку проходу A_i (i — номер проходу);

2) вихід прискореним рухом у початкову точку різенарізаня B_i ;

3) основний рух — робочий хід нарізаня різьби кроком F(E) із точки B_i ;

4) вибіг з різьби в кінці ходу. Крок різьби при цьому зберігається. При аварійних зупинках або натисненні оператором кнопки «Стоп подачі» ПЧПК автоматично відпрацьовує вибіг з різьби «від металу» зі збереженням кроку різьби в будь-якому місці проходу. Рухи 3 і 4 виконуються із синхронізацією поздовжнього переміщення і обертів шпінделя верстата;

5) вихід прискореним рухом по осі X до координати вихідної точки B_i ;

6) повернення прискореним рухом по осі Z у вихідну точку циклу A_0 ;

7) повторювання таких проходів відбувається до остаточного зняття припуску, закладеного циклом G66.

Якщо перейти в режим «Покадровий», під час виконання циклу G66 зупинки відбуватимуться після кожного чорнового проходу. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск». Приклад запису кадру обробки:

G66 U-2.7 W-10 I 0 R1,4 B0.2 F2,54 A0 P2;

Цим кадром відпрацьовуються сім чорнових проходів нарізання циліндричної різьби кроком 2,54 з рівномірним навантаженням сторін різця, з однаковою потужністю різання по проходах, на відрізку 10 мм.

Розглянемо приклад обробки такої різьби на деталі (рис. 3.33). Потрібно обробити кінчну поверхню і нарізати на ній різьбу за розмірами, вказаними на рисунку. Різьбова частина заготовки попередньо оброблена до $\varnothing 76$ мм (штрихова лінія на рис. 3.33, а). Зарізьбова канавка та базові поверхні фланця оброблені остаточно. Параметри профілю різьби зазначені на рис. 3.33, в. Напрямок осей координат вказано. Вибираємо початок координат у правому торці деталі. Деталь закріплюємо в патроні за фланець з упором у лівий торець. Елементи контролю — зовнішній, середній та внутрішній діаметр різьби, радіус у дні різьбової канавки.

На рис. 3.33, б показано схему обробки: над осью ліній — зовнішнього діаметра — інструментом T6, нижче осью ліній — різьбової поверхні — інструментом T7. Відстань від П.о. до оброблюваної поверхні й перебіг для обробки гладкої поверхні приймаємо рівними 2 мм, для різьбонарізання (1,0÷1,5 кроку) — 3 мм. Розраховуємо координати опорних точок руху вершини різця, по-

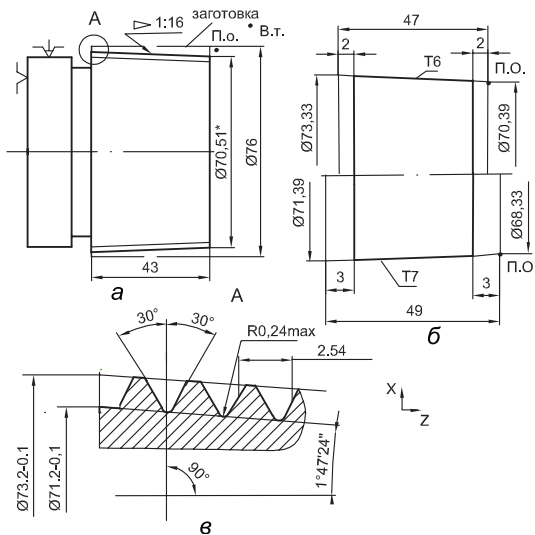


Рис. 3.33. Нарізання зовнішньої різьби на деталі

значаємо їх на схемі обробки. Керуючу програму, розроблену згідно з цією схемою, наведено в табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Кадр	Програмовані дії
% 18; (risbova probka)	
N10T6M6;	Виведення в робочу позицію інструмента T6 — прохідного різця
N15G90G97S350M4;	Абсолютна система відліку, постійні оберти шпінделя проти стрілки годинника
N20G0X82Z5M8;	Підведення інструмента прискореним рухом у вихідну точку обробки, подача ЗОР
N25X76Z2G1F0.3;	Підведення інструмента на робочій подачі в точку початку обробки
N30G61P100Q200 U0.4B0.6I0;	Багатопрхідним чорновим поздовжнім циклом зняття основного припуску із зовнішнього діаметра, залишаємо припуск 0,4 мм на чистовий прохід
N100G0X70,39;	Описування контуру. Вихід прискореним рухом в точку початку обробки. Виконання чорнових проходів
N200G1X73,33Z-43F0.25;	
N35G60 P100Q200;	Чистовий прохід
N40G1X77Z-35F5M9;	Відвід інструмента в зручне для оператора місце, відміна подачі ЗОР
N45G0X250Z250M5;	Відвід інструмента в точку індексації
N50T7M6;	Вивід в робочу позицію інструмента T7 — різьбового різця
N55S60M3;	Призначення режимів різання різби
N60G0X80Z7M8;	Підведення інструмента прискореним рухом у вихідну точку обробки, подача ЗОР
N70G1X68,47Z3F5;	Підведення інструмента на робочій збільшеній подачі в точку початку обробки
N75G66X71.39Z-44 I-1.47 F2.54K1.05A0 B0.03P4;	Багатопрхідним різенарізним циклом формування різьбової поверхні
N80G1X80Z3F5M9;	Відвід інструмента в зручне для оператора місце, відміна подачі ЗОР
N85G0X250Z250M5;	Відвід інструмента прискореним рухом у позицію заміни, зупинка обертів шпінделя
N90M30;	Кінець програми

Розглянемо приклад обробки внутрішньої конічної різби на деталі (рис. 3.34). Потрібно обробити внутрішню конічну поверхню розточувальним різцем (Т3) і нарізати на ній різьбу (різець Т1), параметри якої наведено на рисунку.

Заготовка попередньо оброблена по внутрішньому діаметру ($\text{Ø}64$ мм, штрихова лінія на рис. 3.34, а). Зовнішній діаметр і торці оброблені остаточно — як базові поверхні та площина початку відліку по Z.

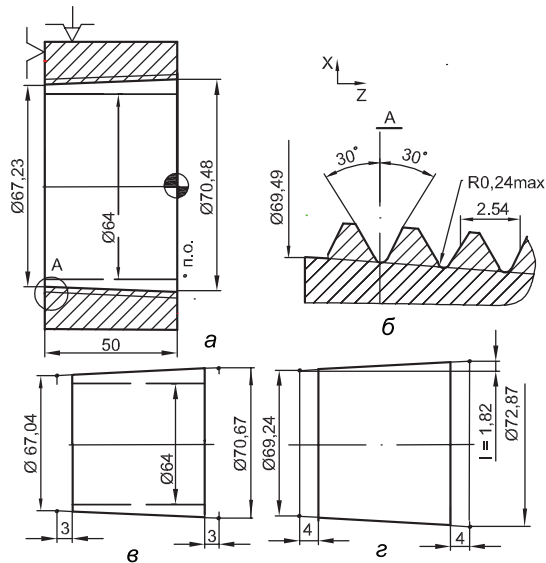


Рис. 3.34. Нарізання внутрішньої різьби

Деталь закріплюємо в патроні за зовнішній діаметр з упором в лівий торець. Призначаємо початок координат у правому торці деталі. Відступ перед початком обробки і перебіг в кінці призначаємо з тих же міркувань: $2 \div 3$ мм для гладкої поверхні і $1,0 \div 1,5$ кроку для різьбарізання. Складаємо схему для розрахунку координат траєкторії руху різців при обробці (рис. 3.34, в і 3.34, г), розраховуємо координати, позначаємо на схемі, заносимо до програми обробки.

Елементи контролю — внутрішній, середній та зовнішній діаметр різьби, радіус у дні різьби.

Програма обробки:

% 40; (Rizbove kilze)

N10 T3 M6;

N20 G90 G97 S300 M3;

N30 G0X-60 Z5 M8;

N40 G61 P300 Q301 U0.4 B0.5 F0.25;

N300 G0 X-70.67;

N301 G1X-67.04 Z-54;

N50 G60 P300 Q301 S350;
 N60 G1 Z20 F5 M9;
 N70G0X250Z250M5;
 N80T1M6;
 N90 G90 G97 S65 M3;
 N100 G0 X-60 Z50;
 N110 G1X-72.87 F5 M8;
 N120 G66 X-69.24 Z-54 I1.82 R1.1 F2.54 B0.05A0 P4;
 N130 Z50 M9 F5;
 N140 G0 X250 Z250 M5;
 N145 M30;

Під час обробки внутрішньої різьби виникають певні незручності, пов'язані з відсутністю візуального спостереження за процесом різання, а також потребою заміни різця в середині циклу у разі його аварійного виходу з ладу. Точне попадання в різбову канавку новим різцем можливе тільки з використанням спеціального приладу.

Розглянута програма, як і попередня, є типовою. Досвідчені наладчики й оператори для обробки таких поверхонь користуються ескізом-шаблоном обробки, виконаним на зразок зображеного на рис. 3.35, а в бібліотеці пристрою ЧПК зберігається шаблон програми, який має вигляд:

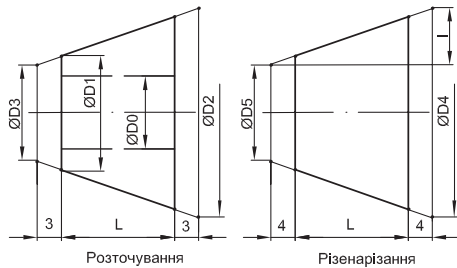


Рис. 3.35. Ескіз-шаблон обробки внутрішньої поверхні

% A; (KILZE GLADKE, RIZBOVE, KONICHNE, ZILINDRICHNE)

N10 T3 M6;
 N20 G90 G97 S300 M3;
 N30 G0X-(D0 — 4) Z5 M8; (D0 — D ZAGOTOVKI)
 N40 G61 P300 Q301 U0.4 B0.5 F0.25;
 N300 G0 X-D2; (D2 — ROZRAH. D — 3MM VID BILSHOGO TORZA)
 N301 G1X-D3 Z-(L+3); (D3 — D — 3MM VID MENSHOGO TORZA, L — DOVZHINA POVERHNI)

N50 G60 P300 Q301 S350;
 N60 G1 Z20 F5 M9;
 N70G0X250Z250M5;
 N80T1M6;

N90 G90 G97 S65 M3;
 N100 G0 X-(D0 — 4) Z5 M8;
 N110 G1 X-D4 F5; (D4 — ROZRAH. D — 4MM VID
 BILSHOGO TORZA)
 N120 G66 Z-(L +4) I $\frac{D1-D5}{2}$ R(K) F B0.05 A0 P4; (D5 —
 ROZRAH.D — 4MM VID MENSшого TORZA)
 N130 Z20 M9 F5;
 N140 G0 X250 Z250 M5;
 N145 M30;

Діаметр **D1** в ескізі зазначений для контролю операції як найбільш зручний для вимірювань універсальним інструментом. Маючи такий шаблон програми і шаблон-ескіз обробки, оператор або наладчик розраховує значення параметрів з ескізу і вставляє їх в кадри N30, 300, 301, 100, 110, 120, після чого програма готова для використання.

За таким самим зразком виконується шаблон для обробки зовнішньої гладкої і різьбової, конічної та циліндричної поверхні (%B).

Нарізання багатозахідних різьб виконується тими ж циклами з осьовим зміщенням між проходами на величину $\frac{E}{n}$, де E — крок різьби, n — кількість заходів. Розрахунки координати початку обробки та довжини ходу різця такі ж, як при однопроходовому різьбарізанні.

Багатопрохідний чорновий цикл поперечного різьбарізання G67 забезпечує зняття припуску в поздовжньому напрямку торцевої або конічної різьби з великою конусністю.

Формат циклу:

$$G67 \left\{ \frac{X}{U} \right\} \left\{ \frac{Z}{W} \right\} K R V \left\{ \frac{F}{E} \right\} A P;$$

Параметри:

X, U, Z, W — координати кінцевої точки різьбарізання в абсолютній або відносній системі;

K — висота конуса. Якщо $K = 0$ або відсутнє, різьба торцева — спіраль;

R — висота профілю різьби;

V — глибина різання по осі Z на один прохід;

A — кут вривання по осі Z . При $A = 0$ відбувається вривання строго по осі Z з однаковим навантаженням сторін різця. Якщо $0 \leq A \leq \xi/2$, де ξ — кут різця, нарізання різьби відбувається одною стороною різця більше, ніж другою.

У разі $A = \xi/2$ працює тільки одна сторона різця. Значення A задається з пульта параметрами ПЧПК. Так само, як в циклі G66, можливе різенарізання «врозбивку».

Параметр P , як і в циклі G66, характеризує силовий режим різання — з однаковою глибиною чи однаковою потужністю різання.

Якщо $P = 4$ при $A = 0$, відбувається різання з однаковою глибиною по усіх проходах. Кількість проходів $n = \frac{R}{B}$ (параграф 3.7).

Якщо $P = 2$ при $A = 0$, відбувається різання з однаковою потужністю на всіх проходах. P1 і P3 використовують за несиметричного знімання припуску.

Відсутність у кадрі хоча б одного з параметрів: R , B , A спричинить аварійну зупинку верстата. Чистовий прохід циклом G67 не відпрацьовується. За потреби виконується циклом G39.

У циклі G67 проходи відпрацьовуються такими послідовними рухами (рис. 3.36):

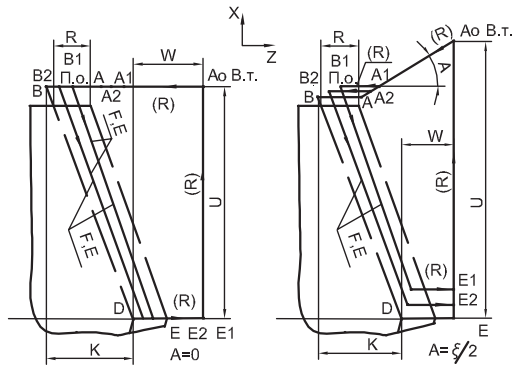


Рис. 3.36. Багатопрхідний поперечний чорновий цикл різенарізання G67

1) вихід прискореним рухом у вихідну точку проходу A1;

2) вихід прискореним рухом в початкову точку нарізання різьби B1;

3) основний рух — нарізання різьби з подачею, яка дорівнює кроку із синхронізацією поперечного переміщення та обертів шпінделя: B1 — E1;

4) вибіг з різьби в кінці проходу. Крок різьби при цьому зберігається. При аварійних зупинках або натисненні оператором кнопки «Стоп подача» ПЧПК автоматично відпрацьовує вибіг з різьби «від металу» зі збереженням кроку різьби;

5) вихід прискореним рухом по осі Z до координати вихідної точки циклу A;

6) повернення прискореним рухом у вихідну точку по осі X. Це перший прохід;

7) такі проходи повторюються до остаточного зняття припуску, закладеного циклом G67. Якщо перейти в режим «Покадровий», у ході виконання циклу G67 зупинки відбуватимуться після кожного чорнового проходу. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Приклад: G67 U-100 W 27 K20R1.4 B0.2 F2 A0 P4;

Відпрацьовуються 7 чорнових проходів нарізання торцевої конічної різьби шириною 100 мм, висота конусу 20 мм, кроком 2 мм з рівномірним навантаженням сторін різця, з однаковою потужністю різання на проходах.

Цикл нарізання поперечних канавок G65 використовується для нарізання групи рівновіддалених одна від одної поперечних канавок або многопрохідного нарізання однієї широкої канавки на циліндричній поверхні з подрібненням стружки.

Формат циклу:

$$G65 \left\{ \frac{X}{U} \right\} I \left\{ \frac{Z}{W} \right\} K F;$$

Параметри:

X, U — абсолютна або відносна координата по осі X dna канавки;

I — глибина різання по осі X до відводу різця для подрібнення стружки, задається на радіус.

За відсутності параметра I подрібнення стружки не відбувається, канавка на всю глибину прорізається безперервно;

Z, W — в абсолютній або відносній системі координат по осі Z початкової точки останньої канавки або останнього проходу різця під час формування широкої канавки. За відсутності в циклі Z або W нарізається одна канавка проти координати вихідної точки;

K — крок канавок або кількість врізань при формуванні однієї широкої;

F — поперечна подача;

α — відвід по осі X прискореним рухом після врізання на глибину I, задається з ПЧПК, в мікронах на радіус;

«B» — ширина канавки, задається шириною канавкового різця.

Схему різання групи канавок зображено на рис 3.37.

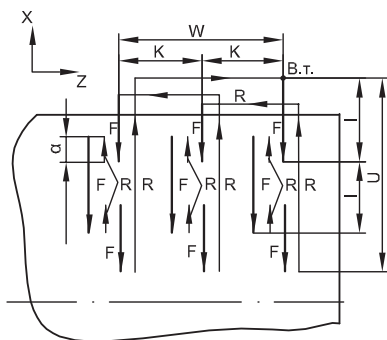


Рис. 3.37. Цикл нарізання поперечних канавок G65

Послідовність рухів, які для цього виконуються циклом G65, така:

1) вихід інструмента в початкову точку нарізання першої канавки (П.о.);

2) врізання на глибину I;

3) відвід прискореним рухом на величину α для подрібнення і виводу з канавки стружки;

4) друге врізання на глибину 2I, прискорений відвід на α , і так до набору повної глибини канавки;

5) витримка часу в дні канавки (задається з пульта ПЧПК);

6) повернення прискореним рухом в точку П.о. 1-ї канавки;

7) прискорений рух в початок обробки другої канавки, повторення рухів 2–5, повернення в точку П.о. другої канавки. Далі, в такій же послідовності рухів виконується обробка решти канавок, після чого — вихід у вихідну точку циклу.

Розглянемо приклад нарізання на деталі п'яти канавок шириною 4 мм, глибиною 5 мм, кроком 10 мм (рис. 3.38).

Призначаємо технологічний регламент обробки: канавку нарізаємо канавковим різцем шириною 4 мм. Через кожні 2 мм врізання передбачаємо «відскок» різця на величину α для подрібнення стружки. Програма обробки буде такою:

% 4; (VALIK)

N10 T4 M6;

N20 G90 G96 S80 M4;

N30 G0 X48 Z3 M8;

N40 G1 X40 Z-8 F2;

N50 G65 X25 Z-50 I2 K10 F0.2;

N70 Z3 F2 M9;

N80 G0 X200 Z200 M5;

N90 M30;

Якщо ці ж канавки мають глибину 3 мм і нарізаються відразу на всю глибину, то кадр N50 матиме вигляд: N50 G65 X29 Z-50 K10 F0.2; (Подрібнення стружки не відбувається, параметр I в кадрі відсутній.)

Якщо перейти в режим «Покадровий», під час виконання циклу G65 відбудуться зупинки обробки перед кожним ру-

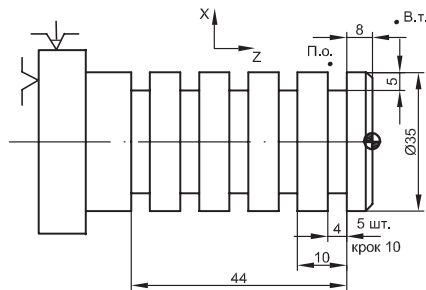


Рис. 3.38. Приклад нарізання поперечних канавок

хом на врізання, а також після кожного виходу з канавки. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Цикли нарізання торцевих канавок G69, G70 забезпечують нарізання на торці деталі концентричних канавок (або однієї широкої) з подрібненням стружки. Цикл G69 застосовується для стружкоподрібнення з частковими відводами різця, G70 — з повним виводом різця з канавки. Схему обробки за даними циклами наведено на рис. 3.39.

Формат циклів:

$$\{G69\} \{G70\} \{Z\} \{W\} K \{X\} I F S;$$

Параметри:

Z, W — координата по осі Z dna канавки в абсолютній або відносній системі;

K — глибина врізання по осі Z до відходу на α для подрібнення стружки. Якщо K відсутнє або дорівнює нулю, відхід для подрібнення стружки не відбувається, канавка відразу ріжеться на повну глибину;

X, U — координати по осі X початкової точки першої канавки або першого врізання широкої канавки в абсолютній чи відносній системі;

I — крок канавок (врізань для широкої канавки) по осі X;

F — робоча подача різання по Z;

S — оберти шпінделя;

α — величина відходу по осі Z прискореним рухом після врізання на величину K для забезпечення стружкоподрібнення, задається з пульта ПЧПК;

Витримка часу в дні канавки також задається з пульта.

Ширина канавки, «w» задається шириною різця.

Послідовність рухів під час нарізання групи торцевих канавок або однієї широкої така:

1) вихід інструмента в початкову точку нарізання першої канавки;

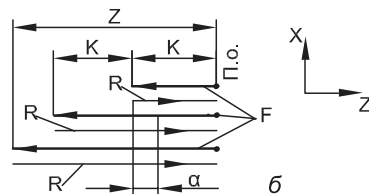
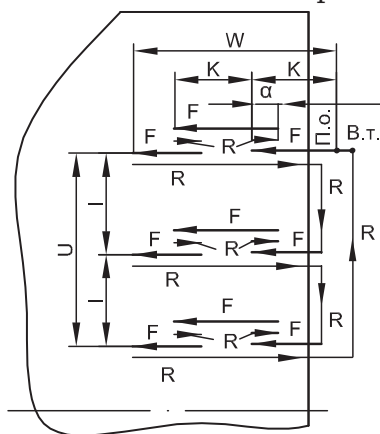


Рис. 3.39. Цикли нарізання торцевих канавок: а — G69; б — G70

- 2) врізання на глибину K в першій канавці;
- 3) відхід прискореним рухом на величину α для подрібнення і виводу з канавки стружки (G69) або повний вихід різця з канавки прискореним рухом (G70);
- 4) друге врізання на величину $2K$, відхід на α (G69) або повний вихід різця з канавки прискореним рухом (G70), прискорений рух на глибину $(2K - \alpha)$, врізання на $3K$, і так — до набору повної глибини канавки;
- 5) витримка часу в дні канавки (задається з пульта ПЧПК);
- 6) повернення прискореним рухом у вихідну точку першої канавки;
- 7) прискорений рух у вихідну точку другої канавки, повторення рухів 2–5, повернення у вихідну точку другої канавки. Далі в такій же послідовності рухів обробка решти канавок, після чого відхід у вихідну точку циклу.

Розглянемо приклад програмування обробки на торцевій поверхні деталі (рис. 3.40) діаметром 140 мм п'яти торцевих канавок шириною 4 мм, глибина кожної 5 мм, крок 10 мм. Рух на подрібнення стружки запрограмуємо командою G69, для цього з пульта введемо значення «відскоку» $\alpha = 0,1$ мм після кожного врізання на 2 мм. Ширина робочої частини різця — 4 мм. Програма обробки матиме вигляд:

```
% 4; (DISK)
N10 T4 M6;
N20 G90 G97 S400 M4;
N30 G0 X124 Z3 M8; X — координата передньої вершини різця
N40 G1 Z1 F2;
N50 G69 X46 Z-5 K2 I10 F0.2;
N70 Z3 F2 M9;
N80 G0 X200 Z200 M5;
N90 M30;
```

Якщо глибина тих самих канавок 3 мм, їх ріжуть відразу на всю глибину, подрібнення стружки не відбувається, кадр N50 матиме вигляд:

N50 G69 X46 Z-5 I10 F0.2; — параметр K відсутній.

Якщо є потреба через кожні 2 мм остаточно виводити різець з канавки, кадр N50 буде таким:

N50 G70 X46 Z-5 K2 I10 F0.2;

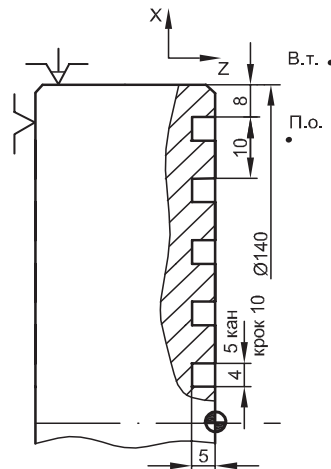


Рис. 3.40. Приклад нарізання торцевих канавок

Якщо перейти в режим «Покадровий» під час виконання циклів G69 та G70, відбудуться зупинки обробки перед кожним рухом на врізання, а також після кожного виходу з канавки. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Цикли свердління та глибокого свердління G82, G83 забезпечують свердління з подрібненням стружки глибоких отворів, вісь яких збігається з віссю Z, координата X завжди дорівнює нулю.

Формат циклу:

$$\left\{ \begin{matrix} G83 \\ G82 \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} Z \\ W \end{matrix} \right\} K SF;$$

Параметри:

Z, W — координати по осі Z dna отвору в абсолютній або відносній системі;

K — глибина свердління до відводу інструмента прискореним рухом на величину α для стружкоподрібнення. Якщо параметр K відсутній або дорівнює нулю, отвір свердлиється на всю глибину безперервно;

F — робоча подача;

S — оберти шпінделя;

α — величина відводу свердла прискореним рухом для подрібнення та виводу з отвору стружки, задається з пульта ПЧПК, становить соті частки міліметра.

Цикл G82 передбачає повний вивід свердла з отвору після кожного свердління на глибину K і витримки часу в дні отвору, що задається командою з пульта ПЧПК (Схема рухів інструмента вздовж осі Z така сама, як в циклі G70.) Використовується цикл G82 для центрувальної операції, свердління глухих та надто глибоких отворів.

У циклі G83 відвід свердла відбувається після кожного свердління на глибину K прискореним рухом на величину α , витримка часу в дні отвору не передбачена (рис. 3.41).

Послідовність рухів у циклах G82 і G83 така:

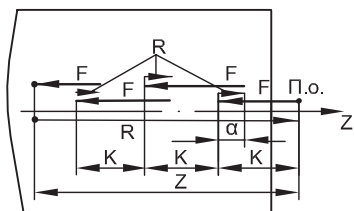


Рис. 3.41. Цикл глибокого свердління G83

- 1) підведення свердла прискореним рухом у вихідну точку циклу;
- 2) підведення свердла в початкову точку обробки;
- 3) врізання свердла на величину K;
- 4) відвід прискореним рухом на α (G83) або повний вихід з отвору (G82);

5) друге врізання на глибину $2K$ (G83) або підхід прискореним рухом до глибини ($K-\alpha$), врізання на $2K$ (G82);

6) знову такий же відхід, повторення переходів, і так — до повної глибини свердління;

7) після досягнення дна витримка часу (G82), якщо це передбачено в ПЧПК; якщо отвір наскрізний, то на останньому переході « K », де свердло вийде з протилежного боку деталі, слід зменшити подачу вдвічі з метою запобігання поломці інструмента через різку зміну навантаження. В сучасних пристроях ЧПК зменшення подачі можливе з пульса під час обробки;

8) повернення свердла прискореним рухом у вихідну точку циклу.

Наприклад, потрібно свердлити отвір $\varnothing 10$ на глибину 70 мм:

G83W-70K20F0.1; — свердління отвору відбудеться з трьома відходами прискореним рухом на α : на глибині 20, 40 та 60 мм.

Для свердління отворів великої довжини використовують цикл G82 і спеціальні свердла: «гарматні», чотирикромкові та шнекові. Інструмент після кожного врізання на глибину K виводиться з отвору повністю для зняття пружної деформації поздовжнього згинання, охолодження та видалення стружки, для чого перед повторним робочим ходом свердла задається витримка в часі.

Якщо перейти в режим «Покадровий», в циклах G82 і G83 відбудуться зупинки свердла перед кожним рухом різання та після повернення у вихідну точку. Для продовження роботи треба натиснути кнопку «Пуск».

Цикл нарізання різьби мітчиком або плашкою G84 забезпечує нарізання різьби мітчиком в попередньо підготовленому осьовому отворі, наприклад циклом G82 або G83, а також нарізання різьби плашкою на зовнішній поверхні.

Формат циклу:

$$G84 \left\{ \frac{Z}{W} \right\} \left\{ \frac{F}{E} \right\};$$

Параметри:

Z , W — координати по осі Z кінця різьби в абсолютній або відносній системі;

F , E — крок різьби.

Послідовність рухів для відпрацювання циклу G84:

1) вихід інструмента у вихідну точку циклу;

2) підведення інструмента в точку початку обробки;

- 3) нарізання різьби з обертною подачею, рівною кроку;
- 4) в кінці ходу — реверс шпінделя;
- 5) повернення інструмента у вихідну точку циклу;
- 6) реверс шпінделя в початковий напрям обертання.

Якщо натиснути на кнопку «Стоп подачі» під час різьблення циклом G84, зупинка відбудеться після завершення циклу нарізання різьби. При натисканні під час різьблення на клавішу ПЧПК «//» відбудеться синхронне гальмування шпінделя і подачі.

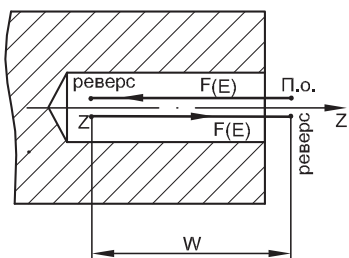


Рис. 3.42. Цикл нарізання різьби мітчиком або плашкою G84

Якщо перейти в режим «Покадровий» під час виконання циклу G84, програма зупиниться після повернення у вихідну точку.

Схему рухів, показану на рис. 3.42, можна відпрацювати кадром:

G84W-40F4S60 — запрограмовано нарізання різьби кроком 4 мм довжиною 40 мм.

Для поліпшення процесу різьблення мітчиком або плашкою на верстаті з ЧПК є спеціальні патрони з мікрокомпенсацією (в межах $\pm 0,5$ мм), які синхронізують оберти шпінделя і поздовжні переміщення. Нарізання різьби відбувається, практично, самозатягуванням, а примусова подача служить тільки для переміщення рухомих мас механізмів верстата.

У глухих отворах, коли важко раптово зупинити і реверсувати шпіндель, щоб виключити можливу поломку інструмента, застосовуються спеціальні запобіжні патрони. Різьблення автоматично припиняється, щойно крутильний момент досягне критичного значення (наприклад, інструмент упреться в дно). Патрон разом із мітчиком обертаються на викручування нарізаною різьбою отвору.

Підсумковий приклад обробки.

На рис. 3.43 зображено деталь «форсунка», в програмі обробки якої задіяні розглянуті цикли. Заготовка — прокат, зовнішній діаметр обточений до $\varnothing 13,8$, попередньо підрізаний лівий торець, матеріал — сталь Ст35.

План операції: центрувати, свердлити отвір $\varnothing 2,7$ — поверхня (2) відповідно до креслення; підрізати торець (1) остаточно; точити зовнішній контур 1—2—3—4—5—6—7

попередньо і остаточно; прорізати за-
різьбову канавку (5);
нарізати різьбу М10.

Після розробки
технологічного ре-
гламенту для оброб-
ки кожної поверхні
вибираємо інстру-
менти: Т1 — свердло
центрувальне; Т2 —
свердло $\varnothing 2,7$; Т3 —
різець прохідний
універсальний; Т4 —
канавковий різець;
Т5 — різенарізний
різець. Виходячи з

того, як проставлені розміри конструктором, призначаємо
початок координат у правому торці деталі. Програму оброб-
ки наведено в табл. 3.13

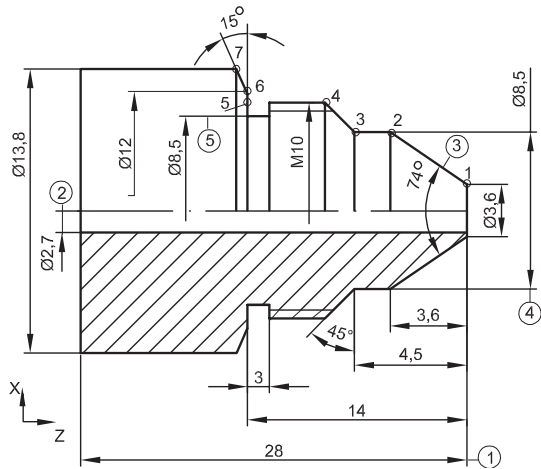


Рис. 3.43. Обробка деталі «форсунка»

Таблиця 3.13

Кадр	Програмовані дії
% 24; (FORSUNKA)	
N10T1M6; (SV. ZENTR. D1.6)	Виведення в робочу позицію центрувально-го свердла
N20G90G97S1000M3;	Призначення режимів обробки
N30G0X0Z3M8;	Вихід в точку початку обробки, подача ЗОР
N40G82Z-4F0.1;	Центрування торця циклом G82
N50G80M9;	Відміна циклу, подачі ЗОР
N60G0X230Z230;	Вихід в точку заміни інструмента
N70T2M6; (SV. D2.7)	Виведення в робочу позицію свердла $\varnothing 2,7$
N80G90G97S1000M3;	Призначення режимів обробки
N90G0X0Z2M8;	Вихід в точку початку обробки, подача ЗОР
N100G83Z-30K7F0.1;	Свердління отвору циклом глибокого свердління G83
N110G80M9;	Відміна циклу, подачі ЗОР
N115G0X230Z230;	Вихід в точку заміни інструмента
N120T3M6; (RIZEC)	Виведення в робочу позицію універсально-го прохідного різця
N125 G90G0X1Z5S800;	Підведення різця прискореним рухом до деталі

Закінчення табл. 3.13

Кадр	Програмовані дії
N130G1X2Z1F2M8;	Підведення різця в точку початку обробки на збільшеній подачі, подача ЗОР
N140G61P500Q503U0.5W0.5B0.6I0F0.3;	Знімання припуску багатопрхідним циклом G61
N500X1Z0;	Опис контуру
N501X13.8;	
N502Z-14;	
N503X10.5;	
N145G60P500Q503F0.2;	Виконання чистового проходу циклом G60
N150G61P600Q606U0.5W0.5B0.6I0F0.2;	Знімання припуску багатопрхідним циклом G61
N600X3.6Z0;	Опис контуру
N601X8.5Z-3.6;	
N602Z-4.5;	
N603X9.85Z-5.18; (D ZOVNICHN. M10)	
N604Z-13.9;	
N605X12;	
N606X14.8Z-14.3;	
N155G60P600Q606F0.1;	Виконання чистового проходу циклом G60
N160X15Z2F2M9;	Відвід різця, відміна подачі ЗОР
N165G0X230Z230;	Відхід в позицію заміни інструмента
N170T4M6; (KANAVKA)	Виведення в робочу позицію канавкового різця
N175G0X15Z-12;	Підведення в зону обробки
N180G1X14Z-14F1M8;	Підведення в точку початку обробки
N185G65X8.5F0.1;	Точіння канавки циклом G65
N190X8.6;	Відвід різця
N195X9.85Z-10.4F0.2;	Точіння фаски
N200X15F2M9;	Відвід різця, відміна подачі ЗОР
N205G0X230Z230;	Вихід в позицію заміни інструмента
N210T5M6; (RIZBA)	Виведення в робочу позицію різьбового різця
N215G0X10Z5;	Підведення різця прискореним рухом до деталі
N220G1G90X9.85Z4S60M3M8;	Виведення різця в точку початку обробки, призначення режимів
N225G66X8.7Z-12,5 K0.63B0.1 F1 A0P2;	Попереднє нарізання різьби M10 багатопрхідним різьбовим циклом G66
N226G28X8.6Z-12.5F1;	Остаточне нарізання різьби M10 однопрхідним чистовим циклом G28
N230M9;	Відміна подачі ЗОР
N235G0X230Z230;	Виведення різця в позицію заміни
N240M30;	Кінець програми

3.14. Параметричне програмування на токарних верстатах з ЧПК. Підпрограми

На токарних верстатах, як і на фрезерувальних, часто виконують обробку деталей, однакових за формою, але різних за розмірами. Якщо в керуючій програмі біля адреси переміщення замість числа поставити його параметричне позначення (#x), то можна отримати узагальнену програму обробки на токарному верстаті з ЧПК однакових за формою деталей. Сучасними пристроями ЧПК в токарній обробці так само можна виконувати арифметичні дії між параметрами та з ними і постійними числами. Такі можливості передбачені в пристроях ЧПК для токарних верстатів: «FANUK», «Milltronics», «Sinumerik», «Маяк» та ін.

Підставляючи в узагальнену програму значення параметрів конкретної деталі, отримують програму її обробки. Це істотно скорочує час на розробку, перевірку і відпрацювання керуючої програми на верстаті, робить обробку типовою, спрощує і скорочує технологічну підготовку виробництва. Для прикладу розглянемо параметричне програмування чорнвої обробки східчастих втулок (рис. 3.44) на верстаті 16К20Ф3 із пристроєм ЧПК «FANUK».

Як заготовку використовуємо прокат з вуглецевої сталі. Розглянемо обробку з другої установки втулки.

Технологічний регламент:

1) підрізати торець (3) на розмір #3. Обробку виконати з постійною швидкістю різання, для цього в програму ввести обмеження на оберти шпінделя (кадр N20). Точити фланець, поверхню (1), в розмір (#1). Багатопрхідним циклом G74 з чистовим проходом точити поверхні (4) і (6). Виконати переходи універсальним прохідним різцем;

2) центрувати торець центрувальним свердлом $\varnothing 3,15$;

3) свердлити отвір $\varnothing \#5$.

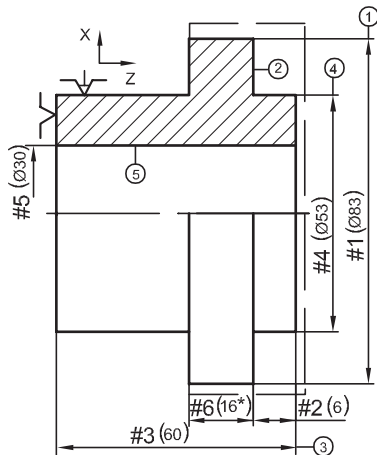


Рис. 3.44. Східчаста втулка. Чорнова обробка

У табл. 3.14 наведено узагальнену програму обробки вказаної групи деталей в параметрах.

Таблиця 3.14

Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
% 43;(STUPINCHASTA VTULKA)	
N10G10 P0 Z-90;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N15 T1 01;	Виведення в робочу позицію прохідного різця T1, активізація його коректора
N20 G90 G50 S2000;	Введення обмежень на оберти шпінделя командою G50 (max 2000 об./хв)
N30 G96 S180 G99 F0,2 M4;	Швидкість різання 180 м/хв, оберти проти стрілки годинника. Подача обертна (G99)
N40 G0 X (#1+5) Z10 M75;	Вихід у вихідну точку, ввімкнення транспортера стружки (M75)
N50 G1 Z0 F5 M8;	Вихід в точку початку обробки, подача ЗОР
N60 X(#5-2) F0,3;	Підрізання торця (3) до максимально можливого діаметра (обмежується: низу допустимими обертами шпінделя, зверху — діаметром отвору #5)
N62 Z2F5;	Відвід різця від торця
N65 G0 X(#1);	Підведення різця в точку початку обробки зовнішнього діаметра фланця (1)
N70 G1 Z-(#2+#6+2) F0,2;	Точіння зовнішнього діаметра #1 фланця (1)
N72 X(#1+2) F5;	Відвід різця по X
N74 G0 Z2;	Відвід різця по Z у вихідну точку циклу
N80 G72 W2 R1 N85 G72 P300 Q301 U0,5 W0,3 F0,3;	Чорновим багатопрохідним циклом точіння вибірки поверхні (4) — (2), глибина різання 2 мм (W2), відхід від обробленої поверхні при зворотному русі на 1 мм (R1). Виконання чистового проходу
N300X(#4);	Опис контуру
N301Z-(#2);	
N88 G70M09;	Відміна циклу G72, відміна подачі ЗОР
N90G0X250Z250;	Вихід в позицію заміни інструмента
N100T2 02; (Zentr. Cverdlo D3,15)	Виведення в робочу позицію центрувального свердла, активізація його коректора
N110 GOX0Z5;	Вихід у вихідну точку циклу

Закінчення табл. 3.14

Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N120 G97 S1000 M3 M8;	Призначення режимів, подача ЗОР
N130 G82 Z-8 F0,1;	Центрування торця
N140 G80 M09;	Відміна циклу і подачі ЗОР
N150 G0X250Z250;	Вихід в позицію заміни інструмента
N160 T3 O3; (Cverdlo D(#5))	Виведення в робочу позицію свердла діаметром #5 для поверхні (5), активізація коректора
N170 GO X0 Z5;	Вихід у вихідну точку циклу
N180 G97 S125 M3 M8;	Призначення режимів, подача ЗОР
N190 G74R0,5 N200 G74 Z-(#3+8)Q23 F0,1;	Цикл глибокого свердління поверхні (5) з відводом через кожні 23 мм (Q23) свердла на 0,5 мм (R0,5) для подрібнення стружки
N210 Z10 F5 G70 M09 M05 M76 M31;	Відміна циклу, подачі ЗОР, зупинка шпінделя, зупинка транспортера, ввімкнення лічильника деталей M31
N220 Z250X250;	Вихід в позицію заміни інструмента
N230 M30;	Кінець програми

Щоб скористатися розробленою програмою для обробки деталі з рис. 3.44, вкажемо додаткові кадри, які мають стати перед кадром початку обробки N10:

- (#1 — DIAMETR FLANZA)
N1 #1 (83);
- (#2 — DOVZHINA VISTUPA)
N3 #2 (6);
- (#3 — DOVZHINA VTULKY)
N5 #3 (60);
- (#4 — DIAMETR VISTUPA)
N6 #4 (53);
- (#5 — VNUTRSCHNIY DIAMETR)
N7 #5 (30);
- (#6 — DOVZHINA FLANZA)
N8 #6 (16);

На токарних верстатах з ЧПК, так само як і на оброблювальних центрах, є можливість обробки через *підпрограму*. Схема дії підпрограми така сама (див. параграф 2.15). Одним з видів підпрограми є розглянуті цикли,

вони закладені в матзабезпеченні ЧПК. Технолог-програміст може створити в програмі свою підпрограму, яка зменшить обсяг і трудомісткість програмування в конкретному випадку обробки. Наприклад, розглянемо програмування обробки чотирьох кришок, зображених на рис. 3.45. План операції: з попередньо обточеної зовні заготовки виточити за однією програмою чотири деталі. Початок обробки призначаємо в правому торці. Програмуємо в головній програмі підрізку торця. Для переходу під час обробки від деталі до деталі використовуємо в головній програмі команду осьового зміщення G56, а обробку окремої деталі розмістимо в підпрограмі з таким технологічним регламентом:

- 1) свердлити отвір $\varnothing 12$;
- 2) кінцевою фрезою фрезерувати отвір $\varnothing 24$;
- 3) розточним різцем точити фаску на вході в отвір, розточити отвір $\varnothing 26$ остаточно, підрізати внутрішній торець $\varnothing 26/\varnothing 12$;
- 4) універсальним прохідним різцем зняти фаску на переході: торець — $\varnothing 38$, точити $\varnothing 38$ остаточно, підрізати торець $\varnothing 38/\varnothing 50$;
- 5) відрізним різцем зняти фаску на $\varnothing 50$, відрізати першу деталь;
- 6) перейти до головної програми, змістити початок відліку на 17 мм, перейти в підпрограму, виконувати обробку наступної деталі і т. д.

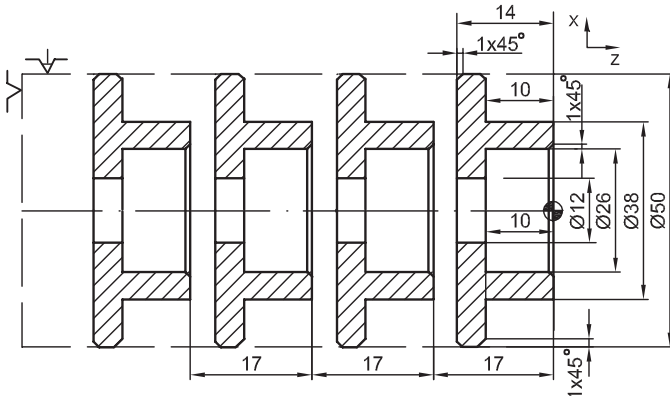


Рис. 3.45. Приклад роботи підпрограми

Головна програма матиме вигляд (див. табл. 3.15).

Таблиця 3.15

Кадр	Виконувані дії
% 25; (KRISHKA)	
N15 T1 M6;	Виведення в робочу позицію підрізного різця T1.
N20 G90 G50 S2000;	Обмеження обертів
N30 G96 S100 G95 F0,2 M4;	Швидкість різання 100 м/хв, оберти проти стрілки годинника. Подача обертна (G95)
N40 G0 X 54 Z10;	Вихід у вихідну точку
N50 G1 Z4 F5 M8;	Вихід в точку початку обробки, подача ЗОР
N60 G29 X24 Z0 F0,2; N65 M09;	Підрізання торця $\varnothing 50$ до максимально можливого діаметра $\varnothing 24$ (обмежується: знизу допустимими обертами шпінделя, зверху — діаметром отвору 26) поперечним циклом G29
N70 G0 X200 Z200;	Відвід різця в позицію заміни інструмента
N80 L2;	Ввід підпрограми
N90 G56 Z-17;	Зміщення початку відліку по Z на -17 мм
N100 L2;	Ввід підпрограми
N90 G56 Z-34;	Зміщення початку відліку по Z на -34 мм
N100 L2;	Ввід підпрограми
N90 G56 Z-51;	Зміщення початку відліку по Z на -51 мм
N100 L2;	Ввід підпрограми
N110 M30;	Кінець програми

У табл. 3.16 наведено зміст підпрограми.

Таблиця 3.16

L 2; Кадр	Виконувані дії
N200 T2 M6; (SVERDLO D12)	Виведення в робочу позицію свердла $\varnothing 12$
N230 G97 S800 F0,2 M4;	Призначення режимів обробки
N240 G90 G0 X0 Z5 M8;	Вихід в точку початку обробки, подача ЗОР
N250 G1 Z-18;	Свердління отвору $\varnothing 12$
N260 G4P5;	Пауза в кінці для покращання поверхні
N270 G0 X200 Z200 M9;	Відвід різця в позицію заміни інструмента
N280 T3 M6; (FREZA D24)	Виведення в робочу позицію кінцевої фрези $\varnothing 24$
N290 G97 S600 F0,2 M4;	Призначення режимів обробки
N300 G90 G0 X0 Z2 M8;	Вихід в початок обробки, подача ЗОР

Закінчення табл. 3.16

L 2; Кадр	Виконувані дії
N310 G1 Z-10;	Розфрезерування $\varnothing 24$ на глибину 10
N320 G4P5;	Витримка в кінці ходу
N330 G0 Z200 M9;	Відвід фрези в позицію заміни інструмента
N340 T4 M6; (RIZ. ROZTOCH.)	Виведення в робочу позицію розточувального різця
N360 G90 G96 S80 M4;	Призначення режиму постійної швидкості різання
N370 G0 X30 Z2;	Підведення різця до деталі
N380 G1 X30 Z1 F2 M8;	Вихід в точку початку обробки
N390 X26 Z-1 F0,2;	Точіння фаски
N400 Z-10;	Розточування отвору
N410 X10;	Підрізання внутрішнього торця
N420 G0 Z10 M9;	Виведення різця з отвору, відміна подачі ЗОР
N430 G0 X200 Z200;	Відвід різця в позицію заміни інструмента
N440 T5 M6;(RIZ. UNIVERSAL)	Виведення в робочу позицію універсального прохідного різця
N450 G90 G96 S90 M3;	Призначення режиму постійної швидкості різання
N460 G0 X34 Z5;	Підведення різця до деталі
N470 G1 Z1 F1;	Вихід в точку початку обробки
N480 X38 Z-1 F0,2;	Точіння фаски
N490 Z-10;	Точіння зовнішнього діаметра 38
N500 X52;	Підрізання торця
N510 G0 X200 Z200;	Відвід різця в позицію заміни інструмента
N520 T6 M6;	Виведення в робочу позицію відрізного різця
N530 G90 G97 S800 M3;	Призначення режиму постійних обертів шпінделя
N540 G0 X52;	Підведення різця до деталі по X
N550 G0 Z-12;	Вихід в точку початку обробки
N560 G1 X48 Z-14 F0,2;	Точіння фаски
N570 G65 X10 I2;	Відрізання деталі циклом поперечної канавки
N580 G0 X200 Z200;	Відвід різця в позицію заміни інструмента
N590 M17;	Кінець підпрограми з поверненням в головну програму
N595 M30;	Кінець програми

3.15. Токарно-фрезерні оброблювальні центри. Фрезерна та свердлильна поперечна обробка

Пошук можливостей підвищити точність та зменшити трудомісткість виготовлення деталі, обробки поверхонь складної конфігурації зумовили створення багатоопераційних оброблювальних центрів, які можуть поєднувати токарну, фрезерувальну, розточувальну, свердлильну, шліфувальну та зубооброблювальну операції. Відомі токарні ОЦ з двома револьверними головками, які мають гнізда для інструменту з автономним приводом, що дає змогу виконувати позацентрові отвори в торці деталі, фрезерувальні і центрувальні роботи на зовнішньому діаметрі. Розроблений Бердичівським верстатобудівним заводом на базі токарно-револьверного 1В340Ф30 багатопільовий верстат дозволяє двосторонню обробку завдяки автоматичному перезакріпленню деталі на верстаті. Відомі токарні верстати з ЧПК із двома головними шпінделями, оснащені двома револьверними головками, керування роботою яких відбувається з одного пристрою ЧПК. Розглянемо можливості відомих токарно-фрезерних оброблювальних центрів.

Токарно-фрезерний оброблювальний центр DMG CTX gata 2000TC конструктивно являє собою жорстку масивну станину з напрямними, розташованими під кутом. На станині укріплені передня та задня бабки токарної частини верстата. Обидві містять шпінделі, швидкість обертання яких під час точіння сягає до 12 000 об./хв. Шпінделі можуть обертатися також позиційно, на заданий кут при фрезерній і свердлильній обробці деталі з різних сторін, та в силовому режимі — з одночасною обробкою поверхні, наприклад при косозубому фрезеруванні.

Поздовжні рухи задньої бабки виконуються від керуючої програми. Задня бабка містить субшпіндель з можливістю обробки в ньому. Після обробки деталі, закріпленої в патроні передньої бабки, можна запрограмувати підхід задньої бабки, захоплення і затиск деталі за оброблену частину, відхід в робочу позицію, обробку лівого кінця деталі, закріпленої в патроні субшпінделя задньої бабки.

Між бабками на напрямних укріплений супорт, на якому розміщено потужну фрезерувальну головку з вертикальним високошвидкісним, до 12 000 об./хв, шпінделем.

Оброблювальний центр оснащений інструментальним магазином на 36 місць, де розміщені швидкозамінні інструменти, заміна яких програмується. Через спеціальний допоміжний інструмент у шпінделі можна розмістити різці для токарної обробки з квадратним або прямокутним перерізом.

Фрезерувальна головка зі шпінделем може повертатися на заданий кут вправо і вліво як позиційно, так і з можливістю обробки під час повертання; може рухатися вгору й вниз, праворуч і ліворуч, на оператора і від нього (вздовж осей X, Y і Z) зі швидкістю робочої подачі або прискореним рухом, забезпечуючи таким чином обробку торців, поверхонь обертання, площин під заданим кутом, контурну обробку, свердління та чистову обробку поперечних отворів, осьових і позацентрових отворів у торці деталі, нарізання різьби, нарізання зубчастих вінців на деталі, розташованій як у правому, так і в лівому шпінделі, гравірувальні роботи.

Програмованими координатами вважаються: рухи вздовж осей X, Y та Z і оберти навколо них (див. рис. 3.46). Для програмного керування верстат оснащений пристроєм ЧПК «Siemens 840 D». Верстат може оснащуватися додатково револьверною головкою на 12 інструментів з керуванням від додаткового пристрою ЧПК. Під час програмування обробки за основну прийнято систему координат токарного верстата, в координатах якої розміщена фрезерувальна головка із власною системою координат. Особливості програмування наведені в [14].

Токарно-фрезерний оброблювальний центр «Vturn-X200» (Тайвань) оснащений пристроєм ЧПК «FANUK» 31i-A із

фрезерним шпінделем, частота обертання якого сягає до 9000 об./хв. У шпінделі можна встановлювати приводний (з автономним приводом) інструмент. Частота обертання приводного інструменту — до 18 000 об./хв. В інструментальному магазині

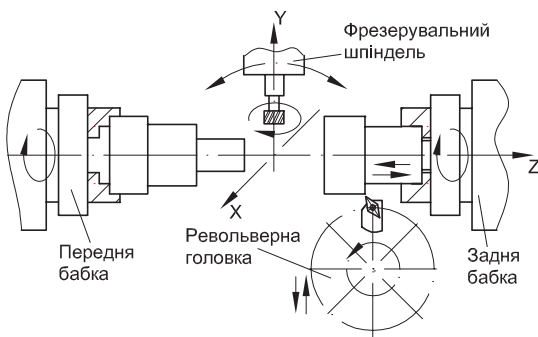


Рис. 3.46. Схема токарно-фрезерного оброблювального центру

розміщується 40 інструментів. Інструменти з 18 гнізд мають можливість автономного приводу обертання. Керовані координати: прискорені та робочі переміщення по осі X, Y та Z, координата C повороту навколо осі Z, координата A повороту фрезерної головки навколо осі X на кут $\pm 90^\circ$.

Токарна частина верстата — передня і задня бабка, їх шпінделі обертаються з тою ж частотою — 9000 об/хв. Задня бабка може рухатися вздовж осі Z за програмою. Через шпіндель передньої бабки можлива подача прутка, керована програмою.

Знизу від осі Z в деяких модифікаціях цього верстата встановлюють додатково револьверну головку на 9 інструментів. Це дозволяє вести обробку водночас у правому і лівому шпінделі — від фрезерного шпінделя і револьверної головки. Всього на верстаті можлива обробка за допомогою 49-ти інструментів.

Механізм подачі інструменту з магазину в шпіндель і зону різання передбачає його підготовку до введення в дію заздалегідь, що забезпечує час «від стружки до стружки» не більше 3 сек.

Верстат оснащений конвеєром для видалення стружки.

Відомий *токарно-шліфувальний верстат 1728С* Рязанського верстатозаводу з довжиною між центрами 1000, 2000 і 3000 мм. На верстаті інструментом з фрезерної головки (за аналогією до розглянутих верстатів) виконується: точіння, контурне фрезерування, нарізання зубчастих коліс, точіння фрезою, поперечне свердління і розточування, фрезерування торців, довбання в торцях різноманітних вибірок, фрезерування на діаметрі пазів і лисок, свердління під різними кутами до осі Z отворів. У шпінделі можлива установка шліфувального круга.

Розглянемо приклад програмування на сучасному багатofункціональному токарно-фрезерному верстаті «PUMA 400LMB» із пристроєм ЧПК «FANUK», оснащеному револьверною головкою на 16 інструментів, що має 8 гнізд під інструмент з автономним приводом, в яких передбачені осі обертання паралельно осям Z та X. За спеціальним замовленням може постачатись інструмент з віссю, розташованою під кутом до осі верстата. В комплект входять блоки для встановлення приводного інструменту в зазначені гнізда. Наприклад, в деталі обертання треба виконати радіальне (рис. 3.47, а) і торцеве (рис. 3.47, б) свердління.

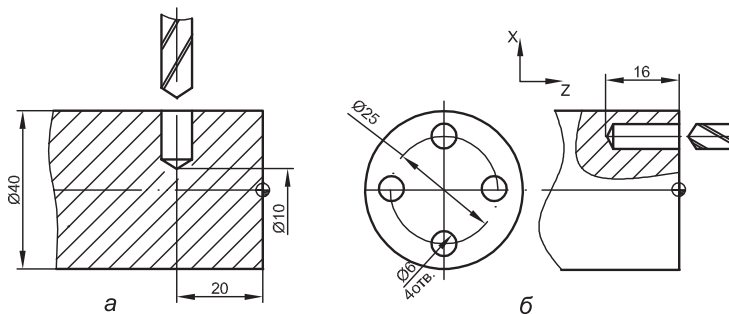


Рис. 3.47. Радіальне (а) та позacentрове (б) свердління на токарному центрі

Для випадку *a* вибираємо приводний інструмент зі шпінделем, перпендикулярним осі *Z*; для випадку *б* вибираємо приводний інструмент з віссю обертання шпінделя паралельно осі *Z*.

Для радіального свердління «прив'язку» по *Z* виконуємо торканням циліндричною частиною інструмента, що обертається, підрізаного «як чисто» торця. В значенні координати *Z* зміщенням нуля враховуємо радіус свердла. «Прив'язку» по *X* виконуємо царапанням зовнішнього діаметра за правилом (див. параграф 3.3). Програму поперечного свердління для ЧПК «FANUK» подано в табл. 3.17.

Таблиця 3.17

% 26; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-80;	Призначення початку координат деталі в правому торці на 80 мм від дзеркала патрона
N15 T1 01; (SVERDLO D6)	Виведення в робочу позицію свердла T1, встановленого в автономний шпіндель, перпендикулярний осі <i>Z</i> . Активізація його коректора 01
N20 G90 G0 X44 Z5;	Підведення свердла до деталі
N30 G97 M13 S2000 F0,2;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 G0 X44 Z20;	Підведення свердла в початок обробки
N50 G1 X10 F0,15 M8;	Свердління отвору $\varnothing 6$ на глибину 15 (до $\varnothing 10$)
N60 G0 X44 M9;	Виведення свердла з отвору
N70 M15;	Зупинка шпінделя з автономним приводом
N80 X200 Z200;	Відхід в позицію заміни інструмента
N90 M30;	Кінець програми

Розглянемо програмування обробки чотирьох отворів у торці деталі (рис. 3.47, б). «Прив'язку» свердла виконаємо торканням його вершини підрізаного в розмір торця і торканням циліндричною частиною свердла під час його обертання зовнішнього діаметра проточеної в розмір деталі (див. параграф 3.3). Програму обробки наведено в табл. 3.18.

Таблиця 3.18

% 27; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-70;	Призначення початку координат деталі в правому торці на 70 мм від дзеркала патрона
N15 T4 04; (SVERDLO D6)	Виведення в робочу позицію свердла T4, встановленого в автономний шпіндель, паралельний осі Z. Активізувати його коректор 04
N20 G90 G0 X24 Z5;	Підведення свердла до деталі
N30 G97 M13 S2000 F0,15;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 G0 X25 Z2;	Підведення свердла в початок обробки
N50 G1 Z-16 M8;	Свердління отвору Ø6 на глибину 16
N60 G0 Z2;	Виведення свердла з отвору
N70 G0 X-25;	Перехід в діаметрально протилежну точку
N80 G1 Z-16 F0,15;	Свердління отвору Ø6 на глибину 16
N90 G0 Z2;	Виведення свердла з отвору
N100 M52;	Введення кутового програмування (координата C) обертів навколо осі Z
N110 G7.1 C20;	Введення циліндричної інтерполяції, C20 — радіус деталі
N120 C90 F5;	Поворот головного шпінделя на 90°, G0 не рекомендовано
N125 G7.1 C0;	Кінець циліндричної інтерполяції
N130 G1 Z-16 M8;	Свердління отвору Ø6 на глибину 16
N140 G0 Z2;	Виведення свердла з отвору
N150 G1 X-25 F1;	Перехід в діаметрально протилежну точку
N160 Z-16 F0,15;	Свердління отвору Ø6 на глибину 16
N170 G0 Z2;	Виведення свердла з отвору
N180 M53 M9;	Скасування кутового програмування «С», подачі ЗОР, головний шпіндель працює зі швидкістю різання
N185 M15;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N190 X200 Z200;	Відвід інструмента в позицію заміни
N200 M30;	Кінець програми

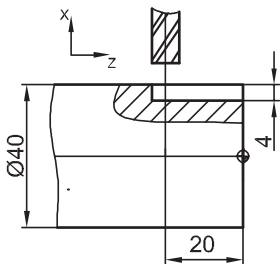


Рис. 3.48. Фрезерування шпонкового паза

Розглянемо програмування обробки шпонкового паза на деталі, зображеній на рис. 3.48, інструментом (шпонковою фрезою) з автономним приводом з віссю, перпендикулярною осі Z. «Прив'язку» шпонкової фрези виконаємо торканням її циліндричною частиною підрізаною в розмір торця і торканням її торця під час обертання зовнішнього діаметра проточеної в розмір деталі, як зазначено в параграфі 3.3.

Програму обробки наведено в табл. 3.19.

Таблиця 3.19

% 28; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-70;	Призначення початку координат деталі в правому торці на 70 мм від дзеркала патрона
N15 T4 04; (FREZA D8)	Виведення в робочу позицію фрези T4, встановленої в автономному шпінделі з віссю, паралельною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X44 Z5;	Підведення фрези до деталі
N30 G97 M13 S2000 F0,1;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 G0 X42 Z2 M8;	Підведення фрези в початок обробки
N50 G71 W1 R0,5;	Обробка паза з використанням токарного багатопрохідного чорнового поздовжнього циклу G71
N60 G71 P200Q201;	
N200 Z-20;	Опис оброблюваного контуру
N201 X32;	
N70 M15 M9;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N80 X200 Z200;	Відведення інструмента в позицію заміни
N90 M30;	Кінець програми

Для багатопрохідного фрезерування шпонкового паза використаємо токарний багатопрохідний чорновий цикл G71 (для пристрою ЧПК «FANUK»).

Розглянемо приклад фрезерування наскрізного ламаного паза шириною 8 мм на деталі «втулка» (див. рис. 3.49). До початку обробки на втулці для входу кінцевої фрези просвердлено отвір $\varnothing 8$. Для роботи використовуємо шпіндель з автономним приводом, направлений перпендикулярно осі Z. Головному шпінделю верстата задамо рух C — обертання навколо осі Z, а супорту — рух вздовж осі Z. Обробку виконаємо в послідовності:

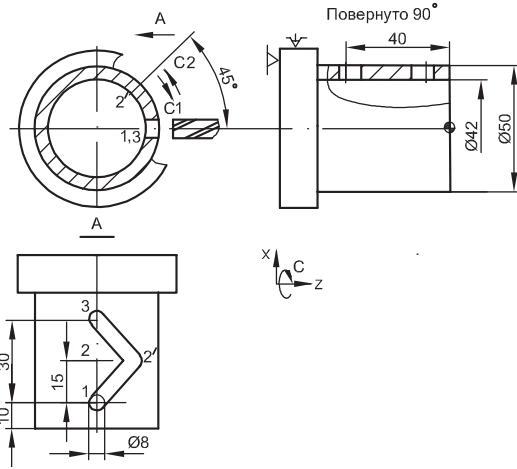


Рис. 3.49. Циліндрична інтерполяція. Фрезерування ламаного паза

- 1) початок координат призначити в правому торці;
- 2) виставити деталь на верстаті так, щоб фреза $\varnothing 8$ була концентрична отвору $\varnothing 8$, а координата Z при цьому — 10. Відвести фрезу, перевести головний шпіндель верстата в режим обертання навколо осі Z з круговою подачею;
- 3) задати фрезі через автономний привід необхідну швидкість різання;
- 4) задати супорту поздовжній хід в точку 1 (рис. 3.49);
- 5) підвести фрезу на глибину різання, задати супорту поздовжній хід в точку 2, а головному шпінделю верстата — поворот за стрілкою годинника на 45° . Така інтерполяція називається *циліндричною*. Відбудеться фрезерування паза на відрізку 1—2';
- 6) наступним кадром запрограмувати переміщення супорта в кінцеву точку 3 і водночас поворот головного шпінделя верстата на 45° проти стрілки годинника, тобто у зворотному напрямі;
- 7) відвід інструмента, відміна циліндричної інтерполяції, повернення системи у вихідне положення.

Програму обробки деталі наведено в табл. 3.20.

Таблиця 3.20

% 31; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-80;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N15 T4 04; (FREZA D8)	Виведення в робочу позицію фрези T4, встановленої в автономному шпінделі з віссю, паралельною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X54 Z5;	Підведення фрези до деталі
N40 G0 X52 Z-10;	Підведення фрези в початок обробки
N50 M0;	Проконтролювати розмір Z10
N30 G97 M13 S2000 F0,12;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 M52;	Задання роботи головного шпінделя в режимі кругової подачі навкруг осі Z
N50 G7.1 C25;	Введення циліндричної інтерполяції, C25 — радіус заготовки
N60 G94 F60;	Задання хвилинної подачі
N70 G1 X38 M8;	Заведення інструмента в отвір робочим ходом
N80 G7.1 C45 Z25;	Фрезерування паза на відрізьку 1—2'
N90 G7.1 C-45 Z40;	Зміна напрямку обертання головного шпінделя, фрезерування паза на відрізьку 2'—3
N100 X52 F1 M9;	Виведення фрези по X
N115 M15;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N110 G7.1 C0;	Скасування циліндричної інтерполяції
N120 M53 M5;	Перехід до обертання головного шпінделя в основному режимі — різання
N130 X200 Z200;	Відхід в позицію заміни інструмента
N140 M30;	Кінець програми

Розглянемо *полярну* інтерполяцію на прикладі обробки шестигранника — торцевої площини деталі (рис. 3.50, а). Робочі рухи інструментів:

— головний шпіндель обертається навколо осі Z з круговою хвилинною подачею за стрілкою годинника;

— кінцева фреза обертається зі швидкістю різання від автономного шпінделя з віссю, паралельною осі Z, і рухається вздовж осі X з робочою подачею, яка автоматично узгоджується з круговою подачею головного шпінделя: за 30° повороту головного шпінделя фреза проходить відстань до мінімальної точки по X, зфрезеруюючи циліндричну рі-

зальною поверхнею площину першої половини грані. За наступні 30° повороту фреза по X відходить до максимально віддаленої точки, формуючи при цьому другу половину першої грані шестигранника. Перед цим по осі Z виконано подачу на глибину фрезерування. Для визначення повної траєкторії руху інструмента профіль шестигранника потрібно розбити на 12 відрізків вузловими (опорними) точками, в яких змінюється напрям руху фрези по осі X.

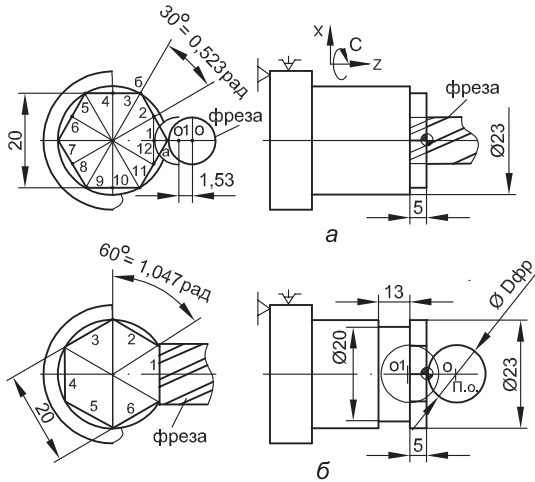


Рис. 3.50. Полярна інтерполяція.
Фрезерування шестигранника

Обробка починається в точці «а», фреза максимально віддалена від осі Z ($X = \varnothing 23$). Щоб обробити грань «а—б», потрібно фрезою робочим рухом переміститися до $\varnothing 20$ ($O-O_1 = 1,53$ на рис. 3.50, а) з одночасним поворотом головної шпінделя на 30° , або $0,523$ рад. (поворот програмується в радіанах: $360^\circ = 6,28$ рад., тоді $30^\circ = 0,523$ рад.).

При подальшому обертанні шпінделя фреза має відійти по X до початкової, $\varnothing 23$, позиції, а шпіндель за цей час — повернутися ще на 30° ($0,523$ рад.). Таким чином буде сформовано першу грань шестигранника «а—б». При цьому «а» перейде в точку позиції 11, а «б» стане на місце «а». Для формування наступної грані потрібно повторити ті самі рухи в тій самій послідовності, і так сформувати всі шість граней. Програму обробки (% 42) подано в табл. 3.21.

Таблиця 3.21

% 42; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-70;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N20 T4 04; (FREZA D12)	Виведення в робочу позицію фрези T4, встановленої в автономному шпінделі з віссю, паралельною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X30 Z5;	Підведення фрези до деталі
N30 G97 M13 S2000;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 M52;	Задання роботи головного шпінделя в режимі кругової подачі навколо осі Z
N60 G94 F60;	Задання хвилинної подачі
N70 G0 G42 X23 Z-5 M8;	Підведення фрези в початок обробки, ввід корекції праворуч
N80 G12.1;	Введення полярної інтерполяції
N90 X20 C0,523;	Фреза в точці 1
N95 X23 C1,046;	Фреза в точці 2
N100 X20 C1,569;	Фреза в точці 3
N105 X23 C2,092;	Фреза в точці 4
N110 X20 C2,615;	Фреза в точці 5
N115 X23 C3,138;	Фреза в точці 6
N120 X20 C3,661;	Фреза в точці 7
N125 X23 C4,184;	Фреза в точці 8
N130 X20 C4,707;	Фреза в точці 9
N135 X23 C5,23;	Фреза в точці 10
N140 X20 C5,753;	Фреза в точці 11
N145 X23 C6,28;	Фреза в точці 12 (1)
N150 G0 X37;	Відвід фрези по X
N160 G0 Z10;	Відвід фрези по Z
N165 G40;	Відміна корекції радіуса фрези
N155 M15 M9;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N160 G13.1;	Відміна полярної інтерполяції
N165 G53;	Переведення головного шпінделя в основний режим роботи (зі швидкістю різання)
N180 G0 X200 Z200;	Відхід в точку зміни інструмента
N190 M30;	Кінець програми

Якщо конструктивно на деталі після шестигранника є канавка діаметром, що дорівнює або менший за розмір шестигранника, і шириною не менше радіуса фрези, можлива ще одна схема обробки (рис. 3.50, б). У такому разі обробка

виконується торцем циліндричної фрези зі шпінделя з автономним приводом, вісь якого перпендикулярна осі Z. Для цього діаметр фрези має бути не меншим ширини грані, в нашому прикладі — 11,5 мм. Вибираємо фрезу діаметром 14 мм. Ширина канавки на деталі — 8 мм, що задовольняє необхідну умову.

Робочий рух фрези вздовж осі Z починається з точки на відстані радіуса фрези від торця деталі, глибина фрезерування по $Xt = \frac{D_o - B}{2}$, де D_o — діаметр охоплюючого кола шестигранника; B — розмір шестигранника.

Робочий хід фрези $L = R_{\text{фр}} + H + b$, де $R_{\text{фр}}$ — радіус фрези (7 мм), H — висота шестигранника (5 мм), b — перебіг фрези — 1–2 мм.

Після робочого ходу виконується відвід фрези по X на величину, більшу за t , повернення в початок обробки по Z. Далі виконується позиційний поворот головного шпінделя на 60° (1,046 рад.) і фреза повторює робочий рух формування другої грані шестигранника. Це повторюється 6 раз. У табл. 3.22 наведено програму такої обробки, % 45.

Програмування токарної обробки також можливе з використанням *CAD/CAM-систем*. У бібліотеці САМ-системи є набори типових елементарних переходів, в яких передбачено алгоритми обробки на токарних верстатах, що відповідають циклам, закладеним у пристроях ЧПК. Але оскільки обробка на двокоординатних токарних верстатах не така складна, досвідчений програміст, користуючись циклами і комп'ютерними програмами типу «Cimco Edit», розробляє керуючі програми доволі оперативно й якісно, не потребуючи допомоги САМ-системи. Тому ці системи тут поки що не такі популярні, порівняно з фрезерною обробкою.

Розвиток токарного обладнання, впровадження у виробництво токарно-фрезерувальних центрів, верстатів з кількома револьверними головками поставили такі нові завдання, як синхронізація обробки, програмування обробки інструментами з автономним приводом, керування люнетами, задньою бабкою, головним шпінделем і навпротишпінделем тощо. Це зумовлює потребу в удосконалюванні системи програмування для токарних верстатів через САМ-системи. На токарно-фрезерувальних оброблювальних центрах, де сумісно програмується токарна і фрезерувальна обробка, використовується одночасно токарний і фрезерувальний модуль САМ-системи.

Таблиця 3.22

% 45; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUC»
N10G10 P0 Z-70;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N20 T4 04; (FREZA D14)	Виведення в робочу позицію фрези T4, встановленої в автономному шпінделі з віссю, перпендикулярною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X30 Z15;	Підведення фрези до деталі
N30 G97 M13 S2000;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 M52;	Задання роботи головного шпінделя в режимі кутового програмування навколо осі Z
N50 G0 X20 Z10 M8;	Підведення фрези в початок обробки
N60 Z-7 F120;	Фрезерування першої грані
N62X25 F1000;	Відвід фрези по X
N64 Z10;	Підведення фрези в початок обробки по Z
N70 G7.1 C1.046;	Програмування циліндричної інтерполяції. Повернути головний шпіндель на 60° (1,046 рад.)
N80 Q50-64;	Повтор кадрів, фрезерування другої грані
N70 G7.1 C2,092;	Програмування циліндричної інтерполяції. Повернути головний шпіндель на 120°
N80 Q50-64;	Повтор кадрів, фрезерування третьої грані
N70 G7.1 C3,138;	Введення циліндричної інтерполяції. Повернути головний шпіндель на 180°
N80 Q50-64;	Повтор кадрів, фрезерування четвертої грані
N70 G7.1 C2,092;	Введення циліндричної інтерполяції. Повернути головний шпіндель на 240°
N80 Q50-64;	Повтор кадрів, фрезерування п'ятої грані
N70 G7.1 C2,092;	Введення циліндричної інтерполяції. Повернути головний шпіндель на 300°
N80 Q50-64;	Повтор кадрів, фрезерування шостої грані
N70 G7.1 C2,092;	Введення циліндричної інтерполяції. Повернути шпіндель на 360°, система в початковому стані
N155 M15 M9;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N160 G13.1;	Відміна полярної інтерполяції
N165 G53;	Переведення головного шпінделя в основний режим роботи (зі швидкістю різання)
N180 G0 X200 Z200 M5;	Відхід в точку заміни інструмента
N190 M30;	Кінець програми

3.16. Особливості нормування обробки на верстатах з ЧПК

Одним з основних критеріїв оцінювання досконалості технологічного процесу обробки деталі на верстаті з ЧПК є норма часу на обробку. Цю норму покладено також в основу для призначення зарплати оператору, розрахунку коефіцієнта завантаження обладнання та визначення його продуктивності.

Розрахункова норма часу (хв) на обробку однієї деталі (трудомісткість) визначається за відомими формулами:

Штучний час

$$T_{\text{шт}} = T_c + T_{\text{в.з}} + T_{\text{обс}}; \quad (3.8)$$

Штучно-калькуляційний час

$$T_{\text{шт.к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.з}}}{n}, \quad (3.9)$$

де T_c — стрічковий час — час обробки деталі від першого до останнього кадру програми. Легко визначається оператором або наладчиком за годинником чи секундоміром під час обробки першої деталі. (Назва походить від слова «стрічка»: раніше керуюча програма заносилася в ПЧПК через паперову стрічку, на якій отворами, розташованими за спеціальним двоїчним кодом, був нанесений текст програми.)

$$T_c = T_o + T_{\text{м.д}}, \quad (3.10)$$

де T_o — сумарний технологічний час операції по переходах, хв (час різання). Його необхідно визначати, щоб оцінити якість різального інструмента щодо стійкості, для розрахунку періодичності заміни, вибору інструмента по геометрії та різальному матеріалу;

$T_{\text{м.д}}$ — сума машинного допоміжного часу обробки, хв (підведення, відвід, поворот, заміна інструмента тощо); зазначена у паспорті верстата, залежить від його технічних даних та розмірів оброблюваної деталі.

Якщо в керуючій програмі передбачено зупинку на кожну деталь для додаткових дій (вимірювання, контроль якості оброблюваної поверхні, різальної крайки інструмента тощо), цей час теж відноситься до $T_{\text{м.д}}$. Він характеризує ступінь втручання оператора в дії верстата. Періодичність та обсяг цих втручань потрібно знати, щоб оцінити можливість обслуговування оператором більше ніж одного верстата;

$T_{в.з}$ — час на встановлення та знімання деталі з верстата, хв. Визначається за діючими нормативами, залежно від маси заготовки, або через хронометраж на конкретну деталь, щоб врахувати можливі особливості конструкції деталі або оснащення.

$T_c + T_{в.з} = T_o$ — оперативний час;

$T_{обс}$ — час на технічне обслуговування робочого місця, особисті потреби та відпочинок оператора, хв.

До складу затрат часу $T_{обс}$ входять:

— організаційне обслуговування — огляд, розігрів і обкатка ПЧПК та гідросистеми верстата (за її наявності), опробовування обладнання, отримання необхідного інструменту, змащування й очищення верстата упродовж та наприкінці зміни, здавання деталей контролеру;

— технічне обслуговування — заміна зношеного інструменту та ввід корекції на його довжину, регулювання і підналадка верстата впродовж зміни, видалення стружки в процесі роботи і под.

Визначається $T_{обс}$ у відсотках від оперативного часу, T_o , і зазвичай становить 10–15 % T_o ;

$T_{п.з}$ — підготовчо-заклучний час, призначається на всю оброблювану партію. Затрати часу $T_{п.з}$ складаються:

— з часу на комплекс постійно здійснюваних робіт: отримання оператором завдання на роботу й інструктаж майстром або наладчиком, установка робочих органів верстата і затискних пристосувань у вихідне положення, встановлення на моніторі потрібної керуючої програми. Згідно з нормативними даними це становить 10–15 хв. Якщо необхідно виконати ще якісь додаткові роботи, вони вираховуються дослідно-статистичним шляхом і вводяться через поправку;

— з часу на виконання налагоджувальних робіт залежно від конструкції верстата та оброблюваної деталі. Як правило, визначається хронометражем. Якщо корекції інструментів здійснюють лише в ході обробки першої деталі, то цей час теж зараховують у $T_{п.з}$;

n — кількість деталей в партії.

Нормування праці при багатOVERстатному обслуговуванні залежить від стрічкового часу обробки деталі та витрат часу на її налагодження. Вираховується майстром або бригадиром через відповідні коефіцієнти.

3.17. Організація робочого місця. 5S. Система якості на робочому місці

Робоче місце оператора — це окрема виробнича ділянка, закріплена за одним або двома (у разі двозмінної роботи) робітниками. Його раціональна організація підвищує ефективність використання верстата з ЧПК, сприяє виконанню роботи з меншими затратами сил, створює безпечніші й комфортніші умови праці. Організація робочого місця на верстаті з ЧПК має забезпечити:

- безперебійне постачання заготовок;
- безперебійний вивіз готових деталей;
- чітко організоване постачання необхідного інструменту;
- ремонтне обслуговування верстата без негативного впливу на роботу оператора;
- раціональну організацію робочого місця з точки зору дій, виконуваних оператором чи наладчиком, що значною мірою залежить від самоорганізації працівника. Наприклад, щоб не виконувати зайвих рухів, часто застосовуваний інструмент має розташовуватися на одному й тому самому місці постійно, на відстані витягнутої руки.

Рідше вживані інструменти та пристосування мають міститися в шафі чи на стелажі, розкладені згідно з власною системою виконавця і у справному, придатному для використання стані. Там же, в шафі, повинні зберігатися вимірвальні засоби, елементи для установки і кріплення деталей, технічна документація, програмоносії з програмами, якщо вони не записані на жорсткий диск пристрою ЧПК. Габаритні пристосування розміщуються на стелажі у придатному для застосування стані. Оброблювальні центри мають бути оснащеними спеціальними стаціонарними магазинами у вигляді тумби з гніздами під зібраний з базовими оправками різальний інструмент, який тимчасово не використовується.

На рис. 3.51 наведено приклади раціонально спланованих робочих місць:

- a* — для свердлильно-фрезерно-розточувального центру 2204ВМФ4;
- б* — для свердлильного верстата з ЧПК 2Р135Ф2;
- в* — для токарного верстата з ЧПК 16К20Ф3;
- г* — для фрезерного верстата з ЧПК 6Р13Ф3.

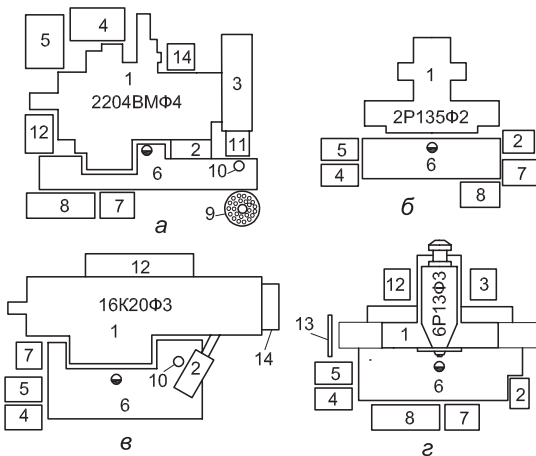


Рис. 3.51. Планування робочого місця оператора

зберігання налагоджених інструментальних блоків, 10 — підйомно-поворотний стілець, 11 — комп'ютер, 12 — тара для стружки, 13 — захисний екран, 14 — ємність для змащувально-охолоджувальної рідини.

На плануваннях показано робочі місця для обслуговування оператором одного верстата, що характерно для малосерійного виробництва. Якщо обслуговуються два верстати, другий розташовується навпроти, стелаж для оснащення, столик для складання інструментальних блоків і тумба для зберігання відпрацьованих налагоджених блоків (7, 8, 9 на рис. 3.51, а) можуть бути спільними. Тара для заготовок і деталей для обох верстатів має розташовуватися ближче до доріжки руху транспортного засобу. Залежно від призначення другого верстата (наприклад, чистова обробка деталей з першого) переглядається кількість і вміст тари: № 1 — чорнові заготовки; № 2 — деталі з першого верстата, вони ж заготовки для другого; № 3 — деталі після обробки на другому верстаті. Конструкція тари залежить від оброблюваних деталей: для габаритних виливок — дерев'яний піддон; для дрібних деталей у великій кількості — металевий або пластмасовий контейнер; для довгомірних деталей типу ходових валів або гвинтів — рознесені на довжину заготовок козлики, інші можливі конструкції.

1 — верстат, 2 — пристрій ЧПК, 3 — електрошкаф, 4 — піддон або контейнер для готових деталей, 5 — піддон або контейнер для заготовок, 6 — дерев'яна решітка (пайол) під ноги, 7 — інструментальний столик-шкаф для зберігання інструментальних блоків, 8 — стелаж для оснащення, 9 — спеціальна тумба для

Постійне прагнення та дії щодо удосконалення й поліпшення праці на робочому місці зумовлюють відповідні зміни в поведінці та вчинках працівника, що поширюються на всі сторони його життя. Саме з цього в Японії починалася національна, тепер всесвітньо відома, філософія **кайдзен** (кай — зміна, дзен — на краще) або, як її ще називають, «**правила 5S**» — за першими літерами японських слів:

Seiri — організованість (видаляти з робочого місця та знищувати непотріб);

Seiton — акуратність — усе потрібне доступне з першого руху;

Seiso — чистота — на робочому місці, як у власній домівці;

Seiketsu — стандартизація — менше різноманітності в діях та оснащенні, по можливості уникати оригінальних пристроїв та інструментів;

Shitsuke — дисципліна — робити зазначене щоденно.

Ефективність праці оператора верстатів з ЧПК можна істотно підвищити завдяки багатOVERстатному обслуговуванню. Це передусім як мінімум два верстати однакового призначення. Наприклад, на двох токарних верстатах з ЧПК обробку деталі розділено на дві операції: з однієї і з другої сторони. Завдання технолога-програміста — так розподілити оброблювані поверхні, щоб трудомісткість обробки з обох сторін була приблизно однаковою. Робота оператора в ході обслуговування цих двох верстатів — установити і зняти заготовку на першому, переустановити її для обробки на другий верстат, зняти з другого верстата готову деталь. Залежно від стрічкового часу обробки оператор може обслуговувати і більше — 3, 4... верстати.

У разі одночасної роботи на двох оброблювальних центрах розподіл обсягу робіт між ними виконують за правилом — чорнова обробка (перший ОЦ), чистова обробка (другий ОЦ). Як і в першому випадку, завдання технолога-програміста — наблизити трудомісткість обробки на кожному до однакового значення.

В малосерійному виробництві оператор-багатOVERстатник інколи суміщає роботу на декількох верстатах з ЧПК різного призначення (токарному, фрезерному, свердлильному).

Щоб забезпечити безперебійну роботу обладнання, не відволікати оператора від прямих обов'язків обробки деталей, автономно, без його участі, збирають з базовими оправами, вимірюють і постачають на робоче

місце різальний інструмент для наступної деталі, крипильне та установче оснащення, документацію, програмоносій із програмою. Постачають змащувальні та змащувально-охолоджувальні засоби, забирають з робочого місця стружку, готові деталі, відпрацьований різальний та вимірювальний інструмент, відпрацьоване оснащення тощо. Організовує виконання цих робіт майстер дільниці або наладчик за замовленням оператора або того ж наладчика. При плануванні багатостатного робочого місця обов'язково враховують рух оператора між обслуговуваними верстатами.

На сучасному виробництві для удосконалення організації праці пристрої ЧПК обладнують додатковим блоком, що дає змогу в режимі реального часу моніторити процеси на робочому місці. На комп'ютері керівництва для цього встановлено програму «Моніторинг онлайн». Оператор, як і майстер чи наладчик, натиснувши відповідну клавішу, може внести свою інформацію про стан на робочому місці по годинно, наприклад: закінчились заготовки, немає програми, триває наладка, іде цикл обробки, контроль, простій, аварія тощо. Отримані сигнали служать для оперативного втручання відповідних служб і виправлення ситуації. Крім того, дані моніторингу використовуються для аналізу організації виробничого процесу в цілому на підприємстві, отримання статистичних даних, удосконалення слабких ланок. Через підключення до мережі Інтернет процес на робочих місцях можна моніторити з усіх точок земної кулі.

Зазвичай на верстаті з ЧПК працюють дві людини: наладчик і оператор. Наладчик відповідає за стан обладнання, його періодичний огляд, за вибір і підготовку до роботи інструменту, пристосувань, ввід та відпрацювання разом із технологом-програмістом керуючої програми, наладку, переналадку, підналадку верстата, проведення інструктажу оператора щодо обробки конкретної деталі. Оператор виконує оперативну роботу і контролює роботу верстата. Досвідчений оператор може самостійно розроблювати, вводити та відпрацьовувати на верстаті керуючі програми на прості деталі. Обое дотримуються загальних правил безпеки щодо роботи на металорізальних верстатах, а також додаткових правил безпеки під час роботи на верстатах з ЧПК, викладених в Додатку 1.

Система якості на робочому місці

Сучасні підприємства, щоб підтвердити спроможність виготовляти продукцію задекларованої якості, утриматись або завоювати ринок збуту, сертифікують свою систему менеджменту якості (СМЯ) на відповідність вимогам міжнародного стандарту ISO 9001. Виконання цих вимог скероване на беззаперечне забезпечення якості виробу за будь-яких обставин у процесах — від узгодження замовлення на виробництво до гарантійного терміну експлуатації. Вимоги до організації робочого місця верстатника, втім числі обладнання з ЧПК, згідно зі стандартом ISO 9001 фіксуються в Керівництві з якості підприємства і періодично перевіряються на відповідність через внутрішній аудит, незалежним аудитором організації, що видала сертифікат, а також можуть перевірятися представниками замовника продукції.

За ISO 9001 обробка деталі на верстаті, як і всі процеси СМЯ, розглядається як процес, що має вхід — заготовка (деталь з попередньої операції обробки) і вихід — оброблена на верстаті деталь, яка є входом або заготовкою для наступної операції (рис. 3.52).

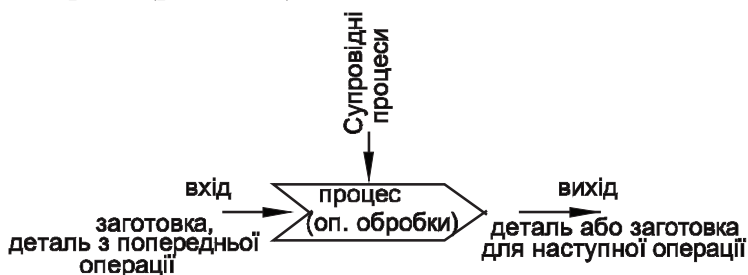


Рис. 3.52. Процесний підхід до обробки деталі

Розглянемо цей процес детальніше. Плануючи обробку деталі, оператор вважає виконувача наступної операції своїм замовником — зацікавленою стороною, тому, крім вимог, зазначених в карті наладки, іншій супровідній документації, він має знати його очікування. Це можуть бути, наприклад, підвищені вимоги до якоїсь з оброблюваних поверхонь, додаткова інформація з базування деталі при обробці, час передачі першої деталі для виконання налагоджувальних робіт, інші дані, які можуть знизити ризик виникнення браку, поліпшити або прискорити наступну обробку. По-

передня операція обробки є постачальником для даної, тому з нею у оператора також повинен бути обмін інформацією аналогічного змісту тільки вже з позиції замовника для поліпшення результатів обробки на своїй операції. Таке спілкування з аналізом результатів та відповідними корегуючими заходами сприяє постійному удосконаленню процесу виготовлення деталі, підвищенню її якості. Процес повинен відбуватися систематично, це відповідатиме наведеному в ISO 9001 циклу Демінга–Шухарта PDCA (див. рис. 3.53):

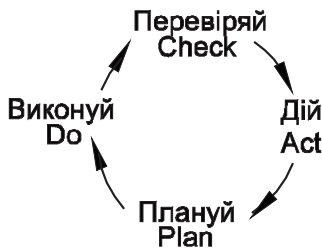


Рис. 3.53. Цикл Демінга–Шухарта

Плануй (plan) — встановлюй цілі, покращуй процес, узгоджуй заплановане із замовником, уточнюй вимоги до постачальника;

Виконуй (do) — виконуй заплановане;

Перевір'яй (check) — контролюй деталі на відповідність вимогам, виявляй відхилення, аналізуй процес з метою їх усунення;

Дій (act) — усувай причини відхилень, поліпшуй процес виготов-

лення в наступному циклі PDCA і так далі безперервно.

Таке спілкування між суміжними операціями координує процес в часі, дозволяє зменшити або й ліквідувати простой чи перевантаження операцій. В Японії для цього застосовується спеціальна система оповіщення *канбан* — це коли робітник сигналізує в один із способів (карткою, світловим або звуковим сигналом) на попередню операцію про закінчення обробки партії деталей і у відповідь отримує наступну партію. Канбан є елементом створеної також в Японії прогресивної системи організації виробництва GIT (Gustin Time) — точно в строк, завдяки якій точно дотримуються терміни замовлення, а виробництво звільнене від зайвих запасів — обсяг незавершеної продукції мінімальний. З іншого боку, така система ставить жорсткіші вимоги до якості та надійності всіх задіяних у виробництві продукту процесів.

На робочому місці на якісний вихід процесу впливають (рис. 3.52):

- заготовка (коливання припуску, властивостей оброблюваного матеріалу тощо);

- супровідні процеси: підготовка технологічної документації, розробка КП, підготовка верстата, оснащення,

різального, допоміжного та вимірювального інструменту, кваліфікація та навчання верстатника, підтримка в належному стані інфраструктури та мікроклімату (температура, вологість, рівень забруднення повітря, пил, освітлення, шум тощо), формування робочого колективу з урахуванням психологічної сумісності, спільних інтересів тощо.

Крім того, верстатник має бути свідомим корисності продукції, яку випускає підприємство (і він до цього причетний), бути обізнаним, знати і поділяти політику й цілі підприємства щодо якості. Самі політика і цілі оприлюднюються через паперовий носій, в інший спосіб та доступні кожному.

Верстатник має знати і виконувати вимоги Керівництва з якості підприємства стосовно свого робочого місця:

— документація на оброблювані деталі повинна бути актуальна на момент їх виготовлення (на кресленні є відповідна помітка, керуюча програма, карта наладки та, за потреби, інша документація також актуалізовані);

— різальний та допоміжний інструмент повинен відповідати карті наладки, бути придатним для роботи;

— оснащення має бути справним, відповідати вказаному в карті наладки, за потреби — атестованим на технологічну точність;

— обов'язковим є свідчення того, що верстат, на якому відбувається оброблення, своєчасно проходить необхідні огляди та ремонти, а якщо операція фінішна, з підвищеними вимогами до точності обробки, верстат повинен бути атестованим на технологічну точність відповідно до встановленого графіка;

— контрольно-вимірювальний інструмент або прилади, що застосовуються, повинні бути калібровані або повірені в органах Держстандарту, мати відповідну позначку (наліпка на штангенциркулі чи мікрометрі з датою придатності, запис в паспорті тощо). Якщо показання вимірювального засобу викликають сумнів, його треба негайно віддати на перевірку в відповідну лабораторію підприємства чи показати контролеру;

— перед початком роботи необхідно отримати інструктаж майстра або наладчика, узгодити сумнівні моменти обробки, ще раз переконатися у відповідності оброблюваних заготовок їх технічним вимогам;

— першу деталь з партії обов'язково потрібно здати контролеру, приступити до обробки партії після його дозволу, за потреби — внести поправки;

— в процесі обробки оператор повинен розділяти деталі відповідно до їх статусу: заготовки, готова придатна продукція, браковані деталі, що підлягають виправленню або переведенню в інший клас, остаточний брак. Для остаточно забракованих деталей має бути спеціальний ізолятор браку, ключі від якого знаходяться в майстра. Браковані деталі відокремлюються і поміщаються в ізолятор браку негайно після їх виявлення;

— рівень кваліфікації верстатника повинен відповідати складності виконуваної роботи. Для цього на підприємстві діє система підвищення кваліфікації персоналу: навчання в робочий час у кращих працівників заводу, заняття з ІТР, відрядження на інші спеціалізовані підприємства, курси підвищення кваліфікації тощо. Система фахової підготовки має задовольняти як потреби виробництва, так і побажання працівника;

— мікроклімат і психологічна обстановка на робочому місці повинні бути комфортними, максимально сприяти творчому підходу до виконуваної роботи наладчика, технолога-програміста та оператора;

— виконуючи розглянуті вище правила 5S, оператор постійно покроково покращує свою діяльність на робочому місці, поліпшуючи організацію роботи, забезпечуючи чистоту та зручність облаштування робочого місця, якість оснащення та інструменту, удосконалюючи режими обробки; отримані здобутки він фіксує в карті наладки через наладчика чи технолога-програміста;

— верстатник має брати до уваги інформацію адміністрації про вигоду, отриману від своєчасно і якісно виконаної роботи, чи негативні наслідки від її невиконання.

Робоче місце верстатника — це та основна точка, де створюється якість продукції. Саме тут, а не в кабінетах начальників, як вважають, на жаль, багато менеджерів виробництва, вирішуються питання підвищення рівня якості. Доведено, що проблему найкраще можна розв'язати на місці, де вона виникла, тому, наприклад, в тій же Японії існує таке поняття, як робоче місце GEMBA, сутність якого полягає в тому, що менеджери різного рівня повинні постійно моніторити виробництво своєю присутністю на робочих міс-

цях, персонально спілкуватися з працівниками, верстатниками, вирішувати виниклі проблеми безпосередньо на місці і за участю робітників. Звичайно, розв'язання складних проблем може переноситись на засідання і технічні наради, через виконання спеціально розроблених заходів, але існування таких проблем зазвичай також виявляється через робоче місце ГЕМВА. Цю можливість мають використовувати працівники-верстатники для удосконалення та поліпшення виробничого процесу на робочому місці, за який вони відповідають персонально.

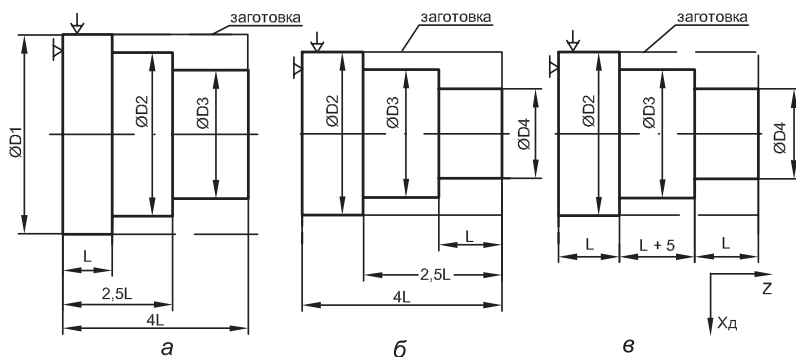
Контрольні запитання

- 1. Назвіть відомі Вам способи установки та закріплення деталі на токарному верстаті.*
- 2. Як вибрати необхідний інструмент, призначити режими обробки?*
- 3. Що вносять до карти наладки?*
- 4. Назвіть системи координат для токарного верстата з ЧПК.*
- 5. Охарактеризуйте необхідні умови для знімання фасок через функцію G1.*
- 6. Що таке кругова інтерполяція, які її можливості залежно від способу задавання?*
- 7. Охарактеризуйте можливості нарізання різьби через функцію G33.*
- 8. Назвіть відомі Вам службові функції. Наведіть приклади застосування.*
- 9. Напишіть формат та покажіть схему рухів циклів G27 і G29.*
- 10. Напишіть формат та покажіть схему рухів циклів G28 і G39.*
- 11. Напишіть формат та покажіть схему рухів циклів G60 і G61.*
- 12. Напишіть формат та покажіть схему рухів циклів G62 і G68.*
- 13. Напишіть формат та покажіть схему рухів циклів G66 і G67.*
- 14. Прочитайте технологічний регламент обробки на верстаті з ЧПК деталі з рис. 2.32 та програму її обробки %40. Дайте пояснення кожного кадру.*
- 15. Як програмується обробка багатозахідної різьби?*
- 16. Напишіть формат кадру та покажіть схему рухів циклів G65, G69 та G70.*
- 17. Напишіть формат кадру та покажіть схему рухів циклів G82, G83 та G84.*

18. Прочитайте програму %42, прокоментуйте призначення команд.
19. Назвіть особливості поперечного та позацентрального свердління на токарному верстаті інструментами з автономним приводом.
20. Охарактеризуйте особливості фрезерування на токарному верстаті інструментами з автономним приводом.
21. Назвіть складові стрічкового часу обробки деталі.
22. Охарактеризуйте додаткові вимоги техніки безпеки, які необхідно виконувати оператору верстатів з ЧПК.
23. Опишіть особливості організації робочого місця на верстаті з ЧПК.
24. Сформулюйте правила 5S.

Завдання для самостійних занять

Завдання 3.1. Користуючись даними табл. 3.1.1 для свого варіанта, призначте початок координат для кожного випадку та розробіть програму обробки деталей, зображених на рисунку. Знайдіть та поясніть різницю між рис. а, б і в. Перед цим повторіть матеріал підручника з параграфів: 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.

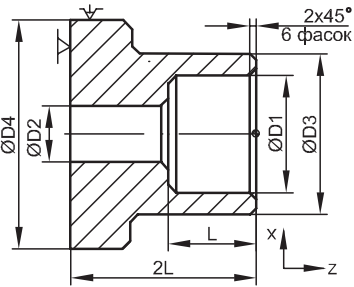


Системи координат. Лінійне переміщення

Таблиця 3.1.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D1	70	75	80	65	60	85	70	75	80	85	70	80
D2	65	70	75	60	55	80	65	70	75	80	65	75
D3	60	65	70	55	50	75	60	65	70	75	60	70
D4	55	60	65	50	45	70	55	60	65	70	55	65
L	15	16	17	19	20	21	27	23	17	19	21	27

Завдання 3.2. Користуючись даними табл. 3.2.1 для свого варіанта, розробіть програму остаточного проходу обробки зовнішньої та внутрішньої поверхні деталі, зображеної на рисунку. Застосуйте команди знімання фаски і лінійної інтерполяції. Перед цим повторіть параграфи 3.7 і 3.8 та докладно розгляньте програми обробки деталей, зображених на рис. 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13: %6; %21; %40.

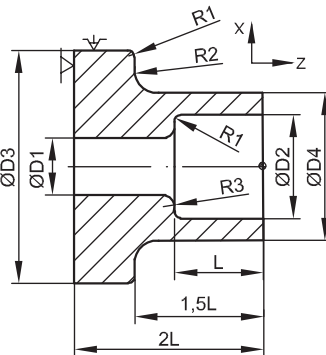


Обробка фасок

Таблиця 3.2.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D1	40	45	50	48	39	52	54	51	40	39	40	54
D2	20	25	28	27	21	29	27	21	19	17	17	29
D3	60	65	70	70	72	75	78	72	65	64	68	75
D4	80	88	89	92	95	100	100	98	90	92	96	100
L	17	18	18	20	21	27	29	39	35	27	29	39

Завдання 3.3. Обробка галтелей та заокруглень. Користуючись даними табл. 3.3.1 для свого варіанта, розробіть програму обробки зовнішньої та внутрішньої поверхні деталі, зображеної на рисунку. Застосуйте команди обробки галтелей та заокруглень і лінійної інтерполяції. Перед цим повторіть параграфи 3.7 і 3.8 та докладно розгляньте програми обробки деталей з рис. 3.14, 3.15, 3.16: %7; %9; %14.

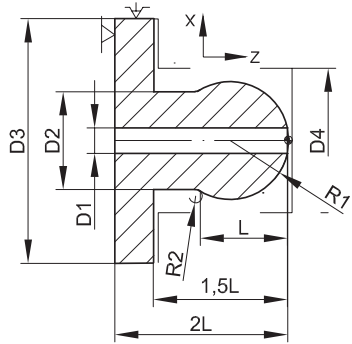


Обробка галтелей та заокруглень

Таблиця 3.3.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D1	54	51	40	39	40	54	40	45	50	48	39	52
D2	27	21	19	17	17	29	20	25	28	27	21	29
D3	78	72	65	64	68	75	60	65	70	70	72	75
D4	100	98	90	92	96	100	80	89	95	92	95	100
L	29	39	35	27	29	39	17	18	18	20	21	27
R1	1,5	2	3	2	1,5	1,5	2	2	2	3	2,5	1,5
R2	6	6,5	7	7,5	8	8	6	6,5	7	6	5	8
R3	7	8	5	3	5	7	4	5	8	4	3	4

Завдання 3.4. Обробка зовнішньої сфери, глибоке свердління. Користуючись поданими на рисунку співвідношеннями, призначте самостійно геометричні дані деталі, розробіть технологічний регламент і програму обробки зовнішньої сфери та свердління отвору деталі, зображеної на рисунку. Застосуйте команди кругової та лінійної інтерполяції, глибокого свердління. Використайте



Обробка зовнішньої сфери чорновий копіювальний багато-прохідний цикл G68 і однопрохідний чистовий цикл G60. Перед цим повторіть матеріал підручника з параграфів 3.9, 3.13 та детально розгляньте програми обробки деталей з рис. 3.15, 3.16, 3.17, 3.18.

Розгляньте наведений приклад керуючої програми. Окремі фрагменти застосуйте в розробленій Вами програмі. Діаметр $D4$ візьміть рівним $2R1 + 8$, припуск на остаточну підрізку торця $D3/D2 - 0,3$ мм.

Приклад програми.

Призначаємо початок координат в правому торці деталі. Діаметр заготовки $D4 = 38$.

Технологічний регламент:

- підрізати торець остаточню чистовим поперечним циклом G29, інструмент — різець упорно-прохідний універсальний T1;

- центрувати циклом G82 торець, інструмент — свердло центрувальне $\varnothing 3,15$ T2;

- свердлити циклом глибокого свердління G83 отвір $\varnothing 5$, інструмент — свердло $\varnothing 5$ T3;

- точити багатопрохідним копіювальним циклом контур попередньо, інструмент — різець T1;

- точити однопрохідним чистовим циклом G60 контур остаточню, інструмент — різець упорно-прохідний чистовий T4 з радіусом вершини не більше 1 мм.

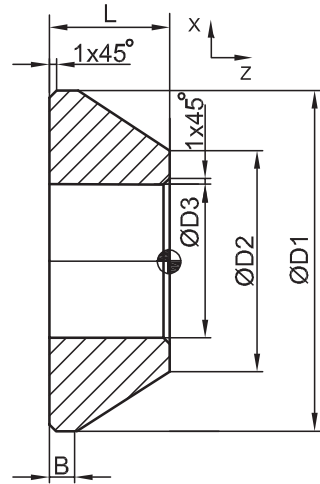
Таблиця 3.4.1

% 3.04; Кадр	Програмовані дії
N10 T1 M6; (RIZEC UNIV.)	Виведення в робочу позицію різця T1
N20 G90 G97 S800 M3;	Призначення режимів
N30 G0 X42 Z2 M8;	Підведення різця до деталі, подача ЗОР

Закінчення табл. 3.4.1

% 3.04; Кадр	Програмовані дії
N40 G1 G29 X-1 Z0 F0,2;	Підрізка правого торця поперечним чистовим циклом
N50 X250 Z250;	Відхід в позицію заміни інструмента
N60 T2 M6;	Виведення в робочу позицію центрального свердла T2
N70 G90 G97 S1250 M3;	Призначення режимів
N80G0X0Z3M8;	Вихід в початок обробки, подача ЗОР
N90G82Z-8F0.1;	Центрування торця циклом G82
N100G80M9;	Відміна циклу, подачі ЗОР
N120G0X230Z230;	Вихід в точку заміни інструмента
N130T3M6; (SV. D 5)	Виведення в робочу позицію свердла Ø5
N140G90G97S1000M3;	Призначення режимів обробки
N150G0X0Z2M8;	Вихід в початок обробки, подача ЗОР
N160G83Z-48K7F0.1;	Свердління отвору циклом глибокого свердління G83
N170G80M9;	Відміна циклу, подачі ЗОР
N180G0X250Z250;	Вихід в точку заміни інструмента
N190T1M6; (RIZEC)	Виведення в робочу позицію чорнового універсального прохідного різця
N200 G90G0X42Z5S800;	Підхід прискореним рухом до деталі
N210G1X40Z1F2M8;	Підхід в точку початку обробки на збільшеній подачі, подача ЗОР
N220G68 P400 Q404 U0.3W0.1 I4 K0.2 B5 F0.3;	Зняття основного припуску багатопрхідним чорновим циклом G68
N400X0Z0;	Опис контуру
N401 G2 X25.3 Z-21 R15;	
N402 X25 Z-22 R-2;	
N403 Z-33;	
N404 X62;	
N230X40Z2F2M9;	Відвід різця, відміна подачі ЗОР
N235G0X230Z230;	Відхід в позицію заміни інструмента
N240T4M6; (RIZEC)	Виведення в робочу позицію чистового універсального прохідного різця
N250 G90 G0 X32Z3S800;	Підхід прискореним рухом до деталі
N260G1X0Z0F2M8;	Підхід в точку початку обробки на збільшеній подачі, подача ЗОР
N265G60P400Q404F0.2;	Виконання чистового проходу циклом G60
N270X40Z2F2M9M5;	Відвід різця, відміна подачі ЗОР, зупинка шпінделя
N275G0X230Z230;	Відхід в позицію заміни інструмента
N280 M30;	Кінець програми

Завдання 3.5. Обробка з використанням підпрограми. Користуючись даними табл. 3.5.1 для свого варіанта, розробіть технологічний регламент і програму обробки п'яти деталей, зображених на рисунку, з однієї заготовки. Використайте в програмуванні підпрограму. Перед цим повторіть параграф 3.14 та докладно розгляньте наведену там програму обробки деталі з рис. 3.45 — % 25.



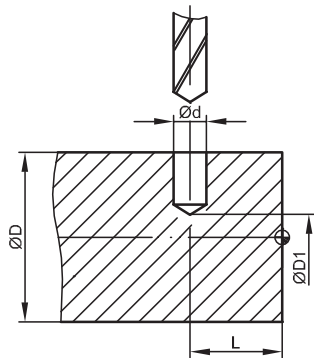
Використання підпрограми

Таблиця 3.5.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D1	50	48	45	40	42	50	46	40	48	49	47	40
D2	38	35	29	27	29	39	37	27	39	37	27	29
D3	30	28	21	20	21	29	27	19	29	27	17	19
B	3	4	7	3	4	5	6	3	4	5	6	7
L	12	13	14	17	14	13	17	13	14	15	17	17

Завдання 3.6. Свердління на токарному верстаті зі шпінделями в револьверній головці з автономним приводом. Користуючись даними табл. 3.6.1 для свого варіанта, розробіть програму свердління поперечного отвору в деталі обертання на токарному верстаті (див. рисунок).

Перед цим повторіть параграф 3.15 і уважно розгляньте наведений там приклад.



Радіальне свердління на токарному верстаті

Таблиця 3.6.1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D	40	45	48	39	42	50	52	56	55	60	40	39
D1	7	-7	-3	3	13	-13	40	-19	29	-27	27	-39
d	6	5	7	8	3	13	17	8	13	17	7	7
L	15	16	17	19	20	21	27	28	25	29	39	40

Завдання 3.7. Обробка зовнішньої конічної багатозахідної різьби.

Користуючись даними табл. 3.7.2 для свого варіанта, розробіть програму чорнового різенарізання зовнішньої багатозахідної конічної різьби, зображеної на рисунку. В позначенні різьби:

M — метрична;

D — номінальний діаметр різьби в більшому торці;

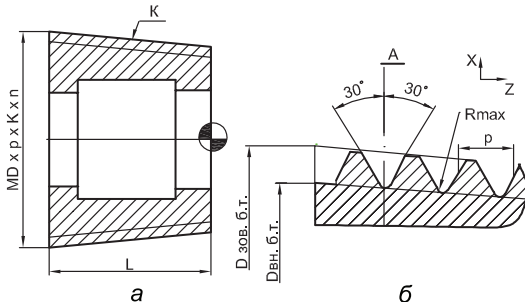
p — крок;

K — конічність, визначається як відношення піврізниць діаметрів у більшому, Dб, і меншому, Dм, торці до довжини L:

$$K = \frac{D_b - D_m}{2L};$$

n — кількість заходів.

Перед цим повторіть параграфи 3.10, 3.13 і уважно розгляньте наведений у табл. 3.7.1 і на рисунку приклад програми нарізання зовнішньої двозахідної різьби M150×6×1:6×2.



Чорнове нарізання зовнішньої багатозахідної конічної різьби

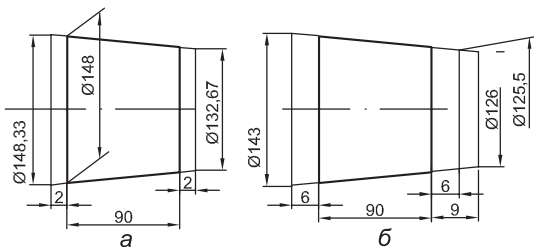


Схема опорних точок нарізання зовнішньої різьби M150×6×1:6×2

Таблиця 3.7.1

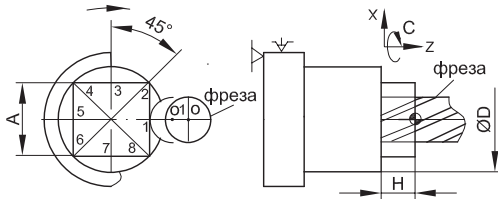
Кадр	Програмовані дії
% 3.07; (рис. M150×6×1:6×2)	
N10T6M6;	Виведення в робочу позицію інструмента T6 — прохідного різця
N15G90G97S350M3;	Абсолютна система відліку, постійні оберти шпінделя
N20G0X154Z5M8;	Підведення інструмента у вихідну точку обробки прискореним рухом, подача ЗОР
N25X154Z2G1F0.3;	На робочій подачі підведення інструмента в точку початку обробки
N30G61P400Q500U0.4 B0.6I0;	Зняття основного припуску із зовнішнього діаметра багатопрохідним чорновим поздовжнім циклом, залишаємо припуск 0,4 мм на чистовий прохід
N400G0X132,67;	Опис контуру. Вихід прискореним рухом в точку початку обробки. Виконання чорнових проходів
N500G1X148,33Z-92F0.25;	
N35G60 P400Q500;	Чистовий прохід
N40G1X170Z-45F5M9;	Відвід інструмента в зручне для оператора місце, відміна подачі ЗОР
N45G0X250Z250M5;	Відвід інструмента в точку індексації
N50T7M6;	Установлення в робочу позицію інструмента T7 — різенарізного різця
N55S60M3;	Призначення режиму нарізання різьби
N60G0X135Z7M8;	Підведення інструмента прискореним рухом у вихідну точку обробки, подача ЗОР
N70G1X126Z6F5;	Підведення інструмента на робочій збільшеній подачі в точку початку обробки
N75G66X143Z-96 I-8.5 F6R3A0B0.1P4;	Багатопрохідним різенарізним циклом нарізання першого заходу
N80G1X125,5Z9F6;	Підведення інструмента в точку початку обробки другого заходу
N81G66X143Z-96 I-8.75 F6K3A0B0.1P4;	Багатопрохідним різенарізним циклом нарізання другого заходу
N82G1X170Z5F5M9;	Відвід інструмента в зручне для оператора місце, відміна подачі ЗОР
N85G0X250Z250M5;	Відвід інструмента прискореним рухом в позицію заміни, зупинити оберти шпінделя
N90M30;	Кінець програми

Таблиця 3.7.2

Варіант	Позначення різьби	L	Дзов.	Двн.	p	K	n	Rmax	Дзаг.
1	M150×6×1:6×2	90	148	142	6	1:6	2	0,7	152
2	M145×5×1:5×3	85	143	138	5	1:5	3	0,8	147
3	M154×5×1:8×2	80	152	147	5	1:8	2	0,6	156
4	M140×6×1:4×3	90	138	132	6	1:4	3	0,7	142
5	M160×8×1:6×2	95	158	152	6	1:6	2	0,8	162
6	M156×6×1:8×3	65	154	148	6	1:8	3	0,6	158
7	M152×5×1:4×2	70	150	145	5	1:4	2	0,8	154
8	M148×6×1:6×3	80	146	140	6	1:6	3	0,7	150

Завдання 3.8. Фрезерування квадрата і лиски на токарному верстаті.

Завдання 3.8.1. Обробка квадрата на токарному верстаті зі шпінделем в револьверній головці з автономним приводом, вісь якого паралельна осі Z. Користуючись даними табл. 3.8.1 для свого варіанта, розробіть програму фрезерування квадрата, зображеного на рисунку, циліндричною кінцевою фрезою діаметром 16 мм.



Полярна система координат.
Фрезерування квадрата

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфу 3.15 та розгляньте наведений нижче приклад. Діаметр D , охоплюючий квадрат, розрахуйте за формулою $D = \sqrt{2} A = 1,414A$.

Таблиця 3.8.1

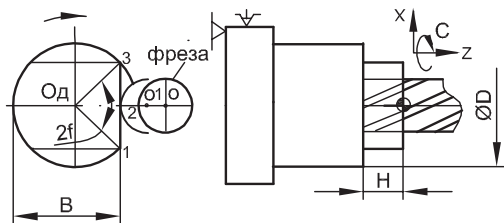
Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	20	21	22	23	24	27	19	17	18	25	29	27
H	7	6	5	7	8	9	6	7	8	5	7	8

У табл. 3.8.2 наведено програму обробки квадрата з розмірами за варіантом 1.

Таблиця 3.8.2

% 3.08.1; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-80;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N20 T4 04; (FREZA D16)	Виведення в робочу позицію фрези T4, закріпленої в автономному шпінделі з віссю, паралельною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X30 Z5;	Підведення фрези до деталі
N30 G97 M13 S2000;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 M52;	Задання роботи головного шпінделя в режимі кругової подачі навколо осі Z
N60 G94 F60;	Призначення хвилинної подачі
N70 G0 G42 X28Z-7 M8;	Підведення фрези в початок обробки, ввід корекції праворуч
N80 G12.1;	Введення полярної інтерполяції
N90 X20 C0,785;	Фреза в точці 1
N95 X28C1,57;	Фреза в точці 2
N100 X20 C2,355;	Фреза в точці 3
N105 X28C3,14;	Фреза в точці 4
N110 X20 C3,925;	Фреза в точці 5
N115 X28C4,71;	Фреза в точці 6
N120 X20 C5,495;	Фреза в точці 7
N125 X28C6,28;	Фреза в точці 8
N150 G0 X40;	Відвід фрези по X
N160 G0 Z10;	Відвід фрези по Z
N165 G40;	Відміна корекції радіуса фрези
N155 M15 M9;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N160 G13.1;	Відміна полярної інтерполяції
N165 G53;	Переведення головного шпінделя в основний режим роботи (зі швидкістю різання)
N180 G0 X200 Z200;	Відхід в точку заміни інструмента
N190 M30;	Кінець програми

Завдання 3.8.2. Фрезерування лиски на токарному верстаті зі шпінделем в револьверній головці з автономним приводом, вісь якого паралельна осі Z. Користуючись даними табл. 3.8.3 для свого



Фрезерування лиски

варіанта, розробіть програму фрезерування лиски, зображеної на рисунку, циліндричною кінцевою фрезою діаметром 16 мм.

Перед виконанням завдання повторіть матеріал підручника з параграфу 3.15 та розгляньте наведений приклад. Кут повороту головного шпінделя $2f$ розрахуйте зі співвідношень у трикутниках $1Oд3$ і $1Oд2$, з яких:

$$\cos f = \frac{B-R}{R},$$

де R — радіус поверхні, на якій фрезерується лиска.

Глибина врізання по X : $OO_1 = D - B$, де D — діаметр, на якому фрезерується лиска; B — розмір лиски відповідно до креслення. За час врізання на повну глибину головний шпіндель круговою подачею має пройти кут f , а після повороту на $2f$ фреза автономного шпінделя повинна повернутися у вихідну точку O .

У табл. 3.8.4 наведено програму обробки лиски, варіант 1.

Для варіанта 1: $\cos f = 10/14 = 0,71$; $f = 45^\circ = 0,785$ радіан;
 $2f = 90^\circ = 1,57$ радіан; $OO_1 = 28 - 24 = 4$.

Таблиця 3.8.3

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D	28	26	24	25	27	29	30	37	35	39	40	21
B	24	21	21	21	25	25	27	35	29	35	37	17
H	7	8	6	5	8	7	6	5	5	6	7	8

Таблиця 3.8.4

% 8.1; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N10G10 P0 Z-80;	Початок обробки, призначення початку координат деталі в правому торці
N20 T4 04; (FREZA D16)	Виведення в робочу позицію фрези T4, закріпленої в автономному шпінделі з віссю, паралельною осі Z. Активізувати її коректор 04
N20 G90 G0 X30 Z5;	Підведення фрези до деталі
N30 G97 M13 S2000;	Призначення обертів автономного шпінделя, режимів
N40 M52;	Призначення роботи головного шпінделя в режимі кругової подачі навколо осі Z
N60 G94 F60;	Призначення хвилинної подачі

Закінчення табл. 3.8.4

% 8.1; Кадр	Виконувані дії, пояснення окремих команд ПЧПК «FANUK»
N70 G0 G42 X28Z-7 M8;	Підведення фрези в початок обробки, ввід корекції праворуч
N80 G12.1;	Введення полярної інтерполяції
N90 X20 C0,785;	Призначення поперечної подачі, фреза в точці 2
N95 X28C1,57;	Фреза в точці 3
N150 G0 X40;	Відвід фрези по X
N160 G0 Z10;	Відвід фрези по Z
N165 G40;	Відміна корекції радіуса фрези
N155 M15 M9;	Зупинка обертання автономного шпінделя
N160 G13.1;	Відміна полярної інтерполяції
N165 G53;	Переведення головного шпінделя в основний режим роботи (зі швидкістю різання)
N180 G0 X200 Z200;	Відхід в точку заміни інструмента
N190 M30;	Кінець програми

РОЗДІЛ IV

ОБРОБКА НА ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

4.1. Плоско- та профілезшліфувальні верстати

На поширених в Україні плоскошліфувальних верстатах з ЧПК програмують: припуск, що потрібно зняти, глибину різання на прохід, поперечну подачу.

Швидкість різання визначається обертами шпінделя та діаметром круга: величина, практично, постійна, зменшується при зношуванні круга. Поздовжній та поперечний хід стола обмежується упорами залежно від розмірів оброблюваної поверхні деталі. Правка круга, як правило, відбувається не за програмою.

На базі плоскошліфувальних верстатів створено сучасні профілезшліфувальні верстати з ЧПК, які, крім шліфування плоских поверхонь, можуть шліфувати поверхні, профіль яких складається зі сполучених відрізків прямої, дуги, іншої кривої, що описується математично. Профіль забезпечується в перерізі, перпендикулярному поздовжньому ходу стола. Профілювання круга здійснюється за програмою алмазним роликком з незалежним приводом. Механізм правки може установлюватись на столі верстата або шліфувальній бабці. Кількість програмованих координат — п'ять (детальніше див. верстат ОРША-60240).

Профілезшліфувальні верстати з ЧПК для шліфування складної профільної поверхні на деталях обертання замінили відомі оптико-профілезшліфувальні верстати типу ЛЗ 268 (на екрані в масштабі 1:50 на прозорому носії розміщувався профіль деталі, а робітник за допомогою двох супортів, дивлячись на екран, вручну обходив гостровершинним кругом профіль, що зображений). Операція була дуже трудомісткою, потребувала спеціаліста надвисокої кваліфікації.

Профілезшліфувальні верстати з ЧПК методом контурного обходу шліфують профілі складної форми на деталях обертання, твірну яких можна описати математично.

4.2. Круглошліфувальні верстати

Круглошліфувальні верстати є найбільшою групою шліфувальних верстатів. На круглошліфувальних верстатах з ЧПК програмуються: поперечна подача на один прохід, припуск для знімання, кількість проходів без набору глибини різання (поперечної подачі), так зване виходжування. Швидкість різання, форма круга, його правка задаються окремо, як правило, в ручному режимі.

Обробка на круглошліфувальних верстатах з ЧПК багатосхідчастих деталей типу ходових гвинтів, валів редукторів, шпінделів тощо підвищує продуктивність обробки в 1,5–2 рази за рахунок скорочення часу на знімання, установку й переустановку деталі для обробки наступних шийок та їх вимірювання.

Зношування круга під час обробки та правки є проблемою цих верстатів, вимагає постійного контролю діаметра, що шліфується, для своєчасної корекції величини припуску до остаточного розміру. В сучасних прецизійних круглошліфувальних верстатах з ЧПК передбачено компенсацію зношування круга під час роботи та правки, компенсацію деформацій системи верстат — пристрій — інструмент — деталь, похибок від температурних коливань, від коливань величини припуску, похибок переміщень верстата по координатах. Вимірювальна система такого верстата забезпечує безперервний контроль діаметра з точністю до $2 \cdot 10^{-5}$ мм. Взаємодія оператора і системи ЧПК верстата відбувається в діалоговому режимі через дисплей.

На базі круглошліфувальних верстатів створено багатоцільові шліфувальні верстати, які забезпечують обробку зовнішньої та внутрішньої циліндричної поверхні, торцевих внутрішніх і зовнішніх поверхонь, різешліфування. Для цього верстат містить три шліфувальні шпінделі, відповідно до оброблюваної поверхні, їх переміщення задаються програмою. На таких верстатах можна керувати рухом водночас по 3–4-х координатах.

Такі верстати оснащуються механізмами компенсації зношування та правки круга. Можливе також керування частотою обертання шпінделя для підтримування постійної швидкості різання по мірі зношування круга.

4.3. Безцентрові круглошліфувальні верстати

Безцентрові круглошліфувальні верстати застосовують під час обробки деталей малого й великого діаметра різної довжини в умовах масового виробництва. Розширення сфери застосування таких верстатів стримують такі фактори, як:

- великі затрати часу на правку шліфуючого і ведучого кругів;

- складність наладки, яка за довготривалості потребує ще й спеціалістів високої кваліфікації.

Ці проблеми значною мірою вирішуються завдяки використанню безцентрово-шліфувальних верстатів з ЧПК. У системі керування таким верстатом використовуються програмні модулі, які розраховують траєкторію руху інструментів (круга, алмаза при правці) і, за потреби, її корекцію. Створено спеціальне програмне забезпечення для обробки деталей типу вал, втулка, куля, конус, кулак тощо. Застосування ЧПК зробило ці верстати майже універсальними, істотно спростило конструкцію таких вузлів, як механізм правки (зникла копіювальна лінійка, механізм подачі алмазів та ін.), приводи поздовжнього переміщення пристроїв правки, механізми тонкої подачі шліфувального і ведучого кругів, контрольно-підналагоджувальні пристрої.

Системи ЧПК безцентрових круглошліфувальних верстатів створені за агрегатним принципом. Наприклад, на верстатах японських фірм можлива установка кожного із чотирьох варіантів керування верстатом від ЧПК окремо:

- одна керована координата — поперечна подача шліфувального круга;

- дві керовані координати — поперечна подача шліфувального круга і правлячого алмаза, з метою їх синхронізації;

- три керовані координати — поперечна подача шліфувального круга, поперечна й поздовжня подачі алмаза під час його правки;

- п'ять керованих координат — поперечна подача шліфувального круга, а також поперечна й поздовжня подачі алмаза під час правки шліфувального і подавального кругів.

4.4. Координатно-шліфувальні верстати

Основне завдання програмного керування на цих верстатах — вихід у задану координату з належною точністю та шліфування отвору по заданому циклу. Швидкість різання забезпечується обертами круга без впливу від програми. Правка круга виконується в ручному режимі.

4.5. Зубошліфувальні верстати

Нині відбувається активна автоматизація робіт через систему ЧПК у зубошліфуванні. Наприклад, відомі зубошліфувальні верстати фірми «Reichauer», оснащені пристроєм ЧПК «Sinumerik 840D» і приводами «Siemens», забезпечують п'ятикоординатне шліфування за програмою прямозубих і косозубих зубчастих коліс, шліцевих валів тощо методом обкату і одиничного ділення. Програмно-математичне забезпечення дає змогу керувати верстатом у діалоговому режимі із забезпеченням багатопрохідного циклу обробки з тангенціальною, радіальною та осьовою подачами. Шліфування високошвидкісне, з динамічним балансуванням круга, подачею ЗОР. Забезпечена теплова стабілізація вузлів верстата.

Відомі зубошліфувальні верстати з вісьмома програмованими координатами:

- X — поперечне переміщення шліфувального шпінделя;
- Y — вертикальне переміщення шліфувального шпінделя;
- Z — поздовжнє переміщення стола;
- вісь A — поворот пристрою вимірювання зубчастого колеса;
- вісь B — обертання стола;
- вісь C — поворот шпінделя шліфувального круга;
- вісь S — обертання шпінделя шліфувального круга;
- вісь U — обертання пристрою правки алмазним роликком.

4.6. Різешліфувальні верстати

Для здійснення обробки на різешліфувальному верстаті виконуються такі рухи:

- обертання шліфувального круга зі швидкістю різання $30 \div 50$ м/с;

- обертання виробу з круговою робочою подачею;
- поздовжні робочі рухи стола або шліфувальної бабки (залежно від конструкції верстата) зі швидкістю, узгодженою через кінематичний зв'язок з круговою подачею виробу так, щоб забезпечувався заданий крок різьби;
- прискорений поздовжній рух робочого органа у зворотному напрямі після закінчення робочого ходу у вихідну точку;
- поперечний рух шліфувальної бабки для задання глибини шліфування;
- поздовжні зміщення стола для корекції положення шліфувального круга відносно профіля різьби;
- рухи приладу правки, потрібні для забезпечення і систематичного поновлення заданого профілю круга, а також компенсація в поперечному напрямі знятого правкою шару абразиву. На верстаті з ЧПК зазначені рухи виконуються від команди керуючої програми.

Не програмується на верстатах:

- швидкість різання — визначається розрахунком через постійні оберти круга та його діаметр, м/с;
- величина поздовжнього ходу стола (задається спеціальними упорами на столі залежно від довжини різбової частини гвинта);
- кут нахилу шліфувальної бабки α (рис. 4.1), дорівнює куту підйому гвинтової лінії різьби:

$$\alpha = \frac{p}{\pi D},$$

де p — крок різьби; D — діаметр різьби;

— крок різьби у міліметрах або в дюймовій системі (кількість ниток на дюйм) задається зубчастими колесами гітари, яка зв'язує оберти шпінделя виробу з поздовжнім рухом стола, — забезпечує з високою точністю ходовий гвинт верстата.

Систему координат різешліфувального верстата (рис. 4.1) утворюють, як і в токарних верстатах, дві осі: вісь Z — збігається з віссю обертання шпінделя виробу і вісь X — за на-

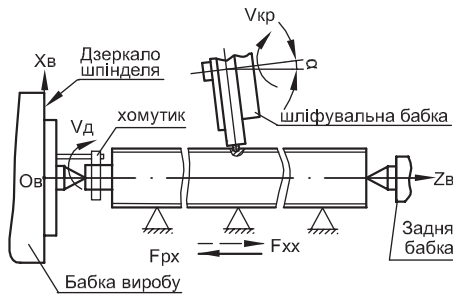


Рис. 4.1. Осі координат. Схема різешліфування

прямоком збігається з поперечною подачею. Початок координат верстата — на торці шпінделя виробу. Додатним напрямком для осі X вважається рух шліфувальної бабки від деталі, для осі Z — від бабки виробу до заднього центру.

Особливості програмування фінішної обробки різьби розглянемо на прикладі шліфування напівкруглої зовнішньої різьби ходового гвинта кочення на верстаті «Матрікс 5708» з ПЧПК «FANUK».

Заготовка — гвинт з попередньо сформованою різьбою методом охоплюючого фрезерування надтвердим інструментом (ельбор (кубоніт, CNB), гексаніт), багатониткового шліфування й ін. Припуск для фінішної обробки по радіусу профілю та внутрішньому діаметру гвинта розрахований для зняття дефектного шару металу від попередньої обробки та (більша його частина) виправлення накопиченої похибки кроку від попередньої обробки.

Для шліфування різьби гвинт установлюється центровими отворами на центри верстата. Обертання задається від шпінделя виробу через хомутик, укріплений на крайній лівій шийці гвинта (див. рис. 4.1). Задній центр не обертальний, тому важлива геометрична точність центру та доскональна підготовка центрових отворів як основної технологічної бази. Додатковою технологічною базою служить зовнішній діаметр різьби, по якому гвинт з мікронною точністю розміщується у спеціальних триточкових люнетах, рівномірно розташованих вздовж різьбової частини. Для зручності виставляння гвинта, як правило, беруть непарну кількість люнетів: 1, 3, 5.

Після укріплення гвинта виставляють по упорах довжину різешліфування. Далі для виконання робочих рухів

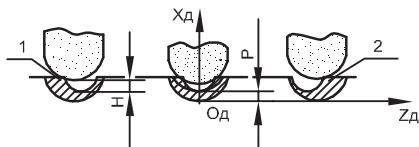


Рис. 4.2. Розподіл припуску по профілю

різешліфування вводять профіль круга в «нитку» різьби (див. рис. 4.2) в центральній частині деталі (приблизно посередині). Для цього, працюючи коректором, торкаються правої та лівої сторони профілю; отримане осьове зміщення ділять пополам, це й буде

вісь профілю. Далі круг відводять по осі X і, рухаючись в ручному режимі по Z, переводять його по черзі у крайній лівий і крайній правий виток різьбової частини гвинта.

У крайніх положеннях підводять круг до різьби по X до появи іскри. Торкання круга з різьбою матиме вигляд, як показано на рис. 4.2 (точки 1 і 2), якщо від накопиченої похибки кроку під час попередньої обробки різьба заготовки стиснута, і круг торкатиметься протилежного боку профілю, — якщо різьба заготовки розтягнута. Щоб дотриматися рекомендованого режиму різання по глибині, круг відводять по осі X від деталі — порівняно із центральним витком у момент попадання в нитку до прийняттого характеру шліфування в точках 1 і 2. Це положення шліфувальної бабки визначить координату X початку шліфування різьби і повний припуск обробки.

Виконують робочі проходи, поки вершина круга не дійде до дна різьбового профілю і профіль на всій довжині оброблюватиметься майже повністю. Після цього вимірюють внутрішній діаметр різьби, вираховують припуск, який ще необхідно зняти до остаточного значення внутрішнього діаметра, розподіляють його за проходами, вносять дані в керуючу програму та підпрограму обробки. Для зручності координатні осі деталі розташовують у дні різьби на остаточному діаметрі. За напрямком осі збігаються з відповідними осями верстата (див. рис. 4.2). Обробка завершується, коли $X = 0$.

Програмування обробки здійснюється тією ж мовою G-коду з невеликими відмінностями, зумовленими видом обробки та ПЧПК «FANUK». Нижче наведено основні команди та параметри, використані ПЧПК «FANUK» в ході різешліфування на верстаті «Матрікс 5708».

Підготовчі (технологічні) функції:

G00 — позиціонування, прискорений рух, максимальна швидкість 500 мм/хв;

G01 — лінійна інтерполяція;

G04 — програмована витримка в часі;

G10 — ввід корекції;

G20 — ввід розмірів у дюймах;

G21 — ввід розмірів у міліметрах;

G28 — повернення у вихідну позицію;

G43 — корекція стола відносно круга — попадання кругом в «нитку» різьби;

G49 — скасування корекції по осі X ;

G90, G91 — абсолютна й відносна системи програмування відповідно.

Допоміжні функції:

M00 — зупинка програми;

M01 — програмована зупинка в запланованому місці програми;

M02 — кінець підпрограми;

M03, M04 — оберти шпінделя виробу за годинниковою стрілкою та проти неї відповідно;

M05 — зупинка шпінделя виробу;

M07 — ввімкнення ЗОР правки;

M08 — ввімкнення ЗОР шліфування;

M09 — вимкнення ЗОР;

M21, M22 — зупинка та пуск пристрою правки круга;

M30 — кінець програми;

M98 — виклик підпрограми;

M99 — кінець підпрограми.

F — швидкість поздовжньої подачі, рух скоординований через гітару з круговою подачею виробу. З пульта можна редагувати F у межах $\pm 100\%$ при постійному співвідношенні подач;

S — частота обертання шпінделя виробу, для верстата «Матрікс 5708» регулюється в діапазоні 0,4÷120 об./хв;

H — корекція або величина припуску по осі X, розраховується під час введення шліфувального круга у профіль різьби в позицію шліфування. Визначається під час налагодження верстата (рис. 4.2).

У пристрої ЧПК передбачено типові цикли або підпрограми шліфування різьби:

R301, R303 — підпрограми правки круга з компенсацією в поперечному напрямку знятого шару абразиву з круга, з глибиною врізання алмаза 0,04 мм та 0,06 мм відповідно. Цикл правки відбувається після кожного робочого проходу.

R302 — підпрограма, яка включає такі ходи робочих органів: поздовжній узгоджений з обертами шпінделя виробу робочий хід стола, зняття припуску (шліфування), прискорений відхід шліфувальної бабки та прискорене поздовжнє переміщення стола у зворотному напрямку у вихідне положення.

R304 — підпрограма, яка включає цикл правки з компенсацією, глибина врізання по осі X — 0,07 мм.

R306 — підпрограма, яка включає цикл правки з компенсацією, глибина врізання по осі X — 0,03 мм.

Р 308 — прискорений поздовжній хід у зворотному напрямку при непорушній деталі (шпіндель виробу не обертається), коли виконується цикл правки. Ця підпрограма програмується після кожного робочого ходу й відведення круга.

Приклад підпрограми Р303 наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Кадр	Програмовані дії
N10G01G91X10.025M08F200;	Подача шліфувальної бабки на деталь, F 200 мм/хв, відносна система, подача ЗОР
N20M03 S25;	Оберти шпінделя виробу, 25 об./хв за стрілкою годинника
N30M05;	Зупинка шпінделя виробу
N40G00X100M09;	Відвід шліфувальної бабки від деталі, відміна подачі ЗОР
N50M04S80;	Перехід стола в позицію, встановлену протилежним упором
N70M07;	Подача ЗОР в зону правки
N80M22;	Правка круга
N90G10P01R0.0254;	Ввід корекції на правку круга
N100M09;	Відміна подачі ЗОР на правку
N110M99;	Кінець підпрограми. Повернення до основної програми

Приклад програми для шліфування різьби на верстаті «Matrix 5708» подано в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

% 20; Кадр	Програмовані дії
N5M98P500;	Ввід підпрограми
N6M08;	Ввімкнення подачі ЗОР в зону шліфування
N10G90G01H01X0,23F500;	В абсолютній системі ввід корекції (припуску) по осі X (на радіус)
N12M01;	Програмована зупинка
N13M98P303;	Ввід підпрограми на правку круга з компенсацією по X
N14M98P302;	Ввід підпрограми з подачею по X 0,06 мм на робочий прохід шліфування (довжина обмежена упорами), прискорений відвід круга і прискорений рух у зворотному напрямку
N20G01H01X0.17F500;	Подача на врізання 0,06
N21M01;	Програмована зупинка, використовується для корекції положення круга в різьбовій канавці

Закінчення табл. 4.2

% 20; Кадр	Програмовані дії
N22M98P303;	Правка круга
N23M98P302;	Другий робочий прохід
N30G01H01X0.11F500;	Подача на врізання 0,06
N31M01;	Програмована зупинка
N32M98P301;	Правка круга. Подача по X 0,04 мм
N33 M98P302;	Третій робочий прохід
N40G01H01X0.07F500;	Подача на врізання 0,04
N41M01;	Програмована зупинка
N42M98P301;	Ввід підпрограми на тонку правку круга з компенсацією по X
N43M98P302;	Четвертий робочий хід шліфування
N50G01H01X0.03F500;	Подача на врізання 0,03
N51M01;	Програмована зупинка
N52M98P301;	Тонка правка
N53M98P302;	Остаточний робочий хід шліфування
N60G01H00X0.00F500;	Зняття корекції, повернення у вихідну точку
M30;	Кінець програми

З наведеного прикладу бачимо, що обробка на різешліфувальному верстаті потребує знань тонкощів цього процесу, а програмування рухів виконавчих органів і режимів обробки виконується відповідно до тих самих правил, що й на іншому, наприклад токарному, обладнанні.

4.7. Електроерозійна обробка на верстатах з ЧПК

Електроерозійна обробка — це технологія обробки об'ємних деталей простих і складних форм, вирізання або розрізання деталей шляхом руйнації металу електричними розрядами між електродом-інструментом і оброблюваною деталлю — другим електродом. Сучасні електроерозійні верстати з ЧПК використовуються для обробки наскрізних та глухих отворів різної поперечної форми, формування складних пазів, заточування різального інструменту, декоративної обробки поверхонь у деталях різної міцності зі струмопровідних матеріалів. Розглянемо два основні види електроерозійних верstatів з ЧПК.

Електроерозійні верстати для обробки об'ємних поверхонь складної форми шляхом випалювання електродом-інструментом, форма якого — дзеркальний відбиток оброблюваної поверхні. Інструментом служать електроди з графіту марки ЕЕПГ (підвищеної твердості й щільності, отриманої завдяки спеціальній технології спікання), мідні, з інших композитних матеріалів. Вибір матеріалу електрода залежить від оброблюваної поверхні, площі контакту, складності форми та вимог до точності обробки. Керування електродом здійснюється пристроєм ЧПК. Деталь під час обробки занурюється в діелектричну (струмонепровідну) рідину, як правило, діелектричну воду з антикорозійними присадками або рідке індустриальне масло. Рідина примусово циркулює під час обробки змиває шлам, що утворюється в робочій зоні. Залежно від режимів обробки операцію використовують для чорнового формування поверхонь, а також для фінішної обробки з точністю до 0,01 мм.

Сучасні електроерозійні прошивочні верстати забезпечують обертання електрода по двох або трьох осях. Це дозволяє обробляти внутрішні порожнини складної форми. Застосовуються під час виготовлення складних штампів та прес-форм для обробки наскрізних і глухих отворів, зокрема некруглої форми.

Досить поширеними є **електроерозійні вирізні верстати**, які виконують вирізання деталі електродом у вигляді дроту. Застосовують для цього мідний, латунний, вольфрамовий або молібденовий дріт діаметром 0,02÷0,3 мм. У ході обробки дріт прорізає паз, ширина якого визначається діаметром дроту, іскровим проміжком та режимами обробки. Це враховується під час розробки керуючої програми в координатах еквідистанти X і Y або (залежно від моделі верстата) заноситься до коректорів пристрою ЧПК, а значення координат відповідають зазначеним у кресленні. Шлам від процесу електроерозії вимивається направленим струменем технологічної рідини (гас або водний діелектричний розчин), в якій відбувається обробка.

Під час обробки йде постійне перемотування дроту між двома бобінами зі швидкістю 5÷11,5 м/хв. Натяг дроту і швидкість його перемотування залежать від характеристики матеріалу заготовки та її товщини, задаються напругою двигуна, для конкретного верстата вибираються за таблицею або графіком у паспорті (див. рис. 4.3). На робочій ділянці натяг дроту підтримується спеціальними напрямними.

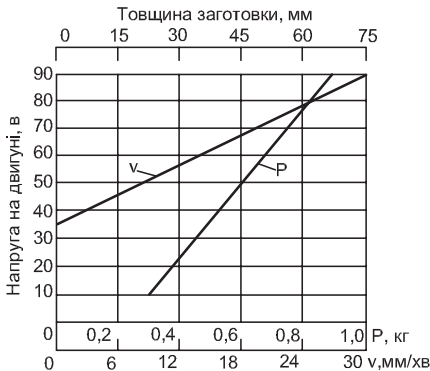


Рис. 4.3. Вибір натягу і швидкості перемотування дроту

Точність обробки залежить від стабільності діаметра дроту, міжелектродного проміжку, точності і жорсткості виконавчих органів верстата, досягає 0,01 мм. Шорсткість обробки перебуває в межах $1,0 < Ra < 4,0$ мкм. Шорсткість зменшується зі збільшенням товщини заготовки (тому плоскі деталі рекомендується оброблювати пакетом) і зі зменшенням діаметра дроту (чистові проходи виконують дротом меншого діаметра). На шорсткість впливає також характеристика оброблюваного матеріалу, наприклад, при обробці на однакових режимах шорсткість деталей із твердого сплаву на 15÷20 % нижча від шорсткості сталей. Блок адаптивного керування режимами обробки стежить за енергетичним навантаженням електрода-дроту, підтримує його постійним у заданих межах, стабілізуючи таким чином хід процесу і якість обробки.

Швидкість обробки гартованої і не гартованої сталі практично однакова. Леговані тугоплавкі матеріали знижують швидкість обробки.

Розглянемо приклад розробки керуючої програми оброблення деталі на електроерозійному верстаті з ЧПК 4732Ф3М із пристроєм ЧПК 2С-43.

Нехай в деталі з твердого сплаву (див. рис. 4.4) потрібно вирізати отвір контуром 0—1—2—3—4—0, орієнтований відносно її бокових поверхонь, з нахилом 3° осі вікна. Для цього за таблицями паспорта верстата вибираємо рекомендований діаметр дроту $d = 0,25$ мм і встановлюємо рекомендовані там же режими обробки. Виставляємо скобу з бобінами дроту на необхідний кут. Для заведення електрода-дроту в деталі у точці С попередньо просвердлено отвір $\varnothing 1,5$ мм, з коорди-

Стіл з деталлю рухається по координатах X і Y згідно з командами пристрою ЧПК. Можна програмувати різні нахили дроту, що створює додаткові можливості для ускладнення форми оброблюваної поверхні. В сучасних електроерозійних вирізних верстатах програмується до шести координат.

Точність обробки залежить від стабільності діаметра дроту, міжелектродного проміжку, точності і

татами, як показано на рис. 4.4. Початок координат призначаємо в точці С, Y — вісь симетрії вікна. Установка дроту в точку початку обробки виконується у режимі «наладка» в послідовності:

— деталь установлюють і виставляють по базових сторонах на столі верстата в робочій зоні;

— підводять електрод-дріт до торкання з базовою стороною в довільній точці А. Це фіксують по індикації торкання на пульті генератора;

— відводять електрод-дріт по координаті Y в положення за зоною торкання з деталлю (потухає індикація на пульті генератора);

— переміщують дріт по координаті X на відстань $40 + \frac{d}{2}$;

— переміщують дріт по координаті Y до торкання з другою базовою поверхнею в точці В;

— положення дроту в отворі С по Y на відстані $30 + \frac{d}{2}$ буде точкою початку обробки вікна 0—1—2—3—4—0.

Обробку деталі виконуємо у два проходи: спочатку на чорновому режимі вирізаємо профіль під кутом 3° , для цього деталь перевертаємо базовою поверхнею вверх. Потім переставляємо деталь на опорну поверхню і формуємо на чистових режимах робочий поясок 4 мм. Така побудова технологічного процесу істотно знижує трудомісткість процесу, забезпечуючи необхідну якість обробки щодо точності і шорсткості. Використовуємо одну керуючу програму.

Частина програми обробки з нахилом дроту наведено в табл. 4.3.

Основні галузі застосування вирізних електроерозійних верстатів — вирізка пуансонів і матриць складної форми для штампів і прес-форм; вирізка деталей із гартованих сталей, твердих сплавів; деталей, під час обробки яких неприпустимою є силова дія; інших деталей зі складним контуром зовні або з отворами складної форми, наприклад шліцові отвори.

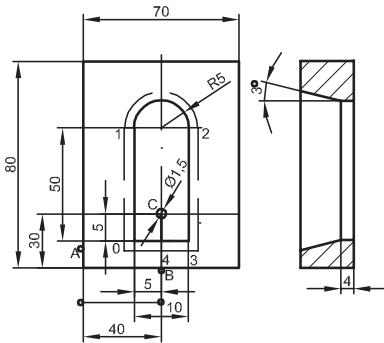


Рис. 4.4. Обробка вікна на електроерозійному вирізному верстаті

Таблиця 4.3

Кадр	Програмовані дії
N10 G92 X-5000 Y-5000;	Зміщення початку відліку командою G92 в точку 0, переміщення задані в дискетах. Ціна дискети 1 мкм
N20 G90 G01 G65 G41 T10 X5000 Y0 F100;	Вихід робочим рухом на контур, обробка проти стрілки годинника, ввід в коректор T10 розраховану за паспортом корекцію на еквідистанту, G65 — команда на обробку з нахилом дроту
N30 X0;	Вирізання робочим рухом заданого контуру під час обходу по координатах опорних точок
N40 Y50000;	
N50 G02 X10000 I5000 J0;	
N60 G01 Y0;	
N70 X5000;	
N80 G0 G40 Y5000 G66;	Вихід прискореним рухом в початок обробки, відміна корекції (G40) і нахилу дроту (G66)
N90 M02;	Кінець програми

Верстати з ЧПК *електрохімічної обробки (ЕХО)*. Електрохімічна обробка — це обробка струмопровідних матеріалів, унаслідок якої змінюються форма, розмір і шорсткість оброблюваної поверхні від дії електричного струму. Механізм обробки базується на процесі електролізу — кількість знятого металу пропорційна силі струму і часу обробки. Один з електродів (заготовка) приєднаний до додатного полюса джерела живлення і є анодом, другий електрод (інструмент) приєднаний до від'ємного полюса і є катодом. Відбувається об'ємне окислення (розчинення) анода й відновлення (осідання металу) на катоді, тому при ЕХО застосовують такі електроліти, за яких осідання на поверхню катода не відбувається. Цим створено основну перевагу ЕХО перед електроерозійною обробкою — незмінність форми і розмірів електрода-інструмента. Для видалення із зони обробки шламу застосовують примусову подачу (прокачування з певним тиском) електроліту.

Існує ряд різновидів ЕХО:

— електрохімічне об'ємне копіювання — форма електрода-інструмента віддзеркалюється на заготовці;

— електрохімічне прошивання — ЕХО, в результаті якої електрод-інструмент, заглиблюючись у заготовку, формує отвір постійного перерізу;

- струмне електрохімічне прошивання — ЕХО з подачею сформованої струмини електроліту в зону обробки;
- електрохімічне калібрування — ЕХО поверхні з метою підвищення її точності;
- електрохімічне точіння — ЕХО з обертанням заготовки та поздовжнім рухом електрода за програмою;
- електрохімічна розрізка заготовок;
- електрохімічне видалення задирок;
- електрохімічне маркування та інші різновиди.

Переваги ЕХО:

- можливість оброблення струмопровідних матеріалів різної міцності, в'язкості;
- висока продуктивність знімання металу з великої площі складної форми; відсутність контакту під час обробки з деталлю, відсутність високих температур, що зберігає вихідну якість оброблюваного матеріалу, виключає наклеп, створює можливість обробки нежорстких деталей, у тому числі тонкостінних;
- висока точність і низька шорсткість обробки;
- багаторазове використання електрода-інструмента.

Недоліки ЕХО:

- погана оброблюваність сплавів з високим вмістом вуглецю і кремнію;
- висока енергоємність;
- громіздке обладнання та потреба його антикорозійного захисту;
- складність проектування електрода-інструмента (він не є еквідистантною поверхнею до оброблюваної, а визначається розрахунково-дослідним шляхом), тому ЕХО економічно вигідна для серійних деталей. Широко застосовується в автомобілебудуванні.

Контрольні запитання

1. Назвіть можливості й переваги плоско- та профілешлифувальних верстатів.
2. Які параметри і функції плоскошлифувального верстата програмуються, а які — ні?
3. Назвіть можливості й переваги круглошлифувальних верстатів.
4. Які параметри і функції круглошлифувального верстата програмуються, а які — ні?

5. Назвіть параметри і функції безцентровою круглошліфувального верстата, які програмуються і не програмуються.
6. Які параметри і функції зубошліфувального верстата програмуються, а які — ні?
7. Назвіть параметри і функції різешліфувального верстата, які програмуються і не програмуються.
8. Охарактеризуйте електроерозійну обробку деталей на верстатах з ЧПК об'ємними електродами.
9. Опишіть обробку деталей на електроерозійних вирізних верстатах з ЧПК.
10. Охарактеризуйте електрохімічну обробку.

РОЗДІЛ V

ОБЛАДНАННЯ З ЧПК НА ЗАГОТОВЧИХ ОПЕРАЦІЯХ

Заготовчі операції є стартовими у процесі виготовлення окремої деталі й виробу в цілому. Їх якість і продуктивність істотно впливають на технологічний процес подальшої механічної обробки, термін і якість виготовлення кінцевої продукції. Розглянемо основні, найбільш поширені види заготовчих операцій і обладнання з ЧПК, на якому вони виконуються.

5.1. Розрізка прокату на обладнанні з ЧПК

Для розрізки прокату використовують:

— механічні пили — в індивідуальному виробництві та інструментальних цехах;

— абразивно-відрізні верстати — процес високопродуктивний, не потребує високої кваліфікації робітника, виконується на простому обладнанні дешевим інструментом — відрізними шліфувальними кругами. Кінцеві частини прута прокату, залежно від кількості вуглецю та легованих елементів у сталі, можуть прихоплюватися гартуванням від високих температур у зоні різання, що потребує їх відпапу перед механічною обробкою. Низьковуглецеві сталі, їх сплави, кольорові сплави на таких верстатах не розрізають через швидке залипання з наступним руйнуванням шліфувального круга. Ефективно цей процес використовувати для розрізки гартованого металу;

— дискові сегментні пили (пили Гелера) — основне найпоширеніше заготовче обладнання для різки прокату на більшості заводів країни;

— *стрічкопилні верстати* — сучасне автоматизоване обладнання для розрізки прокату, в тому числі із застосуванням ЧПК.

Використання цих верстатів раніше стримувалося несумісністю вимог до матеріалу різальної стрічки — гнучкість і високі різальні якості. Проблему було ви-

рішено завдяки розробці технології дифузійного зварювання — до бокової поверхні стрічки приварюється смужка шириною 2÷3 мм швидкорізальної сталі, на якій формуються різальні зубці потрібної висоти і розводки. Стрічкопильні верстати мають невелику вагу і потужність різання, набагато продуктивніші від пил Гелера, можуть бути оснащені:

- пристроєм для ступінчастого або безступінчастого регулювання швидкості різання залежно від технічних характеристик оброблюваного матеріалу;

- пристроями для точного позиціонування заготовок з магнітним і лазерним контролем довжини розрізки;

- пристроєм для швидкісного підйому та опускання пильної рами на холостому ході з переходом на робочі режими подачі під час різання в заготовку;

- механізмом швидкого повороту пильної рами на заданий кут відрізання з точністю до $0,5\div 1,0^\circ$;

- системою стеження за навантаженням різального полотна, яка автоматично зі зміною опору різанню заготовок складного поперечного профілю корегує режими розрізування;

- *пристроями числового програмного керування (ЧПК)* усіма параметрами процесу. Програмою задаються: кількість і довжина заготовок розрізки, швидкість різання залежно від марки оброблюваного матеріалу, тиск подачі й ін. Поточні значення параметрів обробки висвітлюються на дисплеї. Система контролює значення параметрів, швидко знаходить причину відхилень, по можливості усуває їх. Якщо відхилення показників процесу вийшли за межі допустимих, система зупиняє роботу, запобігаючи таким чином поломці інструмента або отриманню неякісних деталей. Сучасні пристрої ЧПК зберігають у пам'яті до 300 керуючих програм розрізки різних матеріалів, забезпечуючи в кожному разі реалізацію оптимальних режимів стрічкового розпилювання.

Якщо порівняти роботу стрічкопильного верстата з ЧПК з пилою Гелера, то, крім очевидних технічних переваг, під час розрізки, наприклад, сталі 45 діаметром 100 мм дістаємо такі показники:

- продуктивність стрічкопильного верстата на 30÷35 % вища;

- кількість спожитої електроенергії втричі менша;

— маса металу, що пішов у стружку від ширини різку, в 4,5 рази менша;

— собівартість розрізки на стрічковому верстаті порівняно з пилою Гелера на 40÷50 % нижча.

5.2. Розкрій та розрізка листового матеріалу

Розрізка листового матеріалу виконується на верстатах термічної або гідроабразивної різки. Верстати термічної різки мають газокисневе, плазмове або лазерне оснащення. Їх розміри, залежно від призначення, можуть коливатися від настільних до багатометрових для вирізки заготовок під зварювання мостів, кораблів, рам для вагонів, стріл кранів тощо.

Газокиснева різка застосовується для відносно грубої обробки, під час якої по краю різки утворюється окалина. Така обробка є придатною не для всіх марок металу. Перевага її в тому, що таким способом можливе розрізування металу товщиною до 300 мм, що не під силу жодному іншому методу.

Плазмова різка забезпечує кращу якість оброблюваної кромки, хоч і трохи гіршу, ніж лазерна, забезпечує кращу зварюваність металу порівняно з газокисневою різкою.

Створені з використанням лазерної різки деталі вирізняються високою якістю контуру і кромки різки. Технологія лазерного різання базується на потужній дії променя, сконцентрованого в точці на оброблюваній поверхні, що дозволяє різати матеріали незалежно від їх теплофізичних властивостей. Лазерна різка — одна з передових, сучасних, найбільш перспективних технологій обробки металу різанням, забезпечує вирізання складних контурів, точних отворів, пазів. Якість поверхні після лазерної вирізки відповідає вимогам остаточно обробленої деталі. Точність різки — від ± 1 мм до 10÷15 мкм.

Сучасні верстати термічної різки з пристроями ЧПК можуть мати кілька видів різального оснащення.

Гідроабразивна різка вирізняється високою продуктивністю й екологічністю, виконує розкрій металів, їх сплавів, зокрема важкооброблюваних. Різка виконується за допомогою водяного струменя води, змішаного з абразивними компонентами, який подається на оброблювану поверхню під

високим тиском. Ширина різку менша від всіх попередніх методів. Гідроабразивна різка застосовується для швидкісного розкрою прямолінійних і криволінійних контурів без втрати якості кромок.

Скорочення терміну підготовки плану розкрою, оптимальне розміщення деталей на листі, зменшення розходу листа істотно впливають на собівартість і якість виготовленої продукції. Для вирішення цієї проблеми сьогодні розроблені й ефективно використовуються комп'ютерні програмні комплекси, які за номенклатурою й кількістю відібраних деталей, враховуючи складські запаси, формують оптимальний розклад деталей на листах, забезпечують керуючі програми їх вирізання, листи ділового відходу заносять в базу даних системи для подальшого використання, ведуть облік понуменклатурної кількості вирізаних деталей.

Процес організовано в послідовності.

1. *Формування завдання на розкрій.* Для цього складають перелік всіх деталей, які потрібно виготовити з листової заготовки, зазначають кількість кожного найменування. Вибирають лист або залишок листа від попередньої вирізки необхідної марки металу, товщини, ширини тощо.

2. *Розміщення деталей на листі.* Виконують це «вручну» або автоматично по команді від керуючої програми.

«Вручну» на екрані комп'ютера у спеціальній САМ-програмі технолог розташовує деталі на зображеному там листі за допомогою графічного редактора. Функція контролю переміщень програми не дозволяє розташувати деталі ближче між собою і до краю листа, ніж це допустимо за технологією крою.

В автоматичному режимі керуюча програма сама розкладає деталі на листі оптимально по заданих або імпортованих з САД-програми контурах, витримує допустимі відстані до краю листа та між деталями. Автоматичний режим забезпечує максимальне використання листа. Отвори в деталях використовуються для викрою в них дрібніших деталей. Розкрій в автоматичному режимі може редагуватися технологом вручну. Це дає змогу вигідно використати переваги кожного режиму.

3. *Програмування обробки.* Вказують оброблювані контури деталей. Програма самостійно призначає траєкторію руху інструмента з урахуванням необхідних поправок, формує підходи й відходи (по прямій, по дузі, по нормалі, до-

тичній тощо), допоміжні переміщення інструмента, команди ввімкнення і вимкнення різачка, режими роботи різачка на різних стадіях обробки, корекції і под. За потреби розроблена програмою траєкторія може редагуватися технологом вручну.

На контурі деталі можуть зазначатися непрорізувані ділянки — перемички. Будуючи траєкторію, програма автоматично формує в таких місцях команди вимкнення і ввімкнення різачка й відрізки підходу та відходу.

Для якісної обробки кутів у траєкторії руху різачка передбачено спеціальні петлі. Є можливість виконувати фаски під зварювання.

Сучасні верстати термічної різки поворотом різачка в просторі можуть виконувати 3D-обробку, розрізаючи плоский лист. Для цього командами від пристрою ЧПК різач нахиляється на потрібний кут, суміщаючи нахил із переміщеннями. Рухи різачка візуалізуються на дисплеї, що використовується для налагодження і контролю процесу.

Розроблена таким чином програма може зберігатися в пам'яті ЧПК і використовуватися в майбутньому на тому самому або іншому верстаті. Через постпроцесор програма адаптується до багатьох верстатів розрізки та пристроїв ЧПК.

Для виконання операції в САМ-програму вводять вхідні дані:

- креслення заготовки з САД-програми;
- специфікацію: найменування та позначення деталі в конструкторській документації, кількість кожного найменування;

САМ-програма формує (див. Додаток 2):

- карту розкрою листа — зображення листа з розташованими на ньому деталями, наскрізними різачами;
- текстову інформацію: позначення деталей, їх габарити, номер у специфікації, кількість, масу, витрату листа за площею і масою, залишки.

5.3. Крій розгорток повітропроводів

Спеціальна програма, наприклад «Интех-Duct», забезпечує в автоматичному режимі:

- створення 3D-моделі елементів повітропроводу або їх імпортування з САД-програми;

- розрахунок і побудову розгортки повітропроводу по його 3D-моделі;
- врахування на розгортках технологічних припусків на фальці, замки, припуски на зварювання з прорисовкою цих припусків і ліній загинів;
- розподіл розгортки на кілька фрагментів (за потреби);
- збереження контурів деталей-розгорток у вигляді стандартних файлів;
- формування завдання для наступного створення карти розкрою.

Програма забезпечує оптимальне розміщення плоских розгорток на листі, формує карту розкрою з розробкою програми вирізання та її передавання в пристрій ЧПК верстата для термічної розрізки.

5.4. Згинальні верстати з ЧПК

Гнуття листового металу на згинальних верстатах з ЧПК порівняно зі звичайними має такі переваги:

- продуктивність обробки збільшено на 40÷50 %;
- автоматизація процесу підвищила його точність, стабільність і безпечність;
- ліквідовано паяння швів, які негативно впливають на довговічність і міцність виробу.

Згинанню підлягають листи з конструкційної вуглецевої сталі. ЧПК автоматично розраховує необхідне для гнуття зусилля, залежно від характеристики металу, товщини листа й форми профілю. Необхідна для гнуття обрізка ріжків, країв заготовки може виконуватися на координатно-пробивних пресах.

5.5. Координатно-пробивні преси з ЧПК

Координатно-пробивні преси з ЧПК призначені для пробивання отворів, вирубки, штамповки листового металу відповідно до заведеної з пульта пристрою ЧПК керуючої програми. Основні переваги: висока продуктивність за рахунок швидкості переміщень — до 40 м/хв, висока точність позиціонування — $\pm 0,1$ мм.

Обробка відбувається шляхом переміщення з високою швидкістю затиснутого на столі прихоплювачами листа в запрограмовану координату, послідовної зміни штампового

інструмента в робочій позиції револьверної головки і спрацьовування виконавчого механізму повзуна преса. Управління рухами здійснюється системою ЧПК. Є преси, які замість револьверної головки можуть оснащуватися магазинами штампів — до 32 гнізд і більше.

5.6. Труборізні верстати з ЧПК

Труборізні верстати з ЧПК використовуються під час виготовлення металоконструкцій, вузлів трубопроводів. У цих випадках потрібно виготовити деталь із труби, яка чітко по кромках для зварювання з'єднається з іншою трубою такого ж або іншого діаметра, а інколи і форми. Для обробки таких деталей верстат виконує рухи по двох, трьох або чотирьох осях одночасно (2D-, 3D-, 4D-програмування обробки). Робочим інструментом служить різак газової, плазмової або лазерної різки.

Основним рухом під час обробки труби є її обертання навколо своєї осі і переміщення вздовж неї інструмента — схема руху найпростішого 2D-труборіза, яка використовується для різки тонких труб. Якщо додати нахил різака у вертикальній площині і його обертання навколо вертикальної осі, отримуємо 3D- і 4D-обробку, що забезпечить вирізання складного отвору для з'єднання круглої труби з фасонним елементом. САМ-програма створює керуючу програму для виконання різноманітних перерізів при з'єднанні труб, наприклад: фланцеві, колінчасті, трійники, патрубки з труб різного діаметра, товщини, форми. Процес вирізання візуалізується в об'ємному форматі.

5.7. ЧПК та адитивні технології в ливарному виробництві

Сьогодні традиційна технологія отримання виливків така: розробка конструкторської документації, виготовлення майстер-моделі, створення піщаної форми та її заливка розплавом металу. Найбільш трудомісткою частиною цього процесу є виготовлення майстер-моделі відповідно до вимог майбутнього виливка. Виготовляються майстер-моделі порізного: на одних підприємствах виконуються з пластмаси,

м'яких металів чи дерева на верстатах з ЧПК, на інших — створюються вручну висококваліфікованими майстрами-модельниками. В усіх випадках існують такі традиційні проблеми:

- низький коефіцієнт використання металу;
- великі припуски на механічну обробку;
- відсутність гнучкості виробництва (швидка переналадка на новий виріб);
- складність розробки ливниково-живлющих і газовідвідних систем;
- дефекти литва (недоливи, облой, тріщини у формі, раковини тощо);
- висока трудомісткість створення модельного оснащення;
- для реалізації процесу задіяні виробничі потужності, висококваліфікований персонал, характерні великі затрати часу.

Сьогодні такі затрати можна скоротити багаторазово, застосовуючи адитивні технології (див. параграф 2.21), згідно з якими по 3D-моделі, створеній у CAD-програмі, на 3D-принтері або у спеціальній адитивній установці вироцують майстер-модель. Ці технології істотно модернізують литво в піщано-полімерні та керамічні форми, в кокіль, в землю (піщано-глинисті суміші), в холодно-твердіючі суміші, литво в вакуумі, литво по виплавлюваних моделях, а саме:

- завдячуючи пошаровому створенню форми і стержня розширилися можливості литва: в напрямі формування надскладних конфігурацій форми, об'єднання в одну деталь форми і стержня, створення спеціальних охолоджувальних порожнин, можливості відливати тонкостінні деталі та ін.;

- істотно скорочено час отримання першого виливка за рахунок усунення тривалої підготовки виробництва і, за потреби, повторення процесів для корегування виливка за формою або розмірами;

- значно зменшено масу виливка і припуск на механічну обробку завдяки вищій якості заготовки (5÷6 клас точності й шорсткість Ra 10÷16 мкм), розширилася номенклатура деталей, отриманих литвом. Відпала потреба обробки майстер-моделі на верстатах з ЧПК, а разом із цим — в операторах і технологах-програмістах, не кажучи вже про народних умільців — висококваліфікованих майстрів-модельників.

Контрольні запитання

- 1. Назвіть переваги застосування стрічкопильних верстатів з ЧПК.*
- 2. Які Вам відомі способи розкрою листа?*
- 3. Опишіть послідовність програмування розкрою листа.*
- 4. Яке призначення координатно-пробивного преса?*
- 5. Охарактеризуйте особливості застосування адитивних технологій у ливарному виробництві.*

ДОДАТКИ

Додаток 1

Додаткові правила безпеки під час роботи на верстатах з ЧПК

На працю оператора верстатів з ЧПК поширюються загальні правила безпеки під час роботи на металорізальному обладнанні. Крім того, в міждержавному стандарті «ГОСТ ЕН 12415. Безопасность металлообрабатывающих станков. Станки токарные с числовым программным управлением и центры обрабатывающие токарные» викладено правила безпеки під час роботи на верстатах з ЧПК та оброблювальних центрах. Додаткові вимоги для безпечної роботи на верстатах з ЧПК і оброблювальних центрах наведено у цьому додатку.

Оператору верстатів з ЧПК чи оброблювальних центрів:

1) перед початком роботи:

— необхідно перевірити роботоздатність верстата і пристрою ЧПК за допомогою тест-програми, пересвідчитися в наявності масла у гідросистемі, перевірити роботу обмежувальних упорів, переконатися у відсутності на робочому місці непотрібних речей, а потрібні правильно розташувати. Виключити небезпеку падіння якихось з них;

— перевірити надійність укріплення пристосувань та інструментів, відповідність заготовки вимогам технологічного процесу, відхилення від точності настройки нуля верстата по всіх координатах, виключити можливість биття інструменту в шпінделі верстата;

— за потреби відрегулювати місцеве освітлення робочої зони так, щоб світло за її достатнього освітлення не потрапляло в очі працівнику;

— перевірити справність верстата при роботі на холостому ходу в ручному та автоматичному режимах, у разі виявлених несправностей або відхилень в роботі не розпочинати обробку й повідомити про це відповідальній особі;

— ознайомитися з робочим завданням, розкласти в необхідному порядку інструмент, скласти подані до обробки деталі в зручному для користування місці, перевірити наявність захисних решіток від стружки або вдягти захисні окуляри, перевірити справність дерев'яного настилу під ногами;

— встановити і закріпити на верстаті заготовку. Ввести в пристрій ЧПК або знайти в бібліотеці пам'яті потрібну керуючу програму, пересвідчитися у наявності й правильності розташування необхідного інструменту в магазині, обробити першу заготовку за програмою, перевірити її розміри на відповідність кресленню.

2) під час роботи потрібно:

— постійно спостерігати за роботою верстата: за контрольними точками програми, за характером і величиною лінійних та кругових переміщень робочих органів, за відхиленням характеру й рівня шуму механізмів верстата, за чіткістю виконання технологічних команд робочими органами;

— у разі переналадки обробки з однієї деталі на іншу контролювати положення обмежувальних упорів і правильність розташування деталі та вибору нуля відліку;

— вибірково контролювати розміри заготовки нової партії. В разі їх відхилення від зазначених у кресленні припинити роботу, повідомити про це майстра або наладчика;

— стежити за роботою інструменту візуально і на слух — по звуку різання;

— не допускати потрапляння ЗОР на елементи електрообладнання, стежити за цим і своєчасно усувати, за потреби викликати спеціаліста.

Особливу увагу слід звертати на стан затискних елементів оснащення, їх своєчасне чищення, вчасно замінити зношені новими або відновлювати самостійно; періодично перевіряти стан вузлів верстата і пристрою ЧПК з метою виявлення заздалегідь можливих відхилень від норми, яким краще запобігти, ніж потім усувати;

— не залишати обладнання з ЧПК працюючим без нагляду;

— усі підготовчі роботи виконувати на знеструмленому верстаті або в режимі «Наладка» (заміна пристосувань, інструменту, заготовок, установка упорів вихідного стану, кінцевих перемикачів, регулювання системи змащення вузлів тощо);

— не втручатися в автоматичний цикл роботи верстата перемикачами, кнопками, іншими елементами на панелі верстата чи пристрою ЧПК, крім «Припинення загального циклу».

Під час багатOVERстатного обслуговування, у зв'язку з додатковими рухами оператора, потрібно звернути увагу на зону обслуговування (розстановка тумб з інструментом, сте-лажів, столів, контейнерів із заготовками, деталями тощо), а також додатково звернути увагу на захист від стружки, окалини, розбризкування або витікання під ноги ЗОР.

У разі недостатньо відпрацьованого технологічного процесу (часта поломка інструменту, велике коливання припуску на заготовках, труднощі з наладкою та підналадкою в процесі обробки, невідповідність отриманих розмірів кресленню) необхідно припинити багатOVERстатне обслуговування, повідомити майстру або наладчику.

Вимоги техніки безпеки на верстатах з ЧПК в аварійних ситуаціях та по закінченню роботи такі самі, як і при роботі на універсальному обладнанні.

Інструкція з розробки керуючої програми (КП) в редакторі «Cimco Edit»

Розглянута версія 6 [29] «Cimco Edit». Після запуску відкривається головне вікно програми. У верхній частині вікна представлені її основні розділи (див. рис. 1):

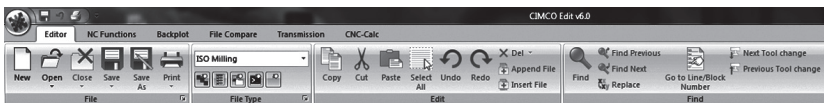


Рис. 1. Головна панель програми

Розділ «**File**» відкриває такі основні команди:

- New — створити нову КП;
- Open — відкрити створені раніше КП;
- Close all — закрити всі вікна;
- Save all — зберегти створене або внесені зміни, інші команди.

Розділ «**Editor**» (редагування) містить ряд команд (рис. 1), необхідних для редагування та створення тексту КП, основні з яких:

- Undo — відміна останньої виконаної дії;
- Redo — повернення до наступної дії;
- Cut — вирізати виділений текст;
- Copy — копіювати виділений текст;
- Paste — вставити виділений текст;
- Del — видалити виділений текст;
- Select all — виділити весь текст;
- Find — знайти заданий текст у КП;
- Insert file — зберегти файл, інші.

Розділ «**NC-Function**» — команди по роботі з текстом програми:

Insert/Remove — містить набір команд для правки тексту керуючої програми (КП), вставляння окремих фрагментів

тексту, параметри розташування тексту тощо. Наводиться переклад найбільш вживаних:

Auto insert Spaces — автоматичне ущільнення (розрідження) тексту КП для зручності роботи в редакторі;

Uppercase — введення та відображення тексту великими буквами;

Lowercase — введення та відображення тексту малими буквами;

Next Tool Change — вибір наступного інструмента з магазину інструментів верстата;

Previous Tool Change — вибір попереднього інструмента з магазину інструментів верстата;

Toolpatch Statistic — команда запускає зведену таблицю обліку терміну та шляху роботи інструментів у даній КП, зручна для швидкого підбору необхідної кількості кожного інструмента по його стійкості;

Simple math functions — прості математичні функції;

Rotate/mirror — команда повороту стола на заданий кут навкруг осі Z відносно заданої точки в площині XY, віддзеркалення;

Tool Compensation — корекція положення різальної крайки інструмента;

Insert Macro — вставити макрос;

Macro Setup — відкривається база даних по макросах, з можливістю їх правки та створення нових макросів;

Hide NC-Assistant — відображення вікна з текстом КП.

Розділ «*Transmission*» необхідний для відправлення створеної КП на верстат з ЧПК. Містить команди:

Send — відправити КП на обраний верстат;

Receive — отримати КП з верстата;

DNC — Setup — настройки для передачі КП на верстат.

Розділ «*CNC Calc*» відкриває інструменти з графічної підготовки КП, найчастіше вживані з яких:

New Drawing — запуск графічного вікна;

Open Drawing — відкрити графічний файл;

Draw points/lines — створення точок і ліній;

Draw Arcs/Circles — створення дуги, кола;
Draw Special — створення спеціальних елементів, наприклад, текст на оброблюваній поверхні;
Modify — робота зі створеними елементами: обрізка ліній, видалення тощо;
Milling operations — макроси найбільш поширених фрезерних операцій:
Contour milling — контурна обробка;
Face milling — фрезерування площини;
Pocket milling — фрезерування кармана;
Milling letters — фрезерування символів;
Mill true type letters — фрезерування літер;
Turning operations — макроси найбільш поширених токарних операцій:
Finish turning — чистове точіння;
Face turning — підрізка торця;
End Drilling — торцеве свердління;
Roughing turning — чорнове точіння;
Cutoff — відрізання при виготовленні з прута;
Threading horizontal — нарізання різьби;
Grooving — точіння канавки канавковим різцем;
Zoom — зміна масштабу в графічному редакторі.
Розділ «**Backplot**» запускає симуляцію обробки. Основні команди:
Backplot Window — запуск вікна симулятора;
Backplot file — відкрити файл;
Close Backplot — закрити симулятор;
Set view — встановити параметр відображення (напрямо погляду при обробці);
Simulation mode — вид симуляції;
Measure Distance — вимірювання відстані;
Show/Hide Toolpath — показати траєкторію руху інструмента;
Tool Setup — настройка відображення інструмента;
Show/Hide Solid Model — відобразити твердотільну модель в симуляторі;

Solid Setup — настройка моделі;
Zoom/Regenerate Solid — масштабування відображення,
регенерація моделі;
Backplot Setup — настройка симулятора;
Розділ «*File Compare*» — порівнювання відкритих файлів:
Next Difference — наступні відмінності;
Previous Difference — попередні відмінності;
Sync Right — синхронізація з правим файлом;
Sync Left — синхронізація з лівим файлом;
Go to last Difference — перейти до останньої відмінності;
Go to first Difference — перейти до першої відмінності;
Compare with Window — порівнювання в одному вікні;
Compare with file — порівняти з файлом;
Compare file with file — порівняти файл з файлом;
Save Compare file — зберегти порівнюваний файл.
Розділ *Setup* — для налаштування всіх елементів програми;
Розділ *Window* — для налаштування розташування відкритих вікон;
Cascade — розміщення вікон каскадом;
The horizontally — горизонтальне розміщення;
The vertically — вертикальне розміщення.
«Cimco Edit» дозволяє розробляти КП декількома способами.

Друкарський набір тексту КП, його перевірка через «Backplot»

Для цього відкриваємо вікно розділу «Editor».

У верхній частині вікна розташовані згруповані за призначенням команди. Нижче розташована панель швидкого запуску з найчастіше виконуваними командами.

Щоб створити файл керуючої програми, необхідно натиснути клавішу «File/New».

Для зручності набору програми в редакторі є готові коди команд і макроси стандартних частин програми. Наприклад (рис. 2), макрос початку і закінчення керуючої програми:

після вводу необхідних параметрів та їх підтвердження у вікні редактора з'являться ці частини тексту.

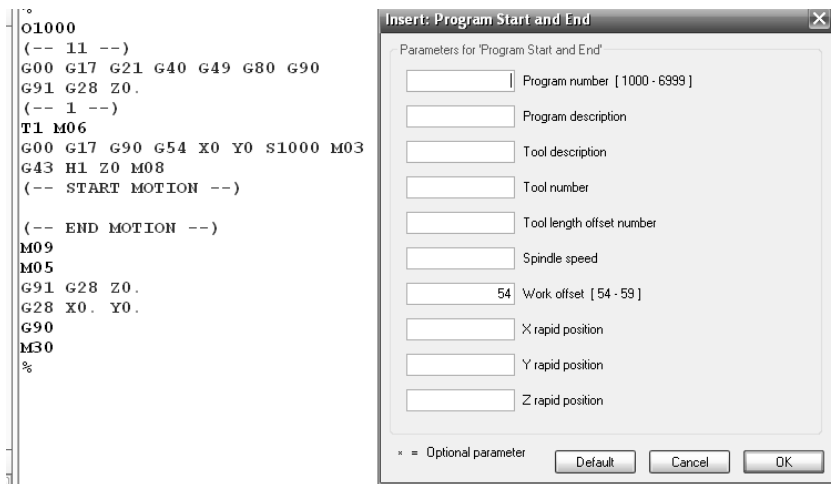


Рис. 2. Макрос набору початку і кінця КП

Для того щоб повністю набрати текст програми, треба двічі клікнути на кожному з потрібних G-кодів та ввести необхідну інформацію. При наведенні курсору на якийсь з G-кодів виводяться підказки — призначення команди, що полегшує їх вибір при написанні програми.

Для зручності читання й аналізу КП кадри з допоміжними функціями фарбуються в чорний колір, прискорений рух — в червоний, робочі лінійні переміщення — в зелений, кругова інтерполяція — в голубий, інформація поза текстом програми — в синій. За бажанням користувача кольори можна поміняти.

Для контролю КП передбачений візуальний редактор, в якому можна спостерігати й перевіряти зображення інструмента і його траєкторію руху під час обробки запрограмованого контуру (симуляція обробки).

Симуляція вводиться командами розділу «Backplot/Backplot Window». У цьому ж розділі розміщені настройки симуляції: вибір системи координат, вид інструмен-

ту, масштабування, вимірювання відстані, хронометраж відпрацьованого терміну та часу різання кожним інструментом, відображення твердотільної моделі тощо. В лівій частині вікна симуляції розташований текст КП, а в правій — вікно симуляції (рис. 3), під яким знаходяться кнопки керування — старт симуляції, швидкість, координати положення інструмента і його номер в тексті КП. У вікні симуляції зображено інструмент в початковій точці, траєкторію і систему координат.

Для зручності редагування КП передбачено світлове виділення рядка КП при підводі до нього курсору і відповідну йому позицію інструмента у вікні симуляції обробки праворуч. Це робить простішим знаходження необхідного для виправлення місця КП.

На рис. 3 наведено приклад КП обробки контуру деталі «лопатка» на свердлильно-фрезерно-розточувальному ОЦ з пристроєм ЧПК «FANUK» (див. рис. 2.13, табл. 2.4, % 10), з її перевіркою через «Backplot». Фігура на правій частині поля по формі відповідає оброблюваному контуру деталі з рис. 2.13. Рухаючи курсор по тексту КП, перевіряємо координати опорних точок траєкторії (показано в нижній частині вікна), контролюємо відстані між окремими точками на відповідність вказаним на рис. 2.13, спостерігаємо напрямок руху інструмента при обробці.

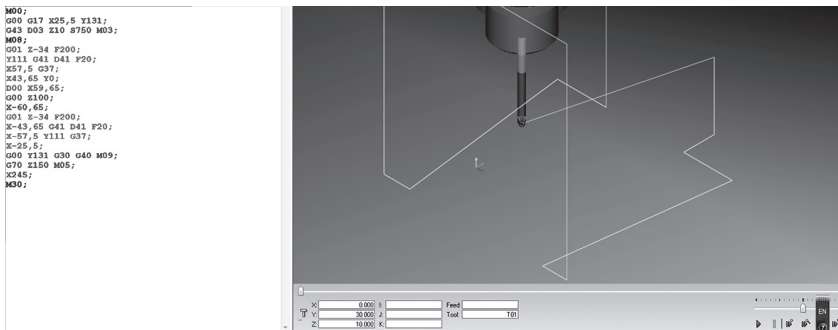


Рис. 3. Програма обробки деталі «лопатка» з рис. 2.13 та її візуалізація і перевірка

Активізуючи функцію «Toolpath Statistics», фіксуємо:

- час обробки деталі 0,1856 години;
- повний шлях, пройдений інструментом, 1363,3136 мм;
- довжина траєкторії різання 518,7215 мм;
- прискорений рух 844,5921 мм.

На рис. 4 наведено приклад розробки з перевіркою КП остаточної обробки внутрішнього діаметра втулки на токарному верстаті з ЧПК з пристроєм «FANUK». Перевіряючи виконуваний діаметри, множимо значення, отримані на екрані, на 2 — як бачимо, на рисунку зображені радіуси обробки. Довжина, як і в попередньому прикладі, відповідає запрограмованому значенню. Активізуючи в розділі «NC Functions» опцію «Toolpath Statistics», як і в попередньому випадку, можемо зняти розрахункові дані: стрічковий час, робочий та повний шлях інструмента.

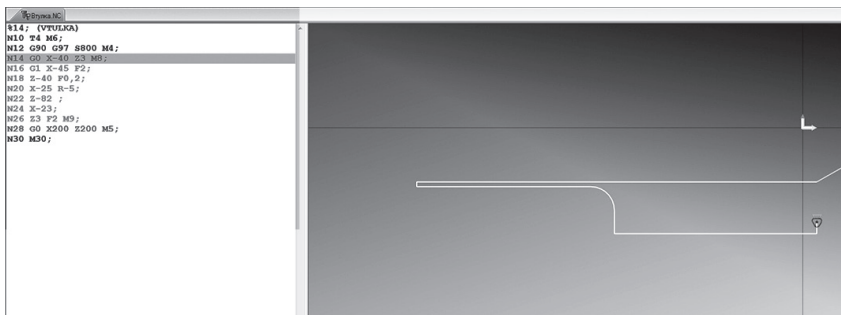


Рис. 4. КП обробки внутрішнього діаметра втулки з рис. 3.15, б на токарному верстаті, її візуалізація та перевірка

На рис. 5 представлена КП %29 обробки отворів деталі з рис. 2.23 на свердлильно-фрезерно-розточувальному оброблювальному центрі з її візуалізацією та перевіркою. В обробці задіяні три інструменти. Як і в попередніх прикладах, перевіряються координати обробки кожним, стрічковий час (43,34 хв) та час різання (41,05 хв).

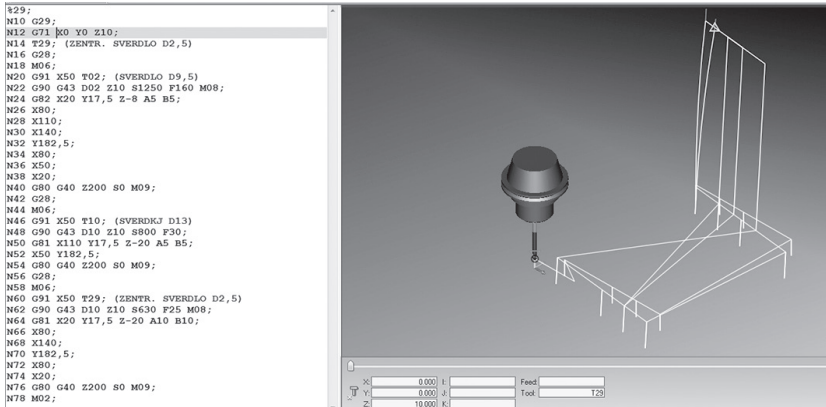


Рис. 5. КП обробки отворів деталі з рис. 2.23 з візуалізацією та перевіркою

В «Cimco Edit» існує метод розробки КП — у зворотному напрямку: по зображеній в графічному вікні «Drawing Window» траєкторії руху інструмента через послідовність визначених дій в «Editor» відтворюється текст КП — так званий метод графічного програмування. Використовується цей метод, в основному, для простих програм (одним інструментом з постійною глибиною профілю по Z), при складанні КП безпосередньо біля верстата з візуалізацією і перевіркою траєкторії руху через «Backplot».

Графічне програмування

Для переходу в розділ графічного програмування використовують кнопку на панелі інструментів «CNC-Calc». Далі команди вибираються через інструментальні панелі.



Рис. 6. Масштабування зображення

Після переходу в цей режим інтерфейс програми змінюється (див. рис. 7): відкривається нове вікно під вивід графіки, активізується ряд панелей з інструментами для графічної роботи — піктограмками (або

кнопками) у верхній частині вікна (виділено рамкою — п. 2 на рис. 7).

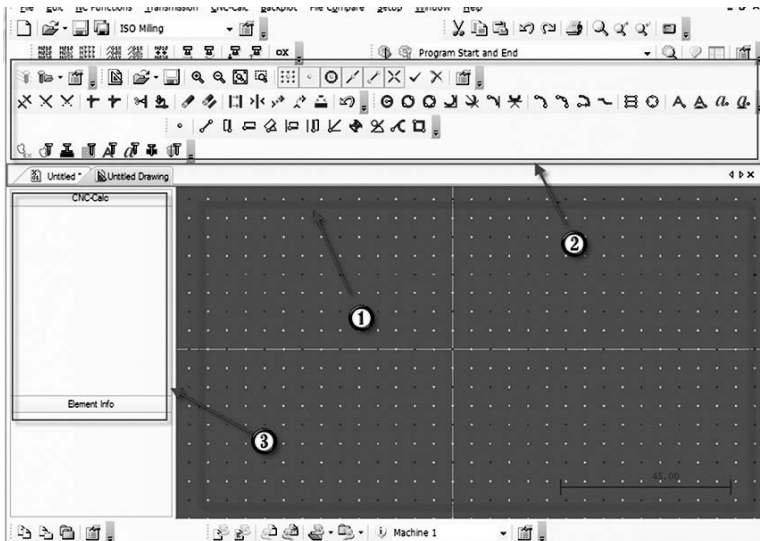


Рис. 7. Інтерфейс програми в режимі графічного (візуального) програмування: 1 — область графічного зображення; 2 — панелі інструментів; 3 — область налаштувань/параметрів

Нижче графічного поля 1 знаходяться кнопки для вибору інструмента, напрямку його руху під час обробки, режимів обробки, координат тощо.

Керування зображенням на екрані (рис. 6) здійснюється, як і в режимі «Backplot» (зліва направо: збільшити, зменшити, показати все креслення, вибрати окрему частину і збільшити через вікно).

В лівій частині екрана знаходиться частина налаштувань поточного елемента чи команди (рис. 7, п. 3).

Панель інструментів 2 містить:

— панель прив'язок (snap) до характерних елементів геометрії (зліва направо на рис. 8): до сітки, точки, центру дуги або кола, середини або кінцевої точки лінії, точки перехрещення примітивів: (1) — активізація прив'язок, (2) — скасування;

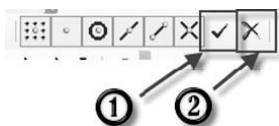





















Рис. 8. Прив'язки:
1 — всі активізувати; 2 — всі скасувати




— набір піктограм для створення та редагування графічних примітивів — простих елементів траєкторії руху інструмента. Графічні примітиви можна створювати по координатах, редагуючи значення параметрів. Програма дозволяє створювати: точки, відрізки прямої, кола, дуги, набори точок під місця свердління отворів, контури літер під наступне гравірування. Нижче наведено перелік основних з них.

Панель інструментів «прямолінійні відрізки»





-  — окрема точка;
-  — відрізок прямої між двома точками;
-  — вертикальний/горизонтальний відрізок прямої заданої довжини;
-  — відрізок від точки під заданим кутом;
-  — перпендикулярний/паралельний відрізок;
-  — дотична до двох об'єктів;
-  — дотична до кола або дуги під кутом;
-  — дотична, проведена із заданої точки;
-  — прямокутник;
-  — бісектриса кута.

Панель інструментів «дуги і кола»









-  — коло по центру і радіусу;
-  — коло по двох точках на його діаметрі;
-  — коло по трьох точках;
-  — дуга, дотична до двох ліній;
-  — дуга, дотична до лінії з центром на іншій прямій;
-  — дотична дуга з даної точки;
-  — дуга, дотична до трьох ліній;
-  — дуга по двох точках і радіусу;
-  — дуга по трьох точках;

-  — дуга по центру, радіусу та куту нахилу радіуса в її початку та кінці;
-  — дуга дотична до лінії і проходить через задану точку;
-  — прямокутний та круговий масив точок під свердління стандартними циклами.

Панелі для вибору методики (стратегії) обробки:

-     — інструменти візуального програмування обробки на свердлильно-фрезерних верстатах, зліва направо:
 - фрезерування контуру, виступу або впадини (Contour milling) кінцевою фрезою;
 - фрезерування відкритої поверхні (Face milling), як правило, торцевою фрезою;
 - фрезерування порожнин, карманів (Pocket milling), як правило, кінцевою фрезою;
 - цикл свердління (Drill Cycle), часто включає попереднє центрування, свердління, знімання фасок, розвірчування, нарізання різьби.

Інструменти візуального програмування токарної обробки:

-  — експорт контуру;
-  — остаточне чистове точіння контуру (Finish);
-  — підрізання торця (Fact Turn);
-  — свердління (Drill);
-  — чорнове точіння (Rough);
-  — відрізання (Cut off);
-  — нарізання різьби різцем (Taper);
-  — нарізання канавок (Grooving).

Розглянемо графічне програмування обробки контуру на свердлильно-фрезерному верстаті з пристроєм ЧПК «FANUC». Контур містить прямі й кругові відрізки. Порядок дій:

- 1) використавши піктограму прямокутника, побудувати прямокутник 120×100;
- 2) активізувати прив'язки;
- 3) використавши піктограму кола по центру і радіусу, побудувати коло в центрі прямокутника радіусом 25 мм з

центром в початку координат, що співпадає з центром прямокутника;

4) скасувати прив'язку по сітці;

5) використавши прив'язку до середини відрізка, побудувати 2 кола радіусом 15 мм на середині правої та лівої сторін прямокутника;

6) використавши прив'язку дуги, дотичної до двох ліній, побудувати заокруглення на вершинах прямокутника радіусом 15 мм;

7) клавішею «Esc» завершити побудову.

Приклад внесення даних для побудови і графічний результат показано на рис. 9

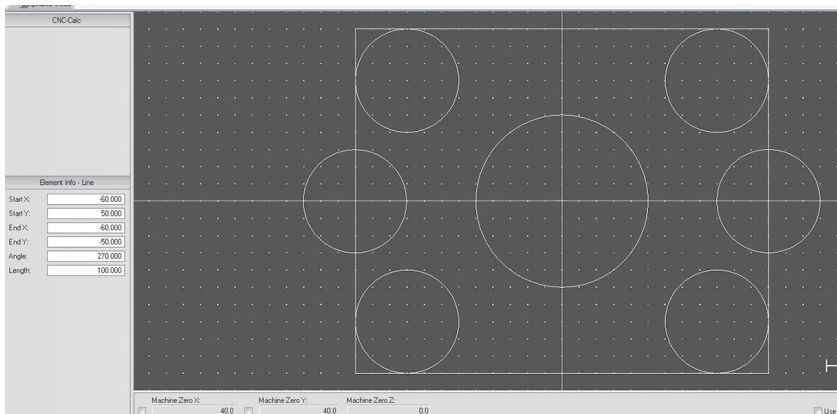


Рис. 9. Заготовка з геометричних примітивів для побудови контуру

Використаємо побудовану геометрію як контур для обробки кінцевою фрезою $\varnothing 10$ мм з глибиною фрезерування 5 мм. Для цього виконаємо наступні підготовчі дії:

1) виберемо на панелі програми постпроцесор для фрезерування (ISO Milling);

2) для визначення траєкторії і напрямку обходу вибираємо піктограму «Contour milling» (фрезерування контуру);

3) вибираємо початок обробки і напрямок обходу контуру — фреза праворуч. Обходимо контур в одному напрямку від початкової точки до кінцевої, які в нашому випадку

співпадають. Для цього підводимо курсор в початкову точку. На контурі з'являється стрілка, яка вказує напрямок обходу. Рухаємо курсор по контуру, — система автоматично забезпечує проходження з'єднань графічних примітивів до точки розгалуження (перехрещення ліній);

4) в точках розгалуження курсором вказуємо лінію, по якій необхідно рухатись. Якщо помилково активізували не ту лінію, для відміни в панелі є команда «Back», через яку курсором видаляємо неправильну траєкторію і повторюємо обхід;

5) формування контуру закінчується з приходом в початкову точку (див. рис. 10);

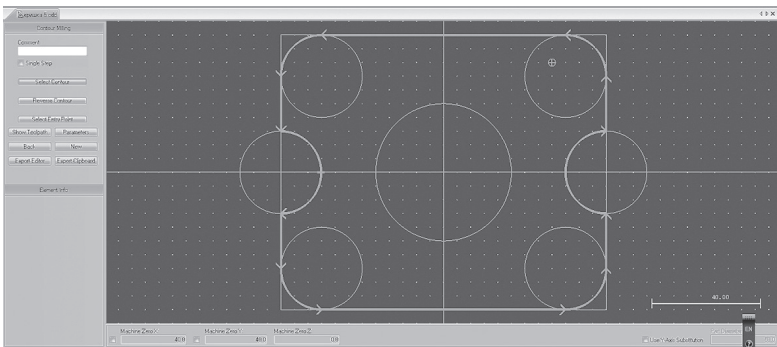


Рис. 10. Обработка контуру обходом фрезы праворуч

6) встановлюємо необхідні параметри циклу обробки, які враховують розміри інструмента, особливості чистової та чорнової обробки, підведення і відвід інструмента. Для внесення параметрів обробки в лівій частині екрана висвічується відповідне вікно (рис. 11), в якому:

- 1 — діаметр фрези (візьмемо 10 мм);
- 2 — висота, на якій знаходиться інструмент перед обробкою, 10 мм;
- 3 — безпечна відстань для прискорених переміщень над поверхнею деталі;
- 4 — положення площини початку обробки по Z;
- 5 — глибина контуру по осі Z;
- 6 — кількість проходів у площині XY;

- 7 — припуск на прохід в площині XY;
- 8 — глибина різання по осі Z;
- 9 — припуск на сторону в площині XY;
- 10 — припуск по осі Z;
- 11 — сторона обходу контуру — справа (Right).
- 12 — вікно над п. 11 визначає тип компенсації: Computer (як на табло); ЧПК — компенсація вноситься з пристрою ЧПК; відключено — компенсація не потрібна — при обробці ось фрези рухається по контуру (фрезерування пазів типу шпонкових, можливих криволінійних пазів тощо).

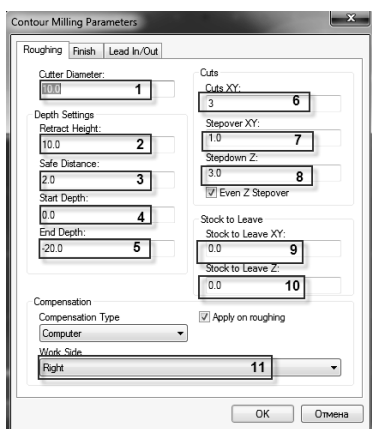


Рис. 11. Вікно параметрів обробки

Є спеціальне вікно для програмування підводів і відводів. Їх правильний вибір значною мірою впливає на стійкість інструмента і якість оброблюваної поверхні. Вказується лінійна частина підводу по перпендикуляру або дотичній до оброблюваної поверхні і частина підводу (відводу) по радіусу.

Після виконаних зазначених дій, використавши кнопку «Show Toolpath», програма розраховує траєкторію руху інструмента і формує послідовність кадрів КП. Її можна експортувати в буфер обміну (export to clipboard) або у відкритий в текстовому редакторі файл КП (кадри будуть скопійовані в позицію, вказану курсором). Експортовані кадри можна перевірити через «Backplot» (див. рис. 12).

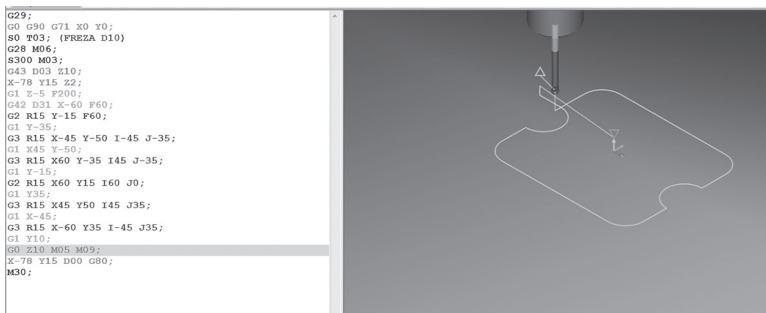


Рис. 12. Візуалізація й перевірка програми, розробленої в графічному редакторі

Інші типові процеси фрезерної обробки — фрезерування площин, вибірка карманів — при програмуванні в графічному редакторі мають багато спільного з розглянутою контурною обробкою. Необхідно тільки врахувати особливості цих процесів, викладені в параграфах 2.11 і 2.17.

Графічне програмування обробки отворів

У графічному редакторі «Сimco Edit» можливе також програмування обробки отворів, у тім числі згідно з циклами, розглянутими в параграфі 2.14. Таке програмування ефективне у випадках обробки великої кількості отворів, розташування яких утворює певний шаблон (Pattern) — по прямокутній або круговій сітці. Це дає можливість використати інструменти програми з формування систем отворів.

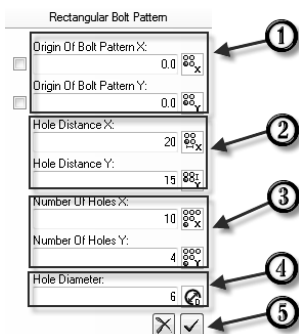


Рис. 13. Панель параметрів для свердління прямокутного масиву отворів

Програмування прямокутного масиву отворів. Розглянемо приклад свердління отворів, розташованих прямокутним масивом (рис. 14).

 — інструмент створення прямокутного масиву.

1 — координати центру першого отвору (в прикладі [0;0;]) — початок координат;

2 — відстань між центрами отворів по осях ХУ (в прикладі — 20 мм по Х, 15 мм по У);

3 — число отворів по осях (по Х — 10, по У — 4);

4 — діаметр отвору;

5 — кнопка створення масиву отворів.

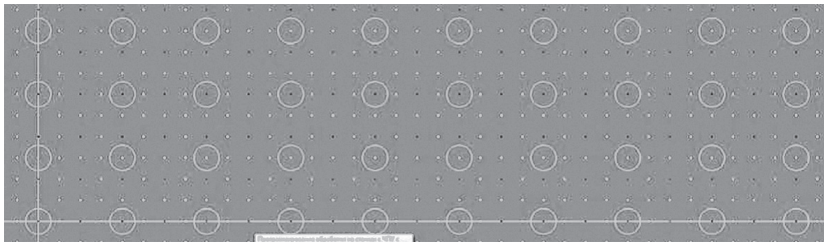


Рис. 14. Візуалізація заданого розташування прямокутного масиву

Розміщення кругового масиву відбувається майже аналогічно за наступною схемою: задають центр кола, на якому розташовані отвори, його радіус, кут у градусах між сусідніми отворами, їх кількість, діаметр отвору, кут між радіусом розташування першого отвору та віссю Х.

 — інструмент створення кругового масиву.

Якщо потрібно розмістити отвори рівномірно по всьому колу, то кут між ними задають рівним $360/Z$, де Z — число отворів.

1 — координати центра кола, на якому розташовані отвори (в прикладі — [0;0;]) — початок координат);

2 — радіус кола розташування отворів (в прикладі — 100 мм);

3 — кут між радіусом до центру першого отвору та віссю Х (в прикладі — 0°);

4 — кут між сусідніми отворами (в прикладі 10°);

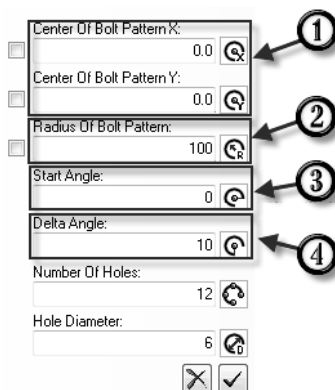


Рис. 15. Панель параметрів для кругового масиву отворів

Решта параметрів як і в прямокутному масиві: кількість отворів 12, діаметр 6 мм.

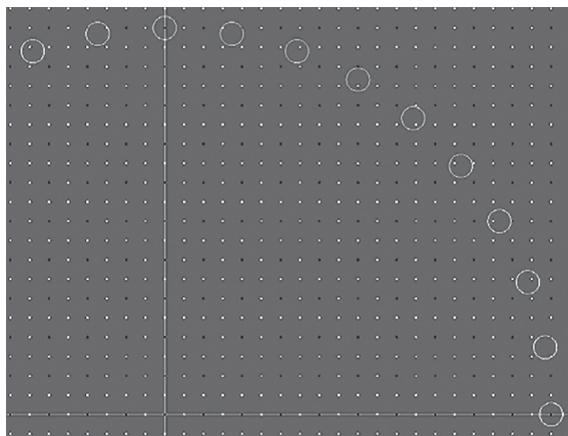


Рис. 16. Графічний результат заданого розташування отворів по колу

Послідовність обробки отворів може вказуватися стрілкою на рисунку.

В редакторі є можливість програмувати свердління коротких отворів — безперервним рухом інструмента на робочій подачі (опція «Canned») і свердління глибоких отворів («Longhand»). В «Longhand» передбачені і в про-

грамі відображені всі необхідні рухи свердла (цикл G83 (див. параграф 2.14). Програма в такому випадку суттєво збільшується (24 кадри проти 225). Тому, як правило, при експортуванні з графічного редактора вказують «Canned», а потім в текстовому редакторі вручну вводять кадр з командою G83, якщо такий цикл виконується даним пристроєм ЧПК.


Графічне програмування токарної обробки

Токарна обробка, порівняно з фрезерною, є більш простою для програмування — переміщення різця відбуваються в одній площині XZ, хоча є своя специфіка, яку треба враховувати.

До початку програмування, щоб врахувати особливості генерації траєкторії руху інструмента, необхідно задати постпроцесор токарного верстата (стандартний ISO Turning або аналогічний). Існує спеціалізована мова програмування для токарних верстатів фірми «Heidenhain» (див. параграф 2.19), несумісна з стандартом ISO. «Cimco Edit» може формувати програми під пристрої ЧПК «Heidenhain», а також перекодувати КІ цією мовою. Це також можна використати.

Якщо відкрити вікно графічного програмування в «ISO Turning», осі координат розташуються традиційно для токарної обробки: вісь Z — вправо, X — вгору. Щоб створити оброблюваний контур, використовують ті самі інструменти (див. рис. 7), що й при фрезеруванні. Треба мати на увазі, що в деяких версіях «Cimco Edit» діаметральні розміри (координата X) необхідно ділити на 2 — для зображення контуру вводити значення радіуса. Для розробки програми, як і при фрезеруванні, достатньо побудувати контур з геометричних примітивів і пройти його в інтерактивному режимі.

В токарній обробці часто виникає потреба зупинити обхід контуру не в місці розгалуження (кінець обробки біля патрона, точка, в якій міняється режим обробки, тощо). Для

цього на контурі або проводиться допоміжна січна лінія, або ставиться точка. По точці або січній розбивають простий елемент контуру інструментом . При обході контуру для зупинки в цій точці використовується кнопка «Back».

Розглянемо графічне програмування чорнової і чистової токарної обробки на прикладі обробки зовнішнього діаметра валика з рис. 3.14.

При чистовій обробці припуск порівняно невеликий, як правило, знімається за один прохід. Щоб її виконати:

1) за вказаною для фрезерування методикою створюємо оброблюваний контур з геометричних примітивів (рис. 17);

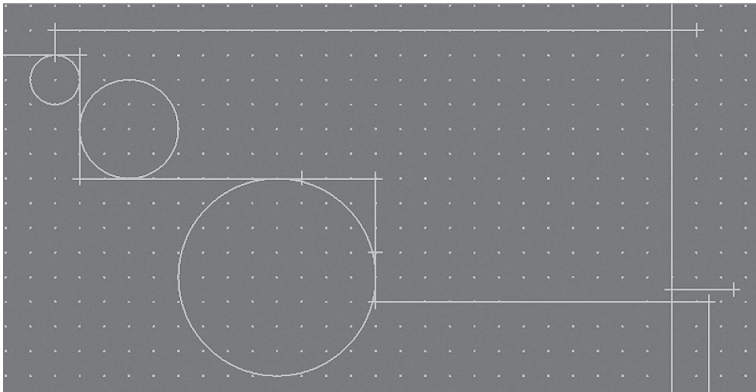


Рис. 17. Оброблюваний контур валика, створений з геометричних примітивів

2) активізуємо, як і у випадку фрезерування, створений контур (рис. 18);

3) на табло зліва відкриваємо вікно параметрів, вносимо дані, необхідні для обробки;

4) переходимо у вікно «Toolpath», пересвідчуємося в правильності вибраної траєкторії руху інструмента;

5) якщо знаходимо невідповідності, натискаємо «Back», відшукуємо помилки, вносимо виправлення, повторюємо перевірку переходом в «Toolpath»;

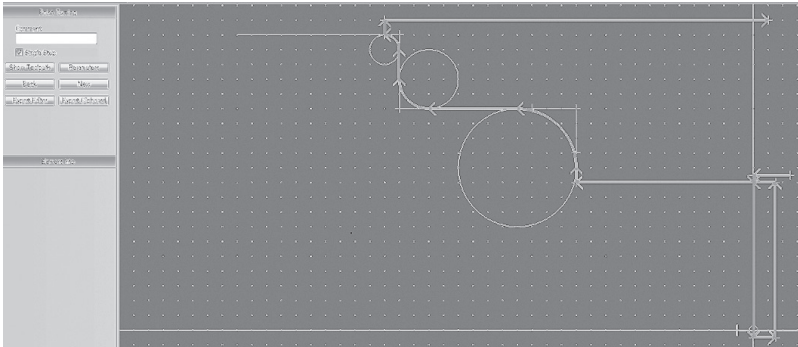


Рис. 18. Траєкторія руху різця по контуру

6) якщо траєкторія правильна, натискаємо «Export Editor», отримуємо текст КП. Вичитуємо, враховуючи особливості пристрою ЧПК, куди її необхідно відправити. Вносимо поправки;

7) переходимо в розділ «Backplot» (рис. 19). Відомими прийомами перевіряємо КП;

8) переходимо в розділ «Transmission», пересилаємо КП в пристрій ЧПК верстата призначення.

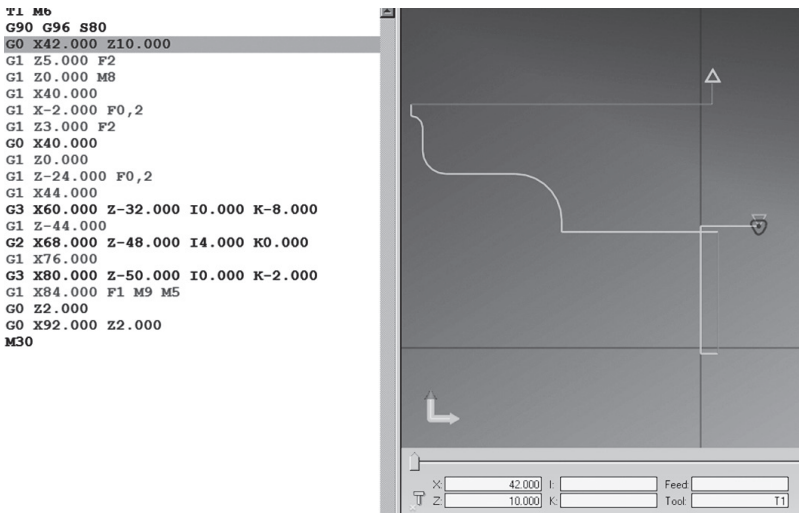


Рис. 19. КП, візуалізація та перевірка контуру чистової обробки валика в «Backplot»

Чорнова токарна обробка передбачає знімання великого об'єму металу осьовими проходами, паралельними осі Z. Методика (стратегія) чорнової обробки дозволяє обробку тільки місць деталі, відкритих з торця.

Після активізації кнопки «Rough turning» на екрані справа з'являється поле для викреслювання оброблюваного контуру, а зліва — панель з настройками.

Для виконання циклу «чорнове точіння» необхідно, користуючись вікнами панельки, задати: початкову точку циклу (Retract point), контур під обробку з системою координат, діаметр заготовки та основні параметри. Після активізації відповідної кнопки на панелі інструментів на екрані з'являється вікно, в якому відображені потрібні настройки. Для введення параметрів використовується діалогове вікно «Parameters».

У вікні «Work Orientation» активізуємо зображення відповідної схеми обробки. Для випадку, що розглядається, — верхня справа (рис. 20).



Рис. 20. Вибір схеми обробки

Як приклад розглядаємо чорнову обробку того самого валика (рис. 3.14), що й при чистовій обробці. Після нанесення контуру і призначення параметрів, натискуючи на панелі зліва «Show Toolpath» спостерігаємо схему рухів різця під час знімання чорнового припуску (рис. 21).

Активізуючи курсором кнопку «Export Editor», отримуємо надруковану КП чорнової обробки. Візуалізуємо програму через розділ «Backplot» (рис. 22), виконуємо остаточну перевірку геометричних параметрів. Аналізуємо текст програми на коректність для використання в конкретному пристрої ЧПК та верстаті. За потреби, в ручному режимі вносимо зміни та поправки.

0		¶10
5	G29	N10G29
7	G90G71X0Y0	N12 G90G71X0Y30
9	M00	N14 M00
1	G00G17X25.5Y131	N16 G00G17X25.5Y131
3	G43D03Z108750M03	N18 G43D03Z108750M03
5	M08	N20 M08
7	G01Z-34F200	N22 G01Z-34F200
9	Y111G41D41F20	N24 Y111G41D41F20
1	X57.5G37	N26 X57.5G37
3	X43.65Y0	N28 X43.65Y0
5	D00X59.65	N30 D00X59.65
7	G00Z100	N32 G00Z100
9	X-60.65	N34 X-60.65
1	Z-34	N36 Z-34
3	G01X-43.65G41D41F20	N38 G01X-43.65G41D41F20
5	X-57.5Y111G37	N40 X-57.5Y111G37
7	X-25.5	N42 X-25.5
	G01X131Z0640F1000M09	N44 G01X131Z0640F1000M09
1	G70G00Z150M05	N46 G70G00Z150M05
3	X245	N48 X245
5	M30	N50 M30

Рис. 23. Порівнювання двох файлів з КП на деталь з рис. 2.13

Інколи виникає потреба в *порівнянні двох текстів КП* для обробки одного й того ж контуру, щоб знайти відмінності в них. Для цього в «Сimco Edit» передбачений розділ «*File Compare*». Закладені в ньому функції дозволяють швидко визначити змінені, видалені або додані кадри, незважаючи на різницю в їх нумерації. Для цього через вікно «Compare File With File» виходимо в бібліотеку програм. Курсором послідовно натискаємо файли КП для порівнювання. На екрані відкриваються в два стовпці виведені програми. Рядки, в яких знайдена різниця, виділені забарвленням (рис. 23).

На рис. 23 наведено приклад порівняння двох варіантів КП на деталь з рис. 2.13. Забарвленням показано відмінність у двох кадрах, які задають координати початку обробки (N7/N12) і координати точки виводу інструмента після її завершення (N39/N44).

ЛІТЕРАТУРА

1. ISO 841 (ГОСТ 23597). Станки металорежущие с ЧПУ. Обозначение осей координат и направлений движений. Общие положения.

ISO 6983-1: 2009 (ГОСТ 20999). Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ.

2. *Аверченков А. В., Терехов Н. В., Жолобов А. А. и др.* Станки с ЧПУ: Устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка. — М.: Флинта, 2014. — 355 с.

3. *Анищенко М. В.* Системи числового програмування керування. — Х.: НТУ ХПИ, 2012. — 312 с.

4. *Бочков В. М., Сілін Р. І.* Обладнання автоматизованого виробництва. — Львів: Львівська політехніка, 2000. — 380 с.

5. *Бузулукін І. Я., Головінов В. П., Кіс В. І. та ін.* Програмування оброблення на фрезерному верстаті з пристроєм ЧПК 2С42. — К.: Вища школа, 2002. — 390 с.

6. *Воскобойников Б. С., Гречиков М. И., Гуськова Г. И.* Современные контрольно-измерительные системы в производстве // ИТО: Инструмент, технология, оборудование: Информ.-аналит. журн. (WWW. ИТО — NEWS.Ru). — 2011. — № 12; 2012. — № 1, 2.

7. *Гжиров Р. И., Серебrenицкий П. П.* Программирование обработки на станках с ЧПУ. — Л.: Машиностроение, 1990. — 591 с.

8. *Головінов В. П., Трикоз В. К., Щербаков В. П.* Програмування оброблення на токарних верстатах з пристроєм ЧПК 2Р22. — К.: Вища школа, 2002 — 112 с.

9. *Дерябин А. Л., Эстерзон М. А.* Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС. — М.: Машиностроение, 1989. — 340 с.

10. *Должиков В. П.* Основы программирования и наладки станков с ЧПУ. — Томск: Политехн. ин-т, 2011. — 145 с.

11. *Ловыгин А. А., Васильев А. В., Кривцов С. Ю.* Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. — М.: ЭльфИИПР, 2006. — 286 с.

12. Методические указания к разработке управляющих программ для станков с ЧПУ (детали класса 50). — Одесса: ОПИ, 1989. — 63 с.

13. Мониторинг ЧПУ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://monitoringcnc.ru>

14. *Морозов В. В., Гусев В. Г.* Программирование обработки деталей на современных многофункциональных токарных станках с ЧПУ: Учеб. пособие. — Владимир, 2009. — 236 с.

15. *Мирошин Д. Г., Шестакова Т. В., Костина О. В.* Технологии программирования и эксплуатации станков с ЧПУ. — М.: Рос. гос. проф. пед. ун-т, 2011. — 79 с.

16. *Муляр Ю. І., Дерібо О. В.* Програмування токарної обробки на верстатах з ЧПК. — Вінниця: ВНТУ, 2004. — 91 с.

17. *Оголь И. И.* Создание управляющих программ с помощью САМ-систем. — Томск: Политехн. ун-т, 2014. — 46 с.

18. *Проць С.* Аддитивная технология: описание, определение, особенности применения и отзывы. Аддитивные технологии в промышленности [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://fb.ru/article/231049/additivnaya-tehnologiya-opisanie-opredelenie-osobnosti>. 05.02.2016.

19. *Cimco Edit* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://cimco-software.ru>

20. *Міранцев С. Л. та ін.* Системи автоматизованого програмування на верстатах з ЧПК. — Краматорськ, 2012. — 151 с.

21. *Стискін Г. М., Ревнівцев М. П., Берізко М. М., Гаєвський В. Д.* Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням. — Львів: Оріяна-Нова, 2002. — 208 с.

22. Устройство числового программного управления (ЧПУ) 2С42 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.twirpx.com/file/338454

23. Устройство числового программного управления (ЧПУ) «Фанук» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [Cnc-space.com.ua/docs/fanuc-Oi.pdf](http://cnc-space.com.ua/docs/fanuc-Oi.pdf)

24. Устройство ЧПУ «Электроника МС-21-01, НЦ80»: Инструкция по работе. — 177 с.

25. *Харченко А. О.* Верстати з ЧПУ та обладнання гнучких виробничих систем: Навч. посіб. для студ. вузів. — К.: ВД «Професіонал», 2004. — 304 с.

26. *Щербаков В. П.* Програмування оброблення на токарних верстатах з пристроєм ЧПК моделі «Електроніка НЦ-31». — К.: Вища школа, 2003. — 221 с.

27. *Чесноков О. В.* Технологічні процеси для обладнання з ЧПК. — Луганськ: Ноулідж, 2013. — 139 с.

28. Электроэрозионный станок 4732Ф3М: Инструкция по программированию. — 69 с.

29. Programirovanie_obrabotki_nastankhschpusprimeneniemspr edaktora...pdf — Adobe Reader.

ЗМІСТ

Передмова 3

Розділ I. Верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Основні поняття та визначення..... 6

- 1.1. Можливості й переваги верстатів з ЧПК..... 6
- 1.2. Класифікація верстатів з ЧПК 8
- 1.3. Схема роботи верстата з ЧПК. Пристрої ЧПК (ПЧПК) 12
- 1.4. Основні поняття. Мова програмування 16
- 1.5. Зміст і побудова тексту програми..... 18
- Контрольні запитання 22

Розділ II. Програмування обробки на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПК (ОЦ) 23

- 2.1. Формат кадру..... 23
- 2.2. Система координат. Рух по координатах. Задавання переміщень 25
- 2.3. Координатна система верстата, деталі..... 29
- 2.4. Налаштування верстата. Бази. Карта налашки 31
- 2.5. Зміщення системи координат деталі (G70–G75) . 38
- 2.6. Підготовчі (технологічні) функції (команди) G .. 39
- 2.7. Позиціонування. Лінійна, кругова та гвинтова інтерполяція..... 41
- 2.8. Службові функції (команди) G04, G09, G28, G29, G31, G32 46
- 2.9. Допоміжні функції M 47
- 2.10. Нарізання різьби (G33)..... 48
- 2.11. Контурна обробка 49
- 2.12. Корекція радіуса та довжини інструмента. Функції G41, G42, G43, G44 51
- 2.13. Постійні цикли (ПЦ) 59
- 2.13.1. Вихід на еквідистанту перпендикулярно напрямку наступного кадру (вихід на контур)..... 59

2.13.2. Вхід і вихід на еквідистанту по круговій траєкторії (команди G65, G66)	59
2.13.3. Цикли обходу кутів G36, G37, G38	62
2.14. Обробка отворів	64
2.14.1. Технологічний регламент, план операції.....	64
2.14.2. Постійні свердлильні цикли G81–G89	67
2.14.3. Налаштування обробки отворів, розробка програми	70
2.15. Оптимізація програмування: повтор кадрів, підпрограма, поворот осей, віддзеркалювання та інші способи	86
2.16. Параметричне програмування.....	89
2.17. Обробка плоских поверхонь. Підсумовуюча програма обробки на свердлильно-фрезерно-розточувальному центрі	91
2.18. Розробка програми вручну, її верифікація. Перевірка на верстаті	101
2.19. Програмування з пристрою ЧПК мовою діалогу фірми «Heidenhain»	107
2.20. Точність обробки на верстатах з ЧПК. Контрольно-вимірювальні системи (КВС). Програмне базування	109
2.21. CAD/CAM/CAE-системи. Адитивні технології	116
2.22. Призначення та програмування швидкості різання й подачі.	131
2.23. Різальний та допоміжний інструмент. Робота інструментального магазину	133
2.24. Високошвидкісна обробка (ВШО).....	138
2.25. Роботизовані технологічні комплекси (РТК) ..	141
2.26. Робота пристрою ЧПК 2C-42.....	145
2.27. Програмування обробки на верстатах з ЧПК за ISO 14649	147
Контрольні запитання	153
Завдання для самостійних занять	154

Розділ III. Програмування обробки на токарних верстатах з ЧПК	169
3.1. Заготовки, деталі для обробки на токарному верстаті з ЧПК. Вимоги до них	170
3.2. Технологічна підготовка.....	171
3.2.1. План операції. Опорні точки. Еквідистанта ..	171
3.2.2. Технологічні бази.....	177
3.2.3. Режими обробки.....	179
3.2.4. Вибір інструменту. Допоміжний інструмент..	180
3.3. Програмування для верстата 16К20Ф3 з ПЧПК «Електроніка НЦ-80-31» (МС-21). Системи координат, основні положення. «Прив'язка» інструмента.....	187
3.4. Формат кадру.....	193
3.5. Підготовчі (технологічні) функції G і цикли ...	194
3.6. Допоміжні функції M.....	195
3.7. Програмування лінійних переміщень, G0, G1 ..	196
3.8. Обробка фасок і галтелей.....	199
3.9. Кругова інтерполяція (G2, G3)	205
3.10. Нарізання різьби (G33).....	210
3.11. Службові функції G04, G25, G26, G37, G38, G56, G53, G94–G97.....	211
3.12. Багатоінструментна обробка	214
3.13. Цикли	221
Однопрохідний поздовжній цикл G27	221
Однопрохідний цикл поздовжнього різенарізання G28	222
Однопрохідний поперечний цикл G29	224
Однопрохідний цикл поперечного різенарізання G39	225
Однопрохідний чистовий цикл G60	225
Багатопрохідний чорновий поздовжній цикл G61.	227
Багатопрохідний чорновий поперечний цикл G62	229
Багатопрохідний чорновий копіювальний цикл G68.	231
Багатопрохідний чорновий цикл поздовжнього різенарізання G66	232

Багатопрхідний чорновий цикл поперечного різенарізання G67	240
Цикл нарізання поперечних канавок G65	242
Цикли нарізання торцевих канавок G69, G70	244
Цикли свердління та глибокого свердління G82, G83 ..	246
Цикл нарізання різби мітчиком або плашкою G84 ..	247
3.14. Параметричне програмування на токарних верстатах з ЧПК. Підпрограми.....	251
3.15. Токарно-фрезерні оброблювальні центри. Фрезерна та свердлильна поперечна обробка.....	257
3.16. Особливості нормування обробки на верстатах з ЧПК	269
3.17. Організація робочого місця. 5S. Система якості на робочому місці	271
Контрольні запитання	279
Завдання для самостійних занять	280
Розділ IV. Обробка на шліфувальних верстатах з ЧПК ..	291
4.1. Плоско- та профіleshліфувальні верстати.....	291
4.2. Круглошліфувальні верстати.....	292
4.3. Безцентрові круглошліфувальні верстати.....	293
4.4. Координатно-шліфувальні верстати	294
4.5. Зубошліфувальні верстати	294
4.6. Різешліфувальні верстати	294
4.7. Електроерозійна обробка на верстатах з ЧПК ..	300
Контрольні запитання	305
Розділ V. Обладнання з ЧПК на заготовчих операціях..	307
5.1. Розрізка прокату на обладнанні з ЧПК.....	307
5.2. Розкрій та розрізка листового матеріалу	309
5.3. Крій розгортки повітропроводів	311
5.4. Згинальні верстати з ЧПК.....	312
5.5. Координатно-пробивні преси з ЧПК	312
5.6. Труборізні верстати з ЧПК	313
5.7. ЧПК та адитивні технології в ливарному виробництві	313
Контрольні запитання	315

Додатки	316
Додаток 1. Додаткові правила безпеки під час роботи на верстатах з ЧПК	316
Додаток 2. Карта розкрою листа	319
Додаток 3. Інструкція з розробки керуючої програми (КП) в редакторі «Cimco Edit»	320
Література	343

Навчальне видання

ОНОФРЕЙЧУК Надія Володимирівна

ОСНОВИ ОБРОБКИ ТА ПРОГРАМУВАННЯ

на верстатах з числовим програмним керуванням

Підручник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за державні кошти. Продаж заборонено

Редактор *Ірина Савлук*
Художній редактор *Ігор Шутурма*
Коректор *Вероніка Гоменюк*

Формат 60×90/16. Ум. друк. арк. 22,0. Обл.-вид. арк. 18,0.
Тираж 4320 пр. Зам. № 97п

Державне підприємство «Всеукраїнське спеціалізоване видавництво «Світ»
79008 м. Львів, вул. Галицька, 21
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4826 від 31.12.2014
www.svit.gov.ua
e-mail: office@svit.gov.ua, svit_vydav@ukr.net

Друк ТДВ «Патент»
88006 м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4078 від 31.05.2011