The background features a complex technical illustration. It includes several interlocking gears of various sizes and colors (white, light blue, light green). A network of black lines with circular nodes and arrows suggests a flow or process. The overall color palette is a mix of light blues, greens, and oranges, with a hexagonal grid pattern in the background.

Дегтярьов І. М.,  
Нешта А. О.,  
Колесник В. О.

# **ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Навчальний посібник



Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет

**Дегтярьов І. М.,  
Нешга А. О.,  
Колесник В. О.**

# **ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Навчальний посібник

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету

Суми  
Сумський державний університет  
2021

УДК 621.176:001.895](075.8)

Д 26

Рецензенти:

*В. Б. Тарельник* – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Технічний сервіс» Сумського національного аграрного університету;

*В. О. Іванов* – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» Сумського державного університету

*Рекомендовано до видання  
вченою радою Сумського державного університету  
як навчальний посібник  
(протокол № 5 від 12 листопада 2020 року)*

**Дегтярьов І. М.**

Д 26 Прогресивні технології виготовлення деталей насосного обладнання : навчальний посібник / І. М. Дегтярьов, А. О. Нешта, В. О. Колесник. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 256 с.

Видання складається з п'яти розділів. Перший присвячений уведенню в дисципліну, описанню її місця в інших дисциплінах підготовки студентів та огляду загальних відомостей про сучасні технології виробництва деталей машин. Другий дозволяє одержати інформацію щодо прогресивних методів оброблення деталей складної конфігурації на верстатах токарної групи. У третьому розглянуті методи оброблення деталей насосного обладнання складної конфігурації на верстатах фрезерної групи. Четвертий ознайомлює із сучасними досягненнями науки й техніки в галузі оброблення конструкційних матеріалів. У п'ятому запропоновано практичну частину, виконувану на комп'ютерному симуляторі на верстатах із ЧПК токарної та фрезерної груп. Кожний розділ охоплює достатню кількість якісного графічного й текстового матеріалу.

Навчальний посібник призначений для студентів усіх форм навчання, які вивчають курс прогресивних технологій виготовлення деталей насосного обладнання.

**УДК 621.176:001.895](075.8)**

© Дегтярьов І. М., Нешта А. О., Колесник В. О., 2021  
© Сумський державний університет, 2021

# ЗМІСТ

	<b>С.</b>
<b>Лекція 1 Уведення в дисципліну</b> .....	4
1.1 Основні поняття та визначення.....	4
1.2 Загальні відомості про сучасні технології виробництва деталей машин.....	20
1.3 Структура виробу. Основні поняття.....	37
1.4 Класифікація поверхонь деталі. Основні поняття....	40
<b>Лекція 2 Оброблення деталей складної конфігурації на верстатах токарної групи</b> .....	43
2.1 Основні типи поверхонь обертання.....	43
2.2 Поверхні колінчастих і розподільних валів та методи їх оброблення.....	46
2.3 Токарно-фрезерне оброблення.....	72
2.4 Способи підвищення продуктивності оброблення на токарних верстатах із ЧПК.....	100
<b>Лекція 3 Оброблення деталей складної конфігурації на верстатах фрезерної групи</b> .....	101
3.1 Основні типи плоских поверхонь.....	101
3.2 Оброблення каналів напрямних апаратів.....	102
3.3 Оброблення сферичних поверхонь стандартними фрезами.....	108
3.4 Способи підвищення продуктивності оброблення деталей складної конфігурації на фрезерних верстатах.....	137
<b>Лекція 4 Сучасні досягнення науки й техніки в галузі оброблення конструкційних матеріалів</b> .....	138
4.1 Адитивні технології в заготівельному виробництві.....	138
4.2 Особливості оброблення надтвердими матеріалами.....	157
Практична частина.....	163
Список літератури.....	255



# Лекція 1

## Уведення в дисципліну

### План

- 1.1 Основні поняття та визначення.
- 1.2 Загальні відомості про сучасні технології виробництва деталей машин.
- 1.3 Структура виробу.
- 1.4 Класифікація поверхонь деталі.

Метою навчальної дисципліни є формування в студентів знань, умінь, необхідних для підвищення продуктивності та якості механоскладальних виробництв у галузі насособудування способом застосування прогресивних методів виробництва, а також оброблення заготовок типових деталей машин.

### 1.1 Основні поняття та визначення

Науково-технічний прогрес за тисячоліття людської цивілізації пройшов складний і суперечливий шлях розвитку. Це обумовлено тим, що саме технічний прогрес на перших етапах розвитку суспільства здійснювався відокремлено від наукового.

Технічний прогрес почався з появою людської цивілізації. Спершу цей процес відбувався досить повільно. Люди почали опановувати примітивні знаряддя праці, виплавлення металів і виготовлення сплавів, оброблення матеріалів та ін., але все це базувалося лише на передаванні досвіду конкретних майстрів майбутнім поколінням і його примноженні.

Початком науково-технічного прогресу можна вважати період промислової революції, тобто кінець XVIII – початок XIX ст., коли опорою технічного прогресу стали наукові знання й відкриття.

Відтоді почалося перетворення науки на безпосередньо продуктивну силу, що тривало близько півтора століття та завершилося в середині 50-х років XX ст. розгортанням науково-технічної революції.

Розглянемо поняття прогресу, зокрема науково-технічного, більш докладно.

**Прогрес** (лат. progressus – рух уперед, успіх) – це розвиток по висхідній лінії й удосконалення впродовж нього, перехід від нижчого до вищого, від простого до складнішого (наприклад, науково-технічний прогрес).



Рисунок 1.1 – Ілюстрація поняття прогресу

**Науково-технічний прогрес (НТП)** – це поступальний рух науки та техніки, еволюційний розвиток усіх елементів продуктивних сил суспільного виробництва на основі широкого пізнання й опанування зовнішніх сил природи; об’єктивна, постійно актуальна закономірність розвитку матеріального виробництва, результатом якої є послідовне вдосконалення техніки, технології та організації виробництва, підвищення його ефективності.

Науково-технічний прогрес – основоположний фактор, що забезпечує економічний розвиток суспільства. Створення нових технічних засобів поряд із підвищенням вимог до них, з одного

боку, і новими методами виконання технічних завдань – з іншого, зумовлюють необхідність перегляду методів вивчення та створення технічних систем. Систематизація загальних законів розвитку техніки й удосконалення сучасних методів виконання технічних завдань під час створення об'єктів нової техніки дозволяють прискорити терміни впровадження нових технічних рішень у виробництво, зробити створення нової техніки більш ефективним і підвищити кваліфікацію майбутнього фахівця з інженерної механіки як новатора, творця й винахідника.

Водночас відомо, що 60–70 % усіх наукових розробок взагалі ніколи не впроваджують у виробництво. Тобто науково-дослідний процес охоплює значно більший обсяг знань, ніж та його частина, що є виходом науково-технічного прогресу в практику.

Науково-технічний прогрес здійснюють у двох формах: еволюційній та революційній.

*Еволюційна форма НТП* – це вдосконалення техніки й технології, застосовуваної у виробництві, на основі вже відомих наукових знань. Прикладом цієї форми НТП є розвиток і вдосконалення енергії пари, електроенергії й атома тощо.

До еволюційних форм НТП належать такі:

- покращання окремих техніко-експлуатаційних параметрів виробів або технології їх виготовлення;
- модернізація або створення нових моделей машин, обладнання, приладів, матеріалів у межах того самого покоління техніки.

*Революційна форма НТП* означає перехід до техніки та технології, що ґрунтуються на принципово нових наукових ідеях. Прикладом цієї форми є перехід від ручних знарядь праці до машинних, заміна енергії пари на електричну або атомну, застосування лазерної та інших сучасних технологій тощо.

Революційними формами НТП є:

- зміна поколінь техніки й кінцевої продукції;
- розроблення принципово нових науково-технічних ідей;

– загально-технічні (науково-технічні) революції, у процесі яких масово переходять до нових поколінь техніки в провідних сферах виробництва.

Винайдення та впровадження у виробництво принципово нових науково-технічних розробок приводять до істотних змін у трудовому процесі, передбачають розширення продуктивних можливостей людства. Отже, у такому разі йдеться про науково-технічну революцію.

### ***Напрями розвитку НТП:***

#### *а) загальні:*

– створення нових і вдосконалення застосовуваних технологій;

– створення нових та вдосконалення наявних засобів праці й кінцевої продукції;

– створення нових і покращання якості використовуваних матеріалів;

– механізація й автоматизація виробництва;

#### *б) пріоритетні:*

– застосування прогресивних базових технологій;

– системи машин для харчової та легкої промисловостей;

– багатоопераційні верстати з числовим програмним управлінням;

– робототехнічні й роторно-конвеєрні комплекси;

– використання нових синтетичних, композиційних, керамічних, надчистих матеріалів із заданими властивостями;

– комплексна автоматизація на базі впровадження автоматизованих систем управління виробництвом.

Із середини ХХ ст. розвиток промисловості став неабияк стрімким, тому потреба в енергоносіях істотно зросла, особливо у великих містах і промислових центрах.

Зважаючи на це, актуальність насосів та насосного обладнання значно підвищилася, тому що саме це обладнання доставляє воду до осель жителів, обладнання на підприємствах, для зрошування посівів на полях, охолодження атомних реакторів тощо.

**Насос** – механізм для накачування або викачування рідин, газів. Він є гідравлічною машиною (рис. 1.2), що перетворює механічну енергію на енергію потоку рідини, яка служить для переміщення й створення напору рідин усіх видів, механічної суміші рідини з твердими речовинами або зріджених газів.



Рисунок 1.2 – Приклад конструкції насоса

#### *Типи насосів*

**Динамічні насоси** – це насоси, у яких рідина в результаті гідродинамічних сил переміщається в камері, постійно сполученій із вхідним і вихідним патрубками. До них належать: відцентрові, відцентрові секційні, осьові, вихрові, дискові, черв'ячні й гідроструминні.

**Об'ємні насоси** – це насоси, у яких рідина переміщається завдяки періодичній зміні об'єму робочої камери, поперемінно сполучуваної з вхідним і вихідним патрубками. До них належать: вакуумні, аксіально-поршневі, радіально-поршневі, пластинчасті, мембранні, гвинтові, шестеренні, шибєрні, перистальтичні, роторні, плунжерні.

На промислових виробництвах найбільш поширені відцентрові насоси. *Типові складові частини насоса з одностороннім підведенням рідини на робоче колесо* (рис. 1.3):

- 1) отвір для підведення рідини;
- 2) робоче колесо;
- 3) корпус;
- 4) патрубок для відведення рідини.

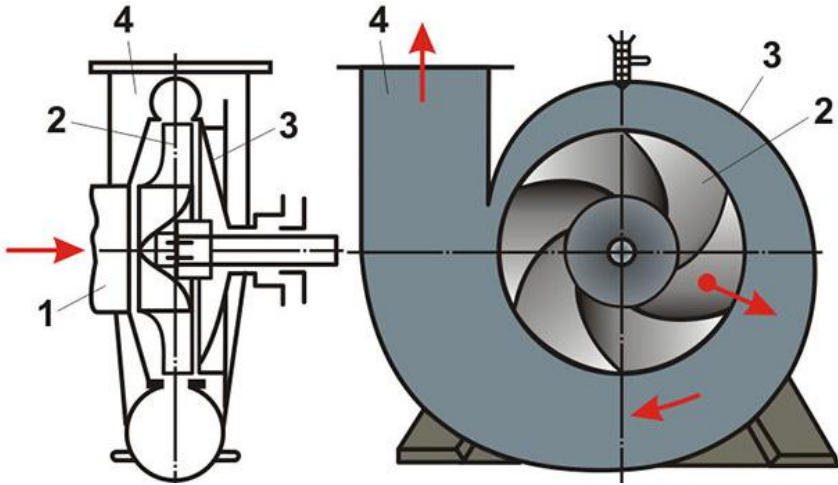


Рисунок 1.3 – Складові частини відцентрового насоса:

- 1 – отвір для підведення рідини; 2 – робоче колесо;
- 3 – корпус; 4 – патрубок для відведення рідини.

### Відцентрові насоси

**Відцентровий насос** – це насос, у якому рух рідини й необхідний тиск створюють за допомогою відцентрової сили, що виникає в результаті впливу лопатей робочого колеса на рідину.

Усередині корпусу насоса, що зазвичай має спіральну форму, на валу жорстко закріплене робоче колесо. Воно складається із заднього та переднього дисків, між якими встановлені лопаті. Останні відігнуті від радіального напрямку в протилежну сторону – у напрямку обертання робочого колеса. За допомогою патрубків корпус насоса з'єднують з усмоктувальним і напірним трубопроводами.

Принципова й конструктивна схеми багатоступеневого секційного відцентрового насоса зображені на рисунку 1.4.

Основні конструктивні блоки багатоступневих насосів – корпус і ротор.

До корпусу належать кришки ліній усмоктування й нагнігання, напрямні апарати, передній і задній кронштейни. Напрямний апарат (1) та робоче колесо (2) утворюють секцію насоса [1, 2].

**Принцип роботи:** під час обертання робочого колеса рідина, що знаходиться в каналах робочого колеса між його лопатями, під дією відцентрової сили буде відкидатися від центра колеса до периферії. Водночас у центральній частині колеса створиться розрідження, а на периферії підвищиться тиск, у результаті чого рідина з насоса почне надходити в напірний трубопровід.

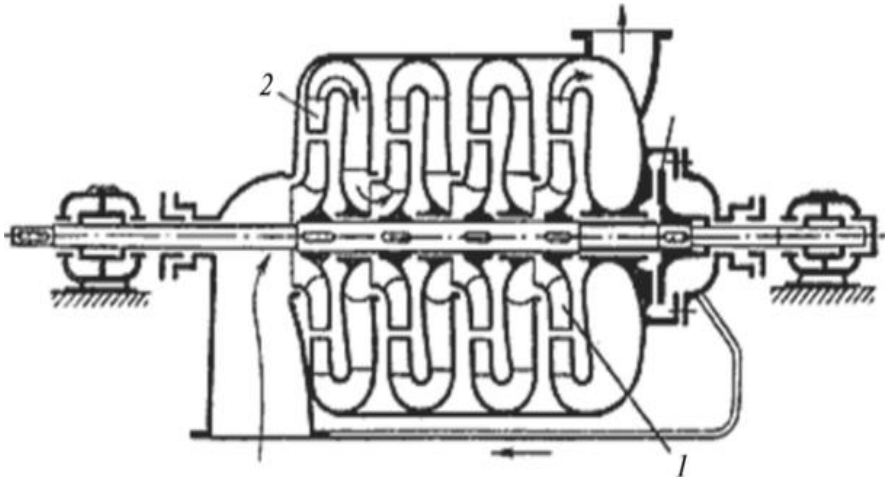


Рисунок 1.4 – Принципова й конструктивна схеми багатоступеневого секційного відцентрового насоса

Це утворює розрідження, під дією якого рідина одночасно почне надходити в насос з усмоктувального трубопроводу. Оскільки корпус насоса складається з окремих секцій, це дає можливість, не змінюючи подачі, змінювати напір способом установлення потрібної кількості секцій. Водночас змінюється



лише довжина вала та стяжних шпильок. Під час роботи насоса в результаті тиску рідини на нерівні за площею бічні поверхні робочих коліс виникає зусилля, що прагне змістити ротор насоса в сторону всмоктування.

Для врівноваження зазначеного осьового зусилля в насосі використовують гідравлічну п'яту, що складається з диска, кільця й втулки.

Під час роботи насоса рідина проходить через кільцевий зазор, утворений отвором кришки нагнітання та втулкою, і тисне на диск гідравлічної п'яти із зусиллям, яке за величиною дорівнює сумі зусиль, що діють на робоче колесо, але спрямоване в сторону нагнітання. Отже, ротор насоса врівноважується. Рівність зусиль установлюється автоматично завдяки можливості осьового переміщення ротора насоса. Насос з основними складовими частинами зображений на рисунку 1.5.

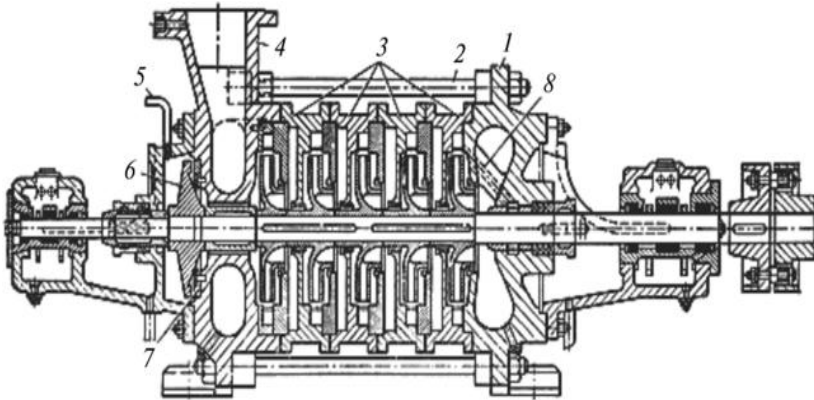


Рисунок 1.5 – Складові частини насоса:

- 1 – усмоктувальна секція; 2 – стяжний болт; 3 – проміжні секції;
- 4 – напірна секція; 5 – з'єднувальний патрубок;
- 6 – гідравлічна п'ята; 7 – втулка; 8 – отвір для подавання води

### **Поршневі насоси**

**Поршневі насоси** – це різновид об'ємних насосних установок, у яких рідину переміщують витискувачі, виштовхуючи її зі статичних робочих камер. Робоча камера

поршневого насоса – це замкнутий простір, що по черзі з'єднується з входом / виходом насоса. **Насоси з механічним приводом** поділяють на:

– *приводні*, у яких поршень активується за допомогою кривошипно-шатунного механізму від двигуна, розміщеного окремо й з'єданого з насосом за допомогою передачі;

– *насоси прямої дії*, у яких поршень здійснює зворотно-поступальні рухи за допомогою штока безпосередньо від поршня безкривошипної парової машини, що є єдиною системою з насосною установкою.

**Принцип роботи:** у поршковому насосі простої дії витискувач з'єднаний за допомогою штока з кривошипно-шатунним механізмом і таким способом він зворотно-поступально рухається всередині циліндра. Під час руху поршня вправо в робочій камері створюються порожнеча та вакуум. Як результат клапан усмоктує робочу рідину в камеру через трубопровід. Під час зворотного ходу поршня положення нагнітального клапана відкрите, а всмоктувального – відповідно закрито. Так рідина нагнітається в напірний трубопровід. Щоб підвищити показник продуктивності поршкових насосів, їх часто виготовляють подвійними, потрійними і т. д. Поршні в таких насосах приводять у дію за допомогою одного колінчастого вала.

### **Радіально-поршкові насоси**

**Радіально-поршковий насос** – це об'ємний насос, у конструкції якого вісь ведучого вала перпендикулярна осям руху робочих поршнів або кут між ними становить не менше ніж  $45^\circ$ . Механізми, кут яких менший ніж  $45^\circ$ , належать до аксіального типу.

**Принцип роботи:** ротор обертається в статорі (корпусі) разом із поршнями, що ковзають по корпусу, щільно притискаючись до нього завдяки пружинам. У результаті обертання ротора поршні здійснюють зворотно-поступальні рухи. Поршні рухаються по колу й перемикаються між двома фазами: усмоктування та нагнітання.

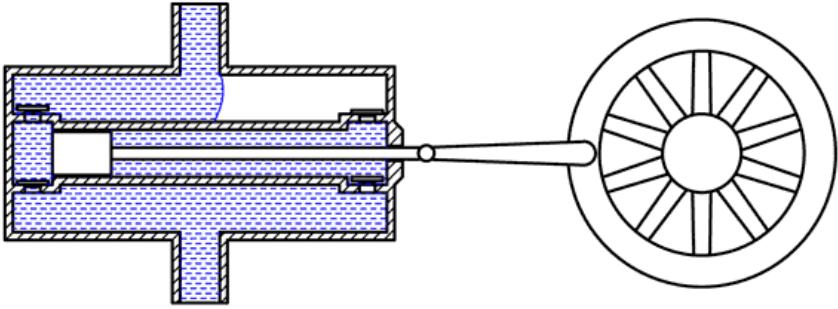


Рисунок 1.6 – Поршневий насос подвійної дії

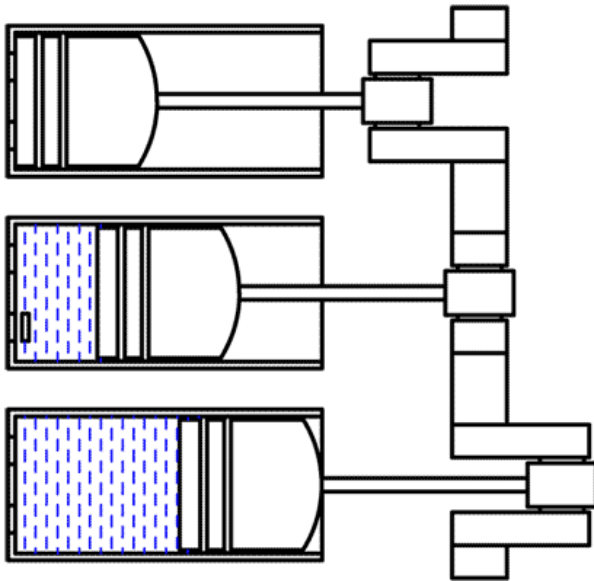


Рисунок 1.7 – Трипоршневий (трициліндровий) насос

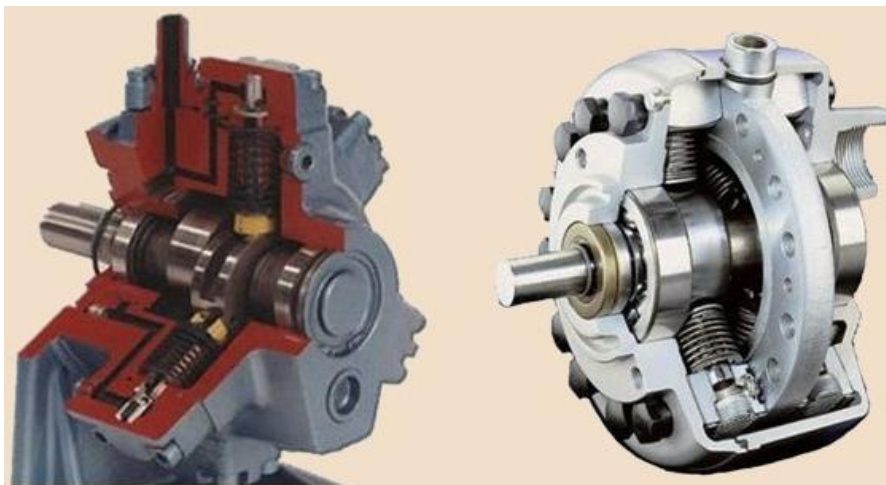


Рисунок 1.8 – Приклад конструкції радіально-поршневого насоса

### **Аксіально-поршневі насоси**

*Аксіально-поршковий насос* – це пристрій для перетворення механічної енергії кругового обертання вала на енергію руху рідини. Поршні в такому пристрої розміщені паралельно осі обертання. Аксіально-поршкові насоси можна також використовувати як гідромотори, якщо зі зворотної сторони подавати рідину. Така особливість цих пристроїв забезпечила їм максимальне поширення.

**Принцип роботи:** від зовнішнього приводу створюється обертання вала, водночас із валом створюється обертання блоку циліндрів. Поршні виконують обертальні й зворотно-поступальні аксіальні рухи. Таким способом за один оберт вала кожний поршень здійснює повний (робочий) цикл забирання й виштовхування рідини.

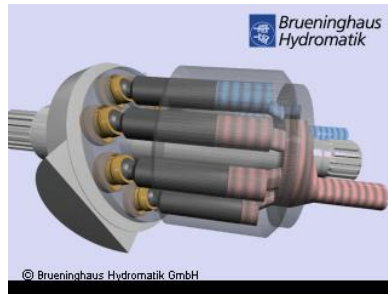
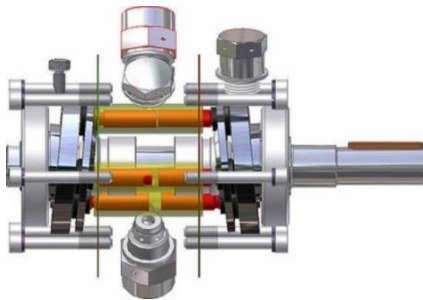


Рисунок 1.9 – Приклад конструкції аксіально-поршневого насоса

### Пластинчасті (шиберні) насоси

**Пластинчастий насос** – це роторна об’ємна гідромашина, витискувачами в якій є дві й більше лопатей (шиберів). Його часто називають шиберним, або роторно-пластинчастим.

**Принцип роботи:** обертаючись, ротор переміщує пластини. Вони, у свою чергу, у результаті дії відцентрової сили або пружини починають виходити з пазів, що щільно притискаються до внутрішньої стінки статора. Завдяки зміщенню центра ротора щодо статора обсяг робочої камери з рухом зростає – це процес усмоктування. Ротор, продовжуючи рух, переходить у фазу зменшення робочої камери – процес нагнітання. Отже, рідина переноситься між лопатями із системи всмоктування в систему нагнітання.

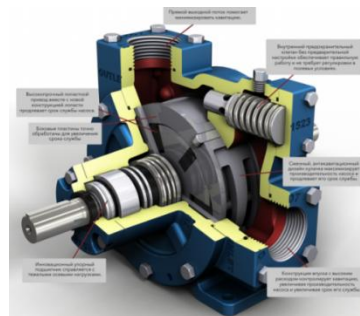


Рисунок 1.10 – Конструкція роторно-пластинчастих насосів

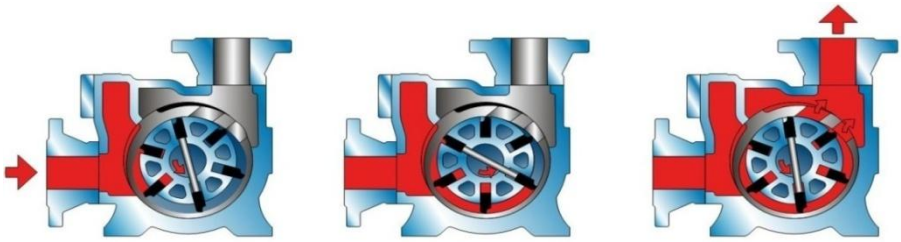


Рисунок 1.11 – Принцип дії роторно-пластинчастих насосів

### Шестеренні насоси

**Шестеренний (шестерний) насос** – це об’ємна роторна гідромашина. Це обумовлено тим, що він може функціонувати і як гідродвигун, і як гідронасос. Під час подання на нього мастила під тиском робочий вал починає обертатися, він перетворюється на гідродвигун. Якщо крутний момент подається на вал, насос починає перекачувати мастило й виконує своє фактичне призначення.

**Принцип роботи:** забір рідини відбувається за рахунок виходу із зачеплення шестерень у камері всмоктування. Зубці, що розходяться, розширюють обсяг камери всмоктування, у результаті чого в ній утворюється вакуум, що стрімко заповнюється рідиною через усмоктувальний канал у результаті різниці тисків у забірній камері та камері нагнітання. Шестерні переносять робочу рідину в просторі між зубцями із забірної камери в нагнітальну.

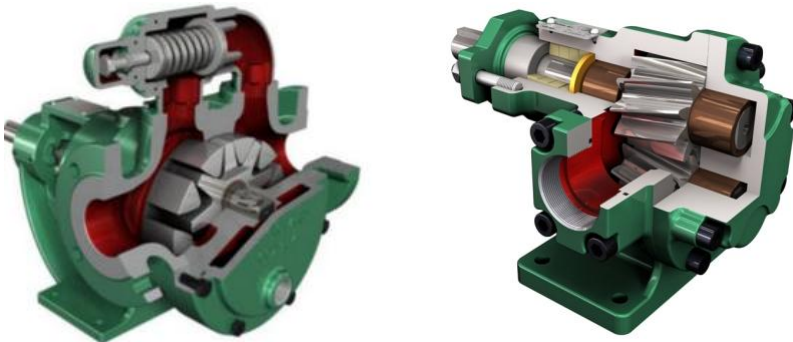


Рисунок 1.12 – Конструкція шестеренних насосів

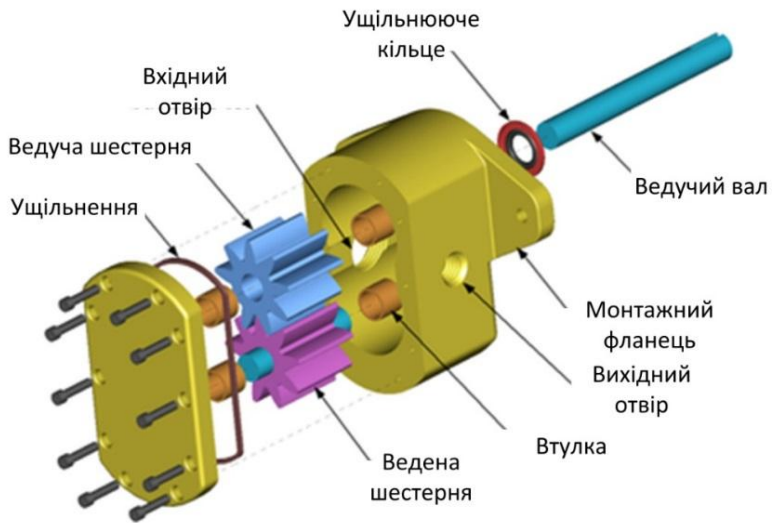


Рисунок 1.13 – Деталі шестеренних насосів

### Золотникові вакуумні насоси

**Вакуумний насос золотникового типу** – це пристрій, призначений для відкачування повітря, неагресивних газів і парогазових сумішей, попередньо очищених від крапельної вологи й механічних забруднень, із герметичних вакуумних систем у стаціонарних установках, наявних у виробничих пожежовибухобезпечних приміщеннях.



Рисунок 1.14 – Золотниковий вакуумний насос



**Принцип роботи:** під час обертання ексцентрика поршень, весь час притиснутий до стінок камери, здійснює коливальні рухи – гойдання зі сторони в сторону й ковзання в золотнику зверху вниз і назад; обійма впродовж цього ковзає вздовж стінки камери, але місце її дотику безперервно переміщується так, що вона одночасно і ковзає, і наче котиться по стінці камери. Завдяки такому руху поршень виконує подвійну роботу – усмоктування газу через отвір та його викидання через патрубок із клапаном [3, 4].

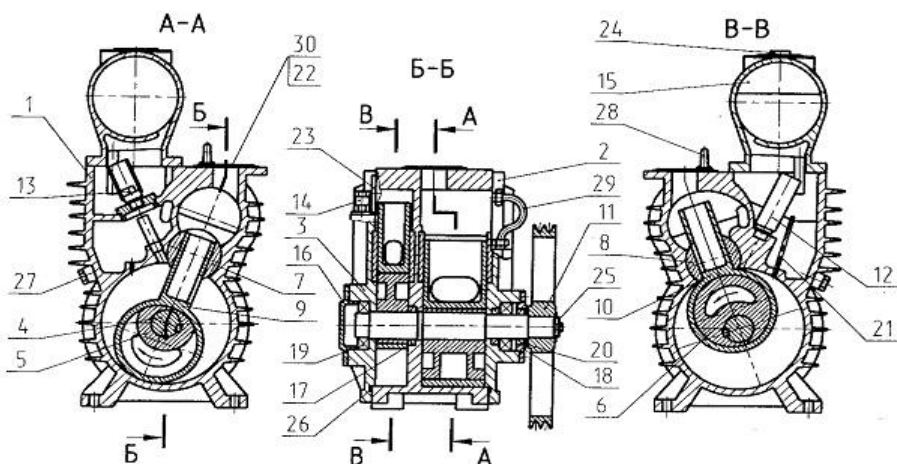


Рисунок 1.15 – Конструкція золотникового вакуумного насоса

Як можна помітити на розглянутих конструкціях насосів, усі вони містять багато деталей різних типів та розмірів. Найпоширеніші з них:

- корпусні деталі;
- вали, зокрема колінчасті;
- робочі колеса, зокрема зубчасті;
- напрямні апарати;
- інші деталі складної форми.



Рисунок 1.16 – Типові деталі насосів

Насоси є дуже важливими машинами, від яких залежить водозабезпечення міст, функціональність атомних стацій та інші незамінні аспекти життєдіяльності людини, тому конструктори закладають у креслення їх деталей вимоги високої точності.

*Особливості деталей вищезазначених насосів:*

- складна форма поверхонь;
- більшість деталей насосів виготовляють із корозійностійких сталей та сталей з особливими властивостями.

### *Вимоги до деталей насосів:*

- висока точність оброблення виконавчих поверхонь (5–7 квалітетів);
- висока шорсткість оброблення виконавчих поверхонь (Ra 0,2–1,6 мкм);
- високий ступінь точності розміщення виконавчих поверхонь (4–8-й ступінь точності).

На сьогодні всі наведені вимоги забезпечують механічним обробленням деталей на металорізальних верстатах.

## **1.2 Загальні відомості про сучасні технології виробництва деталей машин**

Металооброблення необхідне для створення певного виробу з потрібною формою, розмірами й фізико-хімічними властивостями. Людина здавна прагнула до винайдення найдосконаліших технологій металооброблення, що відповідатимуть усім потребам динамічного світу.

Технології металооброблення можна поділити на кілька основних груп:

- способи механічного оброблення металів;
- ливарне виробництво;
- термічні види оброблення металів;
- оброблення тиском;
- зварювання металів;
- електричне оброблення металів;
- хімічне оброблення металів.

Усі види технологій металооброблення на металорізальних верстатах об'єднує принцип, на якому базується робота: беруть гострий і твердий щодо до заготовки інструмент, до якого прикладають механічне зусилля. У результаті впливу інструмента змінюється форма або розмір заготовки. Величину, на яку заготовка перевищує розмір деталі, називають *припуском*.

*Найпоширеніші способи металооброблення, що ґрунтуються на механічній взаємодії різального інструмента й заготовки:*

- точіння;
- свердління;
- фрезерування;
- стругання;
- довбання;
- шліфування.

Щоб виготовити деталь способом механічного оброблення, може знадобитися різне обладнання. Найчастіше всі операції комбінують і групують для досягнення найкращого результату, зниження витрат та спрощення процесу.

Механічному обробленню деталі передують виготовлення заготовки. Заготовки для деталей насосів можуть бути отриманими литтям або пластичним деформуванням. Найчастіше застосовуваними методами лиття заготовок у виробництві насосів на сьогодні є:

- лиття в піщані форми;
- лиття в кокіль;
- лиття під тиском;
- лиття за виплавлюваними моделями;
- лиття за газифікованими (випалюваними) моделями;
- відцентрове лиття;
- лиття в оболонкові форми.

Лиття в піщані форми – дешевий, найгрубіший, але наймасовіший (до 75–80 % від маси отримуваних у світі виливків) метод лиття. Здебільшого так виготовляють корпуси насосів.

Лиття в кокіль (кокільне лиття) – спосіб отримання фасонних виливків у металевих формах – кокілях.

Лиття під тиском посідає одне з провідних місць у ливарному виробництві. Виробництво виливків з алюмінієвих сплавів у різних країнах становить 30–50 % загальної маси випущеної продукції.

Лиття за виплавлюваними моделями базується на виготовленні копії майбутньої моделі з легкоплавкого матеріалу,

її покриванні керамічною масою, затвердінні оболонки й заливанні в неї металу. Цей метод застосовують для виготовлення деталей високої точності (наприклад, лопаток турбін, робочих коліс насосів).

Лиття за газифікованими моделями з огляду на якість фасонних виливків, економічність, екологічність і високу культуру виробництва найбільш вигідне. Суть методу: у піщаній формі модель із пінопласту під час заливання заміщається розплавленим металом.

Відцентрове лиття – це метод отримання виливків у металевих формах, за якого розплавлений метал у результаті дії відцентрових сил відкидається до стінок форми й твердіє. Здебільшого його застосовують для виготовлення труб.

Лиття в оболонкові форми – метод отримання фасонних виливків із металевих сплавів у формах, що складаються із суміші піщаних зерен (зазвичай кварцевих) і синтетичного порошку (зазвичай фенолоформальдегідної смоли й пульвер-бакеліту).

Найчастіше використовуваними у виробництві насосів на сьогодні є заготовки, отримані методами пластичного деформування.

Процес поверхневого пластичного деформування можна поділити на два основних види: кування й штампування.

У свою чергу, розрізняють такі види кування:

- вільне;
- у підкладних штампах;
- на пресі.

Штампування буває:

- холодним листовим;
- гарячим об'ємним;
- холодним об'ємним;
- валковим;
- магнітно-імпульсним.

Деталі, виготовлювані куванням: вали (рис. 1.17), осі, габаритні втулки, диски, фланці в одиничному та дрібносерійному виробництві або ті, що неможливо виготовити

іншими методами. Штампуванням, у свою чергу, виготовляють невеликі диски, фланці, зубчасті колеса, корпуси й кришки з листового металу у великосерійному та масовому виробництві.

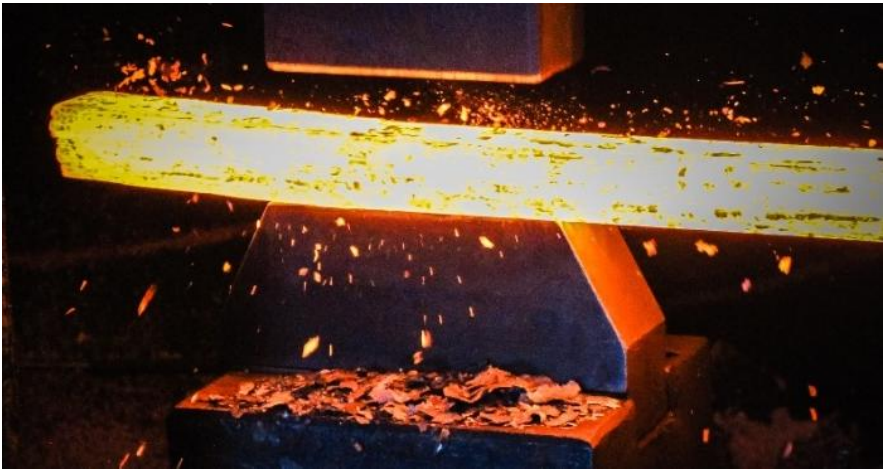


Рисунок 1.17 – Кування вала

Серед механічних властивостей деталей насосів, що зазначає конструктор у вимогах на кресленні, часто можна зустріти вимоги до твердості та інші. Для їх забезпечення в технологічному процесі необхідне термічне оброблення.

***Найбільш широко застосовувані на сьогодні види термічного оброблення у виробництві насосів:***

– *відпал*. Ця технологія металооброблення полягає в нагріванні виробу, а потім його повільному охолодженні прямо в печі;

– *загартування*. Застосовують для надання більшої міцності різним сплавам. Виріб нагрівають до температур, за яких руйнується кристалічна структура матеріалу, а після цього швидко охолоджують за допомогою повітря, води або мастила;

– *відпуск*. Деталь потрібно нагріти до температури, дещо меншої, ніж температура гартування, а потім повільно охолодити;

– *штучне старіння*. Полягає у фазових перетвореннях у масі металу. Його проводять під час помірного нагрівання для надання матеріалу властивостей, що з'являються в процесі природного старіння за довгий час.

– *нормалізація*. Застосовують, якщо необхідно підвищити гнучкість матеріалу без зниження твердості. У результаті такого оброблення метал набуває дрібнозернистої структури. Технологія проведення нормалізації аналогічна відпалу, але заготовка остигає на відкритому повітрі. Ця методика значно полегшує подальше механічне оброблення матеріалу.

Також у конструкціях деталей насосів широко застосовують *зварювання*. Воно полягає в з'єднанні двох деталей місцями, нагрітими до температури плавлення кромки. У результаті отримують єдиний нерознімний об'єкт. Для зварювання можуть використовувати електричну дугу, ультразвук, лазерне випромінювання. Крім того, ефективні способи зварювання за допомогою тиску або раптового гальмування заготовок, що швидко обертаються. Прийнято виділяти три види зварювання залежно від способу нагрівання матеріалу:

- хімічне – нагрівання металу теплом від хімічної реакції;
- газове – нагрівання металу полум'ям газового пальника;
- електрозварювання – під час дугового зварювання енергія електричної дуги допомагає нагріти й розплавити робочу зону.

Види зварювання проілюстровані на рисунку 1.18.

Оскільки насоси працюють із рідинами й агресивними середовищами, очевидно, що на робочі поверхні певних деталей наносять захисні покриття способом хімічного оброблення металів.

Технологія хімічного оброблення полягає в зміні фізико-хімічних властивостей поверхні матеріалу. Її застосовують лише за високої температури та активного середовища (рідкого, газоподібного або твердого). У результаті змінюються фізико-хімічні властивості дифузного шару заліза. Найбільш поширені види хіміко-термічного оброблення наведені на рисунку 1.19.





а)



б)



в)

Рисунок 1.18 – Види зварювання:  
а) електродом; б) у газовому середовищі;  
в) тертям



Рисунок 1.19 – Види хіміко-термічного оброблення

*Цементация* – це процес, у результаті якого матеріал насичується вуглецем. Поверхня має дуже міцну оболонку, водночас зберігається м'якість матеріалу всередині.

*Азотування* – це процес, що сприяє насиченню поверхні матеріалу азотом. Відповідно збільшується зносостійкість поверхні й стійкість до корозії.

*Борування* – це процес насичення матеріалу бором. Підвищується зносостійкість поверхневого шару металу. Значно знижуються показники тертя та сухого ковзання зазначеного матеріалу, водночас підвищується стійкість до різних видів кислот.

*Алітування* – це процес збагачення матеріалу алюмінієм. У результаті оброблена деталь має високу стійкість до агресивних газів (сірководню, сірчаного ангідриду).

*Хромування* – це насичення поверхні деталі хромом, що дозволяє захистити її від корозії й підвищити зносостійкість. Його застосовують для компенсації зносу деталей, а також антикорозійного та декоративного покривання. Крім того, хромове покриття знижує міцність від утомленості деталі на 20–30 %.

*Силіціювання* – це високотемпературне (950–1100°C) дифузійне насичення поверхневого шару металу або сплаву кремнієм.

*Залізнення (осталювання)* – це процес отримання твердих зносостійких залізних покриттів із гарячих хлористих електролітів. Під час ремонту автомобілів його застосовують для відновлення зношених поверхонь деталей. Порівняно з хромуванням ККД залізнення вшестеро більший.

Міднення як самостійного способу відновлення деталей не застосовують. У ремонтному виробництві цей процес призначений для отримання підшарку під час захисно-декоративного хромування, а також покривання окремих місць деталей, що не підлягають цементації.

Нікелеві покриття корозійностійкі в розчинах ряду органічних кислот і мінеральних солей, стійкі в розчинах лугів будь-якої концентрації та мають гарну здатність до полірування.

В останні два десятиріччя активно розвиваються інноваційні технології в металообробленні, що базуються на використанні біметалів.

**Біметали** – це композиційні матеріали, що складаються з двох і більше різних шарів металів або їх сплавів. Зазначені метали широко використовують для виготовлення:

- корпусів нафтохімічного й атомноенергетичного обладнання (корозійностійкі біметали);
- підшипників ковзання (антифрикційні біметали);
- вузлів ракетно-космічної техніки (біметали з особливими властивостями).

Певні деталі з біметалів наведені на рисунку 1.20.



Рисунок 1.20 – Приклади деталей із біметалів

Із розвитком науки в останнє десятиріччя активного розвитку набули технології лазерного оброблення матеріалів, зокрема лазерного зварювання за допомогою обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК). Лазерне зварювання зображене на рисунку 1.21.

Винахід сфокусованого лазера значно розширив спектр можливостей металооброблення. На сьогодні можна проводити зварювальні роботи на найдрібніших деталях. Крім того, подібна технологія допомагає наносити твердосплавні різальні елементи на фрези.

Не так давно ця технологія металооброблення була однією з найдорожчих, але, коли замість імпульсного лазера почали використовувати газовий, стала значно дешевшою. Обладнання має високу точність завдяки наявності програмного керування. У насосному обладнанні його можуть використовувати для зварювання трубопроводів масляних каналів із корозійностійких сталей, змащення підшипників ковзання насосів або інших частин, у яких необхідна точність зварювання.



Рисунок 1.21 – Лазерне зварювання

Крім лазерного зварювання, широко застосовують лазерне різання металів та інших матеріалів (рис. 1.22).

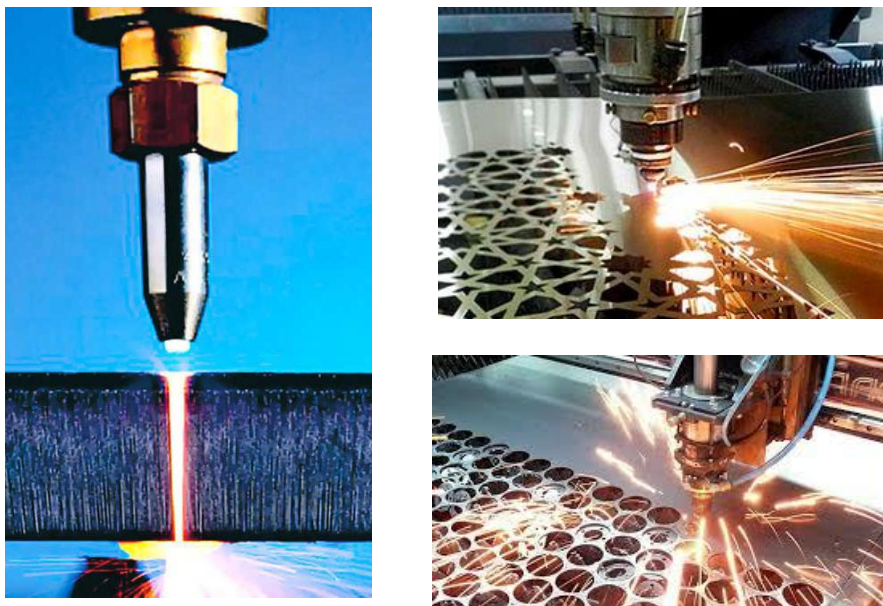


Рисунок 1.22 – Лазерне різання металів

В основі технології лазерного різання лежить принцип мінімального контакту лазера з поверхнею, що інколи дорівнює кільком мікрометрам. Водночас кристалічні ґратки матеріалів досягають температури, необхідної для розплавлення металу. Співвісність отворів становить  $\pm 0,05$  мм, точність різання – 0,1 мм, максимальна товщина різання сталевих заготовок – близько 20 мм, а мінімальна – 0,2 мм.

Під час різання лазером промінь механічно не контактує з матеріалом, що дозволяє якісно обробляти крихкі поверхні й поверхні, які легко деформуються.

Поряд із лазерним широко застосовують плазмове різання матеріалів (рис. 1.23). На сьогодні це найпопулярніший метод металооброблення, що дозволяє досягати високої точності повторення. Його ефективність забезпечують високошвидкісним струменем газу, що видуває електричну дугу, відділяючи дві поверхні.

Для плазмового різання має значення особливість конусності поверхні розрізу ( $3\text{--}10^\circ$ ) і короткочасний термічний

випал його кромки. Після плазмового різання здебільшого не потрібне додаткове механічне оброблення. Точність плазмового різання на сучасному обладнанні досягає  $\pm 0,25$  мм, а співвісність отворів –  $\pm 0,1$  мм. Товщина різання сталевих заготовок становить близько 80 мм.

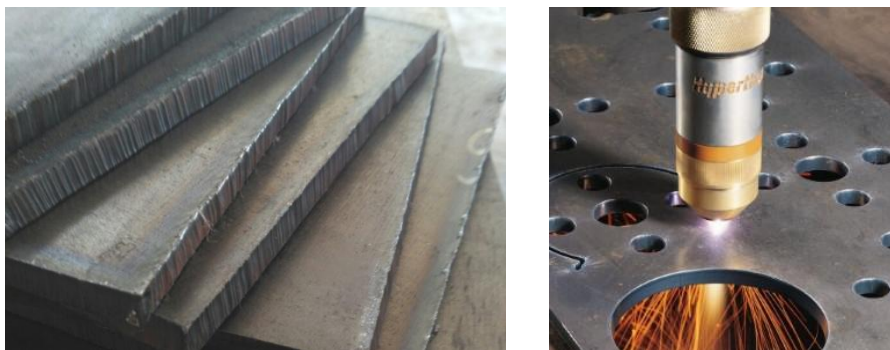


Рисунок 1.23 – Плазмове різання металів

Основним недоліком лазерного та плазмового різання металів є істотне підвищення твердості поверхні розрізу, що особливо простежується під час різання високолегованих сталей із високим вмістом вуглецю. Після цього для подальшого механічного оброблення необхідно виконати відпуск матеріалу.

Цього недоліку не має гідроабразивне різання матеріалів.

*Гідроабразивне різання* – це вид оброблення матеріалів різанням, за якого як різальний інструмент замість різця використовують струмінь води або суміш води й абразивного матеріалу, що випускають із високою швидкістю та під високим тиском.

Фізична суть процесу полягає у відриванні й віднесенні з порожнини розрізу частинок матеріалу швидкісним потоком твердофазних частинок, що дозволяє обробляти будь-які матеріали. Точність різання досягає 0,1 мм, співвісність отворів –  $\pm 0,05$  мм. Максимальна товщина різання становить до 300 мм і більше. Приклади гідроабразивного різання й схема установки зображені на рисунку 1.24.



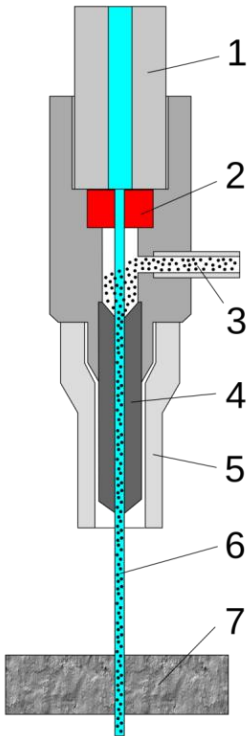


Рисунок 1.24 – Схема установки для гідроабразивного різання:

- 1 – підведення води під високим тиском; 2 – сопло;
- 3 – подавання абразиву; 4 – змішувач; 5 – кожух;
- 6 – різальний струмінь; 7 – заготовка

Поряд із вищеписаними методами в останні 5–7 років у металообробленні стало поширеними *ультразвукове оброблення матеріалів*. Ультразвук також належить до електричних способів металооброблення. У результаті впливу в заготовці починаються коливання з інтенсивністю понад 20 кГц. Звукові хвилі є почерговим стисненням і розрідженням частинок повітря, води або інших елементів довкілля. Після настання резонансу точково руйнується поверхневий шар. Чим більше стиснень та розріджень, тим вища частота звуку. Одне коливання є одним стисненням і розрідженням.



За допомогою ультразвуку свердлять скло, дублять шкіру, вимірюють морські глибини й навіть зварюють метал, а також обробляють корозійностійку сталь, міцні сплави та коштовності. Зокрема, на ультразвуковому верстаті можна зробити отвір будь-якої складності в найкріхкішому матеріалі. Саме тому таке обладнання підходить для створення твердосплавних матриць штампів, феритових осередків ЕОМ та ін.

Ультразвукове оброблення поділяють на такі види:

а) ультразвукове оброблення в абразивних суспензіях;  
б) ультразвукове оброблення інструментом з абразивним робочим шаром (закріпленим абразивом), що відповідно до базових схем механічного оброблення можна класифікувати як:

- ультразвукове фрезерування;
- ультразвукове шліфування;
- ультразвукове свердління;
- ультразвукове полірування;

в) традиційне механічне оброблення з накладенням ультразвукових коливань різної спрямованості (рис. 1.25).

Водночас найновітніші технології ще перебувають на стадії лабораторних досліджень і є найбільш перспективними. Їх називають **нанотехнологіями**.

Нанотехнології дозволяють створювати прогресивні методи металооброблення, значно ефективніші порівняно з поширеними раніше й зараз. Наприклад, для отримання наноотворів переважно застосовують фемтосекундну лазерну абляцію.

*Лазерна абляція* (англ. *laser ablation*) – метод видалення речовини з поверхні лазерним імпульсом. За низької потужності лазера речовина випаровується або сублімується як вільні молекули, атоми та йони, тобто над опроміненою поверхнею утворюється слабка плазма. За щільності потужності лазерного імпульсу, що перевищує поріг режиму абляції, відбувається мікробух з утворенням кратера на поверхні зразка.



Рисунок 1.25 – Механічне оброблення з використанням ультразвукових коливань

Іншим варіантом є спосіб *йонного травлення*, яким можна виготовити найтонші наномембрани з отворами діаметром 30 нм.

Американські вчені працюють над створенням нової технології отримання наноотворів способом *випаровування металу за шаблоном із кремнію*. Цей варіант особливо актуальний, тому що зазначені мембрани можна використовувати в сонячних батареях.

Нанотехнології для машинобудівної промисловості застосовують для:

- винайдення конструкційних матеріалів із новими властивостями;
- винайдення інструментальних матеріалів із новими властивостями;
- винайдення способів оброблення з високою продуктивністю;
- розширення можливостей застосування технологій з аерокосмічної, військової й медичної галузей у машинобудуванні загалом і насособудуванні зокрема.

До нанотехнологій донедавна належав і *волоконний лазер*, що почали широко використовувати близько року тому.

Волоконні лазери класифікують до групи твердотільних лазерів. Вони продукують лазерний промінь за допомогою так званих запалювальних лазерів і підсилюють його в спеціально вбудованому скловолоконні, з яким через діод накачування надходить енергія (рис. 1.26). Волоконні лазери мають довжину хвилі близько 1 мкм і дуже маленький діаметр фокуса, завдяки чому інтенсивність променя в 100 разів перевищує газовий CO<sub>2</sub>-лазер за однакової випромінюваної потужності. Волоконні лазери здебільшого не потребують технічного обслуговування й мають довгий термін служби – 25 000 годин.

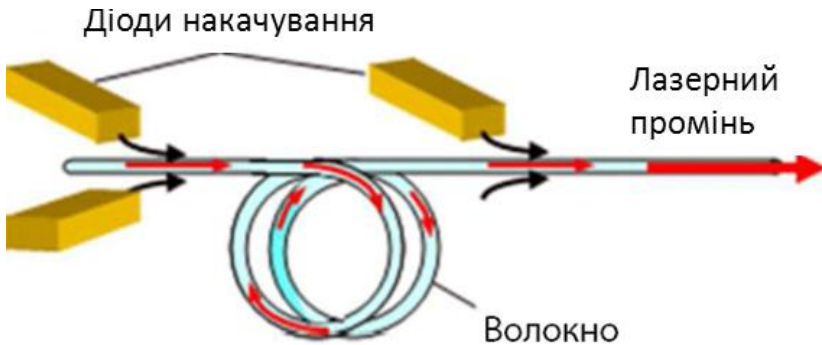


Рисунок 1.26 – Схема волоконного лазера

Лазери МОРА – спеціальний тип волоконних лазерів із регульованою тривалістю лазерних імпульсів. Завдяки цьому вони є одними з найуніверсальніших. Їх використовують у багатьох сферах (обробленні металу, пластику та ін.).

Безсумнівними перевагами волоконного лазера є стійкість до вібрації, невеликі габарити, якісне охолодження й велика термостійкість. Зазначених переваг досягають додержанням відповідного співвідношення обсягу резонатора до його площі.

Основними сферами використання волоконного лазера є зварювання, різання та гравіювання. Він незамінний, якщо потрібно змінити оптичні властивості поверхні матеріалу, не порушуючи його внутрішньої структури. Наприклад, для

зварювання сталевих деталей медичного обладнання або електронних приладів, у яких розмір оброблюваної поверхні не перевищує декількох міліметрів.

Можливо, незабаром нові технології металооброблення за допомогою волоконного лазера лідируватимуть серед решти. Це можна пояснити великою кількістю переваг зазначеного методу:

- необхідно менше енергії;
- не потрібне газове середовище;
- легко провести юстирування;
- повітря не є перешкодою для високої якості оброблення;
- не спричиняє термічних ушкоджень матеріалу в зоні поза дією волоконного лазера;
- не потрібні особливі умови роботи (дозволені певні рівні забрудненості, вібрації, вологості, якості газів та ін.);
- термін експлуатації без обслуговування може досягати 100 000 годин;
- низькі експлуатаційні витрати;
- тонший розріз порівняно з газовими CO<sub>2</sub>-лазерами, а отже, низькі викиди робочих газів, економія металу завдяки ефективному розкрою;
- немає ефекту розфокусування через відсутність втрат у свіглопідводі;
- низькі експлуатаційні витрати завдяки високому ККД, низькій вартості й нечастій заміні витратних матеріалів, використанню недорогих газів;
- широкий спектр використання: різання, зварювання, наплавлення, напилення, гравірування, маркування, кольорове маркування, зміцнення;
- можливість масштабування потужності джерела лазера збільшенням кількості кластерів свіглодіодів.

Недоліком наведеної технології є те, що волоконний лазер не дає високої стабільності поляризації там, де складно використовувати волокна, які зберігають поляризацію. Водночас у спектральному проміжку 0,7–1 мкм твердотільні лазери високоефективні. Крім того, якщо необхідна така довжина хвилі, для якої немає прийняттого активного середовища,

використовують саме волоконні лазери. Подібний вид металооброблення проводять без дзеркал, що робить конструкцію простішою й зменшує похибку операції.

Зважаючи на вищенаведене, варто розуміти, що зазначена технологія металооброблення найближчим часом розвиватиметься в галузях дво- й тривимірного зварювання, різних техніках наплавлення, збільшення міцності тощо.

Хімічна наука також розробляє нанопокриття з високою зносостійкістю для різальних інструментів, щоб підвищити величини допустимих швидкостей різання та їх зносостійкість.

*Chemical Vapor Deposition (CVD)* – процес отримання нанопокриття способом хімічного осадження з парогазового середовища. Він відбувається за дуже високої температури (близько +1 000 °C). Так виробляють покриття з високою зносостійкістю. За допомогою технології CVD отримують особливо міцні різальні інструменти (рис. 1.27).

Водночас саме покриття складається з декількох шарів, що значно покращає адгезію за збереження міцності основного матеріалу виробу. Зазвичай у зазначеному покритті такий порядок шарів нанесення:

- 1) карбід титану;
- 2) оксид алюмінію;
- 3) нітрид титану.



Рисунок 1.27 – Різальні інструменти з покриттям



Рисунок 1.27 – Аркуш 2

### 1.3 Структура виробу. Основні поняття

**Виробом** у машинобудуванні є предмет виробництва, що підлягає виготовленню. Машинобудівним виробом можуть бути як машина загалом, так і складальна одиниця будь-якого порядку, деталь і заготовка.

**Машиною** називають пристрій, що виконує механічні рухи на основі мехатронного, фізичного або хімічного перетворення енергії для заміни або полегшення фізичної й розумової праці людини, підвищення продуктивності та якості продукції. Прикладом машини є насос (рис. 1.28).

**Комплекс** – це два й більше специфікованих виробу, не поєднаних на підприємстві-виробнику складальними операціями, але призначених для виконання взаємозалежних експлуатаційних функцій.

**Агрегат** – це повністю замінна складальна одиниця, що дає можливість складання окремо від інших частин виробу (або виробу загалом) і може виконувати певну функцію у виробі чи самостійно.

**Складальна одиниця** – це виріб, частини якого потребують з'єднання. Складальна одиниця залежно від конструкції може містити окремі деталі або складальні одиниці більш високих порядків і деталі. Складальна одиниця першого порядку входить безпосередньо в машину. На прикладі насосного обладнання це ротор (рис. 1.29).



Рисунок 1.28 – Насос (машина)



Рисунок 1.29 – Ротор насоса (складальна одиниця)

*Деталлю* називають нерознімний виріб (рис. 1.30), виготовлений без застосування складальних операцій.



Рисунок 1.30 – Робоче колесо (деталь)

*Заготовка* – це виріб, із якого зміною форми, розмірів, точності та якості поверхневих шарів, а іноді й фізико-механічних властивостей матеріалу, виготовляють деталь.

*Вузол першого порядку* є складеною деталлю, на яку безпосередньо змонтований хоча б один підвузол.

*Вузол другого порядку* – це складена деталь, на яку безпосередньо змонтований хоча б один вузол першого порядку.

Якщо в машині наявні складніші складальні вузли, то їх за аналогією з попередніми визначеннями називають вузлами третього, четвертого й т. д. порядків. Для ілюстрування в технологічному процесі складання машин із високою складністю використовують схеми складання (рис. 1.31).



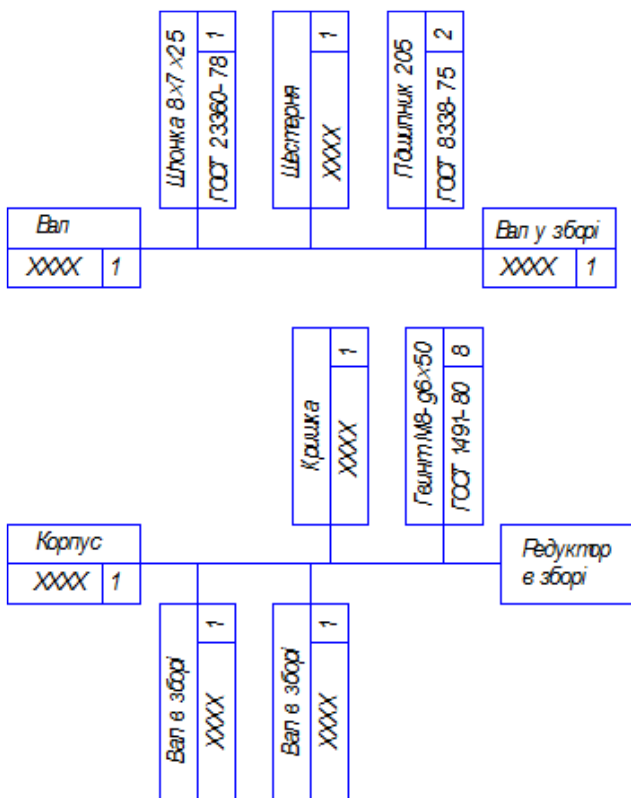


Рисунок 1.31 – Типова схема складання

#### 1.4 Класифікація поверхнь деталі. Основні поняття

Під час складання елементів машини необхідно забезпечити правильне розміщення деталей і вузлів у складальних одиницях, а під час оброблення заготовок – їх правильне орієнтування щодо елементів технологічної системи.

Взаємне орієнтування виробів у складальних одиницях і заготовок під час оброблення виконують їх базуванням.

Поверхні деталей поділяють на три види (рис. 1.32):

- виконавчі;
- базові;
- вільні.

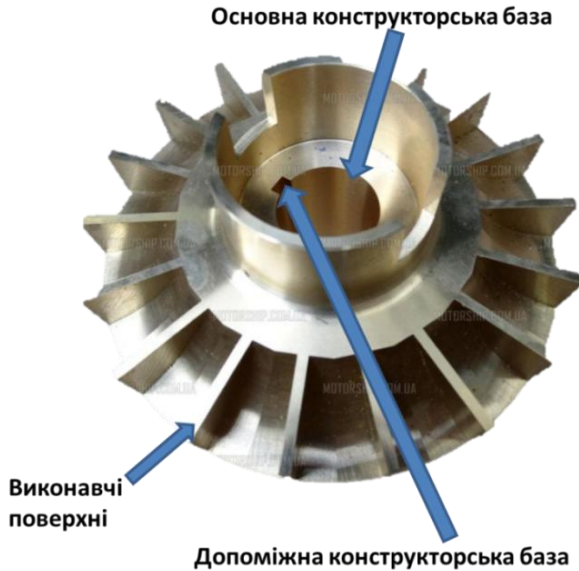


Рисунок 1.32 – Приклад деталі з класифікацією баз

**Виконавчі поверхні** – це поверхні, за допомогою яких виріб безпосередньо виконує своє службове призначення (поверхня шківів, що стикається з приводним пасом; поверхня різів в гвинтових механізмах; робоча поверхня зубів коліс; поверхні лопаток, що взаємодіють із робочим середовищем у твердому, рідкому, газоподібному стані; поверхні відбивачів світлових, теплових та інших потоків).

**Базові поверхні** – це поверхні, за допомогою яких визначають положення певного виробу у виробі вищого рівня або положення інших виробів, приєднаних до нього.

**Вільні поверхні** – це поверхні, що не стикаються з поверхнями інших виробів, але обумовлюють габарити, масу, жорсткість та інші параметри деталей. Ці поверхні можуть підлягати або не підлягати обробленню, тобто залишатися в стані вихідної заготовки.

Усі ці поверхні утворюють множину сполучуваних і несполучуваних поверхонь. Перші виконують певні функції виконавчих або базових, а другі – вільних.

**База** – це поверхня, сполучення поверхонь або вісь, точка заготовки чи виробу, використовувані для базування. Бази класифікують за наведеними далі ознаками.

За призначенням:

- конструкторські (основні й допоміжні);
- технологічні;
- вимірювальні.

За кількістю ступенів вільності, що вони позбавляють:

- опорна (одна ступінь вільності);
- подвійна опорна (два ступені вільності);
- напрямна (два ступені вільності);
- установча (три ступені вільності).
- подвійна напрямна (чотири ступені вільності).

За характером прояву:

- явні (реальні поверхні, розмічувальні риси або точки);
- сховані (уявна площина, вісь симетрії тощо).

*Основну конструкторську базу* використовують для визначення положення самої деталі або складальних одиниць у виробі.

*Допоміжна конструкторська база* призначена для визначення положення деталей або складальних одиниць, що приєднаних до конкретного виробу.

*Технологічна база* – це база, використовувана для визначення положення заготовки або виробу під час виготовлення, складання чи ремонту.

*Вимірювальна база* – це база, використовувана для визначення відносного положення поверхонь або виробів і засобів вимірювання.

## Лекція 2

### Оброблення деталей складної конфігурації на верстатах токарної групи

#### План

- 2.1 Основні типи поверхонь обертання.
- 2.2 Поверхні колінчастих і розподільних валів та методи їх оброблення.
- 2.3 Токарно-фрезерне оброблення.
- 2.4 Способи підвищення продуктивності оброблення деталей складної конфігурації на верстатах токарної групи.

#### 2.1 Основні типи поверхонь обертання

У деталях насосного обладнання є велика кількість поверхонь обертання, плоских і складнопрофільних. Усі вони потребують різноманіття методів їх оброблення.

Розглянемо найбільш поширений вид поверхонь деталей насосів та машин загалом – поверхні обертання.

**Поверхня обертання** – це поверхня, утворена в результаті обертання навколо прямої (осі обертання) довільної лінії (твірної).

Виділяють прості й складні поверхні обертання.

До простих належать поверхні, утворювані в результаті обертання кривих першого порядку навколо осі (рис. 2.1):

- циліндр;
- конус;
- зрізаний конус.

Складними є поверхні, утворювані в результаті обертання кривих другого та вищого порядків навколо осі (рис. 2.2):

- сфера;
- тороїд;
- еліпсоїд обертання;
- параболоїд обертання;
- гіперболоїд;
- катеноїд;
- гелікоїд.

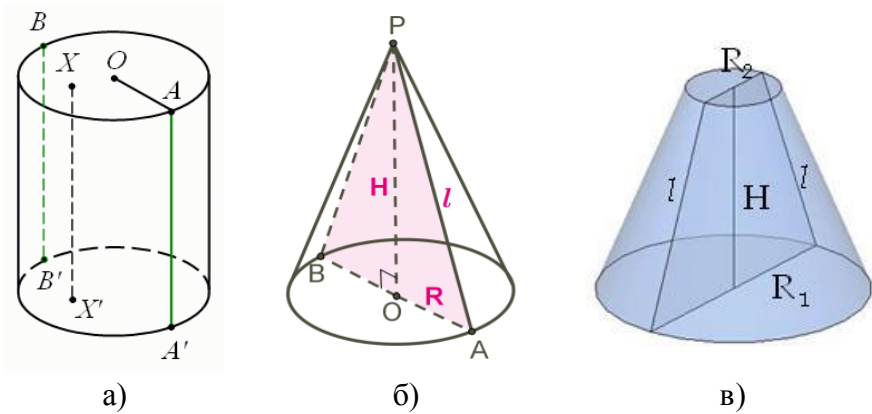


Рисунок 2.1 – Прості поверхні обертання:  
 а) циліндр; б) конус; в) зрізаний конус

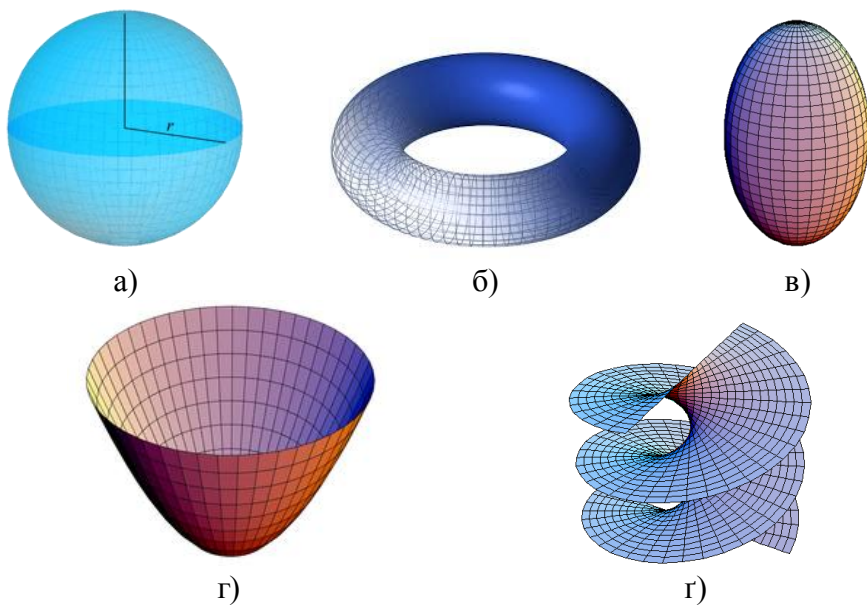


Рисунок 2.2 – Складні поверхні обертання:  
 а) сфера; б) тороїд; в) еліпсоїд обертання;  
 г) параболоїд обертання; г) гелікоїд

Дамо коротке визначення типів поверхонь.

**Циліндр** – це геометричне тіло, утворене в результаті обертання прямої, паралельної до осі обертання.

**Конус** – це геометричне тіло, що отримують способом об'єднання всіх променів, які виходять з однієї точки – вершини конуса, і тих, що проходять через довільну плоску криву.

**Сфера** – це геометричне тіло, утворене в результаті обертання кола навколо осі, розміщеної в тій самій площині, що проходить через центр сфери.

**Тороїд** – це геометричне тіло, що отримують у результаті обертання кола навколо осі, яка його не перетинає й лежить в тій самій площині.

**Еліпсоїд обертання** – це геометричне тіло, утворене в результаті обертання еліпса навколо однієї з його осей.

**Параболоїд обертання** – це еліптичний параболоїд, що отримують у результаті обертання параболи навколо своєї осі.

**Гіперболоїд** – це вид поверхні другого порядку в тривимірному просторі, що задають у декартових координатах рівнянням

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1,$$

де

– для *однопорожнинного гіперболоїда*:

$a$  і  $b$  – дійсні півосі;

$c$  – уявна піввісь;

– для *двопорожнинного гіперболоїда*:

$a$  та  $b$  – уявні півосі;

$c$  – дійсна піввісь.

**Катеноїд** – це поверхня, утворена в результаті обертання ланцюгової лінії навколо осі, що задають рівнянням

$$y = a \cdot c h \frac{x}{a}.$$

*Гелікоїд* – це гвинтова поверхня, яку можна описати зазначеними далі параметричними співвідношеннями, що утворюється в результаті руху прямої, яка обертається навколо перпендикулярної до неї осі й одночасно поступально рухається в напрямку цієї осі так, що швидкості цих рухів пропорційні.

$$x = u \cdot \cos v,$$

$$y = u \cdot \sin v,$$

$$z = hv.$$

## **2.2 Поверхні колінчастих і розподільних валів та методи їх оброблення**

Колінчасті вали є не лише частинами двигунів внутрішнього згоряння, компресорів та іншої техніки, якій необхідне перетворення зворотно-поступального руху на обертальний і навпаки, а й основною складовою поршневих насосів.

*Колінчастий вал (КВ)* – це вал складної форми, призначений для перетворення зворотно-поступального руху (наприклад, поршня) на обертальний навколо своєї осі, що має шийки, зміщені від осі обертання, для кріплення шатунів, від яких він сприймає зусилля та перетворює їх на крутний момент. Зазначений вал є складовою будь-якого кривошипно-шатунного механізму.

Основні типи КВ складаються з корінних співвісних із вихідним кінцем вала й шатунних шийок, зміщених на певний ексцентриситет. Також складовими КВ є щоки, отвори для мастила, противаги та хвостовик (рис. 2.3). Вузол кривошипно-шатунного механізму наведено на рисунку 2.4.



Отвори для подавання мастила



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд КВ



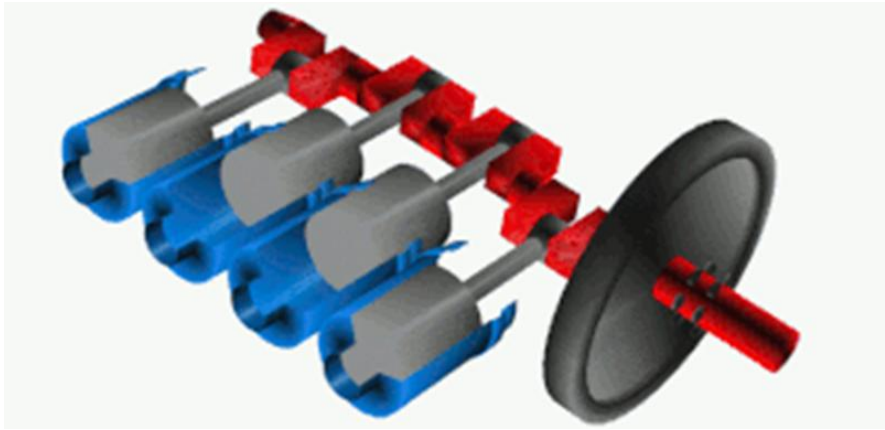


Рисунок 2.4 – Кривошипно-шатунний механізм

Будь-який КВ незалежно від типу, призначення й особливостей має принципово однакову конструкцію. Загалом він поділений на кілька зазначених далі частин.

**Корінні шийки** – це частини КВ, що становлять його поздовжню вісь. Ними вал спирається на блок двигуна / насоса. У блок вал монтується за допомогою розміщених на корінних шийках вкладишів (підшипників ковзання).

**Шатунні шийки** – це місця, що є опорами для установки шатунів. На КВ шатун монтується за допомогою розміщених на шатунних шийках вкладишів.

**Щоки** – це поперечні місця, за допомогою яких поєднують корінні шийки із шатунними. Від довжини щік залежить хід поршня в циліндрі й відповідно робочий об'єм.

**Противаги** (не в усіх КВ) – це продовження щік із їх зворотного боку. Вони є вантажами, що врівноважують сили інерції, які виникають під час руху шатунних шийок і шатунів. Противаги знижують дисбаланс вала, забезпечуючи усунення биття й розвантаження деталей КШМ.

**Хвостовик** (задня вихідна частина КВ) – це ділянка, що виходить за межі блока силового агрегата зі сторони останнього циліндра (а точніше – зі сторони передавання крутного моменту

на агрегати трансмісії). Зазвичай вона виконана як фланець для монтування маховика.

Колінчастий вал у виробі спирається на *підшипники ковзання* (що також називають вкладишами), закріпленими в картері. Також підшипники ковзання передбачені для опори шатунів на колінчастий вал. Ці підшипники виконані зі сталеві стрічки, покритої спеціальним антифрикційним сплавом (бабітом), що знижує сили тертя між підшипником і валом.

Матеріал та технологія виготовлення найчастіше тісно пов'язані між собою. У нашому разі сталеві КВ отримують куванням, а чавунні – литтям.

Найчастіше використовують сталі марок 45, 45Х, 45Г2, 50Г, а для важконавантажених КВ – 40ХНМА, 18ХНВА. Перевагами сталевих КВ є найвища міцність, можливість отримання високої твердості шийок азотуванням. Крім того, чавунні КВ дешевші.

Використання вуглецевої сталі для виготовлення КВ для двигунів і насосів малої й середньої напруженостей можна пояснити низькою вартістю термооброблення та гарними механічними властивостями цих сталей.

Для переважної кількості КВ стаціонарних, суднових і тепловозних дизелів частіше використовують якісні вуглецеві сталі марок 35, 40, 50, 35Г, 40Г, 45Г, 50Г та ін. Вали швидкохідних двигунів і невеликих швидкохідних насосів виготовляють із таких самих сталей, а також із хромових, хромонікелевих, хромомолібденових (40Х, 40ХН, 35ХМ, 30ХН2МА, 18Х2Н4МА тощо).

Сталі, леговані ванадієм, хромом, молібденом, нікелем мають підвищену твердість, пластичність, зносостійкість (30ХМА, 20ХН3А, 38Х2МЮА, 40Х2Н2МА, 25Х2Н4МА, 38Х2МЮА та ін.) і служать для виготовлення КВ кривошипно-шатунних механізмів підвищеної потужності.

У двигунах тракторної та автомобільної техніки останнім часом нерідко використовують литі КВ з високоміцного чавуну з кулястим графітом. Ця технологія, відома ще з радянських часів, знову стала популярною.

Виготовлення литих чавунних КВ технологічно простіше й істотно дешевше. Водночас економія металу збільшується з ускладненням конструкції КВ, а зносостійкість шийок зростає завдяки наявності більшої кількості графіту в чавуні, надійність роботи КВ підвищується завдяки великій циклічній в'язкості чавуну. Проте під час виготовлення чавунних КВ особливу роль відіграє якісне лиття на сучасному обладнанні для внеможливлення ливарних дефектів. Також міцність литого КВ повністю залежить від властивостей матеріалу. У разі використання високоміцних марок чавуну ВЧ або спеціального модифікованого чавуну марок СЧ КВ достатньо міцний і не потребує подальшого термооброблення. Литий КВ має рівномірну твердість по всьому перетину, що не знижується після шліфування.

Механічне оброблення, а відповідно й технологічний процес (ТП) оброблення КВ, ускладнюється через їх непросту конструкцію, недостатню жорсткість і порівняно легку деформованість під дією сил різання, у той час як високі вимоги до точності оброблюваних поверхонь зумовлюють особливі вимоги до вибору методів базування, закріплення та оброблення КВ, а також послідовності, поєднання операцій і вибору обладнання.

Здебільшого як бази КВ беруть поверхні його опорних шийок, але їх можна використовувати не на всіх операціях. За певних умов на окремих операціях як технологічну базу беруть поверхні центрових отворів, розміщені на щоках та співвісні із шатунними шийками.

Показники точності опорних і шатунних шийок КВ перебувають у межах 6–7-го квалітетів, шорсткості Ra – у межах 0,2–0,4 мкм. Величини радіального биття й співвісності опорних шийок залежно від розмірів становлять 0,005–0,02 мм, що відповідає 4–6 ступеням точності.

Під час проєктування ТП прагнуть компенсувати недостатню жорсткість КВ уведенням проміжних опор (люнетів) по довжині вала. У разі використання таких опор як додаткові

технологічні бази беруть поверхні попередньо оброблених шийок.

Поряд із КВ у конструкції поршневих насосів для перекачування рідини потрібно керувати процесами впускання й випускання рідини з поршневої камери. Для цього потрібні розподільні вали.

**Розподільний вал (РВ)** – це вал складної форми, що входить у конструкцію двигуна внутрішнього згоряння або парового, поршневого чи паливного насосів, за допомогою якого керують відкриттям і закриттям клапанів агрегата; основна деталь розподільного механізму, що служить для синхронізації тактів роботи агрегата й упускання-випускання паливної суміші / повітря та відпрацьованих газів.

Основними частинами РВ є опорні шийки, кулачки, хвостовик (рис. 2.5). Приклади різних конструкцій РВ зображені на рисунку 2.6 [5].

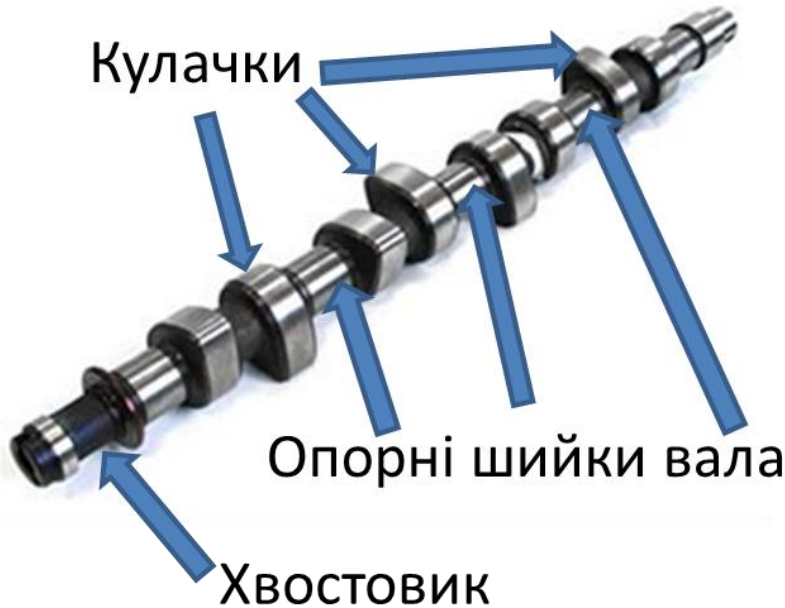


Рисунок 2.5 – Загальний вигляд та основні частини РВ



Рисунок 2.6 – Приклади конструкцій РВ

Будь-який РВ незалежно від типу, призначення й особливостей має принципово однакову конструкцію. Загалом РВ поділений на кілька частин:

– *опорні шийки* – частини РВ, що становлять його поздовжню вісь. Ними вал спирається на корпус через вкладиші (підшипники ковзання);

– *кулачки* – місця, що є основою конструкції РВ. На кожний клапан використовують переважно один кулачок. Кулачок має складну форму, що забезпечує відкриття й закриття клапана в установленій час і його підйом на певну висоту. Залежно від конструкції газорозподільного механізму кулачок взаємодіє або зі штовхачем, або з коромислом;

– *хвостовик* – місце, що виходить за межі блока силового агрегата, для закріплення механізму передавання, необхідного для з'єднання з КВ, щоб узгодити їх рухи.

Розподільний вал був уперше описаним у Туреччині в 1206 р. Його використовували як частину водопідйомних машин і водяних годинників. Пізніше РВ з'явився у європейських механізмах у XIV ст.

Насамперед чавунні РВ дешевші, ніж сталеві. За величиною зношуваності вони приблизно однакові в експлуатації, але чавун є крихким матеріалом, унаслідок чого під час екстремальних режимів роботи двигун може вийти з ладу.

Сталь – пластичний матеріал, що дозволяє РВ краще переносити екстремальні навантаження.

Здебільшого РВ виготовляють суцільними, але такі виробники, як «AUDI», установлюють накладки з кулачками на

вісь, утворюючи так збірну конструкцію. Розподільні вали зі сталі отримують куванням, а чавунні – литтям.

Найчастіше використовують чавуни марок КЧ 35-10, КЧ 37-12, ВЧ 35, ВЧ 40, а для важконавантажених РВ – сталі марок 40 ХНМА, 18 ХНВА. Перевагою сталевих валів є висока міцність, можливість отримання високої твердості шийок азотуванням. Перевага чавунних РВ – дешевизна.

Механічне оброблення, а відповідно й технологічний процес оброблення РВ, ускладнюється через їх непросту конструкцію, недостатню жорсткість і порівняно легку деформованість під дією сил різання, у той час як високі вимоги до точності оброблюваних поверхонь зумовлюють особливі вимоги до вибору методів базування, закріплення та оброблення вала, а також послідовності, поєднання операцій і вибору обладнання.

Здебільшого як бази РВ беруть поверхні його опорних шийок та центрові отвори, що є співвісними.

Показники точності опорних шийок РВ перебувають у межах 6–7-го квалітетів, шорсткості Ra – у межах 0,4–0,8 мкм. Величини радіального биття й співвісності опорних шийок залежно від розмірів становлять 0,01–0,03 мм, що відповідає 5–7 ступеням точності.

Під час проектування ТП прагнуть компенсувати недостатню жорсткість РВ введенням проміжних опор по довжині вала (люнетів). У разі використання таких опор як додаткові технологічні бази беруть поверхні попередньо оброблених шийок.

### **Методи механічного оброблення поверхонь колінчастих та розподільних валів**

У результаті інтенсивного розвитку верстатів із ЧПК в останні два десятиріччя стало часто застосовуваним токарно-фрезерне оброблення КВ і РВ на токарно-фрезерних верстатах із ЧПК.

Проте, щоб зрозуміти підходи й принципи механічного оброблення, розглянемо його як суму складових окремих методів.

У сучасному машинобудуванні є тенденція знижувати обсяг оброблення металів різанням способом підвищення точності вихідних заготовок. Залежно від характеру виконуваних робіт і виду різального інструмента розрізняють такі методи оброблення металів різанням: точіння, фрезерування, свердління, стругання, довбання, шліфування, протягання та ін. (рис. 2.7).

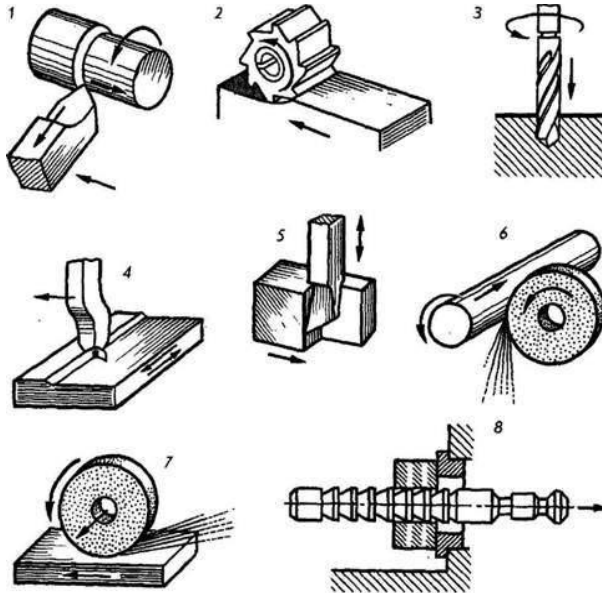


Рисунок 2.7 – Найпоширеніші методи механічного оброблення в машинобудуванні: 1 – точіння; 2 – фрезерування; 3 – свердління; 4 – стругання; 5 – довбання; 6, 7 – шліфування; 8 – протягання

### Поняття й показники точності методів механічного оброблення

**Токарне оброблення** – це механічне оброблення різанням зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання, зокрема циліндричних та конічних, торцювання, відрізання, зняття фасок, оброблення галтелей, прорізання канавок, нарізування внутрішніх і зовнішніх різьблень на токарних верстатах (рис. 2.8).

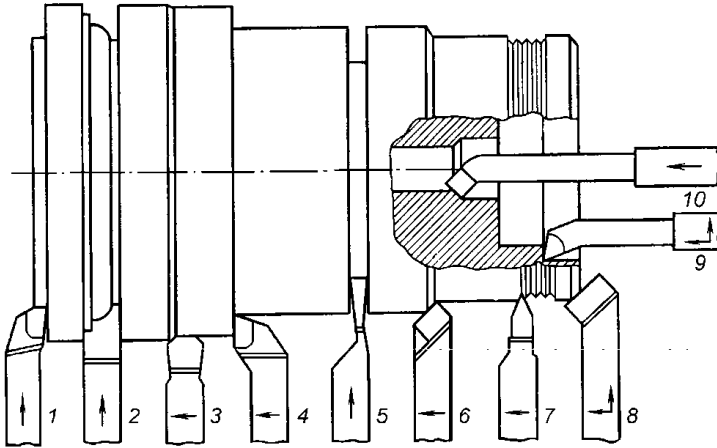


Рисунок 2.8 – Основні види точіння:

- 1, 8 – поперечне точіння (підрізування торців);  
 3, 4, 6, 8 – поздовжнє точіння; 5 – точіння канавок; 5 – відрізування;  
 2 – фасонне точіння; 7 – нарізування різі; 9, 10 – розточування

**Точіння** – одна з найдавніших технічних операцій, що була механізованою за допомогою примітивного токарного верстата.

Під час точіння необхідні два рухи – обертальний і поступальний.

Обертальний рух заготовки називають головним рухом різання, а поступальний рух різального інструмента – рухом подачі. Розрізняють також допоміжні рухи, безпосереднього не пов'язані з процесом різання, що забезпечують транспортування й закріплення заготовки на верстаті, його ввімкнення та зміну частоти обертання заготовки або швидкості поступального руху інструмента тощо.

За технологічними можливостями точіння умовно поділяють на:

– *чорнове точіння* – видалення дефектних шарів заготовки, розрізання, відрізування й підрізування торців заготовки. Зрізаються поверхнева «кірка» та основна частина (не менше ніж 70 %) припуску на оброблення, дозволяє одержувати шорсткість Ra 50–12,5 мкм;



– *напівчистове точіння* – надання заготовці форми, близької до майбутньої деталі з обробленням певних поверхонь до розмірів згідно з кресленням. Водночас знімаються 20–25 % припуску, що дозволяє одержувати шорсткість Ra 6,3–3,2 мкм і точність 10–11-го квалітету;

– *чистове точіння* – процес, що здебільшого забезпечує одержання остаточної форми, розмірів та шорсткості всіх або більшості поверхонь деталі. Водночас поверхні мають шорсткість Ra 3,2–1,6 мкм і точність 7–9-го квалітету;

– *тонке точіння* – процес, що дозволяє в результаті зрізання дуже тонких стружок одержувати на поверхнях деталі шорсткість Ra 0,4–0,2 мкм, точність 5–7-го квалітету й ступені точності взаємного розміщення поверхонь у межах 6–10 ступенів точності. Зараз його все частіше застосовують замість шліфувального оброблення з огляду на підвищення технологічних показників верстатів.

Поряд із точінням основним методом механічного оброблення плоских і фасонних поверхонь є фрезерування.

**Фрезерування** – поширений технологічний процес оброблення металів різанням: у машинобудуванні він становить близько 15 % усіх видів оброблення різанням.

Для фрезерування використовують *фрези* – багатолезовий різальний інструмент, кожний зуб якого – це різець. Усі різці фрези розміщені по колу циліндра й обертаються навколо його осі. Під час фрезерування фреза здійснює обертовий рух, а оброблювана заготовка – поступальний. Конструкція фрези залежить від виду оброблюваної поверхні й типу верстата.

Для здійснення процесу різання необхідно мати два рухи – головний (робочий) і рух подачі.

Під час фрезерування головним рухом є обертання фрези, а рухом подачі – поступальне переміщення оброблюваної заготовки в поздовжньому, поперечному або вертикальному напрямках. Швидкість головного руху завжди більша за швидкість руху подачі.

На рисунку 2.9 наведені різні типи фрез, використовувані для отримання поверхонь деталей машин загалом і насосів зокрема.

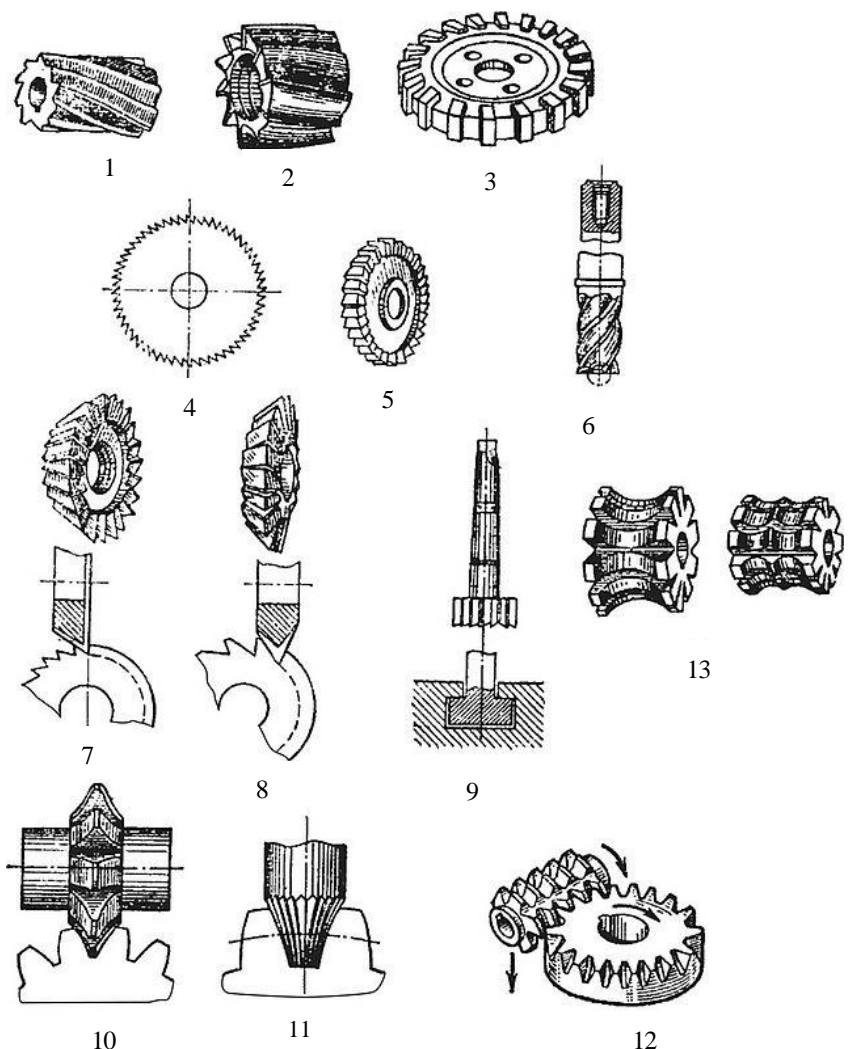


Рисунок 2.9 – Типи фрез:

1, 2 – циліндричні; 3 – торцеві; 4, 5 – дискові; 6 – кінцеві;  
 7, 8 – фрези типу «хвіст ластівки»; 9 – фрези для Т-подібних пазів; 10 – фасонні; 11, 12, 13 – модульні

Різні види фрезерних верстатів обумовлені конструкцією й призначенням інструмента, а також способами подачі фрези, серед яких можна виділити гвинтовий, обертальний та прямолінійний. Робочі кромки різального інструмента, кожна з яких, фактично, є різцем, виготовляють з особливо твердих сплавів і швидкорізальних сталей або таких матеріалів, як кераміка, алмаз, карбід та інші.

Різноманітність фрез дає можливість вибирати матеріал на найскладніших ділянках, у результаті чого заготовці можна надати необхідної форми, перетворивши її на конкретну деталь.

Дискові фрези використовують для таких типів робіт:

- відрізання заготовок;
- прорізання пазів;
- вирізання прохідних карманів;
- зняття фасок та ін.

Різальні елементи таких інструментів можуть бути розміщеними як з однієї, так і з двох сторін. Залежно від виду оброблення (від попереднього до фінішного) змінюють розмір фрези та її зубів. Твердосплавні дискові фрези функціонують у найскладніших умовах за високої вібрації й неможливості ефективно виводити стружку з області різання, що часто призводить до їх поломки.

З усіх різновидів дискових фрез можна виділити:

- пазові;
- прорізні;
- відрізні;
- призначені для оброблення деталі з двох або трьох сторін.

Назви цих інструментів обумовлені їх призначенням. Зокрема, відрізні фрези потрібні для відрізки заготовок із металу на фрезерних верстатах, а за допомогою прорізних прорізають пази й шліци.

Торцеві фрези використовують для оброблення плоских і ступінчастих поверхонь. Із самої назви зрозуміло, що торцева частина інструмента є робочою, відповідно вісь його обертання перпендикулярна до оброблюваної площини деталі. Найчастіше такі фрези досить масивні, завдяки чому в них зручно

використовувати змінні пластини. Велика кількість зубців на ділянці контакту з деталлю дозволяє досягнути високої швидкості оброблення й плавності роботи інструмента.

Фрези такого типу можуть бути як з прямими, так і з гвинтовими зубцями. Першими обробляють вузькі площини, а другі функціонують більш плавно, тому є універсальними.

Осьові зусилля, що виникають за певних режимів роботи фрез із гвинтовими зубцями, бувають дуже високими. У такому разі використовують здвоєні інструменти, зубці яких розміщені з різним напрямком нахилу. Завдяки цьому рішенню осьові зусилля, що виникають у процесі різання, урівноважуються.

Фрези типу «хвіст ластівки» належать до кутових. Край такої фрези використовують для оброблення похилих поверхонь, а також кутових пазів, тому що він має конічну поверхню. Виготовляють як одно- так і двокутові інструменти, що відрізняються між собою розміщенням різальної кромки (у двокутових фрезах вони розміщені на двох суміжних конічних поверхнях, а в однокуткових – на одній конічній поверхні). За допомогою таких фрез можна виконувати стружкові канавки в різних інструментах.

Кінцеві (або пальчикові) фрези використовують для створення пазів, контурних уступів і виїмок, оброблення взаємно перпендикулярних площин.

Кінцеві фрези поділяють на кілька видів за такими ознаками:

- монолітні або з припаяними різальними елементами;
- із конічним або циліндричним хвостовиком;
- для фінішного (з дрібними зубцями) або чорнового (з великими зубцями) оброблення.

Кінцеві твердосплавні фрези використовують для роботи з важкооброблюваними металами – корозійностійкими сталями, чавуном та ін.

Серед кінцевих фрез виділяють також сферичні (кульові), необхідні для оброблення піднутрень сферичної форми; радіусні, призначені для оброблення пазів різноманітних форм; грибокві (фрези для Т-подібних пазів) твердосплавні фрези для

T-подібних пазів на заготовках із чавуну, сталі, кольорових металів. До кінцевих також належать гравери, або фрези для гравіювання, використовувані для оброблення дорогоцінних металів, міді, латуні та ін.

Фасонні фрези призначені для оброблення фасонних поверхонь. Такі фрези активно використовують для оброблення деталей із металу зі значним співвідношенням довжини заготовки до її ширини, тому що фасонні поверхні деталей невеликої довжини у великосерійному виробництві частіше виготовляють методом протягування.

За типом зубців фасонні фрези поділяють на два типи:

- з гострими зубцями;
- із затилованими зубцями.

Фасонні фрези із затилованими зубцями найскладніше заточувати.

Черв'ячні фрези використовують для оброблення методом обкатки завдяки точковому торканню до заготовки інструмента. Черв'ячні фрези поділяють на ряд підвидів за такими параметрами:

- цільні або збірні;
- праві або ліві (напрямок витків);
- однозахідні або багатозахідні;
- з нешліфованими або зі шліфованими зубцями.

Для методів фрезерування можна виділити такі **показники точності оброблення та якості поверхневого шару**:

1) оброблення циліндричними й торцевими фрезами:

- точність оброблення – IT 8–14 (переважно IT 10–12);
- шорсткість – Ra 1,6–12,5 (переважно Ra 3,2–6,3);
- точність форми оброблюваних поверхонь – 8–12 (переважно 10);

2) оброблення пазів дисковими фрезами:

- точність оброблення – IT 9–12 (переважно IT 10);
- шорсткість – Ra 3,2–12,5 (переважно Ra 3,2–6,3);
- точність форми оброблюваних поверхонь – 8–12 (переважно 10);

3) *оброблення кінцевими фрезами:*

- точність оброблення – IT 8–14 (переважно IT 10–12);
- шорсткість – Ra 1,6–12,5 (переважно Ra 3,2–6,3);
- точність форми оброблюваних поверхонь – 7–11 (переважно 9);

4) *оброблення назів типу «хвіст ластівки», T-подібних назів і фасонних поверхонь:*

- точність оброблення – IT 8–14 (переважно IT 10–12);
- шорсткість – Ra 1,6–12,5 (переважно Ra 3,2–6,3);
- точність форми оброблюваних поверхонь – 8–12 (переважно 10).

Вищезазначені показники залежать від характеристик оброблюваного матеріалу, типу виробництва, точності обладнання й режимів оброблення.

Майже кожна деталь має у своїй конструкції отвори як циліндричної й конічної, так і східчастої форми. Їх усі (за винятком отворів у тілах обертання) здебільшого обробляють на свердлильних операціях. ***На свердлильних операціях виконують:***

– *свердління* – основний спосіб отримання глухих і наскрізних циліндричних отворів у суцільному матеріалі заготовки. Як інструмент під час свердління використовують свердло, що має дві головні різальні кромки. Для свердління використовують свердлильні й токарні верстати. На перших свердло здійснює обертальний рух і поздовжній рух подачі вздовж осі отвору, заготовка нерухома. Під час роботи на токарних верстатах обертальний рух здійснює оброблювана деталь, а поступальний рух уздовж осі отвору, тобто рух подачі, – свердло;

– *розсвердлювання* – збільшення діаметра просвердленого отвору свердлом більшого діаметра;

– *зенкерування* – оброблення попередньо отриманих отворів для надання їм більш правильної геометричної форми, підвищення точності й зниження шорсткості зенкером – багатолезовим різальним інструментом, що має більш жорстку робочу частину та не менше ніж три зубці;

– *розгортання* – остаточне оброблення циліндричного або конічного отвору розгортанням для отримання високої точності й низької шорсткості. Розгортка – багатозазубний інструмент, функціонально здатний зрізати дуже тонкі шари матеріалу з оброблюваної поверхні;

– *цекування* – оброблення отворів у деталях для отримання циліндричних заглиблень, опорних площин навколо отворів або зняття фасок (зенкування). Застосовують для оброблення попередньо просвердлених отворів під головки болтів, гвинтів і заклепок;

– *нарізування різьї мітчиками* – процес отримання різьової поверхні в попередньо обробленому отворі за допомогою мітчика.

Ескізи інструментів з видами оброблення наведені на рисунку 2.10.

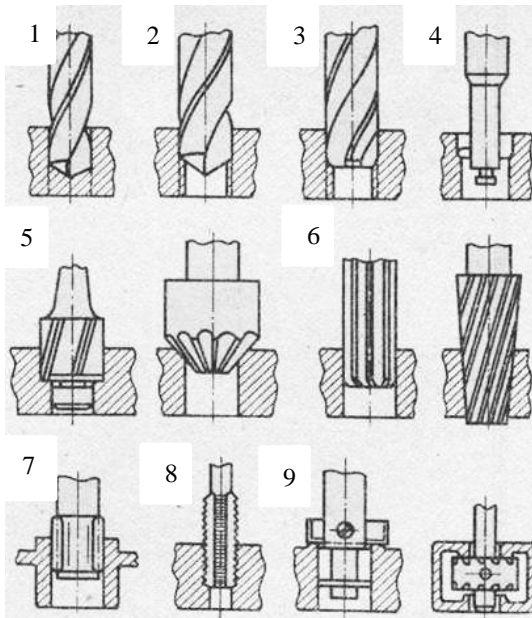


Рисунок 2.10 – Види оброблення отворів:

1, 2 – свердління, розсвердлювання; 3, 4 – зенкерування;

5 – цекування, зенкування; 6, 7 – розгортання;

8 – нарізування різьї; 9 – цекування площин бобишок

Для методів свердління можна виділити такі **показники точності оброблення та якості поверхневого шару**:

1) свердління / розсвердлювання:

– точність оброблення – IT 12–14 (переважно IT 13);  
– шорсткість – Ra 3,2–12,5 (переважно Ra 6,3);  
– точність форми оброблюваних поверхонь – 12–16 (переважно 14);

2) зенкерування:

– точність оброблення – IT 9–11 (переважно IT 10);  
– шорсткість – Ra 1,6–6,3 (переважно Ra 3,2);  
– точність форми оброблюваних поверхонь – 8–12 (переважно 10);

3) розгортання:

– точність оброблення – IT 6–8 (переважно IT 7);  
– шорсткість – Ra 0,8–3,2 (переважно Ra 1,6);  
– точність форми оброблюваних поверхонь – 6–9 (переважно 8);

4) цекування, зенкування:

– точність оброблення – IT 12–14 (переважно IT 14);  
– шорсткість – Ra 3,2–12,5 (переважно Ra 6,3);  
– точність форми оброблюваних поверхонь – 12–16 (переважно 14);

5) нарізування різей мітчиками:

– клас точності різі – 7–8 (переважно 7);  
– шорсткість – Ra 1,6–3,2 (переважно Ra 3,2).

Вищезазначені показники залежать від характеристик оброблюваного матеріалу, типу виробництва, точності обладнання та режимів оброблення.

Поряд з обробленням площин і пазів фрезеруванням у виробництві, хоча й менше ніж 20–30 років тому, але активно застосовували стругання площин і довбання пазів.

**Стругання й довбання** – лезове оброблення різанням відкритих плоских і фасонних, зовнішніх та внутрішніх поверхонь із прямолінійним, зворотно поступальним головним рухом, що надається різальному інструменту, й дискретним, прямолінійним або криволінійним рухом подачі, який надається



заготовці в кінці зворотного ходу інструмента. Під час стругання головний рух надається інструменту в горизонтальній площині, а під час довбання – у вертикальній.

Залежно від напрямку руху подачі розрізняють: стругання зовнішніх горизонтальних, вертикальних, фасонних і похилих поверхонь, пазів та рифлень і довбання зовнішніх та внутрішніх вертикальних плоских або фасонних поверхонь (рис. 2.11).

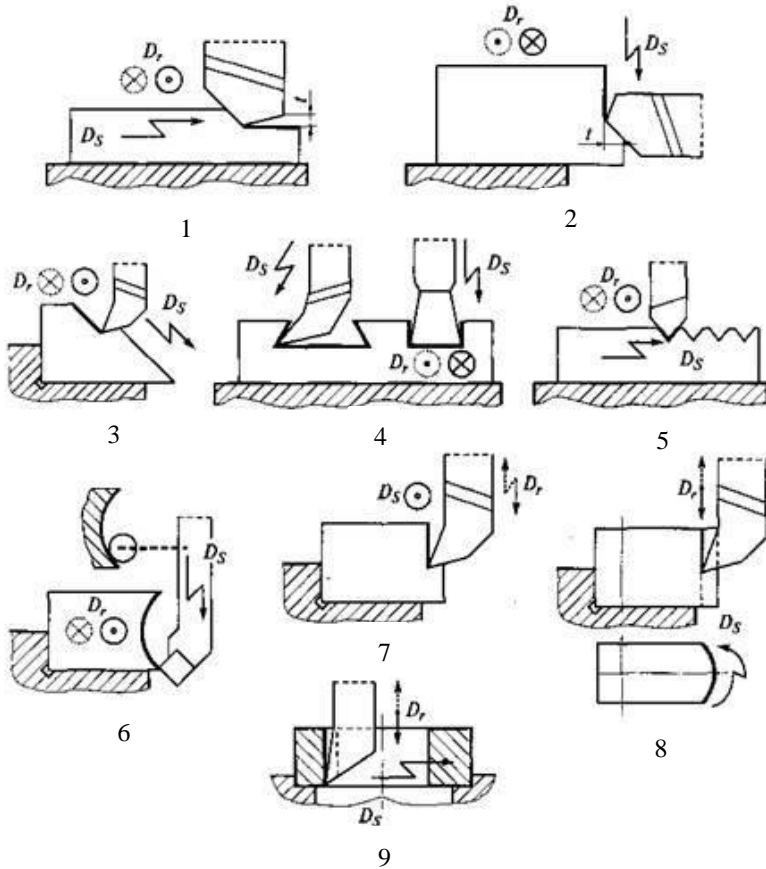


Рисунок 2.11 – Види стругання та довбання:

- 1 – поздовжнє стругання; 2 – поперечне стругання;
- 3 – стругання під кутом; 4, 5 – стругання канавок;
- 6 – фасонне стругання; 7, 8 – довбання зовнішніх поверхонь;
- 9 – довбання внутрішніх поверхонь (пазів)

Довбання закритих шпонкових пазів, що здебільшого зустрічаються в робочих колесах насосів, виконують лише на довбальних верстатах. Воно не має альтернативи серед інших видів оброблення.

Для методів стругання / довбання можна виділити такі **показники точності оброблення та якості поверхневого шару:**

*1) поперечне / поздовжнє стругання площин:*

- точність оброблення – IT 7–14 (переважно IT 8–10);
- шорсткість – Ra 1,6–12,5 (переважно Ra 3,2–6,3);
- точність форми оброблюваних поверхонь – 8–14 (переважно 11);

*2) стругання під кутом, стругання канавок, фасонне стругання:*

- точність оброблення – IT 9–14 (переважно IT 12);
- шорсткість – Ra 3,2–12,5 (переважно Ra 6,3);
- точність форми оброблюваних поверхонь – 10–14 (переважно 12);

*3) довбання пазів:*

- точність оброблення – IT 7–12 (переважно IT 9);
- шорсткість – Ra 1,6–6,3 (переважно Ra 3,2);
- точність форми оброблюваних поверхонь – 10–14 (переважно 12).

Вищезазначені показники залежать від характеристик оброблюваного матеріалу, типу виробництва, точності обладнання й режимів оброблення.

Як фінішний метод оброблення циліндричних та плоских поверхонь деталей насосного обладнання широко застосовують шліфування.

**Шліфування** – це процес чистового та оздоблювального оброблення деталей інструментів і машин за допомогою зняття з їх поверхні тонкого шару металу шліфувальними кругами, поверхня яких містить абразивні зерна.

Абразивні зерна розміщені хаотично. Під час обертального руху в зоні контакту із заготовкою частина зерен зрізає матеріал як дуже велику кількість тонких стружок (до 100 млн дрібних стружок за хвилину). Процес різання кожним зерном миттєвий.

Оброблена поверхня є сукупністю мікрослідів абразивних зерен і має малу шорсткість. Шліфування застосовують для чистового й оздоблювального оброблення деталей із високою точністю. Головним рухом під час шліфування є обертання шліфувального круга, а переміщення круга щодо деталі або деталі щодо круга є рухом подачі.

Загалом розрізняють кругле, плоске, внутрішнє та безцентрове шліфування (рис. 2.12).

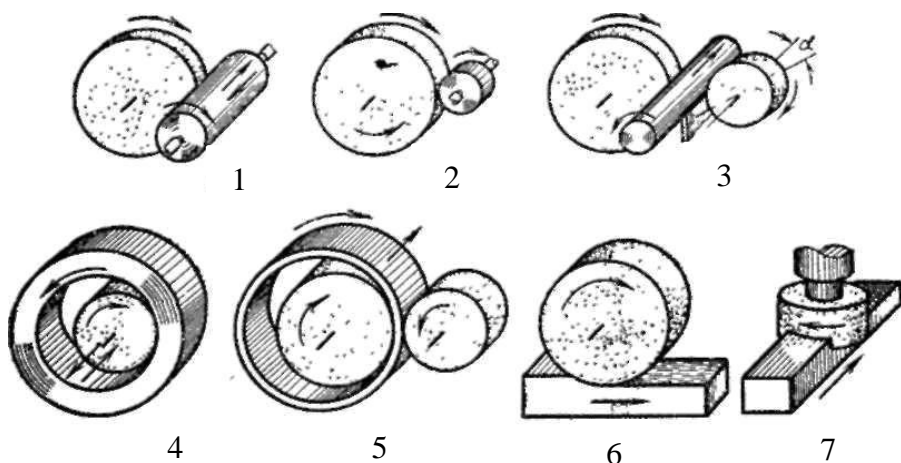


Рисунок 2.12 – Методи шліфування:

- 1, 2 – кругле зовнішнє; 3 – безцентрове зовнішнє;
- 4 – кругле внутрішнє; 5 – безцентрове внутрішнє;
- 6 – плоске шліфування периферією круга;
- 7 – плоске шліфування торцем круга

### ***Особливості процесу шліфування***

Шліфування поверхонь деталей порівняно з іншими подібними за технологією операціями має такі особливості, що забезпечують перевагу в разі вибору фінішного оброблення деталей, зокрема:

- високу швидкість виконання операції;
- значне нагрівання в результаті процесу тертя (1 000 °С);
- деформування верхнього шару оброблюваної заготовки.

Щоб істотно не деформувати поверхні, під час шліфування необхідно використовувати мастильно-охолодну суміш, призначену охолоджувати оброблювану деталь. Унікальність шліфувальної операції полягає в тому, що її технологія дозволяє обробляти матеріал із високою твердістю (до 70 HRC), використовуючи абразивний круг, твердість якого значно вища, ніж у заготовки.

Для методу шліфування можна виділити такі **показники точності оброблення та якості поверхневого шару**:

1) шліфування площин (торцем і периферією круга):

– точність оброблення – IT 5–7 (переважно IT 6);

– шорсткість – Ra 0,2–0,8 (переважно Ra 0,4–0,8);

– точність форми оброблюваних поверхонь – 4–6 (переважно 5);

2) шліфування зовнішніх циліндричних поверхонь (кругле й безцентрове):

– точність оброблення – IT 5–7 (переважно IT 6);

– шорсткість – Ra 0,2–0,8 (переважно Ra 0,4–0,8);

– точність форми оброблюваних поверхонь – 4–6 (переважно 5);

3) шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь (кругле та безцентрове):

– точність оброблення – IT 5–7 (переважно IT 6);

– шорсткість – Ra 0,2–0,8 (переважно Ra 0,4–0,8);

– точність форми оброблюваних поверхонь – 4–6 (переважно 5).

Вищезазначені показники залежать від характеристик оброблюваного матеріалу, типу виробництва, точності обладнання й режимів оброблення.

Одним із прогресивних методів оброблення зовнішніх і внутрішніх поверхонь, пазів тощо є **протягування**. Під ним у технології мають на увазі оброблення складних зовнішніх контурів та отворів, що можуть мати найрізноманітнішу форму, **протяжкою**. Цей інструмент має безліч різальних кромки, завдяки яким сам процес протягування вирізняється високою продуктивністю.

На сучасних машинобудівних підприємствах технологію протягування застосовують дуже широко. Одна з її основних переваг полягає в тому, що здебільшого нею можна замінити багато інших способів механічного оброблення, таких як стругання, довбання, зенкування, фрезерування й зубофрезерування, розгортання, зенкування, розточування, нарізування різьї мігчиками та різцями й навіть точіння. Види протягування репрезентовані на рисунку 2.13.

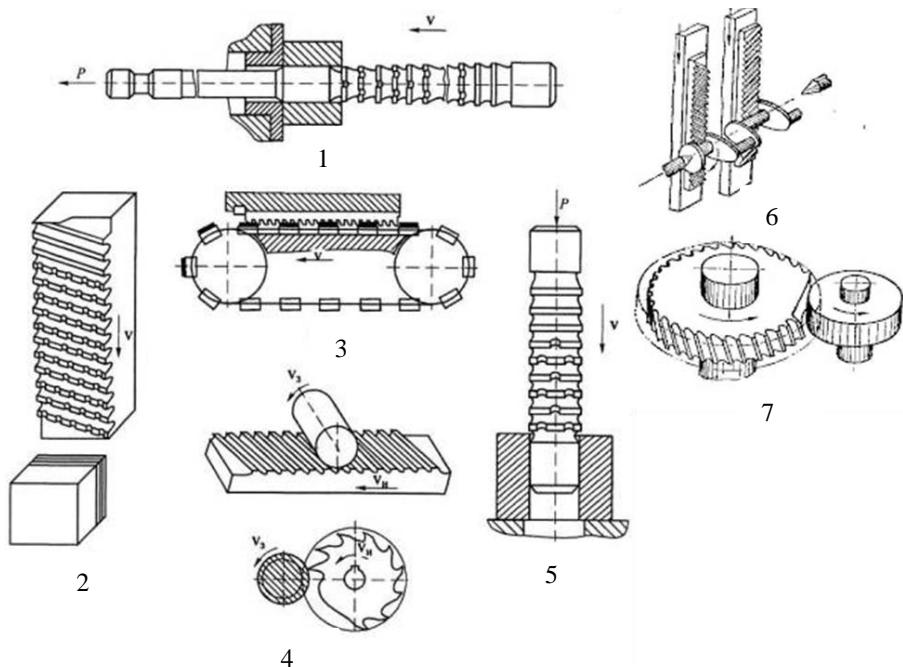


Рисунок 2.13 – Види протягування:

- 1 – протягування внутрішніх циліндричних поверхонь;
- 2, 3 – протягування зовнішніх плоских поверхонь;
- 4, 7 – протягування зовнішніх циліндричних поверхонь;
- 5 – прошивання внутрішніх циліндричних поверхонь;
- 6 – протягування шийок і торців щік колінчастих валів

Протягування має чимало інших переваг порівняно з іншими видами механічного оброблення металів. Оскільки під час цього технологічного процесу поєднують чорновий та

чистовий проходи, скорочується основний і допоміжний час, підвищується продуктивність праці. У результаті протягування досягають високої якості оброблюваних поверхонь, забезпечують високу точність розмірів профілю. Протяжки мають високу стійкість до зношування, а виконання протяжних робіт та налагодження обладнання нескладні.

Здебільшого протягування виконують у горизонтальній площині. У такому разі інструмент тягнеться за хвостовик. Водночас застосовують вид протягування, за якого на інструмент тиснуть зі сторони калібрувальної частини, наче прошиваючи деталь. За таких умов інструмент називають *прошивкою*.

Для протягування / прошивання можна виділити такі **показники точності оброблення та якості поверхневого шару:**

- точність оброблення – IT 7–12 (переважно IT 8–10);
- шорсткість – Ra 1,6–6,3 (переважно Ra 1,6–3,2);
- ступінь точності взаємного розміщення – 6–10 (переважно 8).

У конструкціях насосного обладнання, особливо шестеренних насосів, часто зустрічаються деталі, що містять зубчасті поверхні. Зазначені поверхні обробляють зубонарізуванням.

**Зубонарізування** – це оброблення зубців зубчастих коліс і деталей, що мають зубці, на зубообробному верстаті способом зняття стружки.

Процес виготовлення складного контуру деталей типів зубчасті колеса й вали – шестерні ґрунтується на багаторазовому отриманні профілю евольвенти. Це досить трудомістко та потребує граничної точності процесу, за результатами якого визначають робочі параметри геометричної конструкції відповідної деталі в механізмі.

Виділяють два методи отримання будь-яких зубців: копіювання та обкатку. Кожний із них актуальний і має ряд технологічних можливостей. Зазначені методи відрізняються схемами оброблення, використовуваним обладнанням, вихідними показниками якості й точності, продуктивністю та ін.

Певні методи зубонарізування зображені на рисунку 2.14.

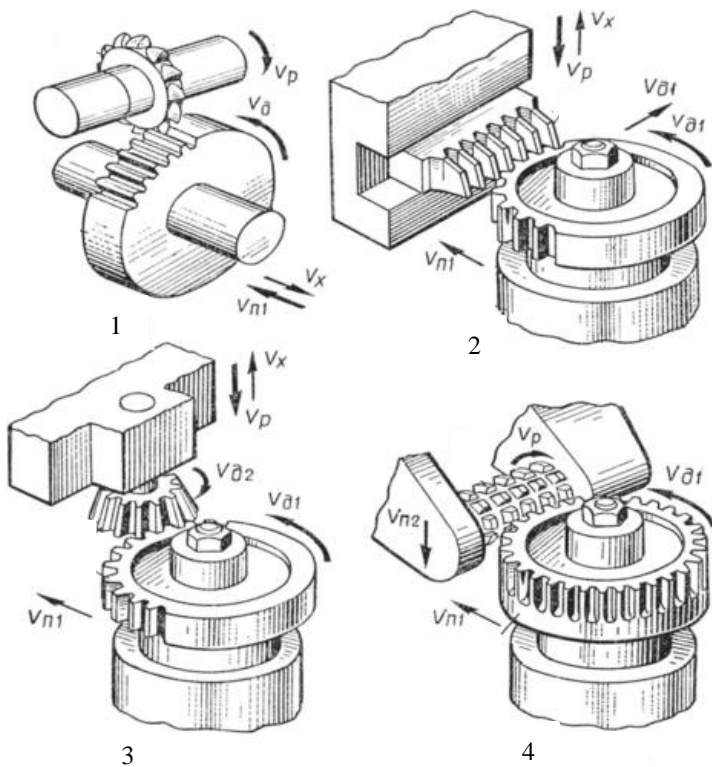


Рисунок 2.14 – Методи зубонарізування:

- 1 – оброблення дисковою фрезою;
- 2 – оброблення зуборізальною гребінкою;
- 3 – оброблення довбачем;
- 4 – оброблення черв'ячною модульною фрезою

Суть методу *копіювання* відображена в самій його назві: контур западини між двома сусідніми зубами точно повторює профіль різального інструмента. Упродовж оброблення різальний інструмент послідовно обробляє кожен западину.

Для цього методу використовують дискові й пальцеві фрези. Операції методом копіювання найбільш популярні в одиничному, дрібносерійному, ремонтному виробництві, а також виготовленні дослідних зразків деталей нових машин.

Використання пальцевих фрез дозволяє нарізати колеса з прямими, гвинтовими та шевронними зубами.

Розвитком методу копіювання є використання зубодовбальних головок, що одночасно обробляють усі западини колеса по контуру. У такому разі необхідний спеціальний інструмент, подібний за виконанням до токарного різця. Час оброблення залежить лише від висоти зубів, що нарізаються. Продуктивність зубонарізування істотно підвищується, компенсуючи витрати на обладнання й складний інструмент.

Метод *обкатки* більш продуктивний. У процесі оброблення заготовці та інструменту повідомляється узгоджене обертання, що відтворює зачеплення, подібне до двох зубчастих коліс, водночас інструмент здійснює зворотно-поступальні рухи та врізання – рух подачі.

Обкатка дозволяє досягти вищої точності оброблення завдяки безперервності процесу різання, одночасно нарізати кілька западин, що забезпечує їх відносний взаємозв'язок, а кожну з них профілювати цілим рядом зубців різального інструмента.

Для цього методу використовують зуборізальні довбачі й черв'ячні модульні фрези. До недоліків методу належать неможливість точного відтворення теоретичної схеми оброблення. Під час нарізування колеса черв'ячною фрезною теоретична схема операції свідомо порушується нахилом канавки інструмента, що призводить до похибки евольвентного профілю зуба.

Отримати зубчасте колесо 8-го ступеня точності також можна операцією *холодного й гарячого накатування*. Інструментом у такому разі є сполучене зубчасте колесо з інструментальної сталі. Таким способом накатують дрібномодульні зубці. Трудомісткість зубоформування водночас знижується на 10–30 %, а продуктивність є у 8–10 разів вищою, ніж зубофрезерування черв'ячними фрезами. Механічні властивості зубців покращаються з огляду на те, що під час оброблення волокна матеріалу не перерізаються. Зносостійкість бічних поверхонь зубців є вищою завдяки утворенню наклепу.



Для методів зубонарізування можна виділити такі **показники точності оброблення та якості поверхневого шару:**

1) оброблення зубчастих коліс дисковими й пальцевими модульними фрезами:

– ступінь точність оброблення – 8–10 (переважно 9);

– шорсткість – Ra 1,6–6,3 (переважно Ra 3,2);

2) оброблення зубчастих коліс черв'ячними модульними фрезами:

– ступінь точність оброблення – 6–8 (переважно 7);

– шорсткість – Ra 0,8–3,2 (переважно Ra 1,6);

3) оброблення зубчастих коліс довбачами, гребінками:

– ступінь точність оброблення – 6–8 (переважно 7);

– шорсткість – Ra 0,8–3,2 (переважно Ra 1,6);

4) оброблення зубчастих коліс модульними абразивними кругами:

– ступінь точність оброблення – 4–6 (переважно 5);

– шорсткість – Ra 0,4–0,8 (переважно Ra 0,8).

Вищезазначені показники залежать від характеристик оброблюваного матеріалу, типу виробництва, точності обладнання та режимів оброблення.

## 2.3 Токарно-фрезерне оброблення

**Токарно-фрезерні роботи** – це оброблення заготовок деталей на токарно-фрезерних верстатах. Особливістю подібних установок є можливість здійснювати на одному обладнанні і токарні, і фрезерні переходи за допомогою так званого «приводного інструмента», установлюваного в привід різцетримача.

Верстати з ЧПК, на яких проводять токарно-фрезерне оброблення металу, є найбільш вигідними для встановлення на великих підприємствах, тому що мають ряд переваг порівняно з механічними агрегатами.

Насамперед це обладнання дозволяє підвищити продуктивність. Крім того, для його роботи потрібна мінімальна участь оператора: він повинен лише задавати програми й змінювати їх залежно від виду оброблюваних деталей.

Використання верстатів із програмним керуванням дозволяє випускати продукцію без браку, тому що всі процеси чітко налагоджені та виконувані відповідно до заданих команд.

Зазначені верстати підходять для оброблення точних виробів. Також вони є економічно вигідними, тому що допомагають скоротити витрати на енергопостачання. Проте в умовах індивідуального виробництва такі агрегати будуть нерентабельними, тому їх найчастіше використовують на великих заводах.

*Функції токарно-фрезерних верстатів:*

- чорнове оброблення;
- чистове оброблення;
- оброблення канавок;
- нарізування різей на циліндричних і конічних поверхнях;
- точіння гвинтових поверхонь різного перетину;
- оброблення отворів тощо.

Крім основних операцій, характерних для токарного та фрезерного оброблення, сучасні верстати з ЧПК забезпечують виконання *допоміжних функцій*:

- перехоплення оброблюваної деталі в протишпindelь;
- використання люнета, задньої бабки, подавача прутка.

Приклади певних видів деталей, оброблюваних на токарно-фрезерних верстатах, наведені на рисунку 2.15.



Рисунок 2.15 – Деталі, оброблювані на токарно-фрезерних верстатах

Токарно-фрезерне оброблення відрізняється від звичайного токарного лише можливостями верстата керувати віссю «С», що дозволяє контролювати й фіксувати потрібний кут обертання шпинделя та осі Y, і наявністю приводного інструмента. Це необхідно для оброблення отворів на радіальній поверхні деталі, лисок, шліців, пазів, уступів, площин, торцевих отворів, що знаходяться паралельно, перпендикулярно або навіть не перетинаються з віссю шпинделя. Також під час взаємоузгодженого переміщення приводного інструмента вздовж деталі та її обертання можливе оброблення гвинтових канавок.

Приклади розміщення приводного інструмента в револьверній головці наведено на рисунку 2.16.

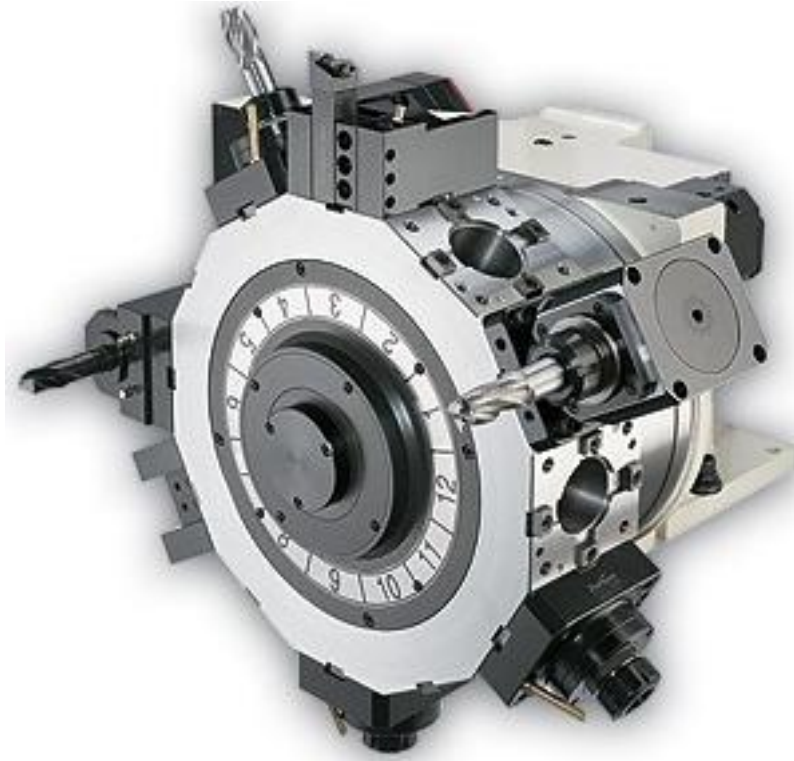


Рисунок 2.16 – Розміщення приводних інструментів у револьверній головці

На ньому в позиціях 1 і 6 перебувають приводні інструменти в осьових (аксіальних) блоках, тобто можуть виконувати оброблення торцевих поверхонь уздовж осі деталі, а в позиціях 4, 9, 11 – у радіальних, тобто можуть виконувати оброблення на циліндричних поверхнях деталі.

Для більш чіткого розуміння процесу токарно-фрезерного оброблення спочатку розглянемо звичайне токарне оброблення на класичних двокоординатних верстатах із ЧПК у найбільш розповсюдженій на виробництві системі «FANUC».

У токарних верстатах здебільшого використовують декартову систему координат із двома осями. Останні завжди лежать в одній площині, тому таку систему координат також називають плоскою. Відповідно до правил розміщення осей декартової системи плоска система координат має осі X і Z.

Компонування більшості токарних верстатів із ЧПК традиційне для універсальних верстатів, тому в них вісь Z розміщена горизонтально по осі обертання шпинделя й перпендикулярна йому. За допомогою осі X задають діаметр деталі (рис. 2.17). Координати точок на площині можуть мати як позитивні, так і негативні значення.

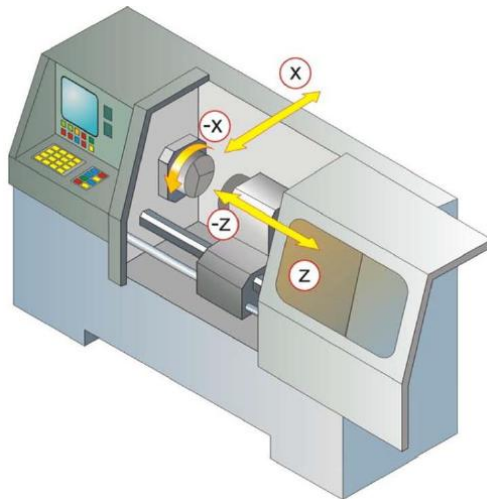


Рисунок 2.17 – Система координат токарного верстата з ЧПК

На відміну від універсального обладнання верстата з ЧПК для коректної роботи та досягнення необхідних показників точності мають певні характерні точки (рис. 2.18), установлені виробниками верстатів, програмістами й операторами під час оброблення.

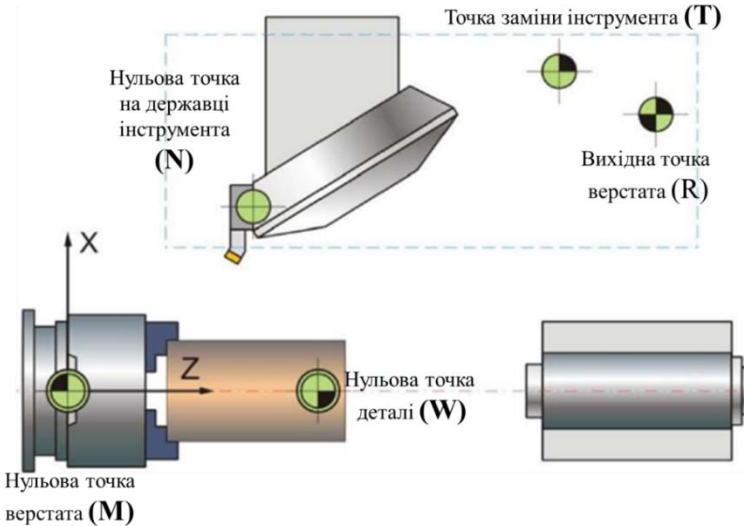


Рисунок 2.18 – Основні точки токарних верстатів із ЧПК

**Нульова точка верстата, або нуль верстата (M)** – це точка, прийнята за початок відліку системи координат верстата. Положення нульової точки на верстаті задає виробник. Для різних верстатів із ЧПК залежно від їх типу й моделі воно може бути різним. Нульові точки токарного верстата з ЧПК завжди розміщені у фіксованій точці на осі торця шпинделя.

**Нульова точка деталі, або нуль деталі (W)** – це ключова точка, щодо якої розраховують координати керуючої програми. Інженер-програміст установлює зазначену точку на основі креслення технологічного процесу, а також іншої технічної документації.

**Вихідна точка верстата (R)** – це точка, яку задає виробник верстата з ЧПК, використовувана для контролю над переміщенням виконавчих органів верстата під час відліку

переміщень у збільшеннях (у відносній системі координат). Координати вихідної точки верстата мають постійне значення щодо точки М, водночас положення R за кожною віссю координат фіксують датчики стежень за приводами та враховує керуюча програма.

**Нульова точка на державці інструмента (N)** – це точка, визначена щодо нульової точки верстата й використовувана для визначення положення робочого органа верстата.

**Точка заміни інструмента (T)** – це точка, у якій повертають різцетримальну головку для введення в роботу наступного інструмента.

Програмувати верстати з ЧПК, тобто задавати буквено-числовий код, можна в абсолютній та відносній системах координат.

**Абсолютна система координат** – це система, у якій усі розміри співвідносяться з однією точкою, вибраною як базова розмірна. Під час розроблення керуючої програми для оброблення на верстаті з ЧПК таку точку зручно використовувати як нульову точку заготовки. Водночас траєкторії переміщення інструменту програмують в абсолютних координатах (рис. 2.19).

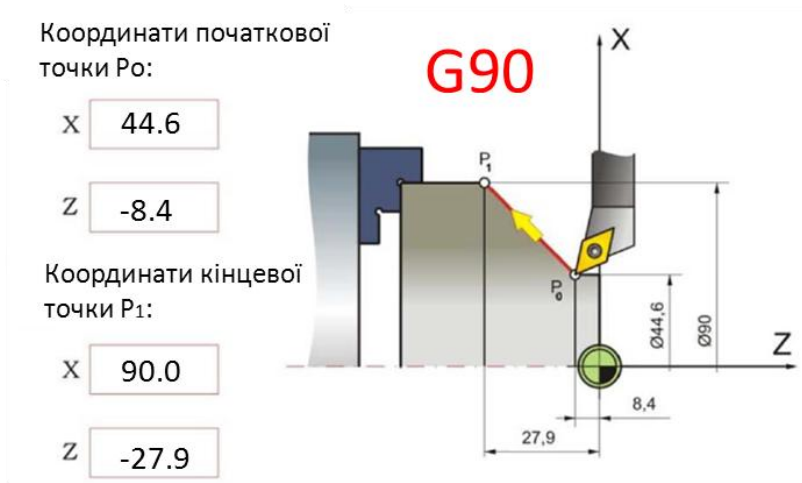


Рисунок 2.19 – Абсолютна система координат під час точіння

**Відносна система координат** – це система, у якій усі розміри задають як відстані між двома сусідніми точками контуру деталі. У такому разі під час розроблення керуючої програми для оброблення на верстаті з ЧПК як нульове положення щоразу беруть попередню точку контуру. Водночас траєкторії переміщення інструменту програмують у збільшеннях або відносних координатах (рис. 2.20).

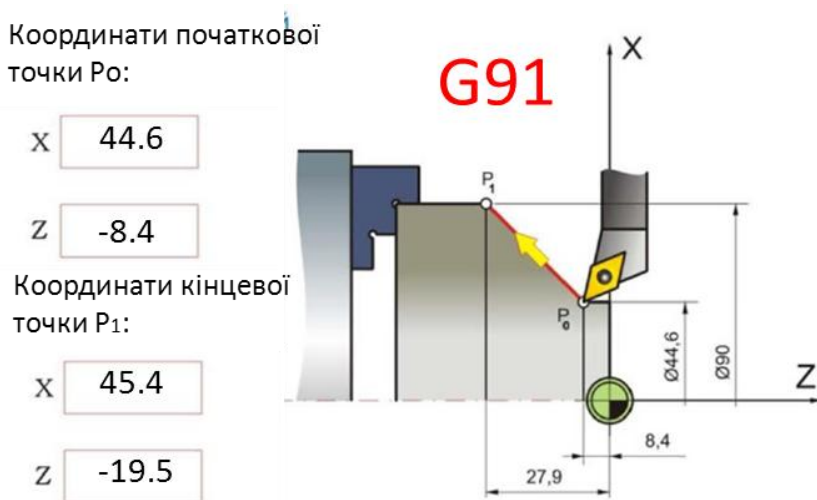


Рисунок 2.20 – Відносна система координат під час точіння

Виробники систем ЧПК (CNC) здебільшого використовують софт-управління верстатом, для якого написана (оператором) програма оброблення як сукупність осмислених команд управління, тобто G-код як базову підмножину мови програмування, розширюючи його на свій розсуд.

Програма передбачає використання G-коду й має сувору структуру. Усі команди управління об'єднують у кадри-групи, що складаються з однієї або більше команд. Кадр завершується символом переведення рядка та має номер, за винятком першого кадру програми й коментарів. Перший (а за певних умов і останній кадр) містить лише один символ – «%». Програму завершують командою M02 або M30. Коментарі до програми

розміщують у круглих дужках як після програмних кодів, так і в окремому кадрі.

**Формат кадру керуючої програми (формат кадру)** – умовний запис структури й розміщення слів у кадрі керуючої програми (КП) із максимальною кількістю слів.

**Кадр керуючої програми (кадр)** – складова частина керуючої програми, яку вводять або відпрацьовують як єдине ціле, що містить не менше ніж одну команду. Наприклад, N110 G01 X20.236 Z-60. F60 M02 (рис. 2.21).

N110	G01	X20.236	Z-60	F60	M02
Номер кадра	Слово	Слово	Слово	Слово	Слово

Рисунок 2.21 – Структура кадру КП

**Слово керуючої програми (слово)** – складова частина кадру керуючої програми, що містить дані про параметр процесу оброблення заготовки та інші дані для управління. Наприклад, F60 – задання швидкості переміщення.

**Адреса ЧПК (адреса)** – частина слова керуючої програми, за допомогою якої призначають наступні дані, наявні за ним у слові. Наприклад, X, Y, Z – адреси переміщення за відповідними координатами.

У дрібносерійному та одиничному виробництві дуже часто необхідно обробляти деталі різної довжини частими невеликими партіями. Для цього за допомогою функцій G54, G55, G56, G57, G58, G59 задають координати нульової точки деталі в абсолютній системі координат верстата (рис. 2.22). Завдяки можливості програмувати координати з використанням шести різних функцій у пам'яті ЧПК одночасно можна задати й зберегти шість зовні різних варіантів розміщення нульової точки деталі.

Призначені за допомогою функцій G54–G59 нові значення координат нульової точки деталі завжди задають в абсолютній системі координат верстата щодо його нульової точки незалежно від кількості призначень.



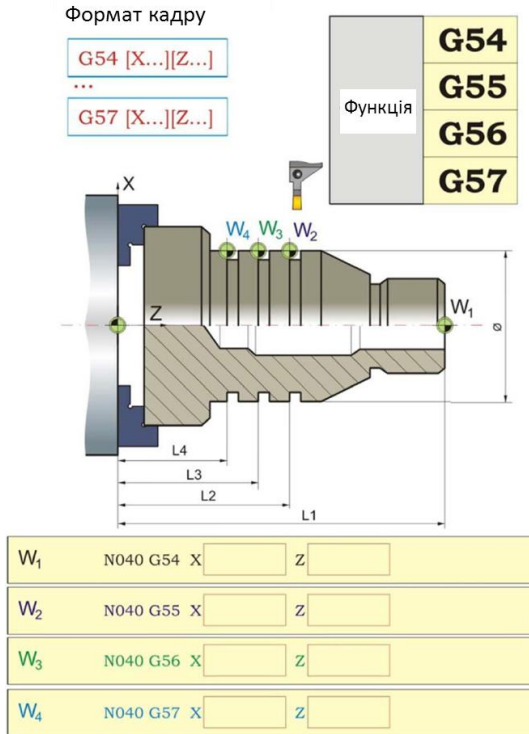


Рисунок 2.22 – Зміщення нульової точки деталі

Для програмування сучасного обладнання використовують буквено-цифровий код ISO 7 bit, розроблений на початку 1960-х рр. компанією «Electronic Industries Alliance» із фінальним доопрацюванням на початку 1980-х рр., також відомий як **G-код**.

Основні одиниці зазначеного коду – **G- і M- команди**. Функції з адресою G називають підготовчими. За допомогою них задають режим та умови роботи верстата й системи ЧПК. Стандартні підготовчі функції перебувають у діапазоні G00–G99.

G00–G09 – команди загального порядку, позиціонування, лінійна або кругова інтерполяція.

G10–G39 – особливості безперервного оброблення; вибір осей, площин, видів інтерполяції.

Наведені коди поділяють на окремі групи, у межах яких дію однієї функції можна скасовувати іншою, наприклад прискорене

переміщення G00 діє доти, доки в програмі не буде заданою інша функція цієї групи – G01, G02 або G03. Заборонене використання в одному кадрі кількох функцій з однієї групи.

Функції з адресою M називають допоміжними. Вони призначені для керування різними пристроями верстата, наприклад увімкнення / вимкнення шпинделя, охолодження тощо.

Для програмування використовують здебільшого такі G- і M-функції:

G00 – прискорене переміщення (холостий хід);

G01 – лінійне переміщення (робочий хід);

G02 – кругова інтерполяція з рухом за годинниковою стрілкою;

G03 – кругова інтерполяція з рухом проти годинникової стрілки;

G04 – зупинка виконання програми на заданий час;

G17 – робоча площина XY;

G18 – робоча площина XZ;

G19 – робоча площина YZ;

G40 – скасування корекції на радіус інструмента;

G41 – корекція на радіус інструмента ліворуч від контуру;

G42 – корекція на радіус інструмента праворуч від контуру;

G43 – позитивна корекція на довжину інструмента;

G44 – негативна корекція на довжину інструмента;

G49 – скасування корекції на довжину;

G53 – програмування в системі координат верстата;

G54–G59 – установка робочої системи координат;

G70 – програмування переміщень у дюймах;

G71 – програмування переміщень у міліметрах;

G80 – скасування циклів свердління;

G81–G89 – цикли свердління;

G90 – задання переміщень в абсолютних координатах;

G91 – задання переміщень у відносних координатах;

G94 – задання швидкості переміщення (подачі) в мм/хв;

G95 – задання швидкості переміщення (подачі) в мм/об;

G97 – задання частоти обертання шпинделя в обертах на хвилину;

M00 – програмування зупинки без підтвердження й втрати інформації;

M01 – програмування зупинки з підтвердженням;

M02 – кінець програми, модальні функції зберігаються;

M03 – увімкнення шпинделя за годинниковою стрілкою;

M04 – увімкнення шпинделя проти годинникової стрілки;

M05 – вимкнення шпинделя;

M06 – зміна інструмента;

M08 – увімкнення охолодження;

M09 – вимкнення охолодження;

M10 – затиск поворотної осі;

M11 – розтиск поворотної осі;

M30 – кінець програми, скасування модальних функцій.

Програмування функції прискореного переміщення (інтерполяції) передбачає, що інструмент переміщається по прямій із максимально можливою подачею в точку із заданими координатами по осях X і Z (рис. 2.23).

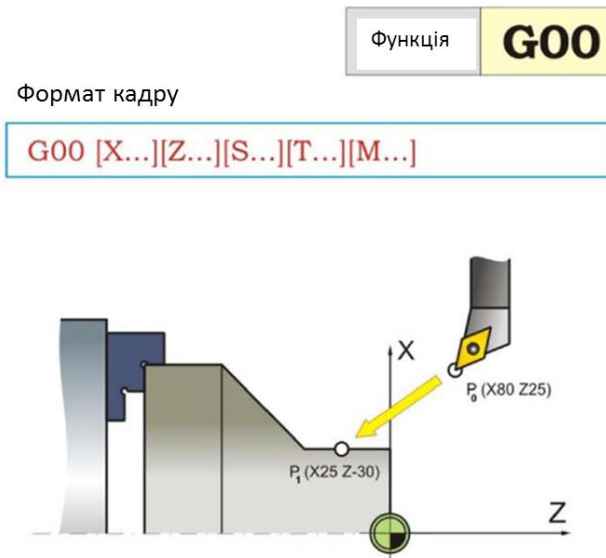


Рисунок 2.23 – Приклад функції G00

Відрізок шляху переміщення задають у декартових координатах.

Координати кінцевої точки переміщення можуть бути заданими як в абсолютній (G90), так і у відносній (G91) системі координат.

Якщо в кадрі керуючої програми з функцією G00, крім адрес із координатами переміщення, запрограмовані адреси, що стосуються зміни інструменту (T) та швидкості обертання шпинделя (S), то вони будуть виконаними системою ЧПК першочергово – до початку переміщення інструменту.

Програмування функції лінійної інтерполяції із заданою величиною подачі передбачає, що інструмент переміщується по прямій із заданою величиною подачі в точку із заданими координатами по осях X і Z (рис. 2.24).



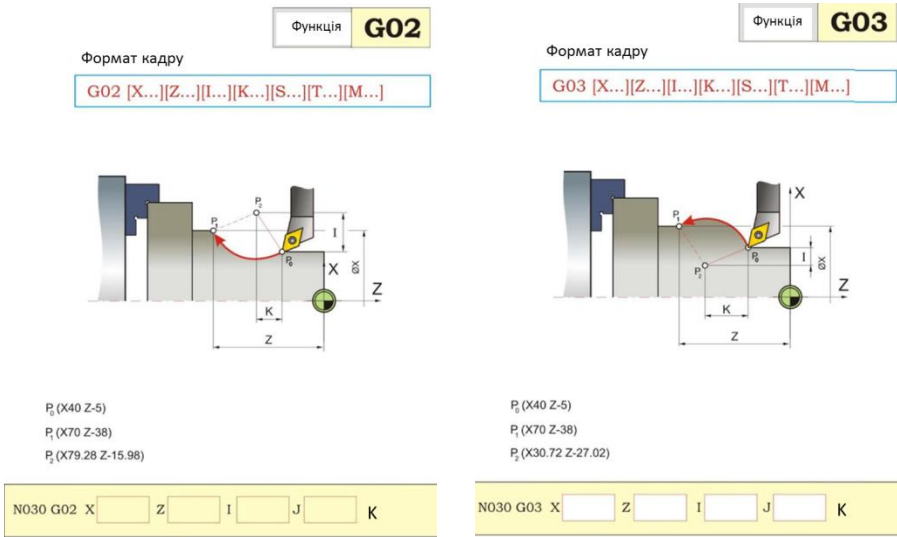
Рисунок 2.24 – Приклад функції G01

Відрізок шляху переміщення задають у декартових координатах.

Координати кінцевої точки переміщення можуть бути заданими як в абсолютній (G90), так і у відносній (G91) системі координат.

Функція G01 модальна. Якщо в наступних кадрах КП формат кадрів не змінюється, то задання на лінійну інтерполяцію із заданою швидкістю подачі діє доти, доки не буде скасованим уведенням нової підготовчої функції, що належать до цієї самої групи. Якщо формат подальших кадрів змінюється, а нової підготовчої функції з цієї самої групи не вводять, то система ЧПК сприймає такі кадри як помилкові, тому КП не виконується.

Програмування функції кругової інтерполяції (за/проти годинникової стрілки) із заданою величиною подачі передбачає, що інструмент переміщається по дузі кола за/проти годинникової стрілки із запрограмованою швидкістю подачі в точку із заданими координатами по осях X і Z (рис. 2.25).



а)

б)

Рисунок 2.25 – Приклад функцій кругової інтерполяції:  
а) за годинниковою стрілкою; б) проти годинникової стрілки

У такому разі:

**X** – координата кінцевої точки переміщення по осі X;

**Z** – координата кінцевої точки переміщення по осі Z;

**I** – координата відносного центра дуги кола (у збільшеннях) по осі X – відстань від вихідної точки переміщення до центра дуги кола по осі X, порівнювана з радіусом заготовки;

**K** – координата відносного центра дуги кола (у збільшеннях) по осі Z – відстань від вихідної точки переміщення до центра дуги кола по осі Z;

**F** – подача (мм/хв або мм/об.). За кругової інтерполяції подачу, що відрізняється від подачі лінійної інтерполяції, застосовують рідко – лише для оброблення особливо твердих матеріалів.

Якщо в тексті кадру з функцією G02 або G03 не зазначено або слова з адресою I, або слова з адресою K, то це означає, що координата центра дуги кола за відповідною віссю збігається з вихідною точкою переміщення. Якщо в тексті кадру немає слів з обома адресами (I та K), то це означає, що замість переміщення по дузі запрограмовано переміщення по прямій лінії. Сучасні системи ЧПК реальних верстатів подібний формат кадру здебільшого сприймають як помилку, про що негайно з'являється повідомлення на пульті верстата.

Якщо в кадрі КП з функцією G02 або G03 не зазначено координат кінцевої точки переміщення по всіх осях, то система ЧПК не виконує жодного переміщення й запам'ятовує задання на функцію швидкого позиціонування.

Програмування тимчасової паузи (функції G04) передбачає тимчасову зупинку переміщення інструмента в усіх напрямках на задану величину часу.

За допомогою функції G04 (у кодї по DIN 66025) або M30 (у кодї NCCAD) переміщення інструмента припиняють на заданий час.

Величину тимчасової паузи, на яку припиняють переміщення інструмента, зазначають у тексті кадру КП після адреси X і виражають у секундах (рис. 2.26).

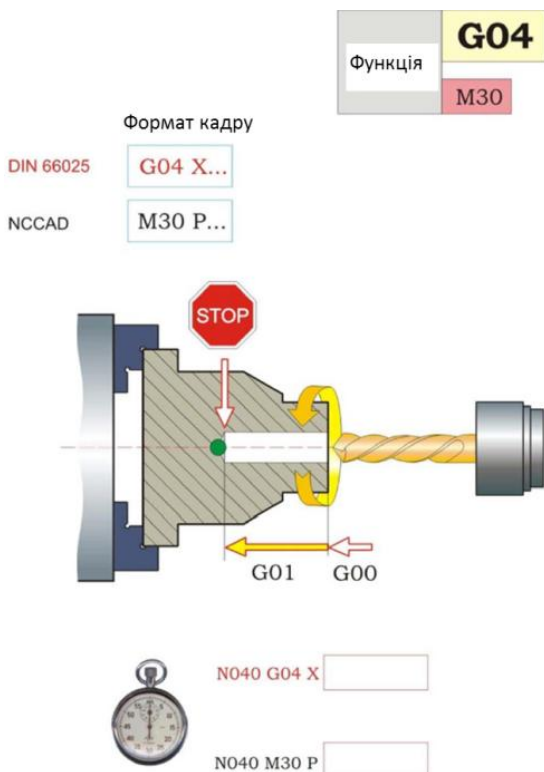


Рисунок 2.26 – Приклад функції G04

Код G04, X- або P-адресу програмують разом в одному кадрі, що не містить переміщень. До складу цього коду входять параметри X або P, що задають час витримки в межах 0,001–99 999,999 с.

Якщо для визначення часу витримки використовують P, то не можна програмувати десяткової частки секунди. Адреса P обумовлює час витримки в мілісекундах, а X – у секундах.

Зазначену функцію використовують для набору частоти обертання шпинделя, зменшення шорсткості канавок під ущільнювальні кільця. Проте для програмування й отримання деталі з необхідними розмірами потрібно правильно задати координати опорних (характерних) точок деталі (рис. 2.27).

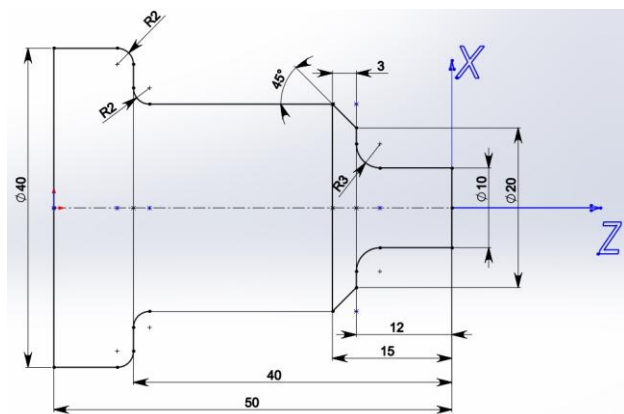


Рисунок 2.27 – Опорні точки деталі за токарного оброблення

**Опорна точка** – це точка початку, кінця та перетину або дотику геометричних елементів деталі, що утворюють її контур і впливають на траєкторію інструмента на технологічних переходах.

Оскільки на верстатах із ЧПК виготовляють деталі насосного обладнання з високою точністю, для цього розробники систем ЧПК передбачили в них можливість корекції розміщення вершини різального інструмента під час оброблення деталі.

Корекція необхідна для оброблення точних сферичних і конічних поверхонь, а також компенсації величини зношування інструмента. Зазначені процеси потрібні, тому що в будь-якого інструмента під час токарного оброблення є радіус при вершині (рис. 2.28).

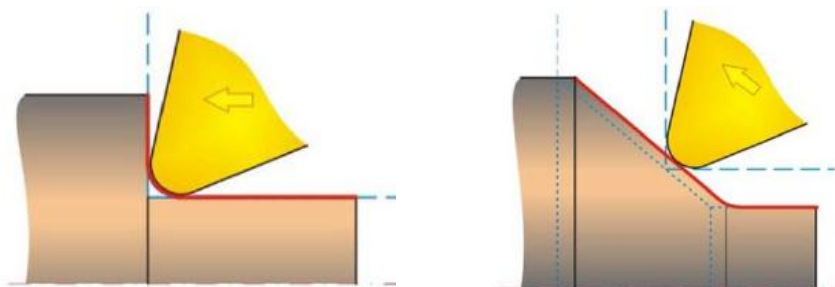


Рисунок 2.28 – Ілюстрація процесу оброблення за наявності радіусів при вершині інструментів



Загалом для кожного різального інструмента в блоці коректорів системи ЧПК токарного верстата зберігаються такі геометричні параметри:

- відстань по осі X від теоретичної вершини інструмента P до нульової точки інструмента (виліт по осі X);
- відстань по осі Z від теоретичної вершини інструмента P до нульової точки інструмента (виліт по осі Z);
- виміряна величина радіуса заокруглення вершини різця R;
- квадрант роботи інструмента – орієнтація вершини різця в системі координат верстата (напрямок вектора корекції).

Оскільки в процесі прив'язки інструмента до деталі до поверхні деталі доторкаються реальні поверхні інструмента, а рух відбувається по траєкторії, описуваній вершиною P (рис. 2.29), необхідно скоригувати «нуль інструмента» щодо деталі та шпинделя верстата (рис. 2.30).

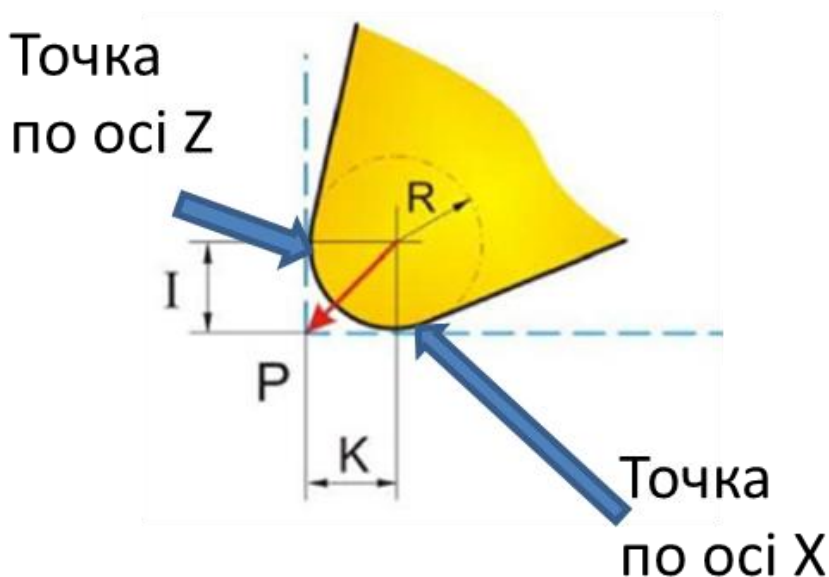


Рисунок 2.29 – Схема корекції на радіус і точки «прив'язки»

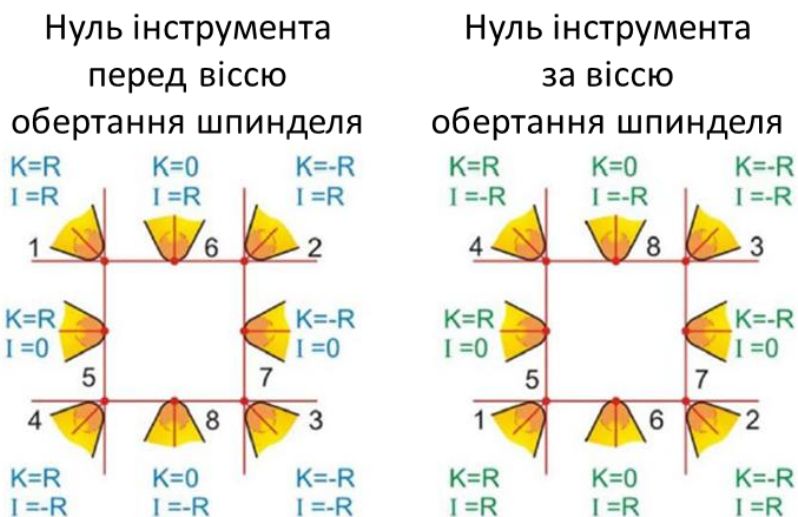


Рисунок 2.30 – Квадранти прив'язки інструмента

Орієнтацію вершини різця в просторі задають за допомогою вектора корекції від центра заокруглення вершини різця до його теоретичної вершини Р.

Напрямок вектора корекції вершини різця задають за допомогою проєкцій вектора на координатні осі верстата. Для цього в більшості систем ЧПК прийняті такі умовні позначення:

- проєкцію вектора корекції на вісь X позначають літерою I;
- проєкцію вектора корекції на вісь Z позначають літерою K.

За напрямком руху подачі щодо заготовки розрізняють два типи корекції на радіус (рис. 2.31):

- корекцію на радіус інструмента зліва. Функцію G41 застосовують для ввімкнення автоматичної корекції на радіус інструмента, що знаходиться зліва від оброблюваної поверхні (якщо дивитися від інструмента в напрямку його руху щодо заготовки);

- корекцію на радіус інструменту справа. Функцію G42 застосовують для ввімкнення автоматичної корекції на радіус

інструмента, що знаходиться праворуч від оброблюваної поверхні (якщо дивитися від інструмента в напрямку його руху щодо заготовки).

Функції G41 та G42 програмують разом із функцією інструмента (D). Функція G40 скасовує дію автоматичних корекцій на радіус інструмента G41 і G42.

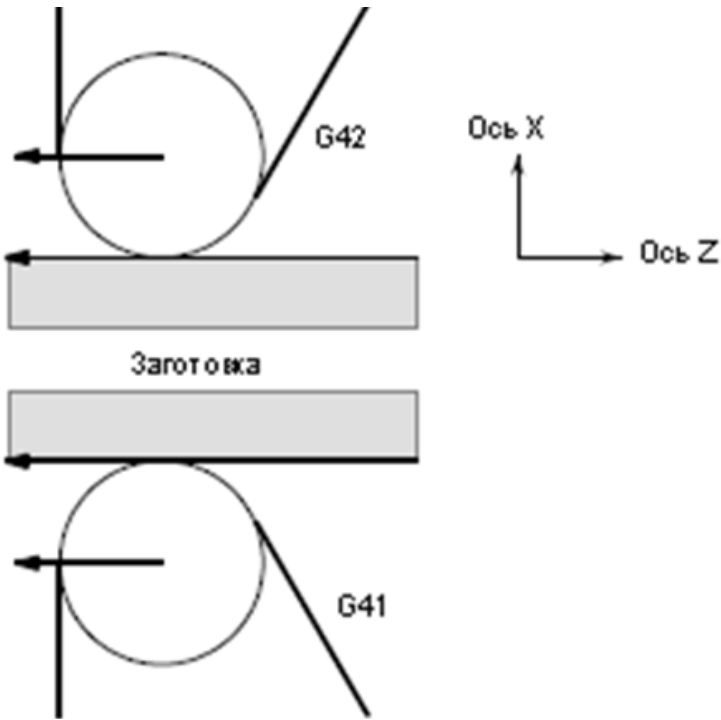


Рисунок 2.31 – Корекція на радіус інструмента справа й зліва

Функції G41 і G42 модальні. Завдання функції корекції на радіус інструмента зберігається в КП доти, доки воно не буде скасованим функцією G40.

Функція G40 модальна. Скасування функції корекції на радіус інструмента зберігається в КП доти, доки знов не буде заданою корекція на радіус інструмента.

Фрагмент частини КП під час оброблення конічної поверхні наведено на рисунку 2.32.

```
N010 G42 G00 X60 Z0
N020 G01 X120 Z-150 F10
N030 G40 G00 X300 Z0
```

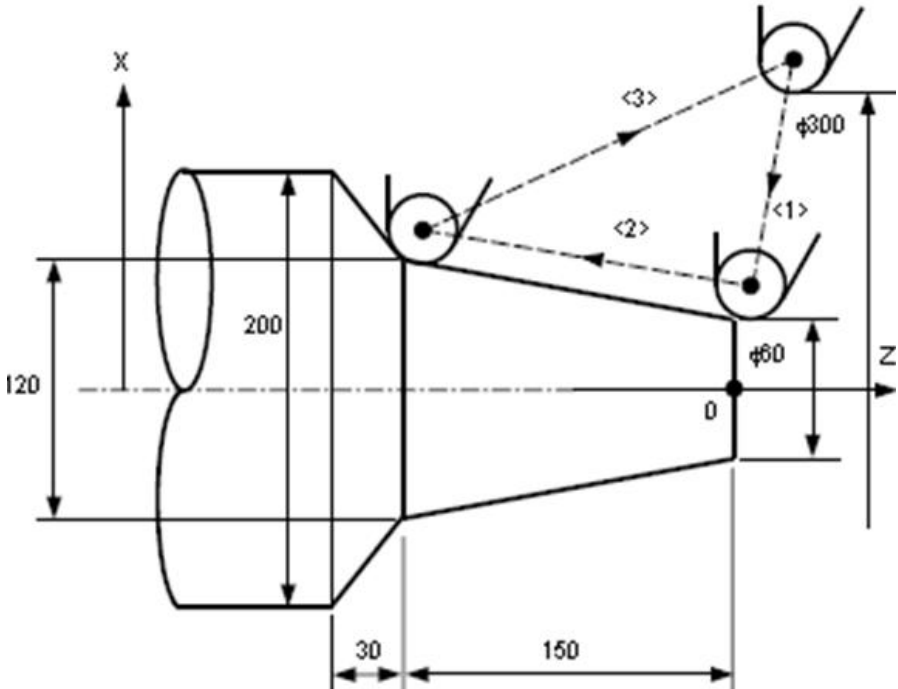


Рисунок 2.32 – Оброблення конічної поверхні із застосуванням функцій корекції на радіус інструмента

Траєкторію руху можна запрограмувати за допомогою написання кожного переміщення окремо або скорочення кількості кадрів КП, застосовуючи стандартні цикли, наявні в усіх без винятків системах ЧПК.

Цикл багатопрохідного чорнового поздовжнього контурного оброблення в системі «FANUC 0iT» забезпечують функцією G71. Ілюстрація циклу G71 із фрагментом КП наведена на рисунку 2.33.



G0 X32. Z3.  
**G71 U2. R0.2**  
**G71 P100 Q150 U0.3 W0.3 F0.15**

**N100 G1 X10 Z0**  
**N110 G1 Z-8**  
**N120 G1 X20 Z-18**  
**N130 G1 X30**  
**N140 G1 Z-25**  
**N150 G1 X32.**

Рисунок 2.33 – Цикл G71 із фрагментом КП

#### *Переваги циклу G71:*

- дозволяє обробляти контур будь-якої складності;
- кількість проходів у циклі розраховують через параметр величини знімання матеріалу, тобто не потрібно задавати кожного проходу окремо;
- доповнюється циклом G70, що дозволяє зробити чистовий прохід.
- оброблюваний контур програмують окремо від циклу й прописують як звичайну траєкторію руху інструмента, що зручно в редагуванні;
- можна запрограмувати припуски, водночас окремо по осях X і Z;
- під час кожного проходу автоматично обчислюється відведення по осі X, що дозволяє заощадити машинний час.

#### *Недоліки циклу G71:*

- не можна задавати швидкості подачі на окремі проходи;
- відстань між проходами фіксована для всього циклу;
- необхідно нумерувати рядки коду, що описують контур деталі.

Зазначений цикл складається з двох частин:

1) перша частина циклу:

U2. – глибина різання за один прохід;

R0.2 – величина відходу інструмента від заготовки під час «холостого ходу»;

2) друга частина циклу:

P100 – початок опису контуру деталі;

Q150 – кінець опису контуру деталі;

U0.3 – припуск на чистовий прохід по осі X;

W0.3 – припуск на чистовий прохід по осі Z.

Цикл багатопрохідного чорнового поперечного контурного оброблення в системі «FANUC 0iT» забезпечують функцією G72. Він дуже зручний для оброблення фасонних торцевих поверхонь. Крім того, його можна застосовувати для контурного розточування отворів. Ілюстрацію циклу G72 із фрагментом КП наведено на рисунку 2.34.

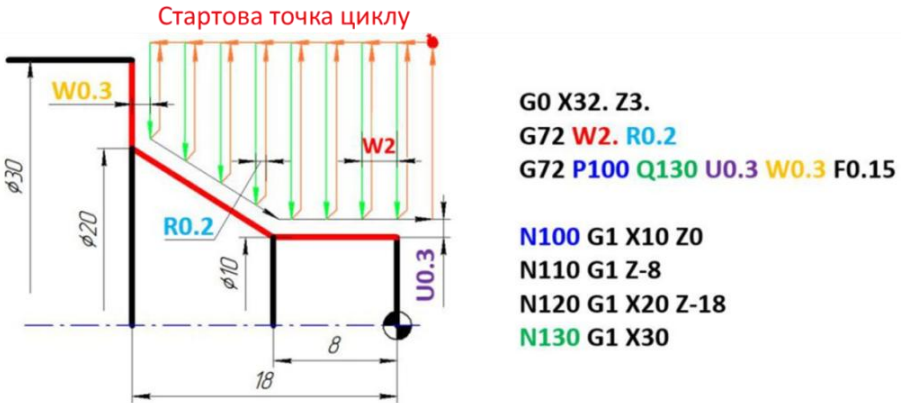


Рисунок 2.34 – Цикл G72 із фрагментом КП

### Переваги циклу G72:

- зручний для оброблення торцевих поверхонь;
- дозволяє проточити контур будь-якої складності;
- кількість проходів у циклі розраховують через параметр величини знімання матеріалу, тобто не потрібно задавати кожного проходу окремо;

– доповнюється циклом G70, що дає можливість зробити чистовий прохід;

– оброблюваний контур програмують окремо від циклу й прописують як звичайну траєкторію руху інструмента, що зручно в редагуванні;

– можна запрограмувати припуски, водночас окремо по осях X і Z;

– під час кожного проходу автоматично обчислюється відведення по осі Z, що дозволяє заощадити машинний час.

#### *Недоліки циклу G72:*

– не можна задавати швидкості подачі на окремі проходи;

– відстань між проходами фіксована для всього циклу;

– необхідно нумерувати рядки коду, що описують контур деталі.

Зазначений цикл складається з двох частин:

1) перша частина циклу:

W2. – глибина різання за один прохід;

R0.2 – величина відходу інструмента від заготовки під час «холостого ходу»;

2) друга частина циклу:

P100 – початок опису контуру деталі;

Q130 – кінець опису контуру деталі;

U0.3 – припуск на чистовий прохід по осі X;

W0.3 – припуск на чистовий прохід по осі Z.

Цикл багатопрхідного контурного оброблення в системі «FANUC 0iT» забезпечують функцією G73. Він розроблений для обточування деталей, що мають рівномірний припуск матеріалу по всьому периметру оброблення. Зазвичай цей тип оброблення актуальний для литих і штампованих деталей. Ілюстрацію циклу G73 із фрагментом КП наведено на рисунку 2.35.



G0 X32. Z3.  
 G73 U2. W2. R3.  
 G73 P100 Q150 U0.3 W0.3 F0.15

N100 G1 X10 Z0  
 N110 G1 Z-8  
 N120 G1 X20 Z-18  
 N130 G1 X30  
 N140 G1 Z-25  
 N150 G1 X35

Рисунок 2.35 – Цикл G73 із фрагментом КП

### *Переваги циклу G73:*

- дозволяє за короткий час обробляти литі й штамповані заготовки;
- дає можливість обробляти контур будь-якої складності;
- кількість проходів у циклі розраховують через параметр величини знімання матеріалу, тобто не потрібно задавати кожного проходу окремо;
- доповнюється циклом G70, що дозволяє зробити чистовий прохід;
- оброблюваний контур програмують окремо від циклу та прописують як звичайну траєкторію руху інструмента, що зручно в редагуванні;
- можна запрограмувати припуски, водночас окремо по осях X і Z;
- під час кожного проходу автоматично обчислюється відведення по осі Z, що дає можливість заощадити машинний час.

### *Недоліки циклу G73:*

- не можна задавати швидкості подачі на окремі проходи;
- відстань між проходами фіксована для всього циклу;
- необхідно нумерувати рядки коду, що описують контур деталі.



Даний цикл складається з двох частин:

1) перша частина циклу:

U2. – глибина різання за один прохід по осі X;

W2. – глибина різання за один прохід по осі Z;

R3 – кількість проходів;

2) друга частина циклу:

P100 – початок опису контуру деталі;

Q150 – кінець опису контуру деталі;

U0.3 – припуск на чистовий прохід по осі X;

W0.3 – припуск на чистовий прохід по осі Z.

Цикл контурного чистового оброблення в системі «FANUC 0iT» забезпечують функцією G70.

**G70** – це цикл, що доповнює цикли **G71 / G72 / G73**. Він дозволяє виконувати чистове оброблення контуру після циклу чорнового оброблення. Застосовувати його як самостійний цикл недоцільно. Ілюстрацію циклу **G70** із фрагментом КП наведено на рисунку 2.36.

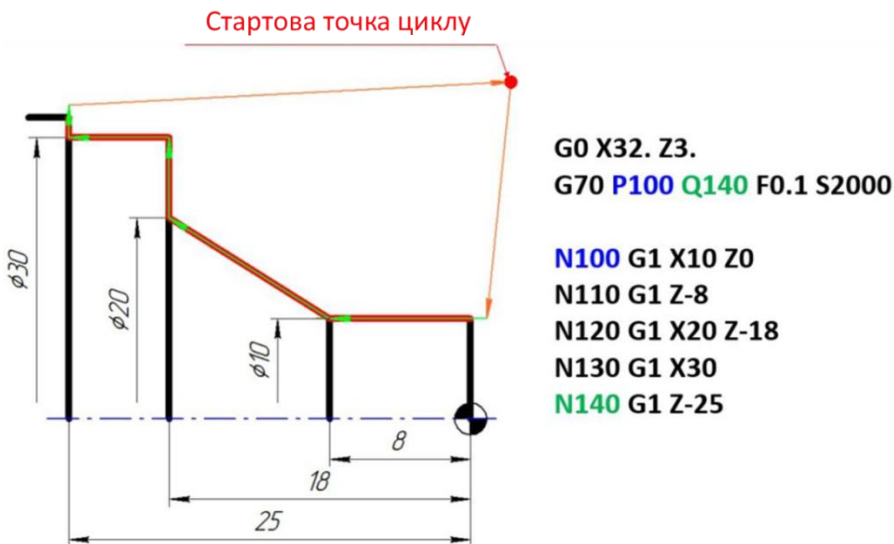


Рисунок 2.36 – Цикл **G70** із фрагментом КП

*Позначення в циклі:*

- P100 – початок опису контуру деталі;
- Q140 – кінець опису контуру деталі.

*Переваги циклу G70:*

- дозволяє проточити контур будь-якої складності;
- можна запрограмувати подачу та оберти окремо на чистовий прохід;
- програмування чистового проходу в одному рядку.

*Недоліки циклу G70:*

- не має сенсу як самостійний цикл;
- необхідно нумерувати рядки коду, що описують контур.

На поверхнях деталей насосного обладнання, зокрема валах роторів, у їх конструкції часто закладають канавки. Цикл оброблення канавок у системі «FANUC 0iT» забезпечують функцією G75. Вона дозволяє запрограмувати прямокутну канавку довільного розміру. Ілюстрацію циклу G75 із фрагментом КП наведено на рисунку 2.37.



Рисунок 2.37 – Цикл G75 із фрагментом КП

Зазначений цикл складається з двох частин:

1) перша частина циклу:

R0.5 – відхід інструмента для надлому стружки;

2) друга частина циклу:

X10. – кінцева точка по осі X;

Z-9. – кінцева точка по осі Z;

R7500 – глибина врізання за один прохід по осі X (задають у мкм);

W2. – глибина врізання за один прохід по осі Z (задають у мкм, залежить від ширини різця).

#### *Переваги циклу G75:*

– дозволяє швидко запрограмувати канавку заданих розмірів;

– покращає процес виведення стружки з канавки.

#### *Недоліки циклу G75:*

– не можна задавати швидкості подачі на окремі проходи;

– відстань між проходами фіксована для всього циклу;

– немає чистового проходу;

– необхідно враховувати ширину пластини під час програмування канавки.

На поверхнях деталей насосного обладнання, зокрема валах роторів майже всіх конструкцій, є різьові поверхні. Цикл автоматичного нарізування різі в системі «FANUC 0iT» забезпечують функцією G76, спеціально розробленою для нарізування різей на токарних верстатах за допомогою різця. Циклом G76 можна запрограмувати нарізування зовнішньої й внутрішньої різей за кілька проходів. Ілюстрацію циклу G76 із фрагментом КП наведено на рисунку 2.38.

Зазначений цикл складається з двох частин:

1) перша частина циклу:

Q1000 – глибина різання за один прохід по осі X (задають у мкм);

R0.5 – припуск на чистовий прохід (задають у мм);

2) друга частина циклу:

X70. – кінцева точка оброблення різі по осі X (внутрішній діаметр різі);

Z-30. – кінцева точка оброблення різі по осі Z;

P5000 – висота профілю різі (задають у мкм);

Q2000 – величина зняття припуску під час першого проходу. З огляду на те, що під час першого проходу навантаження на різець мінімальне, перший прохід можна робити з трохи більшою глибиною, ніж наступні;

F5.5 – крок різі.

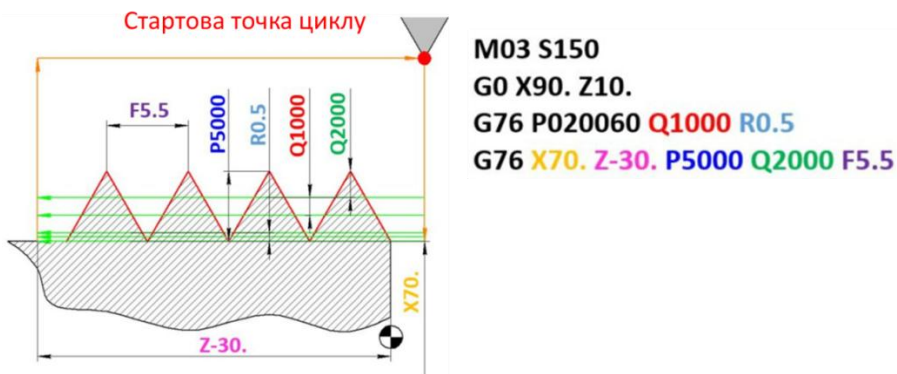


Рисунок 2.38 – Цикл G76 із фрагментом КП

#### *Переваги циклу G76:*

- дозволяє нарізати різі будь-яких діаметрів і кроків;
- автоматичний розрахунок чорнових проходів;
- можна запрограмувати збіг різі;
- цикл дозволяє виконати чистові проходи;
- можна запрограмувати кінчну різь.

Недоліків у цього циклу немає, за винятком складної форми запису, що потребує уважності під час написання.

Для докладнішого пояснення задання параметра «P» у першій частині циклу G76 його складові наведено на рисунку 2.39.

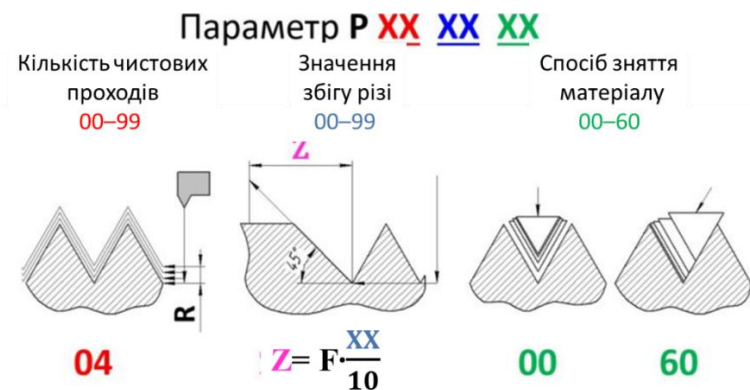


Рисунок 2.39 – Складові параметра P у циклі G76

*Детальний опис першої частини циклу:*

- а) кількість чистових проходів;
- б) величина збігу різі. Її необхідно зазначати для більш плавного виходу різця з матеріалу. Якщо на деталі передбачена канавка під вихід різі, то як значення цього параметра беруть «00»;
- в) спосіб зняття матеріалу з:
  - прямим урізанням;
  - бічним урізанням.

## 2.4 Способи підвищення продуктивності оброблення на токарних верстатах із ЧПК

До основних способів підвищення продуктивності на сучасних токарних верстатах із ЧПК належать такі:

- використання прогресивних інструментів із надтвердих матеріалів зі змінними непереточуваними пластинами, що допускають високі швидкості різання й подачі;
- використання верстатів зі швидкими переміщеннями робочих органів;
- використання заготовок із мінімальними припусками;
- використання верстатів із високою потужністю для зняття припусків за мінімальну кількість проходів;
- використання автоматичних затискних пристроїв;
- застосування багатомісного оброблення.

# Лекція 3

## Оброблення деталей складної конфігурації на верстатах фрезерної групи

### План

- 3.1 Основні типи плоских поверхонь.
- 3.2 Оброблення каналів напрямних апаратів.
- 3.3 Оброблення сферичних поверхонь стандартними фрезами.
- 3.4 Способи підвищення продуктивності оброблення деталей складної конфігурації на фрезерних верстатах.

### 3.1 Основні типи плоских поверхонь

Як зазначено в попередніх лекціях, у деталях насосного обладнання є велика кількість плоских і складнопрофільних поверхонь, що потребують різноманіття методів їх оброблення.

Розглянемо технологічні особливості одного з найбільш поширених видів поверхонь деталей насосів та машин загалом – плоских поверхонь.

**Площина** – це поверхня або фігура, утворена кінематичним рухом твірної (прямої лінії) по напрямній, що також є прямою.

Виділяють прості та складні плоскі поверхні.

*Прості плоскі поверхні* (рис. 3.1):

- торець;
- бічні поверхні й основа шпонкових пазів (розглядають окремо);
- уступ.

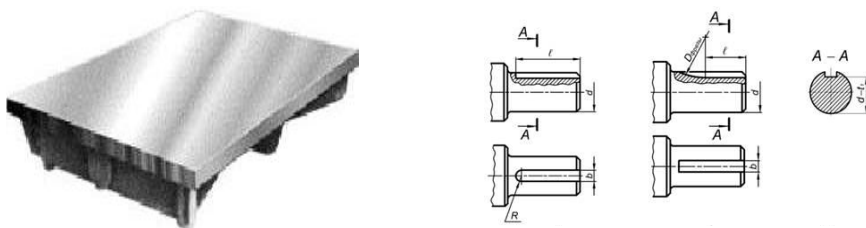


Рисунок 3.1 – Приклади простих плоских поверхонь

До складних належать поверхні, утворені комбінацією розміщення простих плоских поверхонь (рис. 3.2):

- дві або більше плоских поверхні під кутом одна до одної;
- поверхні типу «хвіст ластівки» (варіант комбінації плоских поверхонь).

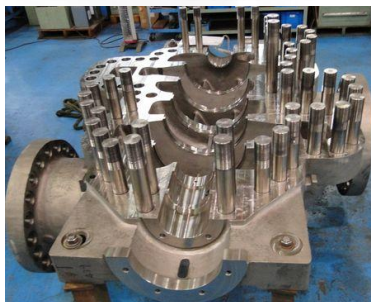
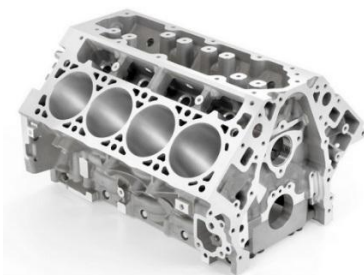
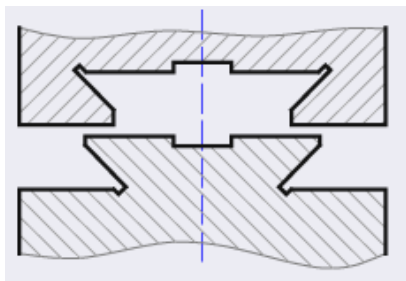


Рисунок 3.2 – Приклади складних (комплексних) плоских поверхонь

### 3.2 Оброблення каналів напрямних апаратів

**Напрямні апарати (НА)** – це одні з основних деталей відцентрових насосів (рис. 3.3), що мають складний профіль каналів і потребують великого обсягу механічного оброблення.

Напрямний апарат є двома кільцевими дисками, між якими розміщені напрямні лопаті, вигнуті в сторону, протилежну напрямку вигину лопатей робочого колеса, та призначений для спрямування потоку рідини в нагнітальний трубопровід.

Напрямні апарати є складнішими конструкціями, ніж спіральні відводи, гідравлічні втрати в них більші, тому їх використовують лише в конструкціях великих багатоступневих насосів.



Рисунок 3.3 – Місце НА в конструкції відцентрового насоса

У великих насосах також іноді передбачені складові відводи, що є поєднанням НА та спірального відвода.

Напрямний апарат був уведений у конструкцію насосів на підставі досвіду роботи гідравлічних турбін, у яких наявність НА є обов'язковою умовою функціонування конструкції. Насоси ранніх конструкцій із НА називали турбонасосами.

Вузол НА, корпуси секції й робочого колеса наведено на рисунку 3.4, а канали НА – на рисунку 3.5.

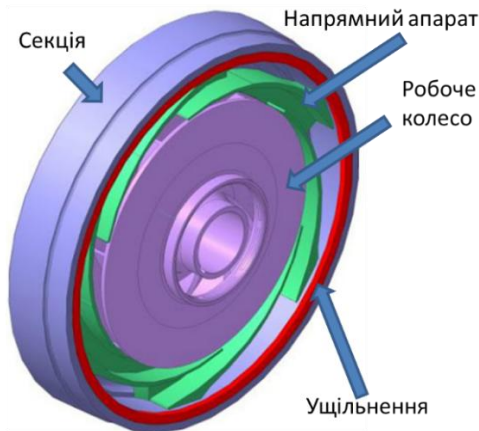
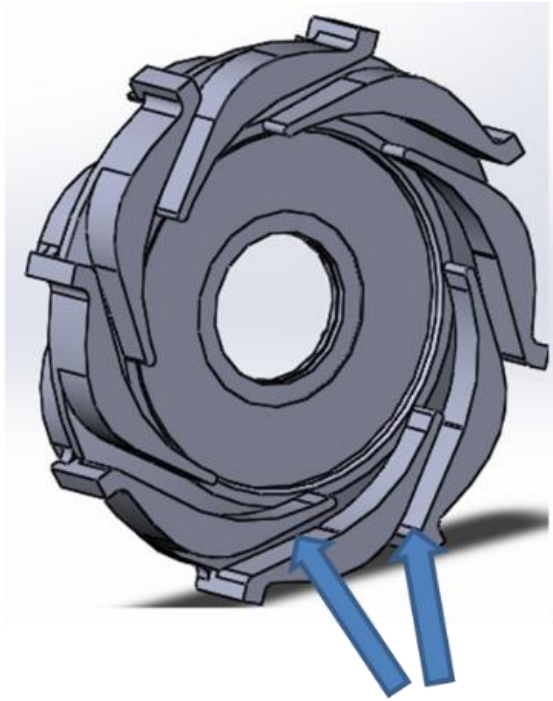


Рисунок 3.4 – Вузол відцентрового насоса





## Канали напрямного апарата

Рисунок 3.5 – Ілюстрація профілю каналів напрямного апарата

Напрямний апарат разом із робочим колесом відцентрового насоса входять у секцію. Їх з'єднують між собою або з нагнігальним трубопроводом.

Для наочності розгляду складності конструкції каналів НА певні приклади їх креслень наведено на рисунку 3.6. Різноманіття лінійних, радіальних і кутових розмірів, що описують профіль каналу, ще раз підтверджують складність деталей насосного обладнання та важливість технологічного забезпечення точності їх оброблення для досягнення вимог конструктора.

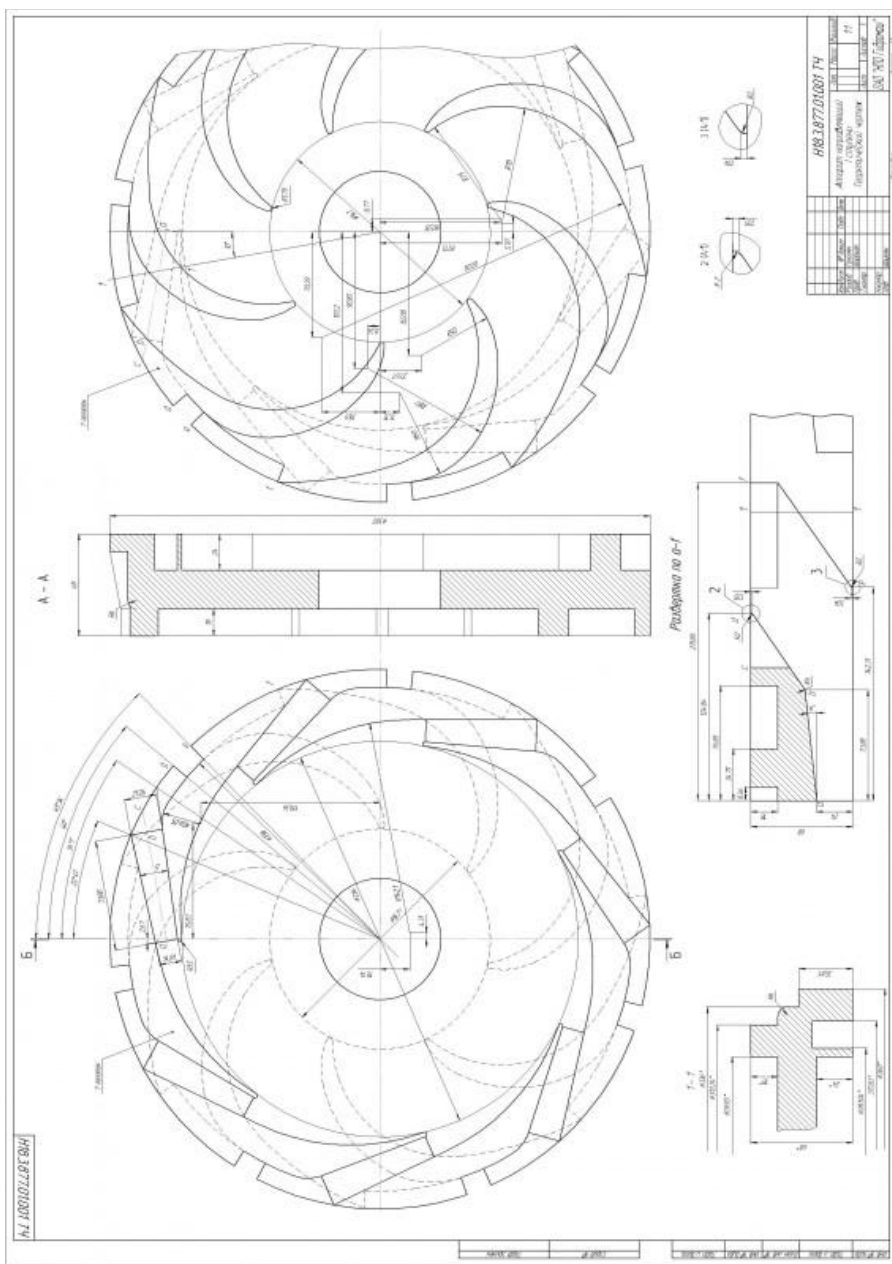


Рисунок 3.6 – Приклади креслень конструкцій НА

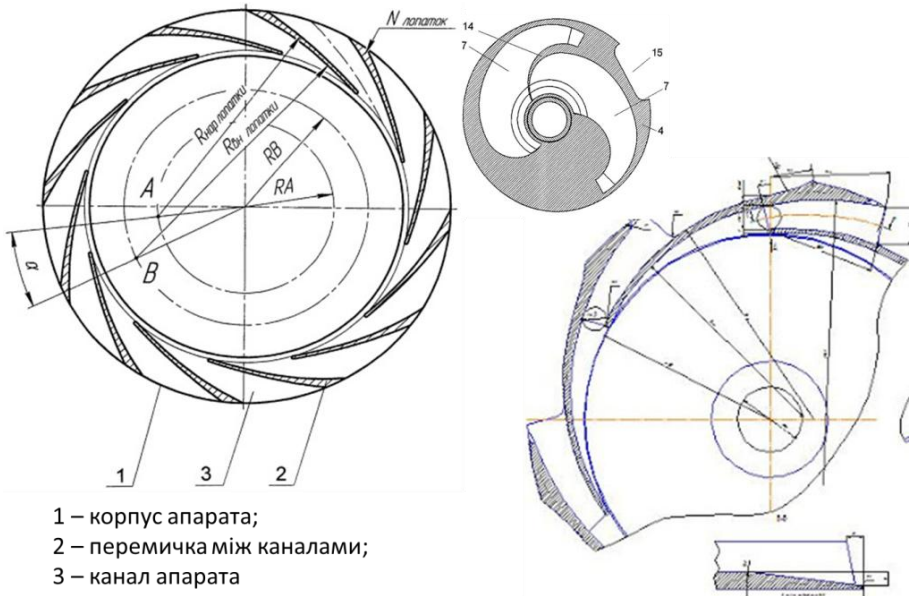


Рисунок 3.6 – аркуш 2

### ***Призначення та особливості поверхонь напрямних апаратів***

Усі НА незалежно від типу, призначення й особливостей мають принципово однакову конструкцію. Загалом вони містять у собі кілька зазначених далі частин.

**Корпус** – це частина НА, призначена для розміщення каналів і базування НА в секції відцентрового насоса, а також обмеження потоку рідини.

**Перемички між каналами** – це місця, що обмежують рух рідини й спрямовують її в потрібному напрямку в нагнітальний трубопровід.

**Канали** – це місця видаленого шару матеріалу в корпусі НА, призначені для руху рідини по них.

Особливістю перемичок та каналів є складна форма їх профілів, що складаються із сукупності дуг різних радіусів. Водночас поперечний профіль каналу може бути як прямим, так і з ухилом для зменшення опору руху рідини й досягнення вищого

ККД. Кількість каналів може бути різною залежно від розміру НА та виду насоса.

Умова функціонування НА – наявність кавітаційних процесів між ним і робочим колесом, що спричиняє підвищене зношування поверхонь стінок каналів НА. Також відцентрові насоси працюють із водою, стоками та іншими агресивними речовинами, що призводить до інтенсивнішого зношування робочих поверхонь. Зважаючи на це, НА здебільшого виготовляють із корозійностійких сталей.

Матеріал і технологія виготовлення найчастіше тісно пов'язані між собою. У нашому разі НА виготовляють литтям. Найчастіше використовують сталі марок 20X13, 30X13, а для особливо важких умов роботи – 12X18H10T. Певні НА виготовляють із чавуну, проте це частинні випадки.

Механічне оброблення, а відповідно й технологічний процес оброблення НА, ускладнюються через те, що зазначені апарати мають складний профіль каналів. Крім того, матеріали, з яких їх виготовляють, належать до класу важкооброблюваних. Глибина каналу здебільшого становить від півтора до двох діаметрів кінцевої фрези, якими обробляють канали НА.

Через необхідність знімання великих шарів важкооброблюваного матеріалу, недостатню жорсткість кінцевої фрези, що порівняно легко деформується під час дії сил різання, та досить суворі вимоги до точності й шорсткості, які висувають до оброблюваних поверхонь, необхідно ретельно вибирати обладнання, різальний інструмент, стратегії та режими оброблення.

Як бази для НА переважно беруть торець і центральний отвір.

Показники точності каналів НА перебувають у межах 11–12-го квалітетів, шорсткості – у межах 1,6–3,2 мкм. Водночас важливими є рівномірність товщини стінок перемичок між каналами. Не можна зменшувати їх товщини до меншої за допустиме мінімальне значення.

### 3.3 Оброблення сферичних поверхонь стандартними фрезами

Сферичні поверхні є досить розповсюдженими в деталях насосного обладнання, особливо конструкціях аксіально-поршневих насосів (рис. 3.7), що потребує застосування прогресивних та універсальних методів їх оброблення. Приклади зовнішніх і внутрішніх сферичних поверхонь зображені на рисунку 3.8.

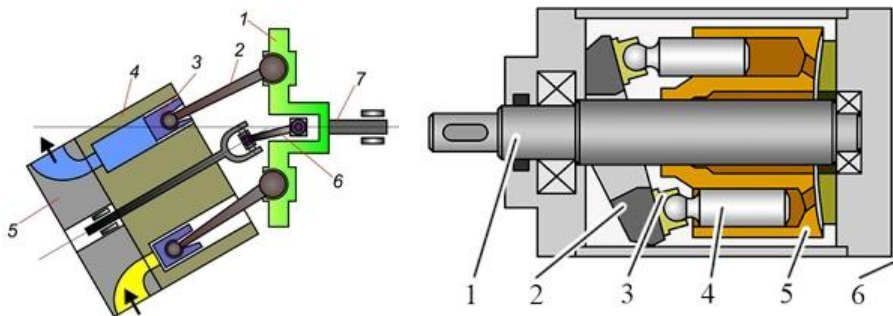


Рисунок 3.7 – Місце сферичних поверхонь у конструкції аксіально-поршневих насосів

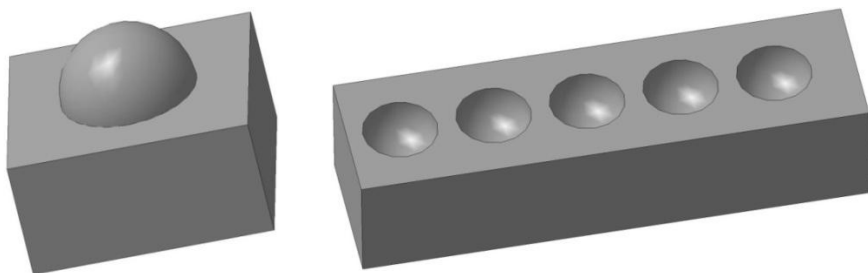


Рисунок 3.8 – Приклади зовнішніх і внутрішніх сферичних поверхонь

Фрезерування сферичними (радіусними) фрезами просторово-складних поверхонь останнім часом широко застосовують у різних галузях промислового виробництва. У сучасних умовах конкуренції між підприємствами воно

забезпечує підвищення продуктивності праці, зниження собівартості оброблення та дозволяє істотно покращити якість оброблюваної поверхні.

Цей вид оброблення матеріалів широко застосовують і розвивають у країнах із передовими технологіями. Зокрема, проводять наукові дослідження теоретичних основ і практичних результатів лезового оброблення цим методом для визначення технології одержання максимальної точності розмірів оброблюваної поверхні й мінімізації шорсткості після оброблення. Розроблено та виготовлено широкий спектр інструментів для 3D-, 4D- і 5D-фрезерування.

Варто зауважити, що в сучасних умовах стрімкого підвищення вимог до продукції перед виробниками стоїть завдання безперервно збільшувати обсяги виробництва, покращувати якість продукції, водночас знижуючи її собівартість. Основним способом його виконання є вдосконалення технології виготовлення. У низці сучасних галузей виробництва, таких як авіа- й автомобілебудування, виготовлення протезів та імплантатів, ювелірне виробництво й багато інших, використовують деталі, отримання яких можливе переважно із застосуванням методу фрезерування на верстатах із ЧПК. Оброблення проводять із високим рівнем вимог до якості отриманих поверхонь, точності розмірів і властивостей поверхневого шару матеріалів деталей; заготовками нерідко є унікальні й дорогі композитні матеріали, оброблення яких потребує відхилень від класичних технологій.

Чистові, фінішні та часто напівчистові операції на фрезерних верстатах із ЧПК прийнято виконувати кінцевими сферичними фрезами. Різальний інструмент із такою геометрією дозволяє отримувати просторово-складні поверхні з високим рівнем якості, проте через дорогу вартість такого інструменту варто зауважити, що його використання не завжди виправдане.

Для виготовлення, ремонту й модернізації насосного обладнання нерідко доводиться виготовляти високоточні сферичні поверхні, що утворюють кінематичні пари з трьома ступенями вільності. В одиничному виробництві, у якому часто

змінюється виготовлення виробів, використання спеціального технологічного оснащення й інструменту економічно не вигідне. З огляду на це необхідні універсальні методи отримання сферичних поверхонь, в основі яких лежать кінематичні можливості верстатів, а особливо верстатів із ЧПК.

Ілюстрації макрорельєфу зовнішньої сферичної поверхні, отриманої стандартною та сферичною кінцевими фрезами, наведені на рисунку 3.9.

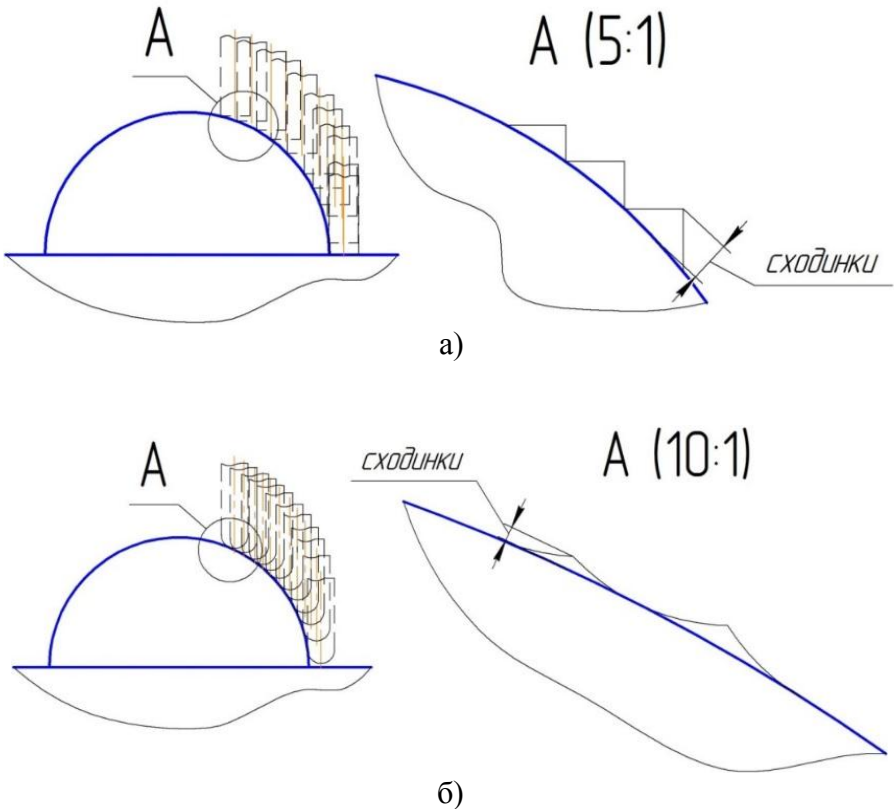


Рисунок 3.9 – Макрорельєф сферичної поверхні під час оброблення: а) стандартною кінцевою фрезою; б) сферичною кінцевою фрезою

*Переваги оброблення сферичних поверхонь стандартною фрезною порівняно з радіусною:*

- низька вартість інструмента та його доступність;
- універсальність інструмента;
- універсальність методу (оброблення може бути виконаним на трьохосьовому фрезерному верстаті з ЧПК вертикального або горизонтального компонування);
- висока продуктивність на чорнових проходах.

*Недоліки оброблення сферичних поверхонь стандартною фрезною порівняно з радіусною:*

- великий розмір сходинок під час оброблення;
- низька продуктивність на чистових проходах;
- висока шорсткість оброблених поверхонь;
- неможливість оброблення внутрішніх поверхонь на повну глибину.

*Переваги оброблення сферичних поверхонь радіусною фрезною порівняно зі стандартною кінцевою:*

- універсальність інструмента (зовнішні поверхні можна обробляти фрезною будь-якого діаметра, що може бути закріпленою в шпindelь верстата;
- універсальність методу (оброблення може бути виконаним на трьохосьовому фрезерному верстаті з ЧПК вертикального або горизонтального компонування);
- висока продуктивність на чистових проходах;
- низька шорсткість оброблених поверхонь;
- малий розмір сходинок під час оброблення;
- можливість оброблення зовнішніх і внутрішніх сферичних поверхонь.

*Недоліки оброблення сферичних поверхонь радіусною фрезною порівняно зі стандартною кінцевою:*

- низька продуктивність на чорнових проходах;
- низька універсальність інструмента під час оброблення поверхонь інших видів;
- висока вартість інструмента.



Для більш чіткого розуміння конструктивних можливостей фрезерних верстатів, зокрема процесу фрезерування на верстатах із ЧПК, розглянемо фрезерне оброблення на класичних трикоординатних верстатах із ЧПК у найбільш розповсюдженій на виробництві системі «FANUC».

У фрезерних верстатах здебільшого використовують декартову систему координат із трьома осями. Останні завжди лежать у трьох взаємно перпендикулярних площинах, тому таку систему координат також називають просторовою.

Більшість вертикально-фрезерних верстатів із ЧПК має традиційне для універсальних верстатів компонування, тому вісь Z у них розміщена вертикально або, інакше кажучи, по осі обертання шпинделя, а дві інші знаходяться в площині, перпендикулярній до осі Z (рис. 3.10).

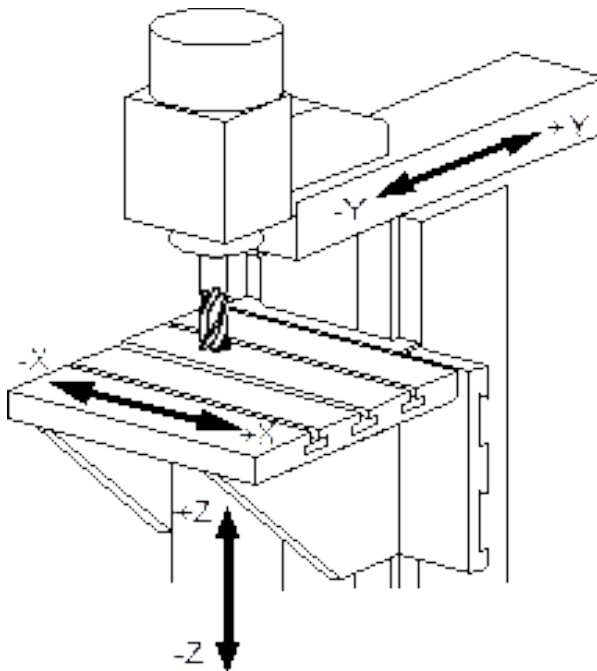


Рисунок 3.10 – Розміщення осей вертикально-фрезерного верстата з ЧПК

Координати точок на площині можуть мати як позитивні, так і негативні значення.

*Правила розміщення осей координат:*

– вісь  $Z$  завжди збігається з віссю обертання шпинделя, а її позитивний напрямок – із напрямком переміщення від пристрою кріплення заготовки до різального інструменту;

– якщо у верстата є хоча б одна горизонтальна вісь, то (якщо це не вісь шпинделя) це обов'язково буде вісь  $X$ ;

– якщо вісь  $Z$  горизонтальна, то позитивним напрямком осі  $X$  є напрямок управо, якщо стати обличчям до лівого щодо передньої площини торця верстата. Передня площина верстата – сторона, з якої розміщені пульт та основні органи керування верстатом;

– якщо вісь  $Z$  вертикальна, то позитивним напрямком осі  $X$  є напрямок управо, якщо стати обличчям до передньої площини верстата;

– для визначення позитивного напрямку осі  $Y$  необхідно повернути вісь  $X$  на  $90^\circ$  навколо осі  $Z$  за годинниковою стрілкою, якщо дивитися вздовж осі  $Z$  у позитивному напрямку.

Усі ці правила можна проілюструвати за допомогою правила правої руки (рис. 3.11).

Декартова  
система  
координат



Правило  
правої руки  
для вибору осей  
координат

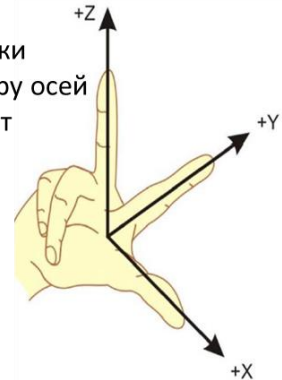


Рисунок 3.11 – Правила вибору осей координат фрезерних верстатів

Крім декартової, під час програмування на верстатах із ЧПК часто використовують систему полярних координат, особливо для деталей із великою кількістю кутових розмірів або круговою симетрією. Для таких деталей визначення координат точок складових елементів у декартових координатах може бути пов'язаним зі складними обчисленнями. Декартова й полярна системи координат порівняні й проілюстровані на рисунку 3.12.

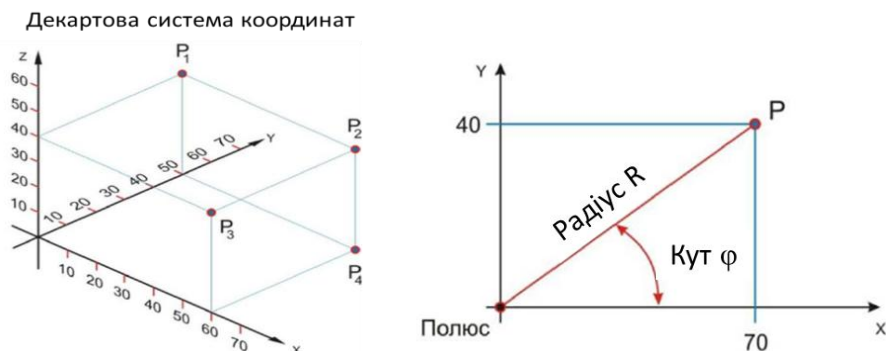


Рисунок 3.12 – Ілюстрація позначення координат точки Р у декартовій та полярній системах координат

Згідно з вищенаведеним рисунком опис розміщення точки Р у різних системах координат такий:

- декартова система:  $X = 70, Y = 40$ ;
- полярна система:  $R = 80,623$ , кут  $\varphi = 29,745^\circ$ .

Приклад: диск з отворами, розміщеними по колу.

Положення точки на площині в полярних координатах описують за допомогою відстані (радіуса) від конкретної точки до початку координат і кутом між певною віссю координат (зазвичай віссю X) та радіусом, проведеним у таку точку з початку координат, що називають полюсом.

Для наочності позначення координат отворів у диску в декартовій і полярній системах координат зображені на рисунку 3.13.

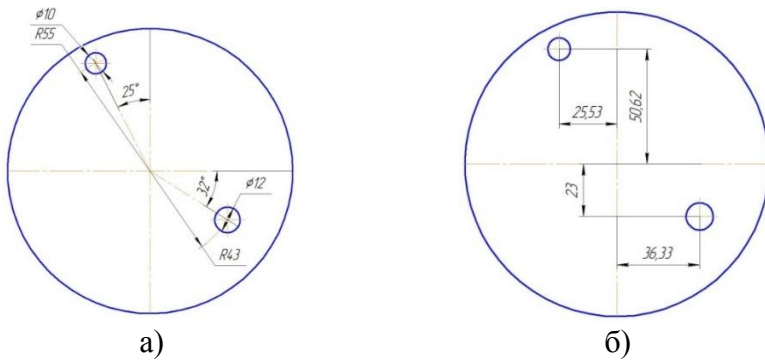


Рисунок 3.13 – Визначення координат отворів у системах координат: а) полярній; б) декартовій

Як можемо помітити на вищенаведеному рисунку, у декартовій системі координати отворів задають у сотих частинах міліметра, що складно для обчислень безпосередньо на робочому місці верстатника за наявності лише креслення деталі, на якому всі розміри розміщення отворів задані конструктором за кутом і радіусом.

На відміну від універсального обладнання фрезерні верстати з ЧПК, як і токарні, для коректної роботи й досягнення необхідних показників точності мають певні характерні точки (рис. 3.14), установлювані виробниками верстатів, програмістами та операторами під час оброблення.

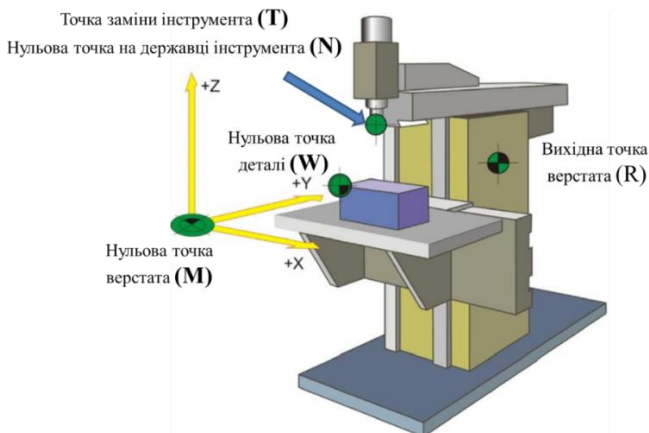


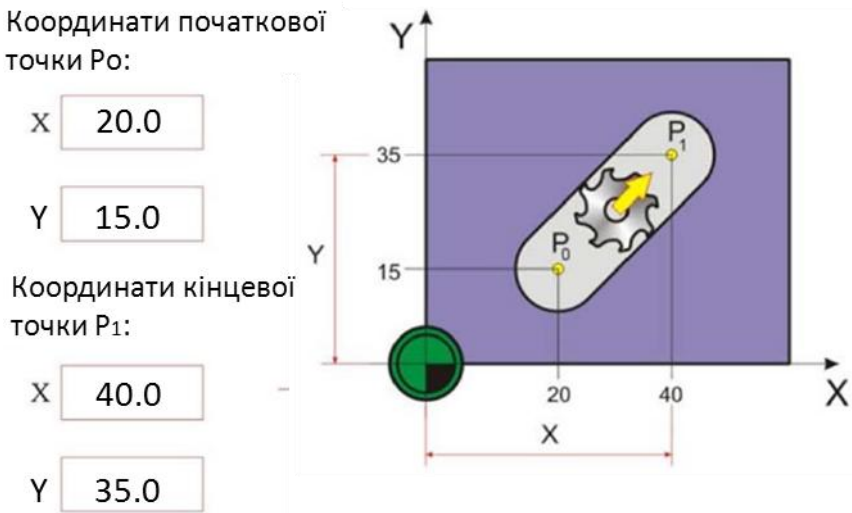
Рисунок 3.14 – Основні точки фрезерних верстатів із ЧПК

Поняття основних точок для фрезерного верстата з ЧПК аналогічні точкам для токарного верстата з ЧПК.

Фрезерні верстати з ЧПК, як і токарні, програмують за допомогою буквено-числового коду в абсолютній або відносній системі координат.

Поняття абсолютної та відносної систем координат, а також формат запису кадрів керуючої програми аналогічні поняттям для токарного оброблення. Відносну систему координат зручно використовувати в ручному режимі написання керуючої програми, якщо програмування разове.

Ілюстрації позначення координат точок в абсолютній і відносній системах координат наведено на рисунках 3.15 та 3.16.



**G90**

Рисунок 3.15 – Абсолютна система координат під час фрезерування

Координати початкової точки P<sub>0</sub>:

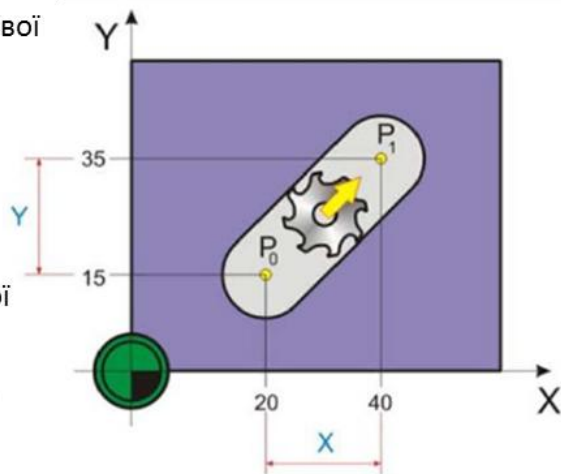
X 20.0

Y 15.0

Координати кінцевої точки P<sub>1</sub>:

X 20.0

Y 20.0



## G91

Рисунок 3.16 – Відносна система координат під час фрезерування

У дрібносерійному й одиничному виробництві на фрезерних верстатах із ЧПК дуже часто необхідно обробляти деталі різної висоти та форми (прямокутні й циліндричні) частими невеликими партіями. Для цього за допомогою функцій G54, G55, G56, G57, G58, G59 програмують задання координат нульової точки деталі в абсолютній системі координат верстата (рис. 3.17). Завдяки можливості програмувати координати з використанням шести різних функцій у пам'яті ЧПК одночасно можна задати та зберегти шість зовні різних варіантів розміщення нульової точки деталі.

Призначені за допомогою функцій G54–G59 нові значення координат нульової точки деталі завжди задають в абсолютній системі координат верстата щодо його нульової точки незалежно від кількості призначень.

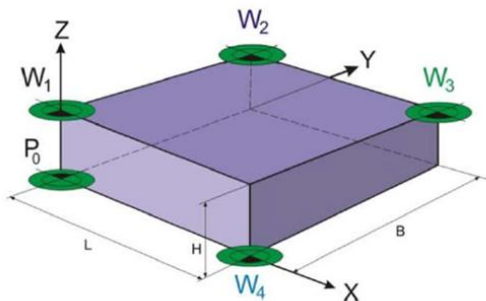
Формат кадру

G54 [X...][Y...][Z...]

...

G57 [X...][Y...][Z...]

Функція	<b>G54</b>
	<b>G55</b>
	<b>G56</b>
	<b>G57</b>



W <sub>1</sub>	N030 G54 X <input type="text"/> Y <input type="text"/> Z <input type="text"/>
W <sub>2</sub>	N030 G55 X <input type="text"/> Y <input type="text"/> Z <input type="text"/>
W <sub>3</sub>	N030 G56 X <input type="text"/> Y <input type="text"/> Z <input type="text"/>
W <sub>4</sub>	N030 G57 X <input type="text"/> Y <input type="text"/> Z <input type="text"/>

Рисунок 3.17 – Зміщення нульової точки деталі під час фрезерування

Багато сучасних верстатів функціонально здатні виконувати оброблення з одного установа в декількох площинах. Такий вид оброблення потребує попереднього задання робочої площини, зі сторони якої інструмент буде виконувати оброблення. Загалом це може бути площина або XY, або XZ, або YZ (рис. 3.18).

## Функція

**G17**

**G18**

**G19**

Формат кадру:

- для робочої площини XY: G17;
- для робочої площини XZ: G18;
- для робочої площини YZ: G19.

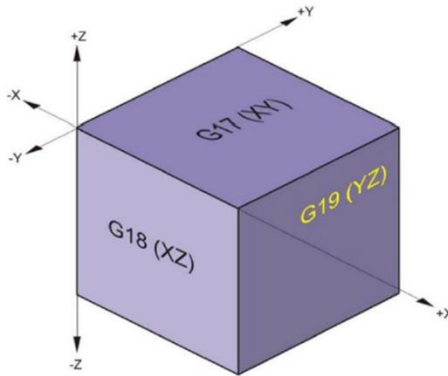


Рисунок 3.18 – Програмування робочої площини під час оброблення

Після виконання оброблення в заданій площині систему ЧПК можна переорієнтувати на переміщення в будь-якій іншій площині. Для цього необхідно задати відповідну команду (G17, G18 або G19).

Якщо в керуючій програмі не зазначена робоча площина, то стандартно система ЧПК вважає, що деталь обробляють у площині XY (G17).

На фрезерних верстатах із ЧПК G- та M-функції є аналогічними функціям для токарного оброблення.

Програмування функцій прискореного й лінійного переміщення (інтерполяції) передбачає, що інструмент переміщається по прямій із максимально можливою подачею та робочою величиною подачі відповідно в точку із заданими координатами по осях X, Y, Z (рис. 3.19 і 3.20).



Функція **G00**

Формат кадру

```
G00 [X...][Y...][Z...][S...][T...][M...]
```

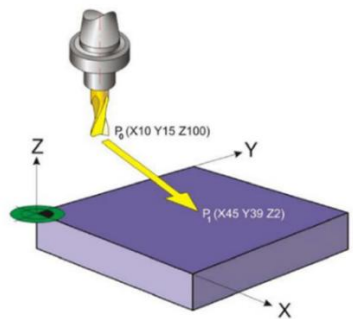


Рисунок 3.19 – Приклад функції G00 під час фрезерного оброблення

Функція **G01**

Формат кадру

```
G01 [X...][Y...][Z...][F...][S...][T...][M...]
```

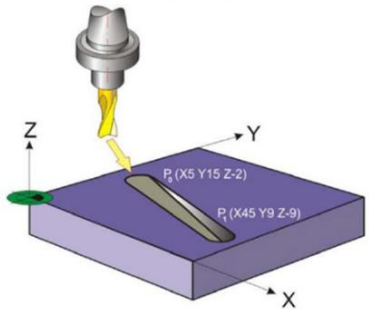


Рисунок 3.20 – Приклад функції G01 під час фрезерного оброблення

Програмування прискореної та лінійної інтерполяції для фрезерного оброблення аналогічне програмуванню токарного оброблення за винятком додавання третьої координати за необхідності, що збільшує потребу в уважності технолога-

програміста або робітника верстатника, який виконує програмування. Зважаючи на це, для безпечного підходу на прискореній подачі до зони оброблення рекомендовано спочатку підійти до зони оброблення за координатам X та Y, а потім підвести (опустити) інструмент по осі Z.

Функція G01 модальна. Якщо в наступних кадрах КП формат кадрів не змінюється, то лінійна інтерполяція із заданою швидкістю подачі діятиме доти, доки не буде скасованою введенням нової підготовчої функції, що належить до тієї самої групи. Якщо формат подальших кадрів змінюється, а нової підготовчої функції з тієї самої групи не вводять, то система ЧПК сприймає такі кадри як помилкові, тому КП не виконується.

Програмування функції кругової інтерполяції (за/проти годинникової стрілки) із заданою величиною подачі передбачає, що інструмент переміщається по дузі кола за/проти годинникової стрілки із запрограмованою швидкістю подачі в точку із заданими координатами по осях X, Y і Z (рис. 3.21).

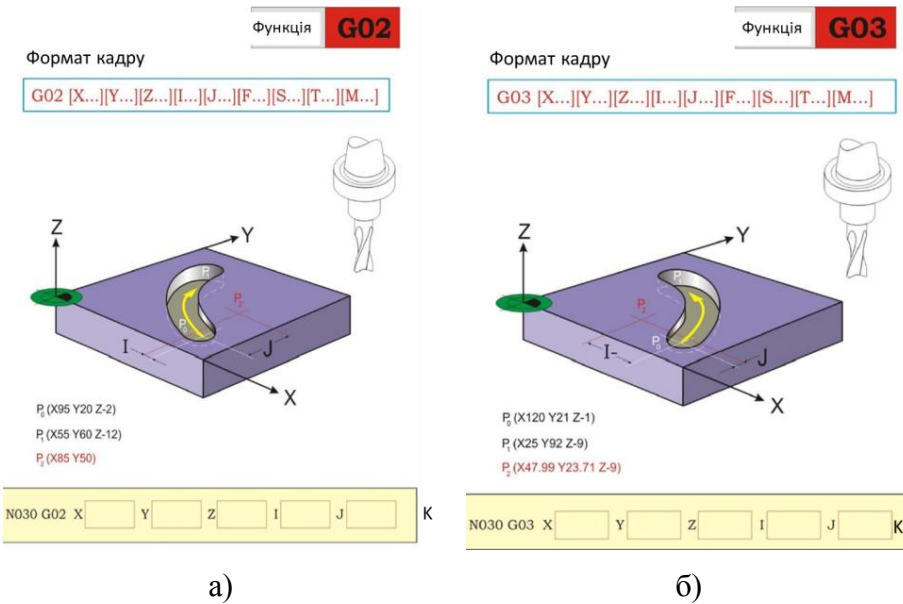


Рисунок 3.21 – Приклад функцій колової інтерполяції: а) за годинниковою стрілкою; б) проти годинникової стрілки

У такому разі:

**X** – координата кінцевої точки переміщення по осі X;

**Y** – координата кінцевої точки переміщення по осі Y;

**Z** – координата кінцевої точки переміщення по осі Z;

**I** – координата відносного центра дуги кола (у збільшеннях) по осі X – відстань від вихідної точки переміщення до центра дуги кола по осі X;

**J** – координата відносного центра дуги кола (у збільшеннях) по осі Y – відстань від вихідної точки переміщення до центра дуги кола по осі Y;

**K** – координата відносного центра дуги кола (у збільшеннях) по осі Z – відстань від вихідної точки переміщення до центра дуги кола по осі Z;

**F** – подача (мм/хв).

Оброблення дуг на верстатах із ЧПК може бути виконаним за трьома координатами, що дозволяє обробляти закриті прямі й кругові пази стандартними кінцевими фрезами замість шпонкових, які мають лише два зуба, що істотно знижує їх продуктивність. У стандартних кінцевих фрез здебільшого 3–6 зубців, а по центру немає різальної кромки, що не дозволяє вертикально врзатися в оброблюваний матеріал. Проте цей недолік нівелюється можливістю системи ЧПК урватися під необхідним кутом, що значно підвищує продуктивність.

За допомогою функції G04 (у кодї за DIN 66025) або функції M30 (у кодї NCCAD) переміщення інструмента припиняється на заданий час.

Величину тимчасової паузи, на яку припиняють переміщення інструмента зазначають у тексті кадру КП після адреси X і виражають у секундах (рис. 3.22).

Код G04 та X- або P-адресу програмують разом в одному кадрі, що не містить переміщень. До складу цього коду входять параметри X або P, що задають час витримки в межах 0,001–99 999,999 с.

Якщо для визначення часу витримки використовують P, не можна програмувати десяткової частки секунди. Адреса P визначає час витримки в мілісекундах, а X – у секундах.

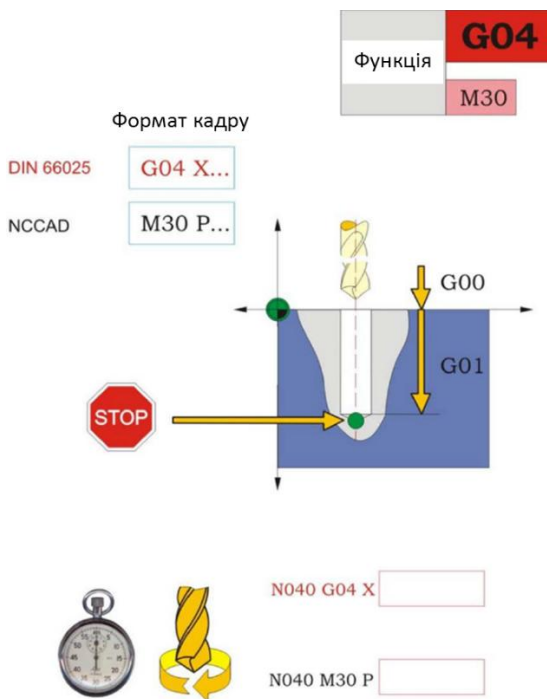


Рисунок 3.22 – Приклад функції G04

Зазначену функцію використовують для набору частоти обертання шпинделя, зменшення шорсткості торців бобишок і східчастих отворів під час цекування, формування торця під час розточування та ін. Проте для програмування й отримання деталі з необхідними розмірами потрібно правильно задати координати опорних (характерних) точок деталі (рис. 3.23), аналогічних точкам під час токарного оброблення.

Як і на токарних верстатах із ЧПК, на фрезерних верстатах із ЧПК виготовляють деталі насосного обладнання з високою точністю. Зважаючи на це, розробники систем ЧПК передбачали в них можливість корекції розміщення різальних кромek фрез та інших інструментів, використовуваних на фрезерних верстатах.

Корекція необхідна для оброблення точних площин, пазів, уступів і складних поверхонь, а також компенсації величини зношування інструментів.

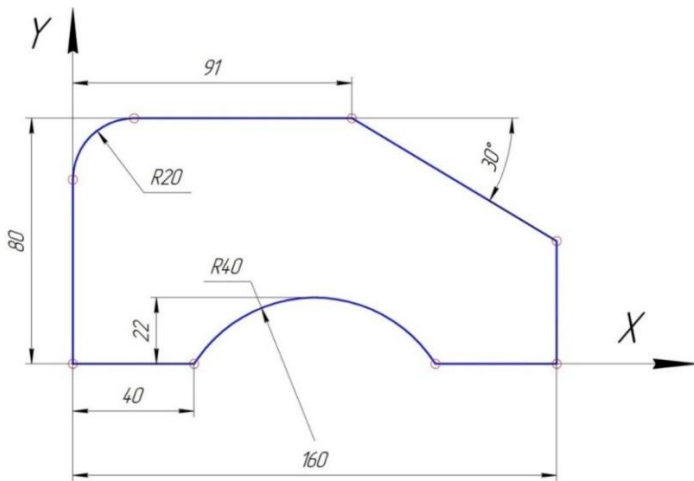


Рисунок 3.23 – Опорні точки деталі під час фрезерного оброблення

За напрямом руху подачі щодо заготовки, як і за токарного оброблення, розрізняють такі *типи корекції на радіус* (рис. 3.24):

- G41 – корекцію на радіус інструмента зліва;
- G42 – корекцію на радіус інструмента справа.

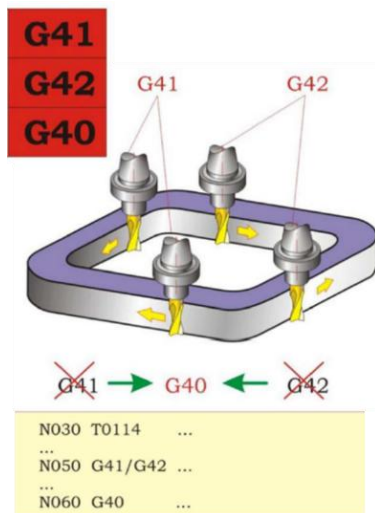


Рисунок 3.24 – Корекція на радіус інструмента справа та зліва під час фрезерного оброблення

Функція G40 скасовує дію автоматичної корекції на радіус інструмента G41 та G42.

Функції G41 і G42 програмують разом із функцією інструмента (D). Вони модальні. Задана функція корекції на радіус інструмента зберігається в КП доти, доки не буде скасованою функцією G40.

Функція G40 модальна. Скасування функції корекції на радіус інструмента зберігається в КП доти, доки знов не буде заданою корекція на радіус інструмента.

Приклад задання корекції на радіус інструмента зліва:

G41 D01 G01 X\_ Y\_.

Під час програмування обходу контуру деталі в процесі фрезерного оброблення центр фрези рухається на певній відстані від контуру деталі, що називають еквідистантною відстанню, а контур, який утворюється в результаті цього, – еквідистантним контуром.

**Еквідистантна лінія** – це лінія, рівновіддалена від контуру деталі (рис. 3.25).

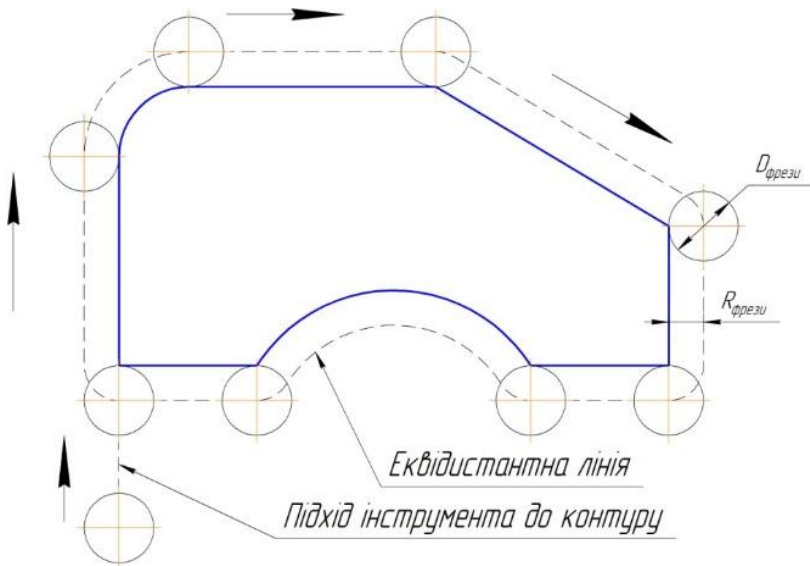


Рисунок 3.25 – Ілюстрація обходу контуру деталі під час фрезерного оброблення

**Еквідистантний контур** – це сукупність еквідистантних ліній.

Корекція дозволяє обробляти один і той самий контур фрезами різного діаметра. Для цього величину зміщення вводять у спеціальну комірку таблиці інструментів системи ЧПК, а в програмі позначають як адресу D та номер комірки.

Щоб активувати корекцію на радіус, необхідна певна відстань, на яку траєкторія буде еквідистантно зміщеною. Таку відстань називають *підведенням (підходом) до контуру*. Величина підведення здебільшого не повинна бути меншою за радіус фрези.

Кожний інструмент, використовуваний для фрезерування, крім діаметра, має унікальну довжину (рис. 3.26).

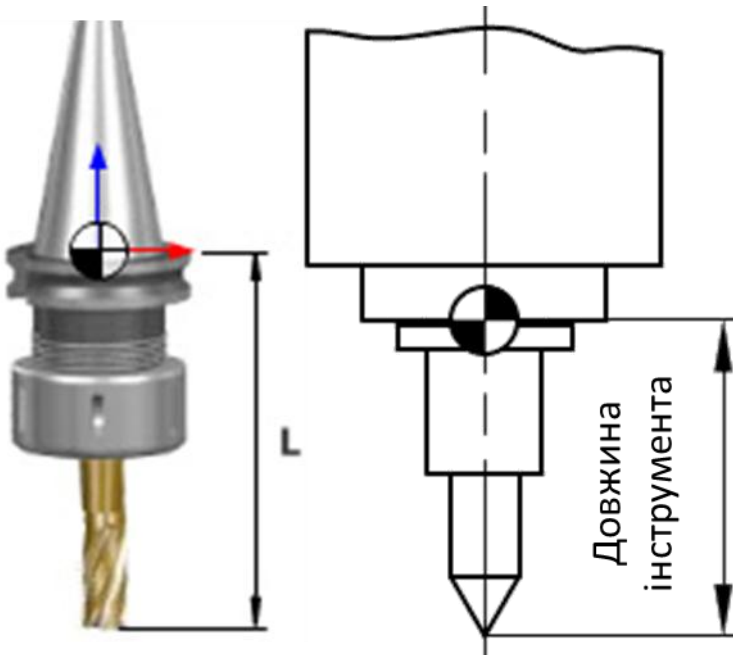


Рисунок 3.26 – Корекція на довжину осевого різального інструмента

Щоб компенсувати різницю довжин інструментів, передбачені такі *підготовчі функції*:

G43 – позитивна (+) корекція на довжину інструмента, тобто система ЧПК верстата вважає, що інструмент більший, ніж його дійсний розмір;

G44 – негативна (–) корекція на довжину інструмента, тобто система ЧПК верстата вважає, що інструмент менший, ніж його дійсний розмір;

G49 – відміна корекції на довжину інструмента.

Функції G43 і G44 модальні. Задана функція корекції на довжину інструмента зберігається в КП доти, доки не буде скасованою функцією G49.

Функція G49 модальна. Скасування функції корекції на довжину інструмента зберігається в КП доти, доки знов не буде заданою корекція на радіус інструмента.

У разі зміни величини зміщення способом зміни номера коректора попередня величина зміщення просто замінюється на наступну, тому не можна припускати, що попередня величина додається до наступної.

Корекція довжини інструмента в такому пристрої ЧПК можлива за будь-якою з осей, водночас величину зміщення будуть уводити залежно від функцій G17, G18, G19 по осях Z, Y, X відповідно.

Корекцію на довжину інструменту вводять і виводять незалежно від того, задано в кадрі з G43 (G44) переміщення за корегованою віссю чи ні. Якщо переміщення не задано, то корекцію вводять на швидкості прискореного переміщення.

Приклад задання корекції на довжину:

G43 H01 G01 Z\_.

Перед зміною інструмента або в кінці програми оброблення корекцію на довжину вимикають, для цього використовують код G49 або слово H0.

Приклад керуючої програми для оброблення деталі (рис. 3.27) із коментарями наведений далі.



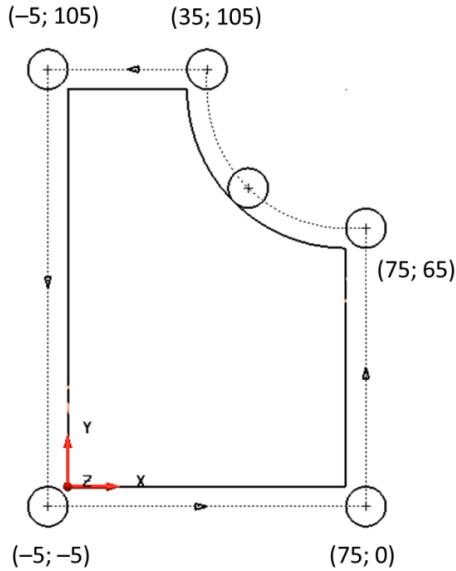


Рисунок 3.27 – Контур деталі

% – початковий символ КП.

N5 G0 G17 G40 G49 G90 – підготовчі установки КП.

N10 T1 M6 – установлення фрези діаметром 10 мм.

N15 S1000 M3 – увімкнення обертів шпинделя.

N20 G54 – зазначення розміщення «нуля» деталі.

N25 G43 Z100 H1 – увімкнення корекції на довжину.

N30 X0 Y-10 – рух у точку підведення до контуру.

N35 G1 Z-5 F100 – вихід по осі Z на глибину різання.

N40 G42 Y0 D1 – увімкнення корекції на радіус.

N45 X70 – рух у точку 1.

N50 Y60 – рух у точку 2.

N55 G2 X30 Y100 I0 J40 – рух по дузі R40.

N60 G1 X0 – рух у точку 4.

N65 Y0 – рух у нульову точку

N70 G40 Y-10 – відведення з вимкненням корекції.

N75 G0 Z100 G49 – вихід (підйом) у кінцеву точку.

N80 M5 – вимкнення шпинделя.

N85 M30 – кінець КП.

%% – символи завершення КП.

З огляду на різноманіття деталей, оброблюваних на верстатах, лише певні з них не містять такого елемента, як отвір. Призначення отворів у деталі може бути різним: конструкційним (з'єднання деталей між собою в складальний вузол), функціональним (канал охолодження в прес-формі) та ін. (рис. 3.28).

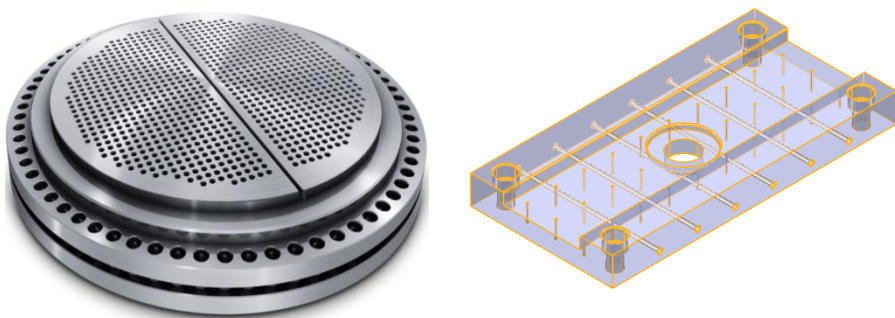


Рисунок 3.28 – Приклади деталей із великою кількістю отворів

Програмування траєкторій руху може бути виконаним за допомогою написання кожного переміщення окремо або зменшення кількості кадрів КП, застосовуючи стандартні цикли, наявні в усіх без винятків системах ЧПК.

Для програмування оброблення отворів на верстатах із ЧПК призначені так звані постійні цикли свердління.

**Постійний цикл свердління** – це макропрограма системи ЧПК, що викликається як функція з передавання параметрів оброблення.

Виникнення циклів свердління сягає своїм корінням у часи, коли програміст уручну писав керуючу програму для оброблення. Тоді програмувати кожну точку (отвір) було досить трудомістко. Система ЧПК раніше не мала достатнього обсягу пам'яті для зберігання цієї програми.

Основною метою створення подібного функціоналу було скорочення часу програмування та мінімізація коду (кількості символів у програмі). Постійний цикл свердління спрощує програму, замінюючи кілька її рядків одним блоком.

У кодї ІСО 7 біт постійні цикли свердління програмують за допомогою G-кодів із номерами від 80 до 89 (G80–G89), частина з яких зарезервована й невикористовувана.

G80 – скасування циклу свердління.

G81 – звичайне свердління (single pecking drilling).

G82 – свердління з видаленням стружки (break chip drilling).

G83 – глибоке свердління (deep drilling).

G84 – нарізування різей (tapping).

G85 – розточування (counter bore).

G86 – розточування із зупинкою шпинделя вкінці.

G87 – розточування з ручним відводом.

Перед програмуванням потрібного циклу інструмент виставляють у необхідну точку щодо системи координат. Потім задають цикл свердління з характерними для нього параметрами.

Цикл звичайного свердління в системі «FANUC 0iT» забезпечують функцією G81. Приклад оброблення отвору за циклом G81 наведено на рисунку 3.29, а фрагмент КП з коментарями – далі в тексті.

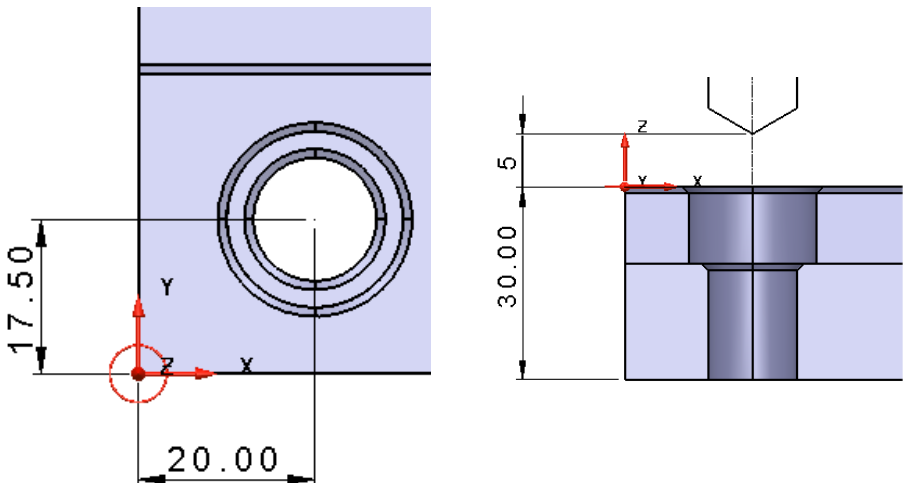


Рисунок 3.29 – Отвір для операції звичайного свердління

Зазначений цикл передбачає безперервний рух свердла в матеріалі від початку до дна отвору із заданою швидкістю.

% – початковий символ КП.

N10 G17 G40 G49 G80 G90 – підготовка частина КП.

N15 T1 M6 – установлення інструмента.

N20 G54 – задання нульової точки деталі.

N21 M3 – увімкнення обертання шпинделя.

N25 G0 G43 Z50. H1 – увімкнення корекції на довжину.

N30 X20. Y17.50 – вихід у точку центра отвору.

N35 G1 Z15. F500 – вихід на безпечну площину (Z = 15 мм).

N40 G81 Z-30. R5 F100 – виклик циклу свердління (R5 – площина відводу інструмента після циклу свердління).

N45 G80 – відміна циклу свердління.

N50 G0 Z50. – підйом у кінцеву точку траєкторії.

N55 M05 – вимкнення обертання шпинделя.

N60 M30 – кінець програми.

%% – символи завершення КП.

Якщо необхідно просвердлити відразу кілька однотипних отворів (рис. 3.30), то після виклику циклу координати всіх отворів зазначають через рядок. Запрограмований цикл буде активним доти, доки не буде заданим його завершення G80.

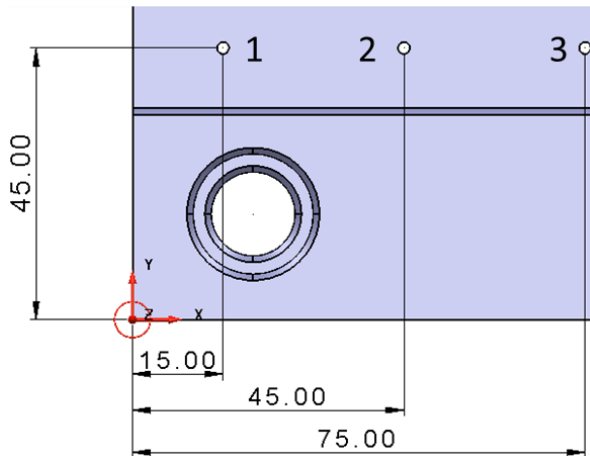


Рисунок 3.30 – Ілюстрація свердління множини отворів для операції звичайного свердління

% – початковий символ КП.

N10 G17 G40 G49 G80 G90 – підготовка частина КП.

N15 T1 M6 – установка інструмента.

N20 G54 – задання нульової точки деталі.

N21 M3 – увімкнення обертання шпинделя.

N25 G0 G43 Z50. H1 – увімкнення корекції на довжину.

N30 X15. Y45. – вихід у точку центра отвору 1.

N35 G1 Z15. F500 – вихід на безпечну площину ( $Z = 15$  мм).

N40 G81 Z-30. R5 F100 – виклик циклу свердління.

N45 X45 – перехід у точку свердління отвору 2.

N50 X75 – перехід у точку свердління отвору 3.

N55 G80 – відміна циклу свердління.

N60 G0 Z50. – підйом у кінцеву точку траєкторії.

N65 M05 – вимкнення обертання шпинделя.

N70 M30 – кінець КП.

%% – символи завершення КП.

Цикли свердління за один прохід G81 і G82 виконують приблизно однаково за винятком запрограмованої зупинки в нижній частині отвору в циклі G82 (рис. 3.31).

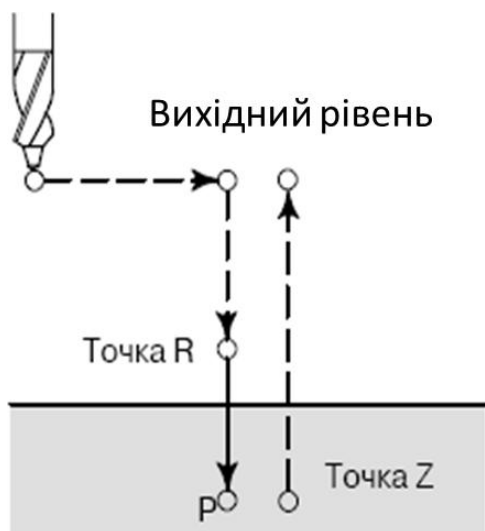


Рисунок 3.31 – Схема свердління за циклом G82

Цикл G82 зазвичай застосовують для свердління глухих отворів, тому що програмована зупинка дозволяє забезпечити якісніше значення шорсткості в нижньому торці отвору за необхідності (зенкування фасок, цекування отворів під голівки гвинтів).

% – початковий символ КП.

N10 G17 G40 G49 G80 G90 – підготовча частина КП.

N15 T1 M6 – установа інструмента.

N20 G54 – задання нульової точки деталі.

N21 M3 – увімкнення обертання шпинделя.

N25 G0 G43 Z50. H1 – увімкнення корекції на довжину.

N30 X15. Y45. – вихід у точку центра отвору.

N35 G1 Z15. F500 – вихід на безпечну площину ( $Z = 15$  мм).

N40 G82 Z-30 R5 P1000 F100 – виклик циклу свердління  
(P – час витримки в 1/1 000 с, тобто 1 с).

N45 G80 – відміна циклу свердління.

N50 G0 Z50. – підйом у кінцеву точку траєкторії.

N55 M05 – вимкнення обертання шпинделя.

N60 M30 – кінець КП.

%% – символи завершення КП.

Цикл глибокого свердління G83 оптимальний для свердління глибоких отворів (більших ніж п'ять їх діаметрів). У різній літературі також вживають іншу назву зазначеного циклу – переривчасте свердління. Вона пов'язана з характером руху свердла під час оброблення отвору. Упродовж виконання циклу інструмент заглиблюється на відстань Q, задану в параметрах, після чого повертається на вихідний рівень. Так повторюється до досягнення необхідної глибини отвору. Наведена технологія дозволяє видаляти велику частину стружки з отвору й запобігає поломці свердла (рис. 3.32).

% – початковий символ КП.

N10 G17 G40 G49 G80 G90 – підготовча частина КП.

N15 T1 M6 – установа інструмента.

N20 G54 – задання нульової точки деталі.

N21 M3 – увімкнення обертання шпинделя.

N25 G0 G43 Z50. H1 – увімкнення корекції на довжину.

- N30 X15. Y45. – вихід у точку центра отвору.
- N35 G1 Z15. F500 – вихід на безпечну площину ( $Z = 15$  мм).
- N40 G83 Q5 Z-30 R5 F100 – виклик циклу свердління ( $Q$  – глибина свердління за одне врізання, тобто 5 мм).
- N45 G80 – відміна циклу свердління.
- N50 G0 Z50. – підйом у кінцеву точку траєкторії.
- N55 M05 – вимкнення обертання шпинделя.
- N60 M30 – кінець КП.
- %% – символи завершення КП.

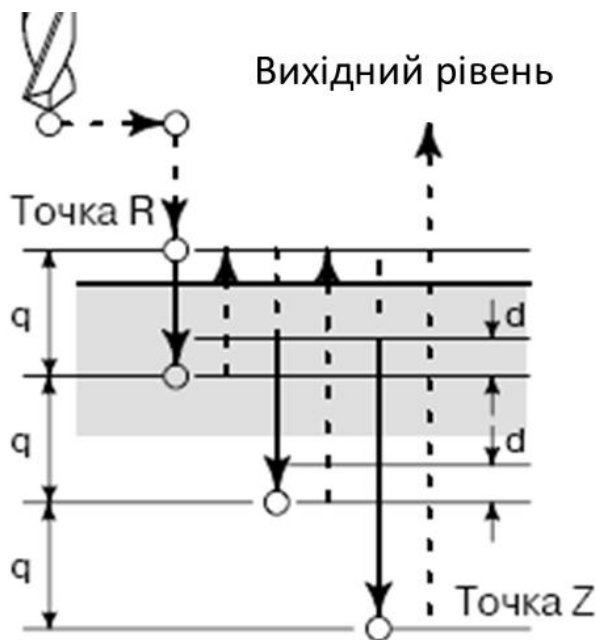


Рисунок 3.32 – Схема свердління за циклом G83

Цикл G84 призначений для нарізування різьї мігчиком (рис. 3.33). Рух у процесі оброблення відбувається на робочій подачі, шпиндель обертається в заданому напрямку. Рух у початкове положення після оброблення виконується на робочій подачі зі зворотним обертанням шпинделя. Застосовують як для нарізування в плаваючому патроні, так і жорсткого різьонарізування.

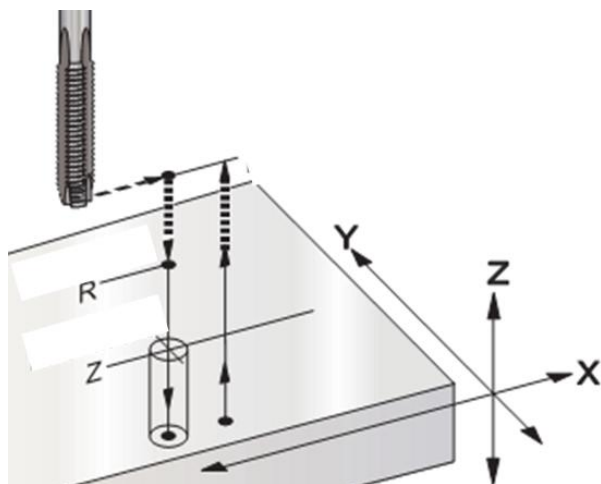


Рисунок 3.33 – Схема нарізування різей за циклом G84

% – початковий символ КП.

N10 G17 G40 G49 G80 G90 – підготовча частина КП.

N15 T1 M6 – установлення інструмента.

N20 G54 – задання нульової точки деталі.

N21 M3 – увімкнення обертання шпинделя.

N25 G0 G43 Z50. H1 – увімкнення коректора на довжину.

N30 X15. Y45. – вихід у точку центра отвору.

N35 G1 Z15. F500 – вихід на безпечну площину ( $Z = 15$  мм).

N40 G84 Z-30 R5 F100 – виклик циклу різенарізування ( $Z$  – глибина отвору;  $R$  – початкова точка циклу, тобто відстань від вихідної точки до поверхні деталі;  $Q$  – глибина різання за один прохід (за необхідності);  $F$  – робоча подача).

N45 G80 – відміна циклу різенарізування.

N50 G0 Z50. – підйом у кінцеву точку траєкторії.

N55 M05 – вимкнення обертання шпинделя.

N60 M30 – кінець КП.

%% – символи завершення КП.

Цикли G85 і G86 призначені для розточування отворів (рис. 3.34). У циклі G85 рух у процесі оброблення відбувається на робочій подачі й із затримкою в кінці отвору. Рух у початкове положення після оброблення також виконується на робочій подачі.



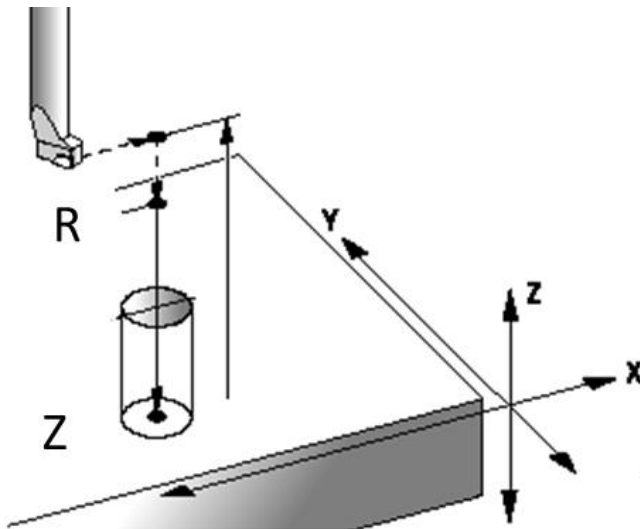


Рисунок 3.34 – Схема розточування за циклом G85

Відмінність циклу G86 полягає в тому, що в кінці оброблення відбувається зупинка шпинделя. Рух у початкове положення після оброблення виконується на прискореній подачі.

% – початковий символ КП.

N10 G17 G40 G49 G80 G90 – підготовка частина КП.

N15 T1 M6 – установлення інструмента.

N20 G54 – задання нульової точки деталі.

N21 M3 – увімкнення обертання шпинделя.

N25 G0 G43 Z50. H1 – увімкнення корекції на довжину.

N30 X15. Y45. – вихід у точку центра отвору.

N35 G1 Z15. F500 – вихід на безпечну площину ( $Z = 15$  мм).

N40 G85 Z-30 R5 P2000 F50 – виклик циклу розточування (R – вихідне положення по осі Z, тобто 5 мм; P2000 – час затримки на дні отвору, тобто 2 с).

N45 G80 – відміна циклу розточування.

N50 G0 Z50. – підйом у кінцеву точку траєкторії.

N55 M05 – вимкнення обертання шпинделя.

N60 M30 – кінець КП.

%% – символи завершення КП.

Докладний запис циклу розточування такий:

G85 X\_Y\_Z\_R\_F\_L\_P\_ ,

де X, Y – координати отвору по осях X і Y;

Z – глибина отвору;

R – вихідне положення по осі Z (початок руху інструмента на робочій подачі);

F – величина робочої подачі;

L – кількість проходів (за необхідності);

P – час затримки на дні отвору в 1/1 000 с.

### **3.4 Способи підвищення продуктивності оброблення деталей складної конфігурації на фрезерних верстатах**

До основних способів підвищення продуктивності на сучасних фрезерних верстатах із ЧПК належать такі:

– використання прогресивних інструментів із надтвердих матеріалів зі змінними непереточуваними пластинами (торцевих і кінцевих фрез, а також свердл та мігчиків), що дозволяють виконувати оброблення на високих швидкостях різання й подачі;

– використання верстатів зі швидкими переміщеннями робочих органів;

– використання заготовок із мінімальними припусками;

– використання верстатів із високою потужністю для зняття припусків за мінімальну кількість проходів;

– використання автоматичних затискних пристроїв, бажано з однаковими приєднувальними елементами;

– застосування багатомісного оброблення (верстатів із двома столами, на одному з яких оброблюють, а на іншому закріплюють заготовку);

– використання промислових роботів.

## Лекція 4

# Сучасні досягнення науки й техніки в галузі оброблення конструкційних матеріалів

### План

- 4.1 Адитивні технології в заготівельному виробництві.
- 4.2 Особливості оброблення надтвердими матеріалами.

#### 4.1 Адитивні технології в заготівельному виробництві

Технологія «тривимірного друку» з'явилася в кінці 1980-х рр. ХХ ст. Перша комерційна стереолітографічна машина – stereolithography apparatus (1986 р.). До середини 1990-х рр. її використовували здебільшого в науково-дослідній і дослідно-конструкторській діяльності, пов'язаній з оборонною промисловістю. Перші лазерні машини (SLA-машини), а потім порошкові (SLS-машини) мали високу вартість, але вибір модельних матеріалів був невеликим. Поширення цифрових технологій у галузі проектування (CAD), моделювання й розрахунків (CAE) та механічного оброблення (CAM) стимулювало розвиток технологій 3D-друку.

Раніше ці технології називали «технологіями швидкого прототипування» (від англ. rapid prototyping), але термін «RP-технології» досить швидко застарів і на сьогодні повністю не відображає їх реальної суті. Методами «швидкого прототипування» зараз виготовляють цілком комерційні товарні вироби, що вже не можна назвати прототипами, імплантати й ендопротези, інструменти та ливарні форми, деталі літаків і супутників та багато інших. Адитивні технології припускають виготовлення (побудову) фізичного об'єкта (деталі) методом пошарового нанесення матеріалу на відміну від традиційних методів формування деталі способом видалення матеріалу з масиву заготовки. Суть additive manufacturing (AM) можна проілюструвати простим прикладом (рис. 4.1): CAD-модель → AM-машина → деталь [6].

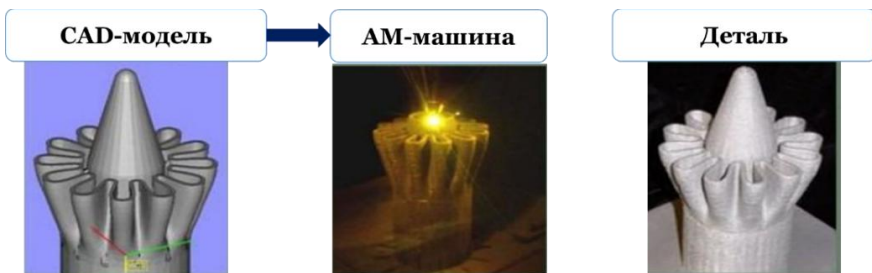


Рисунок 4.1 – Технології additive manufacturing

### ***Основні розроблені технології:***

1) *лазерна стереолітографія* (англ. laser stereolithography, SLA). Об'єкт формується зі спеціального рідкого фотополімеру, що твердіє в результаті дії лазерного випромінювання (або випромінювання ртутних ламп). Водночас зазначене випромінювання формує на поверхні поточний шар, після чого об'єкт занурюють у фотополімер на товщину одного шару, щоб лазер міг почати формувати наступний шар [7–9]. Інший варіант наведеної технології – SLA-DLP, за якого замість лазера використовують DLP-проектор (у такому разі шар формується відразу, що дозволяє прискорити процес друку);

2) *селективне лазерне спікання* (англ. selective laser sintering, SLS), а також англ. direct metal laser sintering, DMLS). Об'єкт формується з плавкого порошкового матеріалу (пластику, металу) способом його плавлення в результаті дії лазерного випромінювання. Порошкоподібний матеріал наноситься на платформу тонким рівномірним шаром (здебільшого спеціальним валиком), після чого лазерне випромінювання формує на поверхні поточний шар. Потім платформа опускається на товщину одного шару, і на неї знову наноситься порошкоподібний матеріал. Для зменшення необхідної для спікання енергії температуру робочої камери зазвичай підтримують на рівні, трохи нижчому за точку плавлення робочого матеріалу, а для запобігання окисненню процес проводять у безкисневому середовищі;

3) *електронно-променева плавка* (англ. electron beam melting, EBM). Є аналогічною технологіям SLS / DMLS, лише в

такому разі об'єкт формується способом плавлення металевого порошку електронним променем у вакуумі [6, 7];

4) *моделювання методом наплавлення* (англ. fused deposition modeling, FDM). Об'єкт формується способом пошарового укладання розплавленої нитки з плавкого робочого матеріалу (пластику, металу, воску). Робочий матеріал подається в екструзійну головку, що видавлює на платформу тонку нитку розплавленого матеріалу, формуючи поточний шар розроблюваного об'єкта. Далі платформа опускається на товщину одного шару, щоб можна було нанести наступний шар [1, 2, 3]. Часто в цій технології беруть участь дві робочі головки: одна видавлює на платформу робочий матеріал, а інша – матеріал підтримки;

5) *метод багатострумнинного моделювання* (англ. multi jet modeling, MJM) – технологія, аналогічна FDM, лише замість екструзії застосовують струминний друк;

6) *виготовлення об'єктів із застосуванням ламінування* (англ. laminated object manufacturing, LOM). Об'єкт формується пошаровим склеюванням (нагріванням, тиском) тонких плівок робочого матеріалу з вирівнянням (за допомогою лазерного променя або різального інструмента) відповідних контурів на кожному шарі;

7) *3D-printing (3D-P)* – технологія, аналогічна SLS, лише в такому разі не застосовують плавлення: об'єкт формується з порошкового матеріалу способом склеювання й струминного друку для нанесення рідкого клею. Зазначена технологія дозволяє виробляти кольорові моделі завдяки додаванню в клей барвників (безпосередньо під час друку), використанню декількох друкувальних головок із кольоровим клеєм.

### ***Застосування технологій АМ:***

1) для швидкого прототипування, тобто швидкого виготовлення прототипів моделей та об'єктів для подальшого доведення. Уже на етапі проектування можна кардинально змінити конструкцію вузла або об'єкта загалом. В інженерії такий підхід може істотно знизити витрати на виробництво й освоєння нової продукції;

2) для швидкого виробництва – виготовлення готових деталей із матеріалів, що підтримуються 3D-принтерами. Це найоптимальніше рішення для дрібносерійного виробництва;

3) виготовлення моделей і форм для ливарного виробництва;

4) конструкція з прозорого матеріалу дозволяє побачити роботу механізму зсередини;

5) виготовлення моделей та форм для ливарного виробництва;

6) для виробництва різних дрібниць у домашніх умовах;

7) для виробництва складних, масивних, міцних і недорогих систем;

8) у медицині, для протезування й виробництва імплантів (фрагментів скелета, черепа, кісток, хрящових тканин);

9) для будівництва будівель і споруд;

10) для виробництва корпусів експериментальної техніки (автомобілів, телефонів, радіоелектронного обладнання).

У міжнародному співтоваристві ustalеної класифікації адитивних технологій поки що не розроблено. Різні автори поділяють їх за такими методами:

– формуванням шару (рис. 4.2);

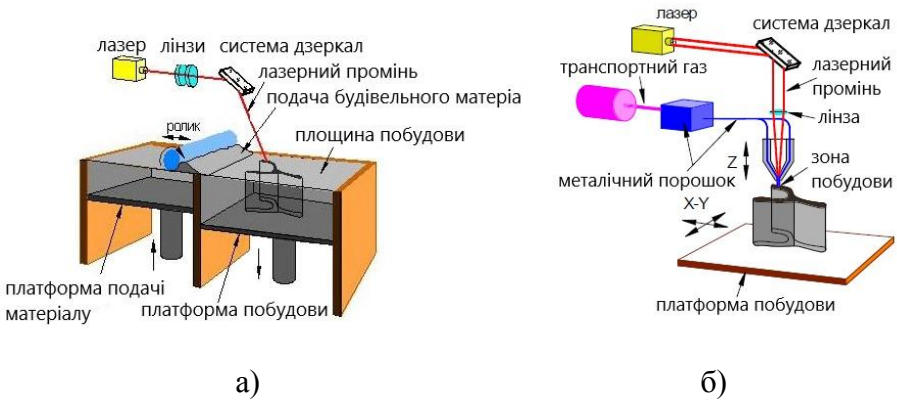


Рисунок 4.2 – Методи формування шару для побудови моделі:  
а) bed deposition; б) direct deposition

- фіксацією шару (фотополімеризація, склеювання та сплавлення);
- використовуваними будівельними (модельними) матеріалами (рідкі, сипучі, полімерні, металоповерхові та ін.);
- ключовою технологією (лазерні, нелазерні);
- підведенням енергії для фіксації шару побудови (за допомогою теплового впливу, опромінення ультрафіолетовим або видимим світлом, сполучного складу тощо).

У разі застосування зазначеної технології (рис. 4.2 а) спочатку формують шар, наприклад насипають на поверхню робочої платформи дозу порошкового матеріалу й розрівнюють його за допомогою ролика або «ножа», формуючи рівний шар матеріалу певної товщини. Потім вибірково (селективно) обробляють порошок у сформованому шарі лазером або іншим способом, скріплюючи частинки порошку (сплавляючи або склеюючи) відповідно до поточного перерізу вихідної CAD-моделі. Ця технологія передбачає наявність певної поверхні («bed»), на якій спочатку формують шар, у якому потім вибірково фіксують будівельний матеріал. У процесі твердіння положення площини побудови є незмінним, водночас частина будівельного матеріалу (у такому разі – порошку) залишається незмінною в створеному шарі.

Зазначеній технології досить точно відповідає термін «селективний синтез», або «селективне лазерне спікання» (SLS), якщо інструментом є лазер, використовуваний на відміну від лазерної стереолітографії (SLA-технології) як джерело тепла, а не ультрафіолетового випромінювання. Після побудови платформа переміщується у вертикальному напрямку на величину кроку побудови, на ній формують новий шар. Такий процес повторюється до повного створення моделі.

Інший метод формування шару – пряме або безпосереднє осадження (матеріалу). Він полягає в прямому спрямуванні енергії й осадженні матеріалу в конкретній точці побудови (рис. 4.2 б). На відміну від першого виду в такому разі не формується шар будівельного матеріалу на поверхні платформи. Замість цього матеріал подається в конкретне місце, у яке у

визначений момент часу підводиться енергія та в якому формується деталь. Процес подібний до підведення зварювальником електрода до місця, у якому за допомогою електричної дуги формується зона розплаву.

**Згідно з класифікацією ASTM (2012 р.) адитивні технології поділяють на такі категорії:**

1) *material extrusion* – «видавлювання будівельного матеріалу», тобто пошарове нанесення розплавленого будівельного матеріалу через екструдер;

2) *material jetting* – «розбризування будівельного матеріалу», тобто його пошарове струминне нанесення;

3) *binder jetting* – «розбризування сполучного матеріалу», тобто його пошарове струминне нанесення;

4) *sheet lamination* – «з'єднання листових будівельних матеріалів», тобто пошарове формування виробів із них;

5) *vat photopolymerization* – «фотополімеризація у ванні», тобто пошарове затвердіння фотополімерних смол;

6) *powder bed fusion* – «розплавлення матеріалу в задалегідь сформованому шарі», тобто послідовне формування шарів порошкових будівельних матеріалів і вибіркоче (селективне) спікання частинок будівельного матеріалу;

7) *directed energy deposition* – «пряме підведення енергії безпосередньо в місце побудови», тобто пошарове формування виробів методом унесення будівельного матеріалу безпосередньо в місце підведення енергії.

До першої категорії належить, наприклад, технологія *MJS* (*multiphase jet solidification*), відповідно до якої в місце побудови моделі через екструдер видавлюється пастоподібний будівельний матеріал, що є сумішшю металевого порошку й сполучного матеріалу – пластифікатора. Побудовану таким способом *green*-модель (англ. «green» у значенні «зелена», тобто сира) поміщують у піч для видалення сполучного матеріалу та подальшого спікання. До цієї самої категорії належить і найбільш популярна техногія *FDM* (*fused deposition modeling*). Матеріал як полімерну нитку підводять до екструдера, у якому її



розплавляють і формують фізичну модель відповідно до конфігурації перетину віртуальної CAD-моделі.

Прикладом технології *material jetting* може бути технологія *poly-jet*, згідно з якою модельний матеріал (зазвичай фотополімер або віск) подається в зону побудови через багатоструминну головку. У такому разі використовують два матеріали – будівельний і підтримувальний, що запобігає обваленню навислих частин моделі під час побудови. Після побудови підтримувальний матеріал змивають гарячою водою. Як модельний матеріал використовують фотополімерну смолу, яку подають у зону побудови через багатоструминну головку. Ця технологія може забезпечувати друк трьома видами модельних матеріалів із різними властивостями, змішувати їх у заданій пропорції під час побудови моделі й отримувати композитні моделі в широкій колірній гамі.

Іншим різновидом технології *material jetting* є технологія *DoD* (*drop-on-demand*), за якої використовують два матеріали – модельний (віск), який розплавленим подають у зону побудови, та підтримувальний матеріал, що після побудови моделі змивають теплою водою. Принтер оснащений фрезерною головкою, за допомогою якої механічно обробляють побудований шар, забезпечуючи його необхідну висоту.

До категорії *binder jetting* належать *струминні технології*, або *ink-jet-технології*, за яких на відміну від технології *material jetting* у зону побудови впорскують не модельний матеріал, а сполучний реагент (для отримання ливарних моделей і піщаних синтез-форм).

Категорію *sheet lamination* становлять технології, за яких як будівельний листовий матеріал використовують полімерну плівку, металеву фольгу, аркуші паперу. Прикладом може бути технологія *UAM* (*ultrasonic additive manufacturing, fabrisonic*), сутність якої полягає в тому, що тонкі металеві пластини зварюють за допомогою ультразвуку, а потім «зайвий» метал видаляють фрезеруванням. Ця технологія є поєднанням адитивної та субтрактивної технологій.

Інша технологія – *LOM* (laminated object manufacturing). Вона є однією з перших адитивних технологій, застосовуваних у промисловості для виготовлення модельної оснастки. Як модельний матеріал використовують спеціальний папір із полімерним покриттям. У процесі побудови моделі папір пошарово укладають на платформу й кожен шар сплавляють (ламінують) із попереднім за допомогою нагрітого ролика. Лазерний промінь «описує» контур перетину CAD-моделі, пропалюючи шар паперу й відокремлюючи шар моделі від іншої частини паперового листа. Одночасно на частині листа формуються надрізи, що дозволяють легко відокремити побудовану модель від ламінованого масиву.

До категорії *vat photopolymerization* належать технології, за яких використовують рідкі модельні матеріали (фотополімерні смоли), наприклад *SLA-технологія* (3D Systems), *DLP-технологія* (digital light processon, envisiointec).

#### ***Найпоширеніші АМ-технології в машинобудуванні:***

- *steriolithography apparatus (SLA)* – затвердіння шару фотополімеру за допомогою лазерного променя;
- *selective laser sintering (SLS)* – пошарове лазерне спікання порошкових матеріалів, зокрема полімерів;
- *direct metal fabrication (DMF)* – різновид SLS-технології, пошарове лазерне спікання металопорошкових композитів;
- *selective laser melting (SLM)* – різновид SLS-технології, пошарове лазерне плавлення металопорошкових композитів;
- *digital light processon (DLP)* – засвічення шару фотополімеру за допомогою цифрового прожектора;
- *poly-jet* – нанесення шару фотополімеру через багатоструминну головку та його затвердіння за допомогою засвічення ультрафіолетовою лампою;
- *fused deposition modeling (FDM)* – пошарове накладення розплавлених ниткоподібних полімерів;
- *ink-jet* – затвердіння шару порошкового матеріалу способом нанесення сполучного складу через багатоструминну головку (на зразок струминного 3D-принтера).

*Критерії, відповідно до яких вибирають технологію:*

- вартості придбання обладнання;
- продуктивності;
- якості поверхні моделі;
- ступеня деталізації (функціональної здатності будувати дрібні фрагменти);
- точності побудови;
- трудомісткості постоброблення;
- стабільності модельного матеріалу;
- терміну служби машини (принтера) до заміни основних вузлів;
- вартості модельних (будівельних і допоміжних) матеріалів;
- надійності й терміну поставки витратних матеріалів та запасних частин;
- розвиненості служби технічної підтримки в регіоні;
- вартості поточного технічного обслуговування машини;
- вартості сервісного контракту (в постгарантійний період);
- надійності й довговічності машини;
- часу функціонування основних вузлів до заміни або капремонту;
- необхідної кваліфікації й відповідно витрат на заробітну плату обслужному персоналу, а також потрібної для інсталяції площі та інженерної інфраструктури.

Залежно від конкретної ситуації кожний із цих критеріїв має різну значущість. Наприклад, для ливарного виробництва, для якого адитивна машина вбудована в початок технологічного процесу виготовлення ливарної або майстер-моделі, чистота поверхні моделі принципово важлива.

### ***Адитивні технології та ливарне виробництво***

Застосування адитивних технологій у ливарному виробництві дозволяє «виросувати» ливарні моделі й форми, що неможливо виготовити традиційними способами, а також значно скорочує терміни виготовлення модельної оснастки.

Використання в процесі вакуумного лиття форм і моделей, отриманих за допомогою адитивних технологій, дало можливість зменшити в десятки разів час виготовлення пілотних, дослідних зразків, зокрема щодо серійної продукції.

Перехід на цифровий опис виробів (CAD) та адитивні технології кардинально змінив ливарне виробництво, що особливо проявилось у високотехнологічних галузях: авіаційній та аерокосмічній промисловості, атомній індустрії, медицині й приладобудуванні, а також тих, для яких характерним є малосерійне, штучне виробництво. Застосування методів отримання ливарних синтез-форм і синтез-моделей завдяки технологіям пошарового синтезу дозволило радикально скоротити час на створення нової продукції.

АМ-машини використовують для виготовлення ливарних і майстер-моделей, ливарних форм та оснащення.

*Матеріали, з яких можуть бути отриманими («вироценими») ливарні моделі:*

- порошкові полімери для подальшого лиття по випалюваних моделях;
- фотополімерні композиції, зокрема за технологією quick-cast для подальшого лиття по випалюваних моделях або MJ (multi-jet) для лиття по виплавлюваних моделях.

Однією з технологій для виготовлення синтез-моделей із порошкових полімерів є SLS. Полістирол широко використовують як модельний матеріал для традиційного лиття по випалюваних моделях. Водночас з огляду на бурхливий розвиток технологій пошарового синтезу він став особливо популярним у галузі прототипування, а також для промислового виготовлення штучної й малосерійної продукції.

Полістирольні моделі виготовляють на АМ-машинах, що функціонують за SLS-технологією. Зазначену технологію часто застосовують для виготовлення виливків складної форми великих розмірів із помірними вимогами по точності (рис. 4.3).



а)



б)

Рисунок 4.3 – Полістирольна модель (а) та алюмінієвий виливок головки циліндра ДВС (б)

Згідно з класифікацією ASTM SLS-технологія належить до категорії powder bed fusion. Модельний матеріал – полістирол (порошок розміром частинок  $50\div 150$  мкм). Він накочується спеціальним роликком на робочу платформу, установлену в герметичній камері з атмосферою інертного газу – азоту. Лазерний промінь контактує з матеріалом там, де задане в конкретному перерізі CAD-моделі її «тіло». У такому разі лазерний промінь є джерелом тепла, у результаті впливу якого спікаються частинки полістиролу (робоча температура – близько  $120$  °С). Потім платформа опускається на  $0,1\div 0,2$  мм, і нова порція порошку накочується поверх, тобто формується новий шар, що також спікається з попереднім. Процес повторюється до повної побудови моделі, що в кінці процесу виявляється укладеною в масив неспеченого порошку. Далі модель витягують із машини та очищають від порошку. Перевагою зазначеної технології є відсутність підтримок, тому що під час побудови модель і всі її шари утримують масивом порошку.

За цією технологією можна побудувати досить великі моделі розмірами до  $550$  мм  $\times$   $550$  мм  $\times$   $750$  мм без необхідності склеювання окремих фрагментів, що підвищує точність і надійність виливка, особливо вакуумного лиття. Водночас можлива висока деталізація моделей: можна побудувати

поверхневі елементи (номери деталей, умовні знаки, написи та ін.) товщиною фрагментів до 0,6 мм (гарантована товщина стінки моделі – до 1,5 мм).

Технології лиття по воскових і полістирольних моделях принципово не відрізняються, тому що використовують однакові формувальні матеріали, ливарне й допоміжне обладнання.

Відмінності полягають у тому, що воскову модель «виплавляють», а полістирольну «випалюють», а також у нюансах формування та термооброблення опок, що мають важливе значення.

Недоліки цієї технології такі. Спикання порошку – це тепловий процес, що характеризується нерівномірністю розподілу тепла по робочій камері й масиву матеріалу, жолобленням унаслідок температурних деформацій. У результаті того, що порошок полістиролу не сплавляється, як, наприклад, порошки поліаміду або металу, а саме спікається структура моделі пориста, подібна до структури пінопласту. Це в подальшому полегшує видалення матеріалу моделі з форми з мінімальними внутрішніми напруженнями під час нагрівання. Побудована модель потребує досить обережного поводження впродовж очищення та подальшої роботи в підготовці до формування.

Для міцності й гарного з'єднання з ливниковою системою та формування модель просочують спеціальним складом на восковій основі. Цей процес називають *інфільтрацією*.

Після цього модель поміщають у спеціальну піч і за температури близько 80 °С просочують спеціальним воскоподібним складом. Використання інфільтрату (воску) має свої переваги: він розплавляється в опоці під час випалювання раніше за полістирол і, коли останній стає текучим, видалляє його з форми, зменшуючи цим масу «випалюваної» частини полістиролу й знижуючи ймовірність утворення золи (рис. 4.4) [6].



а)



б)



в)

Рисунок 4.4 – Полістирольна модель: а) після «вироснування»; б) після інфільтрації; в) чавунний виливок

У процесі роботи рідкий сполучний склад упорскується через багатострумину головку та склеює основний модельний матеріал відповідно до параметрів поточного горизонтального перерізу САД-моделі. Модель «вироснують» так само, як полістирольну. Водночас за можливості роблять її порожнистою з мінімальною товщиною стінок. Потім порожнину моделі для збільшення міцності й жорсткості заповнюють епоксидною смолою. Після цього модель закріплюють у звичайному формувальному ящику, фарбують і далі діють за традиційною технологією. Перевагою технології є побудова моделі за кімнатної температури, що знижує ризик теплових деформацій, характерних для SLS-технології.

В останні роки також успішно застосовують іншу технологію отримання випалюваних синтез-моделей – ink-jet. Як модельний матеріал використовують порошковий акриловий полімер– поліметилметакрилат (PMMA).

### *Синтез-моделі зі світлотвердіючих смол*

Суть технології полягає у використанні спеціальних світлочутливих смол, що тверднуть вибірково та пошарово в місцях підведення за заданою програмою променя світла. Способи засвічення шару можуть бути різними (лазером, ультрафіолетовою лампою, прожектором видимого світла, світлодіодом).

Найпоширенішими для лиття металів технологіями є SLA, poly-jet і DLP. Перша передбачає послідовне проходження лазерного променя по всій поверхні формованого шару там, де в

перерізі знаходиться «тіло» моделі. Відповідно до другої затвердіння здійснюють променем у вигляді лінії в процесі формування шару способом випромінювання від керованої ультрафіолетової лампи. Третя передбачає засвічення всього шару одночасно завдяки створенню так званої маски «фотографії» поточного перерізу CAD-моделі.

Неподібність технологій формування шарів обумовлює відмінність у швидкості побудови моделі. Швидкість «виросування» за DLP- та jet-технологіями вища, але стереолітографія як і раніше залишається найточнішою з них. Її застосовують у тих галузях, у яких вимоги до якості поверхні й точності побудови моделі є основними та визначальними.

Технології нелазерного «засвічування» із заданою експозицією здебільшого успішно конкурують зі стереолітографією, залишаючи за собою очевидну перевагу у швидкості побудови й вартості моделей. Багато виробничих завдань можуть бути успішно виконаними за допомогою АМ-машин різних рівнів.

Зважаючи на вищезазначене, раціональний вибір технології отримання моделей, а отже, АМ-обладнання повинен базуватися на конкретних виробничих умовах і реальних вимогах до моделей. Якщо необхідне виконання різноманітних завдань, доцільно мати дві машини: одну для виготовлення виробів із підвищеними вимогами, а другу для виконання основних завдань і тиражування моделей.

*SLA-стереолітографія.* Основа в стереолітографічній технології (SLA) – ультрафіолетовий лазер (твердотільний або CO<sub>2</sub>). Лазерний промінь у такому разі є джерелом не тепла, як у SLS-технології, а світла. Промінь контактує з поточним перерізом CAD-моделі й тонкий шар рідкого полімеру в місцях проходження твердіє. Потім платформа, на якій проводять побудову, занурюють у ванну з фотополімером на величину кроку побудови, новий рідкий шар наносять на затверділий шар, і новий контур знову «обробляють» лазером. У разі «виросування» моделі, що має навислі елементи, одночасно з основним тілом моделі з того самого матеріалу будують



підтримки – тонкі стовпчики, на які укладають перший шар навислого елемента, коли приходить черга його побудови. Процес повторюють до завершення побудови моделі. Потім її витягують, залишки смоли змивають ацетоном або спиртом, підтримки видаляють. Для підвищення міцності модель поміщають у спеціальну камеру дополімеризації з ультрафіолетовою лампою.

Якість поверхні стереолітографічних моделей достатньо висока, тому часто модель не потребує подальшого оброблення. За необхідності якість поверхні можна покращити: «зафіксований» фотополімер добре обробляється, тому поверхню моделі можна зробити дзеркальною. За певних умов, якщо кут між споруджуваною поверхнею моделі та вертикаллю менший ніж  $30^\circ$ , модель може бути побудованою без підтримок. Це стосується моделей, для яких не виникає проблем із видаленням підтримок із внутрішніх порожнин, що дозволяє отримувати моделі, які неможливо виготовити традиційними методами.

Стереолітографію широко застосовують у таких напрямках:

- вирощуванні ливарних моделей;
- виготовленні майстер-моделей (для подальшого отримання силіконових форм, воскових моделей і виливків на основі поліуретанових смол);
- створенні дизайн-моделей, макетів та функціональних прототипів;
- виготовленні повнорозмірних і масштабних моделей для гідродинамічних, аеродинамічних та інших видів досліджень.

Для виготовлення ливарних деталей використовують так звані quick-cast-моделі (рис. 4.5). Це моделі для «швидкого лиття», за якими за аналогією з восковими моделями можуть бути швидко отриманими металеві вилівки. Quick-cast-моделі поширені в технологічних процесах, подібних до використання воскових і полістирольних моделей. Але є важливий нюанс. Моделі quick-cast мають стільникову структуру масиву: зовнішній і внутрішній поверхні виконують суцільними, а саме тіло формують як набір сот. Це, по-перше, на 70 % знижує загальну масу моделі, а отже, менше модельного матеріалу потрібно

випалювати під час підготовки форми до заливки металом. По-друге, у процесі випалювання будь-який модельний матеріал розширюється й тисне на стінки форми, водночас форма з тонкостінними елементами може бути зруйнованою. Стільникова структура дозволяє моделі під час розширення «складатися» всередину, не створюючи внутрішніх напружень і не деформуючи стінок форми. Це найважливіша перевага quick-cast-технології.

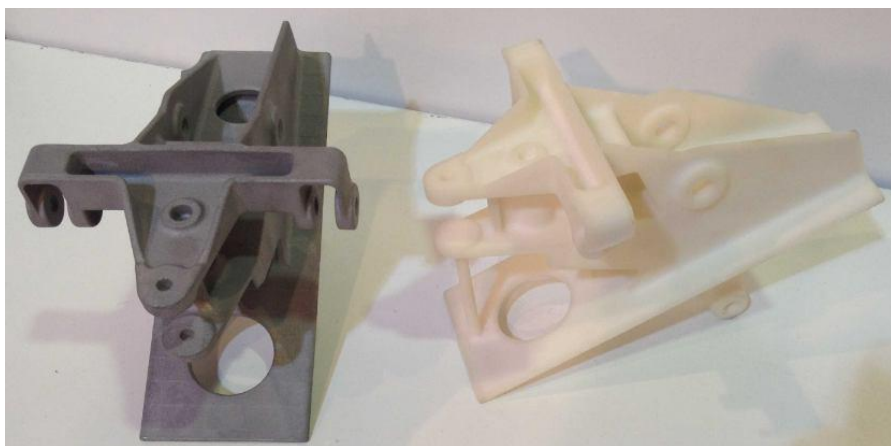
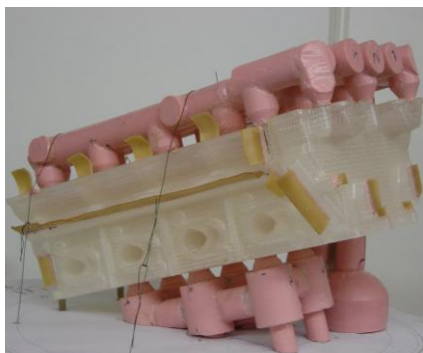


Рисунок 4.5 – Виливок і модель кронштейна

**Quick-cast-моделі** – це одноразові ливарні моделі, отримані без спеціального оснащення. Такий спосіб застосовують, якщо потрібно виготовити один чи два виливки. Тоді, коли необхідно отримати партію (10–100 виливків), застосовують інший, більш економічний спосіб. «Вирощену» на SLA-машині модель використовують як майстер-модель. За майстер-моделлю роблять еластичну форму (найчастіше із силікону). У цю форму заливають розплавлений віск (зазвичай у вакуумній камері) та отримують необхідну кількість воскових моделей – «восківку», що потім використовують як ливарні моделі, застосовуючи відомі способи лиття по виплавлюваних моделях (рис. 4.6). За допомогою зазначеної технології можна виготовити ливарні воскові моделі зі складною геометрією.



а)



б)

Рисунок 4.6 – Quick-cast модель із ливниковою системою (а) та алюмінієвий вилівок головки циліндрів (б)



а)



б)



в)

Рисунок 4.7 – Отримання виливків із використанням майстер-моделі: а) майстер-модель (SLA); б) воскова модель; в) вилівок

Для отримання силіконових форм, воскових моделей і заливки металу використовують вакуумні ливарні машини. Якісні формувальні матеріали дозволяють отримати вилівки з високою якістю поверхні на рівні Rz 20÷40.

Восківки заливають як у монолітні, наприклад гіпсокерамічні, так і в оболонкові форми. За певних умов SLA-моделі можуть бути використаними як оснащення –

формувальні моделі для лиття «в землю». У такому разі в конструкції моделі передбачають усадковий коефіцієнт – ливарні ухили й радіуси для вилучення моделі без пошкодження форми. Проте такий спосіб формування застосовують рідко через недостатню міцність SLA-моделі.

До переваг технології quick-cast належать точність побудови моделі. Оскільки процес відбувається за кімнатної температури, то чинників термічної напруги та деформації немає.

*Технологія DLP.* Ключовим елементом проекторів, що функціонують за DLP-технологією, є цифровий мультидзеркальний пристрій (англ. digital micromirror device, або DMD) – матриця жорстких дзеркал з алюмінієвого сплаву, що має високий коефіцієнт віддзеркалення. Дзеркала кріплять до підкладки, яку через рухливі пластини з'єднують з основою матриці. Під протилежними кутами дзеркал розміщені електроди, з'єднані з осередками пам'яті. У результаті дії електричного поля підкладка з дзеркалом набуває одного з двох положень, що відрізняються на  $20^\circ$  завдяки обмежувачу, розміщеному на підставці матриці. Два цих положення відповідають відображенню, що надходить зі світловим потоком відповідно в об'єктив та світлопоглинач. Площа кожного дзеркала матриці становить 16 мкм і менше, відстань між дзеркалами – близько 1 мкм. Зміною співвідношення часу, упродовж якого дзеркало перебуває в різних положеннях, регулюють яскравість зображення. Під час побудови моделі формують так звану «маску» кожного поточного перерізу CAD-моделі, яку проєктують на робочу платформу через систему DMD-елементів (дзеркал) за допомогою прожектора з високою яскравістю світла. Водночас кожний шар (переріз CAD-моделі) розбивають не на «плоскі» пікселі, а на «об'ємні» – вокселі (voxels) розмірами  $XYZ = 16 \text{ мкм} \times 16 \text{ мкм} \times 15 \text{ мкм}$ . Розмір вокселя можна регулювати по XY у діапазоні  $16 \div 69 \text{ мкм}$ , по Z –  $15 \div 150 \text{ мкм}$ . Отже, процес побудови нагадує складання моделі з найдрібніших будівельних блоків. Формування й засвічення видимим світлом кожного шару тривають упродовж  $3 \div 7 \text{ с}$ .

Якщо в SLA-машинах застосовують «точковий» принцип засвічення, то в DLP-машинах – «поверхневий», тобто засвічують усю поверхню шару. Цим обумовлена досить висока швидкість побудови моделей – у середньому 25 мм/год у висоту за товщини шару побудови 0,05 мм. Матеріал підтримок є таким самим, як основний. Це акриловий фотополімер. Такі моделі використовують як майстер-моделі й випалювані ливарні моделі (рис. 4.8).



а)

б)

Рисунок 4.8 – Моделі, отримані за DLP-технологією:  
а) випалювальна ливарна модель; б) функціональна модель

Якість моделей поступається SLA-моделям лише за точністю, що пов'язано з використанням акрилових фотополімерів, коефіцієнт усадки під час полімеризації яких становить 0,6 %. Перевагою DLP-технології є висока швидкість побудови моделей, а отже, продуктивність, висока випалюваність моделей і мала зольність. Технологія DLP дуже перспективна й ефективна для ливарного виробництва. Великий вибір матеріалів для майстер-моделей, випалюваних моделей і моделей для вакуум-формування (витримують до 150 °С), а також концептуального моделювання робить зазначені машини особливо вигідними тоді, коли потрібно виготовляти велику кількість та широкую номенклатуру моделей у різноманітному спектрі призначення.

*МММ-технологія.* За класифікацією ASTM технологія multi jet modeling належать до категорії material jetting. Її застосовують для отримання «восківок» – воскоподібних синтез-моделей для подальшого лиття по виплавлених моделях. Моделі будують на 3D-принтерах із використанням спеціального модельного матеріалу, до складу якого входить світлочутлива

смола – фотополімер на акриловій основі, а також ливарний віск (більше ніж 50 % від маси). Фотополімер є сполучним елементом. Матеріал пошарово наноситься на поверхню робочої платформи багатоструминною головкою, затвердіння кожного шару забезпечують опроміненням ультрафіолетовою лампою.

Принтери ММ-технологій спеціально розроблені, щоб «виросувати» моделі для точного лиття металів у гіпсокерамічні та оболонкові форми.

Для ефективного застосування адитивних технологій у ливарному виробництві інженер-технолог, крім нюансів різних видів АМ-технологій та АМ-машин, повинен знати:

- точну кількість деталей;
- реальні терміни виготовлення деталей;
- пріоритетні вимоги (точність, якість поверхні);
- вартість витратних матеріалів;
- вартість обслуговування й амортизації обладнання;
- вартість праці обслужного персоналу та інші витрати.

Точний облік усіх складових технологічного процесу, уміле поєднання адитивних технологій із традиційними методами лиття дозволяють вивести ливарне виробництво на якісно новий рівень.

## **4.2 Особливості оброблення надтвердими матеріалами**

Надтвердими прийнято вважати матеріали, що мають мікротвердість, вищу ніж 35 ГПа за Вікерсом. Із природних надтвердих матеріалів у різальних інструментах використовують алмаз. Штучними надтвердими матеріалами інструментального призначення є синтетичний алмаз і щільні модифікації нітриду бору (рис. 4.9).

У класифікації надтвердих матеріалів основними ознаками є вид надтвердої основи (алмазна чи нітридборна) та структура продукту синтезу або спікання, тому що саме вони обумовлюють експлуатаційні властивості, галузі використання й оброблюваність, тобто є найважливішими для споживача.

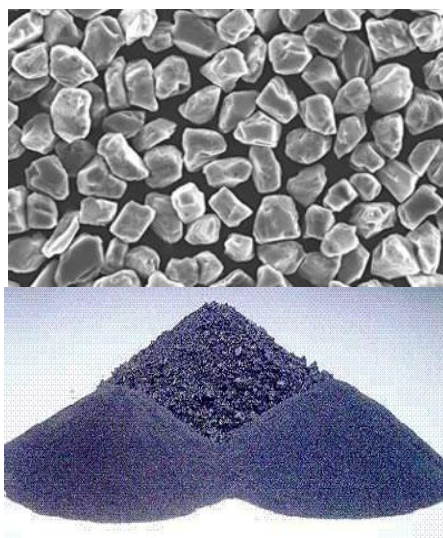


Рисунок 4.9 – Порошок нітриду бору

Класифікація НТМ інструментального призначення базується на технології їх отримання:

– монокристали, отримувані прямою перебудовою кристалічної ґратки;

– полікристали, отримувані високотемпературним спіканням;

– надтверді композити на основі синтетичного алмазу або нітриду бору з металевим чи керамічним сполучним матеріалом, отримувані під значним тиском і за високих температур.

**I група** – надтверді полікристалічні матеріали на основі алмазу (ПКА).

**II група** – надтверді полікристалічні матеріали на основі щільних модифікацій нітриду бору.

**III група** – надтверді полікристалічні композиційні матеріали.

**IV група** – синтетичні полікристалічні двошарові композиційні матеріали з робочим шаром з алмазу.

**V група** – синтетичні полікристалічні двошарові композиційні матеріали з робочим шаром зі щільних модифікацій нітриду бору.

Монокристали природного алмазу з досягненням критичних навантажень руйнуються на дрібні фрагменти. Полікристалічні алмази через свою структуру значно краще чинять опір ударним навантаженням, ніж монокристали алмазу, і, незважаючи на меншу твердість порівняно з природним алмазом, мають вищі значення меж міцності на розтягнення й поперечний зсув. Водночас ударна міцність полікристалів алмазу залежить від розмірів алмазних зерен і з їх збільшенням знижується.

Переваги інструментальних ПКА порівняно з монокристалічними алмазами пов'язані з довільною орієнтацією кристалів у робочому шарі різальних пластин, що забезпечує високу однорідність за твердістю й стійкістю до стирання в усіх напрямках.

Полікристали алмазу відрізняються від монокристалів вищою термостійкістю. Такі матеріали, як АКТМ і СВ, не втрачають своїх різальних властивостей і міцності в разі нагрівання до 1473 °К та вище, що дозволяє виробляти з них напайки на твердосплавні пластини.

Коефіцієнт тертя ПКА з металом трохи вищий, ніж у природних алмазів. Це можна пояснити наявністю пор на поверхні полікристала внаслідок випадання частинок кристалів, а також наявністю частинок металевої фази (після синтезу) або сполучного матеріалу. Через це під час різання сталей на основі заліза на контактні поверхні алмазного інструменту інтенсивно налипає оброблюваний матеріал.

Вуглець, із якого складається алмаз, активно реагує з цими матеріалами під час нагрівання. Це призводить до інтенсивного зношування алмазного інструменту та обмежує сфери його використання. Кристали алмазу дуже крихкі, тому різальні кромки інструментів повинні мати підвищену міцність.

Різальні інструменти здебільшого виготовляють зі штучних алмазів, близьких до природних за своїми властивостями. Під значним тиском і за високих температур у штучних алмазах вдається отримати таке саме розміщення атомів вуглецю, як у природних. Унаслідок малих розмірів штучні кристали непридатні для виготовлення таких інструментів, як свердла,



різці та інші, тому з них виготовляють порошки для алмазних шліфувальних кругів і притиральних паст.

Лезові алмазні інструменти випускають на основі полікристалічних матеріалів. Такі інструменти мають тривалі розмірні періоди стійкості й забезпечують високу якість обробленої поверхні. Їх використовують для оброблення титанових, алюмінієвих сплавів, склопластиків і пластмас, твердих сплавів та інших матеріалів (рис. 4.10). Алмаз як інструментальний матеріал має істотний недолік: за підвищеної температури він вступає в хімічну реакцію із залізом, втрачаючи функціональну здатність.

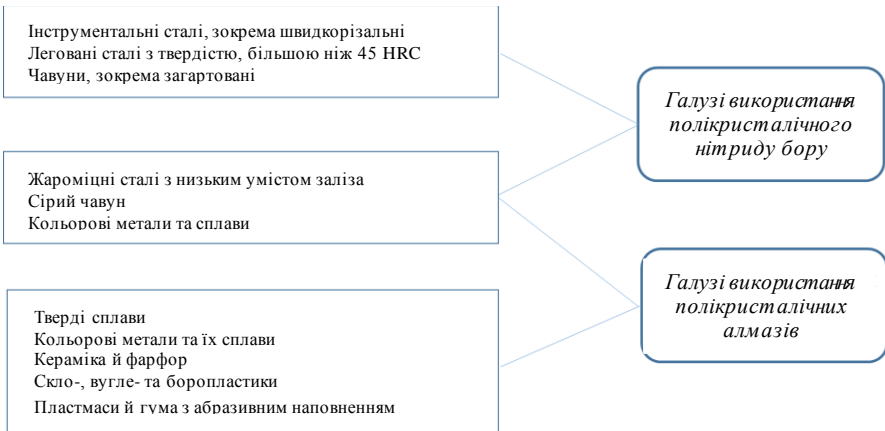


Рисунок 4.10 – Галузі використання надтвердих матеріалів

Отже, основні властивості полікристалів синтетичного алмазу:

- 1) опір ударним навантаженням;
- 2) високі значення межі міцності на розтягнення й поперечний зсув;
- 3) вища термостійкість;
- 4) високий коефіцієнт тертя з металом.

*Галузі використання полікристалів синтетичного алмазу:*

1) чистові та оздоблювальні операції для оброблення деталей із кольорових металів і їх сплавів, різних полімерних композиційних матеріалів;

2) точіння переривчастих поверхонь та фрезерування;

3) оброблення матеріалів, що важко піддаються різанню, швидко зношують інструмент, мають абразивну дію.

Надтверді матеріали на основі полікристалічного кубічного нітриду бору (ПКНБ), незначно поступаючись алмазу за твердістю, вирізняються високою теплостійкістю, стійкістю до циклічного впливу високих температур і, що особливо важливо, слабшою хімічною взаємодією із залізом, тому використання інструментів на основі КНБ ефективніше для оброблення чавунів та сталей.

Крім однорідних за структурою, ПКНБ випускають як двошарові пластини з твердосплавною основою (аналогічно ПКА). Композиційні ПКНБ отримують спіканням суміші порошків синтетичного алмазу й кубічного нітриду бору (рис. 4.11).



Рисунок 4.11 – Різальні пластини з КНБ

*Основні переваги оброблення інструментом із КНБ:*

– значна продуктивність завдяки високим швидкостям різання та зниженню допоміжного часу;

– висока гнучкість під час використання;

– мінімальне жолоблення заготовки;

– ударна стійкість;

– хімічна інертність;

- висока температурна стійкість (до 1 300 °С);
- широкий спектр оброблюваних матеріалів (твердістю 30÷90 HRC);
- можливість нарізання різи в загартованих сталях;
- дозволяють калібрувати та шліфувати різь за один прохід;
- можливість уніфікації обладнання для повного оброблення деталі.

Особливо перспективним є використання інструменту з нітриду бору для лезового оброблення чавунів: і сирих, і важкооброблюваних – загартованих. Проте такі високі різальні властивості нітриду бору під час оброблення чавунів потребують високої швидкості різання, в іншому разі він не лише не довикористовується, а й за низьких швидкостей різання може поступатися твёрдосплавному інструменту.

Дослідження та практика роботи з інструментом із надтвёрдих нітридів бору свідчать про те, що технологічні процеси, які базуються на його використанні, дозволяють:

- знизити шорсткість обробленої поверхні до  $Ra = 0,08$  мкм і досягти точності оброблення 5÷6-го квалітету;
- унеможливити структурні зміни в поверхневому шарі оброблюваних матеріалів;
- змінити традиційний технологічний процес виготовлення деталей із загартованих сталей (побудувати його за схемою: прецизійні заготівельні операції – термооброблення – фінішне оброблення);
- підвищити продуктивність оброблення в 2÷5 разів порівняно зі шліфуванням;
- замінити твёрді сплави, що містять вольфрам, на операціях чистового й напівчистового точіння [4].

## Практична частина

**Токарне оброблення.** Автоматичні цикли токарного оброблення (Дослідження автоматичних циклів токарного оброблення зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання для вибору раціональної стратегії оброблення виробу).

**Фрезерне оброблення.** Автоматичні цикли фрезерного оброблення (Дослідження автоматичних циклів фрезерного оброблення поверхонь простої та складної форми для вибору раціональної стратегії оброблення виробу).

На комп'ютер / ноутбук (власний / робочий) необхідно встановити програмне забезпечення «Nanjing Swansoft CNC Simulator» версії 7.1.1.2 або вищої.

Версія 7.1.1.2 може бути встановленою на комп'ютер / ноутбук із мінімальними *технічними характеристиками*, такими як:

- операційна система: Windows (XP, 7, 8, 10), Vista,
- мова інтерфейсу: російська / англійська;
- мінімальний потрібний обсяг пам'яті на жорсткому диску: 400 Мб;
- мінімальний необхідний обсяг оперативної пам'яті: 256 Мб;
- вимоги до відеокарт та інших параметрів: мінімальні.

Скачати програму можна в мережі Інтернет або взяти в доступі на сервері кафедри ТМВІ.

Програму може встановити будь-який користувач із базовими навичками користування комп'ютером.

Після встановлення для початку виконання токарного оброблення необхідно запустити програму «Nanjing Swansoft CNC Simulator», натиснувши на ярлик на робочому столі (рис. 5.1) або в меню пуск. Після цього відкриється вікно (рис. 5.2). Далі варто вибрати систему ЧПК (у нашому разі «Fanuc 0iТ») і натиснути на кнопку «Пуск» у зазначеному вікні.

У результаті виконання вищенаведених дій відкриється вікно роботи з програмою (рис. 5.3).



SSCNC

Рисунок 5.1 – Ярлик запуску програмного забезпечення «Nanjing Swansoft CNC Simulator»

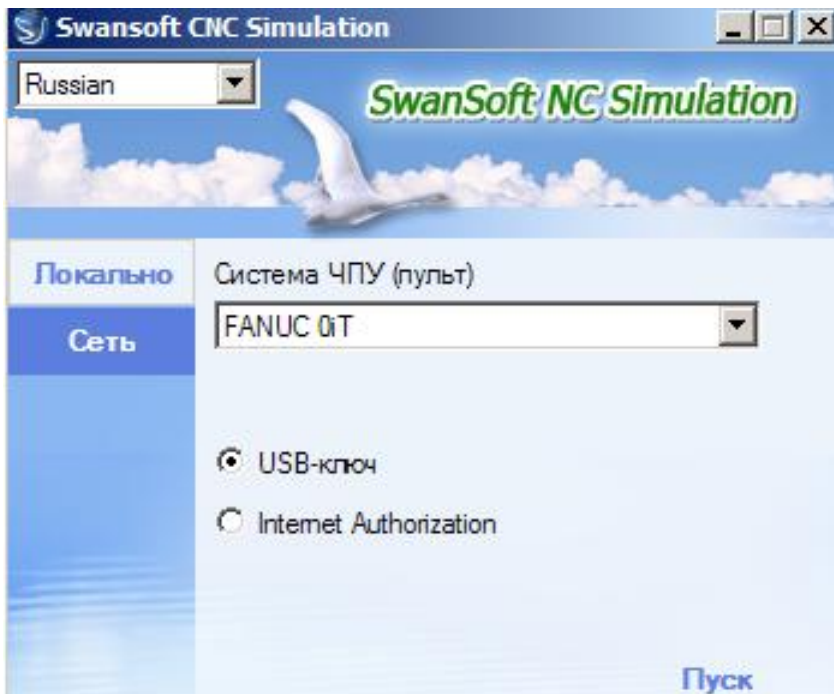


Рисунок 5.2 – Вікно для вибору системи ЧПК у «SSCNC»

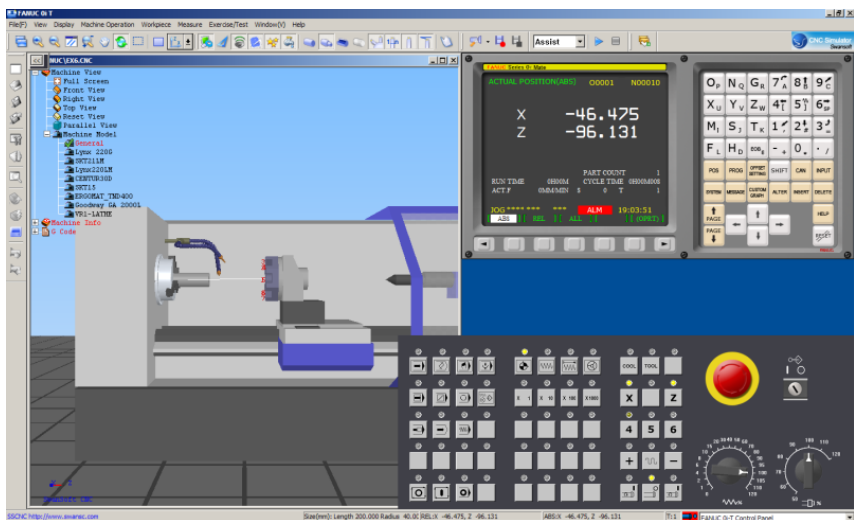
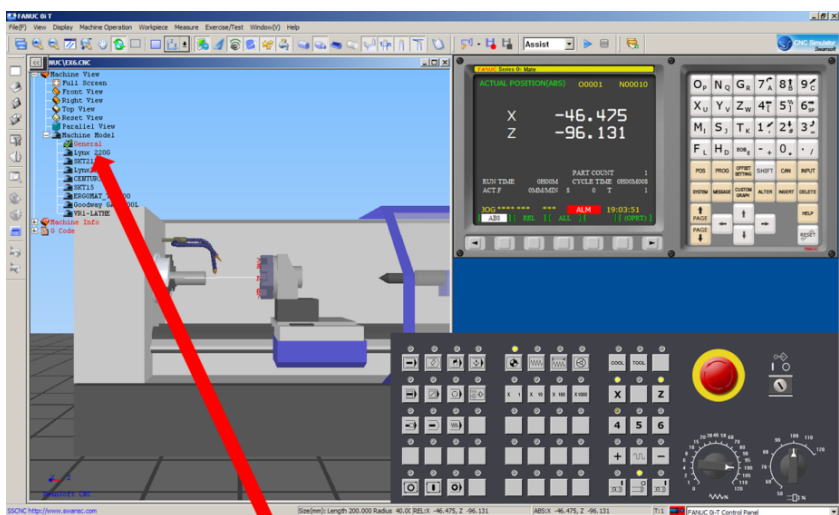


Рисунок 5.3 – Вікно роботи з програмою

У зазначеному вікні велике різноманіття інструментальних панелей, меню й команд. Розглянемо найважливіші з них, тобто меню вибору моделі верстата (рис. 5.4).



Меню вибору моделі верстата

Рисунок 5.4 – Меню вибору моделі верстата

У цьому меню можна вибрати верстат будь-якої моделі та відповідно компонування з доступних у конкретному програмному забезпеченні. Залежно від вибору компонування верстата з ЧПК, що в контексті вивчення цієї навчальної дисципліни є актуальним лише щодо розміщення револьверної головки, можуть бути два *варіанти компонувань*:

– із розміщенням револьверної головки «ближче до оператора» (якщо дивитися на торець токарного патрона зі сторони розміщення кулачків, то револьверна головка знаходиться зліва) (рис. 5.5 а);

– із розміщенням револьверної головки «ближче до задньої стінки верстата» (якщо дивитися на торець токарного патрона зі сторони розміщення кулачків, то револьверна головка знаходиться справа) (рис. 5.5 б).

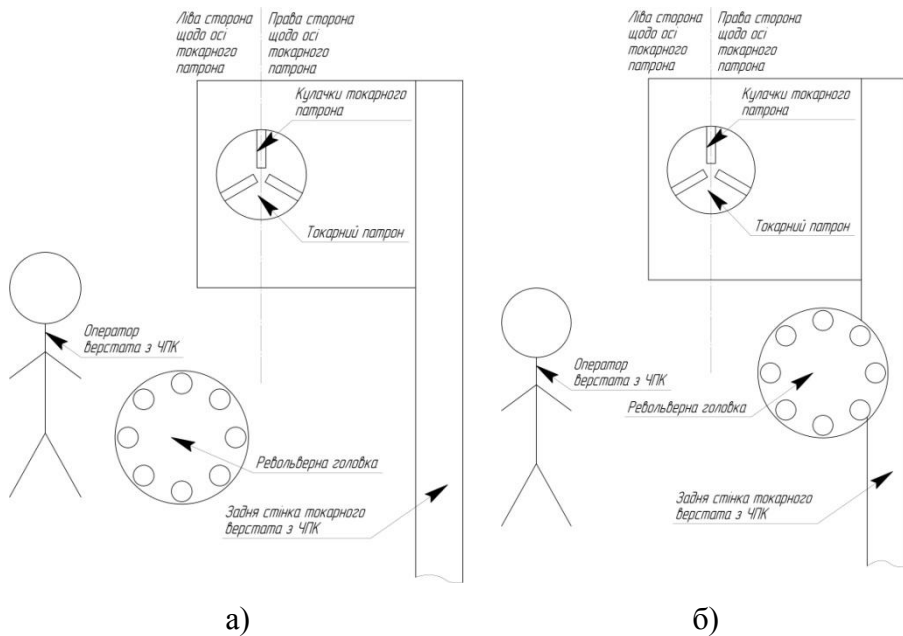


Рисунок 5.5 – Схема розміщення револьверної головки токарного верстата з ЧПК: а) зліва; б) справа

Залежно від компонування верстата й відповідно розміщення його револьверної головки для механічного оброблення (різання) необхідно вибрати тип різців (правий або лівий).

Для зручності роботи на вибір студента у вкладці «View» на верхній панелі можна встановити мову інтерфейсу з доступних у меню програми (рис. 5.6).

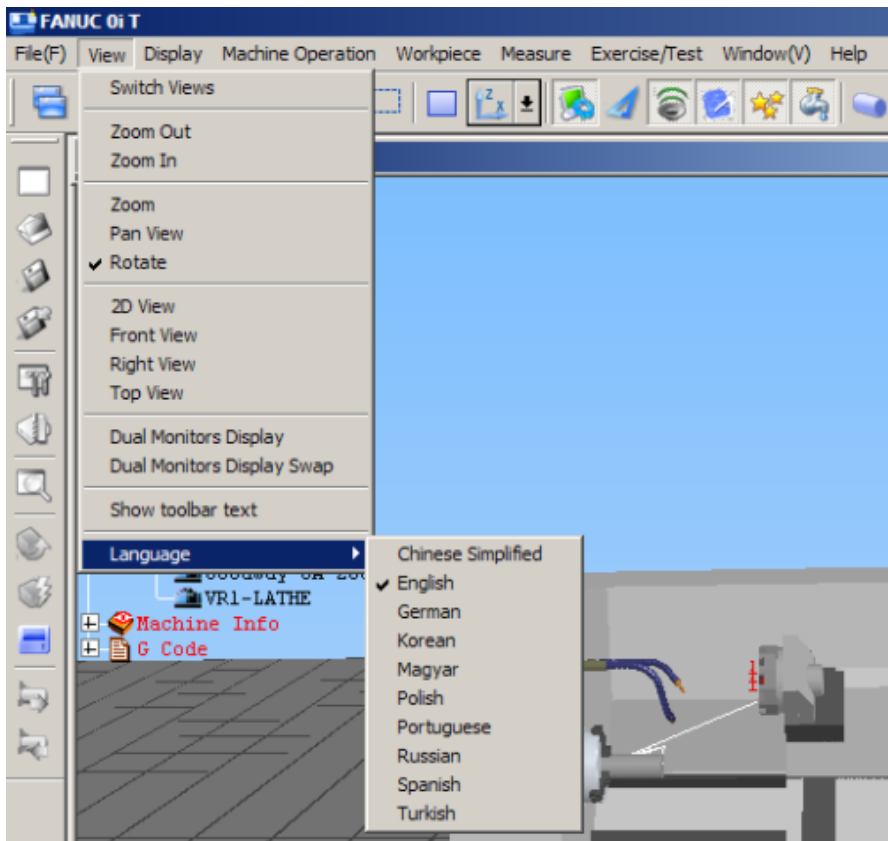


Рисунок 5.6 – Вибір мови інтерфейсу програми

Сучасні верстати з ЧПК істотно відрізняються процесами керування та організації роботи не лише від універсальних верстатів, а й від верстатів із ЧПК, виготовлених у 70–90-ті роки ХХ століття. З огляду на те, що сучасні верстати з



ЧПК є досить дороговартісним обладнанням, до роботи за ними допускають лише підготовлених і відповідальних операторів. Для попередження самовільної роботи на верстаті сторонніх працівників передбачено ключ, що є аналогом ключа від автомобіля з усіма необхідними елементами захисту, індивідуальними до кожного верстата. Отже, для початку роботи на верстаті необхідно повернути ключ із крайнього лівого положення в крайнє праве положення (рис. 5.7).

## Напрямок повороту ключа



Рисунок 5.7 – Розміщення й поворот ключа верстата

Наступним кроком є приведення кнопки повної зупинки – великої червоної кнопки (кнопки «Стоп») – у робоче положення, тобто її відтиснення. Кнопку «Стоп» натискають у разі виникнення позаштатних ситуацій (аварій, виривання заготовки з патрона, поломки різального інструмента, потрапляння сторонніх предметів у робочу зону).

Для механічного оброблення на верстаті подальшою дією є «обнулення», тобто вихід робочих органів верстата в нульові точки (див. лекцію 2). Його проводять за допомогою почергового натискання миготливих клавіш осей координат X, Z і 4 (вісі кута орієнтації повороту шпинделя «С»). Це можна виконати за активної (натисненої) клавіші «нуля системи координат» (рис. 5.8). Після вищезазначених дій на екрані системи ЧПК з'являться значення координат по осі X – 0.000, Z – 0.000 (рис. 5.8).



Рисунок 5.8 – Координатні осі верстата

Інтерфейс системи ЧПК «FANUC 0iT» складається з монітора, клавіатури ручного введення даних і панелі керування системою ЧПК (рис. 5.9).

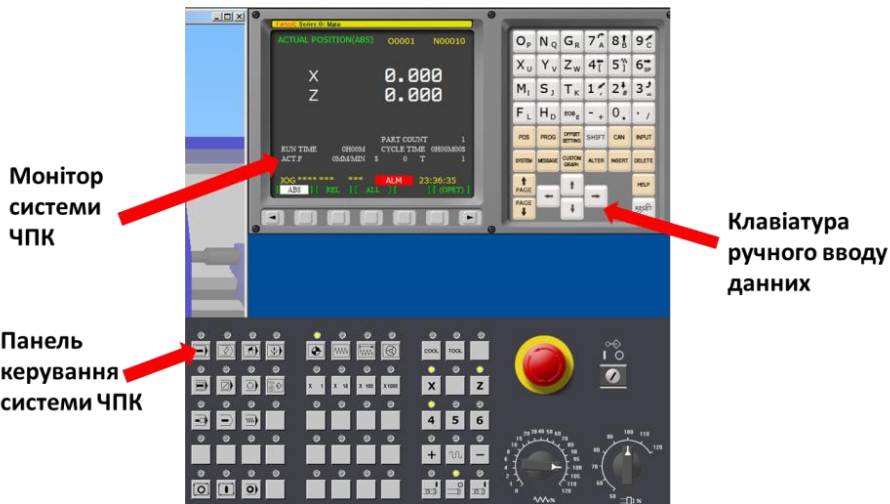


Рисунок 5.9 – Інтерфейс системи ЧПК «FANUC 0iТ»

Найчастіше використовувані клавіші, панелі керування й клавіатури ручного введення даних зображені на рисунках 5.10 і 5.11 відповідно та описані в таблицях 5.1 і 5.2.

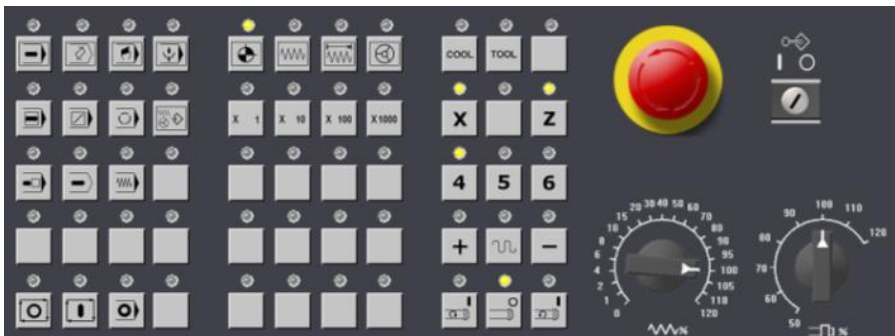












Рисунок 5.10 – Клавіші панелі керування

Таблиця 5.1 – Позначення найвикористовуваніших клавіш панелей керування

Позначення клавіші	Найменування клавіші
1	2
	Робота в автоматичному режимі
	Покадровий режим (виконується один кадр програми до запуску наступного)
	Редагування програми
	Режим ручного введення даних
	Вибір режиму повернення у вихідну точку
	Подача супорта в режимі поштовху
	Вибір ручного режиму (режиму маховичка)
<b>COOL</b>	Режим увімкнення подачі мастильно-охолодної рідини в робочу зону верстата
<b>TOOL</b>	Режим вибору зміни інструмента способом поступового перебору позицій у револьверній головці

Продовження таблиці 5.1

1	2
	Вибір координатної осі X
	Вибір координатної осі Z
	Вибір позитивного напрямку осі під час переміщення щодо поточної позиції супорта (різального інструмента)
	Вибір негативного напрямку осі під час переміщенні щодо поточної позиції супорта (різального інструмента)
	Переміщення супорта в прискореному режимі
	Швидкість подачі під час обертання маховичка (кратність однієї поділки маховичка – 1 мкм)
	Швидкість подачі під час обертання маховичка (кратність однієї поділки маховичка – 10 мкм, тобто 0,01 мм)
	Швидкість подачі під час обертання маховичка (кратність однієї поділки маховичка – 100 мкм, тобто 0,1 мм)
	Швидкість подачі під час обертання маховичка (кратність однієї поділки маховичка – 1 000 мкм, тобто 1 мм)
	Режим обертання шпинделя за годинниковою стрілкою

Продовження таблиці 5.1

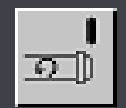
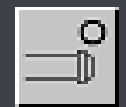





1	2
	<p>Режим обертання шпинделя проти годинникової стрілки</p>
	<p>Режим зупинки шпинделя</p>
	<p>Запуск циклу (запуск роботи в автоматичному режимі або циклу команд)</p>
	<p>Зупинка циклу (тимчасова зупинка подачі під час роботи в автоматичному режимі)</p>
	<p>Зупинка програми (рух за осями координат блокується, тому неможливо виконати M-, S-, T-функції)</p>
	<p>Вибір швидкості подачі у відсотках від номінального значення, заданого в програмі</p>
	<p>Вибір частоти обертання шпинделя у відсотках від номінального значення, заданого в програмі</p>













Рисунок 5.11 – Клавiшi клавiатури ручного введення даних

Таблиця 5.2 – Позначення клавiш на клавiатурi ручного введення даних





Позначення клавiшi	Найменування клавiшi
<p style="text-align: center;"><b>1</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>2</b></p> <p>Адреси або цифрові клавiшi для введення лiтер i цифр</p>
	<p>Клавiша для введення лiтери, розміщеної на кнопці внизу праворуч</p>
	<p>Клавiшi для перемiщення курсору в потрібному напрямку</p>

Продовження таблиці 5.2

1	2
	Клавiша скасування для повернення в початковий стан системи ЧПК, щоб закрити аварійне повідомлення або скасувати інші установки
	Клавiші «Сторінка вгору» й «Сторінка вниз» для переходу зі сторінки на сторінку меню дисплея
	Клавiша для заміни знаків уведеного значення та літер у режимі редагування програми
	Клавiша для відображення поточної позиції
	Клавiша для відображення й редагування збереженої в пам'яті програми
	Клавiша, використовувана в режимі редагування програми, за допомогою якої можна видаляти літери та цифри
	Клавiша корекції й налаштування для відображення значення корекції на заготовку та установки змінних даних параметра
	Клавiша для відображення динамічних графічних даних
	Клавiша «Cancel» для видалення введених літер або цифр
	Клавiша для введення будь-якої адреси або цифрового значення в буфер для відображення на дисплеї



Продовження таблиці 5.2

1	2
	Клавіша, використовувана в режимі редагування програми для вставки літер і цифр
	Клавіша повідомлення для відображення аварійних повідомлень для оператора або історії аварійних ситуацій
	Клавіша для відображення й установки параметра, значення компенсації похибки кроку або даних самодіагностики
	Клавіша для одержання допомоги щодо виконання будь-якої операції, якщо оператор не знає, що робити далі

Під монітором системи ЧПК розміщена група клавіш, що виконують різні функції в разі натискання клавіш на клавіатурі ручного введення даних (рис. 5.12).

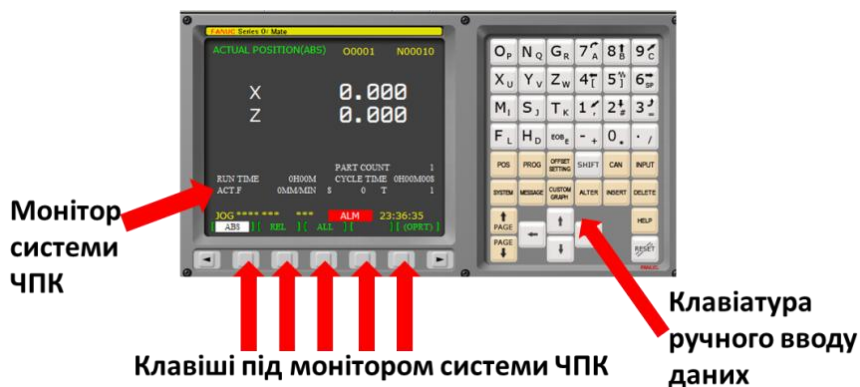


Рисунок 5.12 – Розміщення клавіш під монітором системи ЧПК

Щоб механічно обробити заготовку на металорізальному верстаті з ЧПК, необхідно раціонально підібрати потрібні різальні інструменти для додержання вимог креслення. Вибір інструментів, а також певні інші важливі команди здійснюються на допоміжній панелі інструментів, що знаходиться зліва у вікні програми (рис. 5.13).

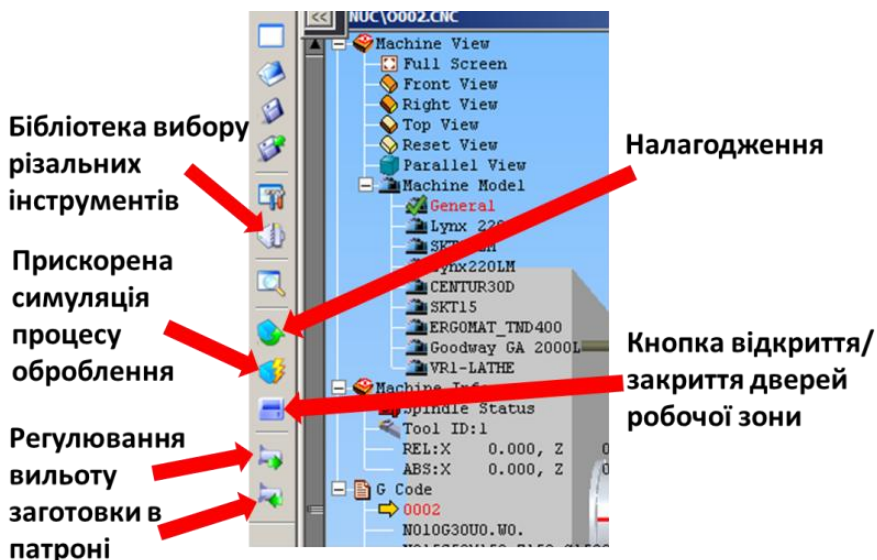


Рисунок 5.13 – Команди на допоміжній панелі інструментів

Докладніше розглянемо призначення значків допоміжної панелі інструментів – бібліотеки вибору різальних інструментів. У результаті натискання на відповідний значок на панелі (рис. 5.13) відкривається меню вибору різальних інструментів (рис. 5.14).

У зазначеній бібліотеці способом подвійного натискання на надпис «Тип» у відкритому вікні можна вибрати типи різальних інструментів з короткою характеристикою, наведеною в таблиці 5.2. У колонці «Схема встановлення пластини в державці інструмента» червоними стрілками показано можливі напрямки руху інструмента під час зняття оброблюваного матеріалу.

**Примітка 1** Рекомендації щодо вибору інструментів у таблиці наведені з огляду на найпоширеніше використання в реальному виробництві, але не є обов'язковими за умови раціонального доведення (способом аналізу техніко-економічних показників) студентом вибору того чи іншого інструмента / пластини з наявних у бібліотеці зазначеної програми

Після задання необхідних параметрів інструмента його варто встановити в потрібну позицію револьверної головки перетягуванням за допомогою курсора миші. І так для кожного наступного інструмента.

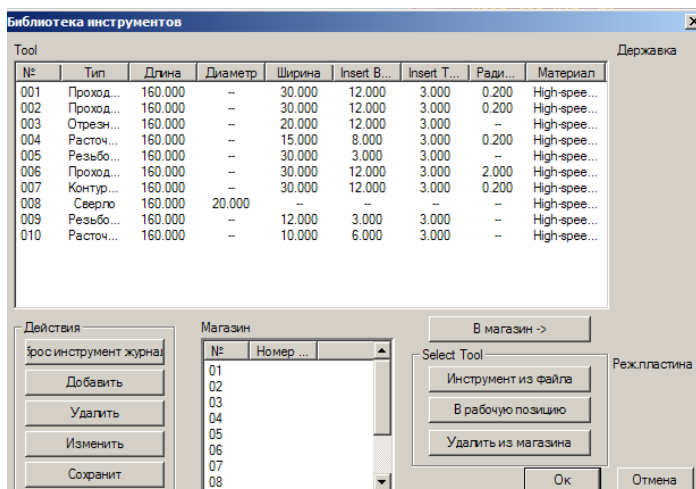


Рисунок 5.14 – Бібліотека вибору різальних інструментів для токарного верстата з ЧПК

Також на додатковій панелі інструментів важливою командою є «налаштування» (рис. 5.13). Функціональні можливості цього значка репрезентовані на рисунку 5.15.

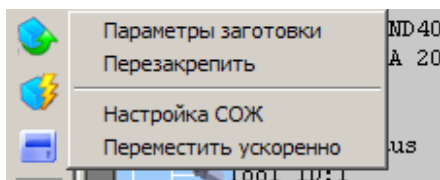


Рисунок 5.15 – Вибір параметрів налаштування для токарного верстата

У команді вартими уваги є **дві функції**:

– *параметри заготовки*. Дозволяє вибрати заготовку потрібного діаметра й довжини, а також за необхідності – заготовку типу труба (з отвором). Діаметр і довжину встановлюють заданням необхідних значень та натисканням кнопки «ОК» (рис. 5.16);

– *перемістити прискорено*. Дозволяє переміщати вершину різального інструмента в «точку прив'язки» на деталі. Така точка може бути розміщеною на перетині осі деталі й правого торця або правого торця та зовнішнього діаметра заготовки (рис. 5.17).

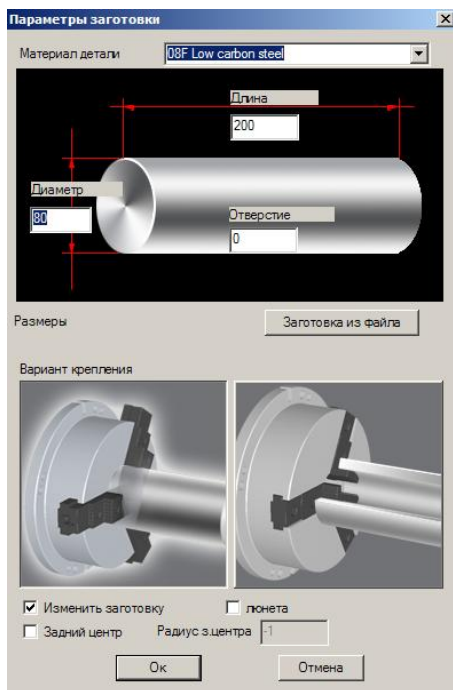


Рисунок 5.16 – Вибір параметрів заготовки для токарного верстата

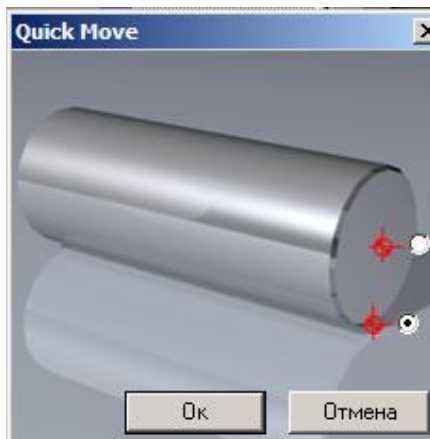


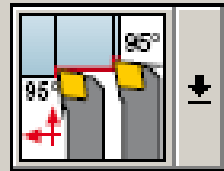




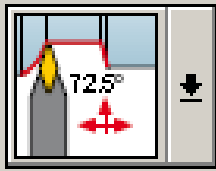


Рисунок 5.17 – Вибір точки прискореного переміщення інструмента




Таблиця 5.3 – Різальні інструменти токарної групи в бібліотеці програми

Тип інструмента (галузь використання)	Зображення інструмента	Тип найчастіше використовуваної різальної пластини	Зображення різальної пластини	Схема встановлення пластини в державці інструмента
1	2	3	4	5
<p>Прохідний упорний різець правий / лівий (чорнове, чистове й тонке точіння залежно від вибору форми та матеріалу різальної пластини</p>	 <p>правий</p>	<p>Пластина з кутом при вершині 80° (чорнове й чистове точіння та підрізання торців із великими глибинами різання)</p>	 <p>CNMG</p>	
	 <p>лівий</p>		<p>Пластина з кутом при вершині 35° (чистове й тонке контурне точіння та підрізання торців з малими глибинами різання)</p>	 <p>VNMG</p>

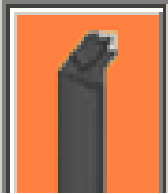


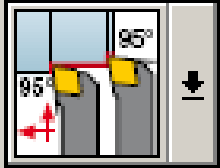
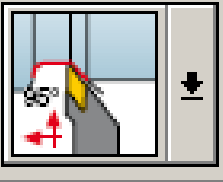


Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5
<p>Різець для контурного чистового оброблення (чистового точіння складнопрофільних поверхонь, за якого необхідно уникнути затирання бічними поверхнями різця). <i>Рідко використовуваний через складність і неоднозначність прив'язки інструмента по осі Z</i></p>		<p>Пластина з кутом при вершині <math>35^\circ</math> (чистове й тонке контурне точіння та підрізання торців із малими глибинами різання)</p>		

Продовження таблиці 5.3

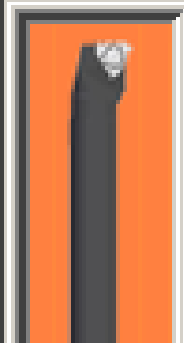

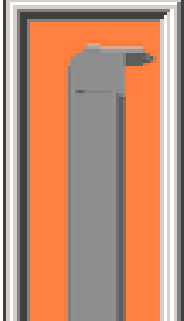

1	2		3	4	5
<p>Різець канавочний / відрізний правий / лівий для зовнішніх канавок (чорнового й чистового оброблення канавок, відрізання деталей від заготовки-прутка після їх оброблення)</p>	 <p>Правий</p>	 <p>Лівий</p>	<p>Можна вибрати відрізну пластину різних ширини та довжини, що дозволяє обробляти канавки за меншу кількість проходів і відрізати деталі необхідного діаметра</p>		<p>На зображенні інструмента</p>

Продовження таблиці 5.3


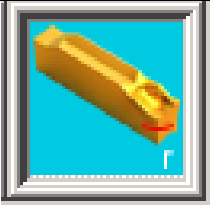


1	2	3	4	5
<p>Розточувальний прохідний упорний різець правий / лівий (чорнове, чистове та тонке точіння залежно від вибору форми й матеріалу різальної пластини)</p>		<p>Пластина з кутом при вершині <math>80^\circ</math> (чорнове й чистове точіння та підрізання торців із великими глибинами різання)</p> <p>Пластина з кутом при вершині <math>35^\circ</math> (чистове та тонке контурне точіння й підрізання торців із малими глибинами різання)</p>	 <p>CNMG</p>  <p>VNMG</p>	 
<p>Різець різбовий для нарізування зовнішніх різей із кроком, що допускають можливості верстата й розміри пластини</p>		<p>Пластина різбова з кутом при вершині <math>60^\circ</math> для оброблення метричних різей</p>		<p>На зображенні інструмента</p>




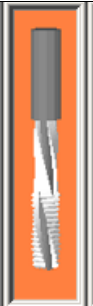
Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5
<p>Різець різбовий для нарізування внутрішніх різей із кроком, що допускають можливості верстата й розміри пластини</p>		<p>Пластина різбова з кутом при вершині 60° для оброблення метричних різей</p>		<p>На зображенні інструмента</p>
<p>Різець канавковий для внутрішніх канавок (чорнового та чистового оброблення канавок)</p>		<p>Можна вибрати пластину канавкову різної ширини та довжини, що дозволяє обробляти канавки за меншу кількість проходів</p>		<p>На зображенні інструмента</p>

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5
<p>Різець канавковий для торцевих канавок (чорнового та чистового оброблення канавок)</p>		<p>Можна вибрати пластину канавкову різної ширини й довжини, що дозволяє обробляти канавки за меншу кількість проходів</p>		<p>На зображенні інструмента</p>
<p>Різець фасонний із круглою пластиною (для чорнового та чистового оброблення фасонних поверхонь)</p>		<p>Можна вибрати пластину круглу різного діаметра залежно від мінімального радіуса западини</p>	 <p><b>RNMG</b></p>	<p>На зображенні інструмента</p>

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5
Свердло спіральне (виготовлення отворів у суцільному матеріалі)		Інструмент суцільний	Немає	На зображенні інструмента
Мігчик машинний (виготовлення різи в отворах)		Інструмент суцільний	Немає	На зображенні інструмента

Токарне оброблення є двокоординатним. Зважаючи на це, для наочного пояснення процесу переміщення різального інструмента в точку прив'язки необхідно у вкладці «Вид» на основній панелі інструментів угорі ввімкнути режим «2D-вид» (рис. 5.18).

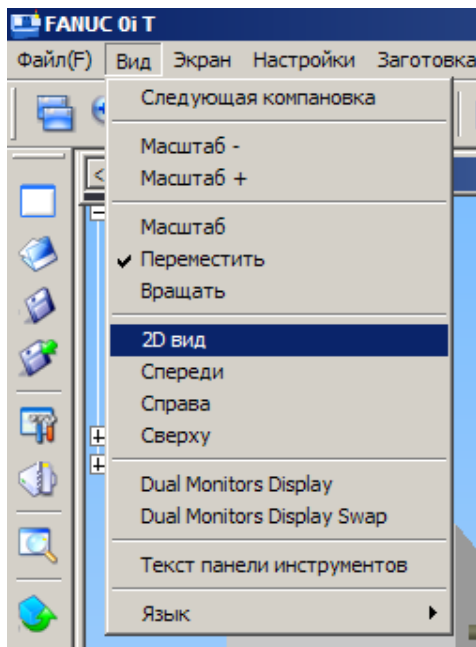
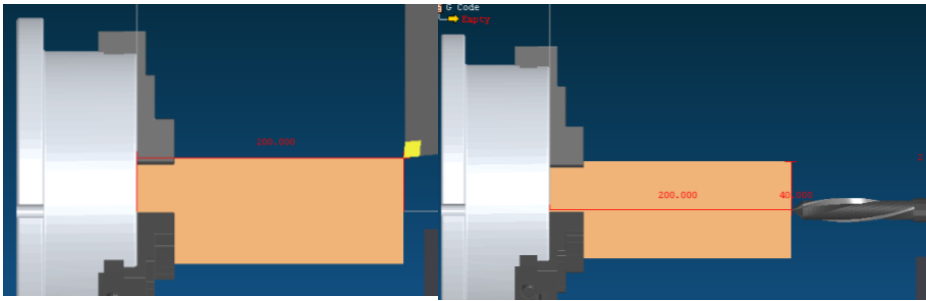


Рисунок 5.18 – Увімкнення режиму «2D-вид»

Після вибору точки прискореного переміщення й натиснення кнопки «ОК» (рис. 5.17) вершина інструмента переміститься в зазначену точку (рис. 5.19). Варто зауважити, що через наявність радіуса при вершині на різцях здійснювати прискорене переміщення в такій програмі можна лише в точку перетину правого торця деталі та зовнішньої циліндричної поверхні (рис. 5.19 а). Для переміщення осевого інструмента (свердла, мігчика) як точку переміщення вибирають місце перетину осі деталі й правого торця (тобто центр деталі) (рис. 5.19 б).



а) б)  
Рисунок 5.19 – Переміщення в точку прив'язки:  
а) різця; б) свердла

Для зміни позиції інструмента в револьверній головці необхідно вибрати режим «Подача супорта в режимі поштовху» на панелі керування системи ЧПК та один раз натиснути клавішу «TOOL» (режим вибору зміни інструмента способом поступового перебору позицій у револьверній головці). І так для кожного інструмента.

Водночас переміщення вершини інструмента в точку прив'язки є лише першим кроком до його прив'язки, тобто задання визначеного положення вершини інструмента щодо нульової точки деталі / заготовки.

Далі за ввімкненого режиму «Подача супорта в режимі поштовху» на клавіатурі ручного введення даних необхідно натиснути клавішу «OFFSET SETTING», у результаті чого на моніторі системи ЧПК відкриється вікно прив'язки інструментів (рис. 5.20). Далі потрібно натиснути клавішу «OFFSET» під монітором системи ЧПК. Це дозволить відкрити вікно задання геометричних параметрів інструментів (рис. 5.21). Якщо такої клавіші немає, варто за допомогою стрілок уліво / управо погортати меню команди «OFFSET SETTING» для знаходження надпису.



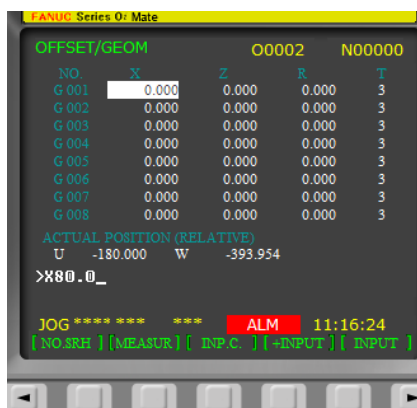
Рисунок 5.20 – Вікно прив'язки інструментів

У вікні геометричних параметрів інструментів можна встановити величину зношування кромки кожного інструмента окремо в команді «WEAR», а також параметри (координати) його прив'язки за допомогою команди «GEOM».

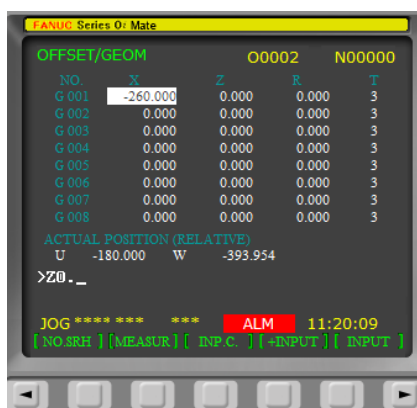


Рисунок 5.21 – Вікно задання геометричних параметрів інструментів

Після цього необхідно по чергово ввести координати X і Z (рис. 5.22). Першу задають у діаметральному значенні, тобто як у наведеному прикладі: вибрана заготовка діаметром 80 мм (рис. 5.16), тому вводять значення координати X 80.0 та натискають клавішу «MEASUR» під монітором. Такі самі дії потрібно виконати для координати Z, але задаючи значення 0, тому що торець деталі / заготовки є нульовою точкою за токарного оброблення. Відділення крапкою цілих і десяткових знаків під час уведення координат є **ОБОВ'ЯЗКОВИМ**.



а)



б)

Рисунок 5.22 – Уведення значень координат: а) X; б) Z

Для другого й наступних інструментів, використовуваних для оброблення деталі, виконуємо аналогічні дії. У результаті заповнюється вікно з координатами прив'язки, у якому замість нульових значень записані координати (рис. 5.23).

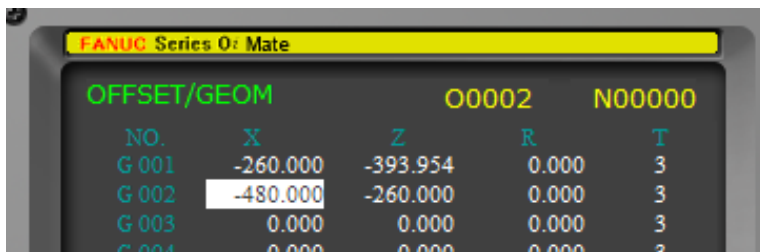


Рисунок 5.23 – Заповнення координат прив'язки інструментів

Після налаштування параметрів, установлення заготовки, вибору необхідних різальних інструментів, їх установлення в револьверну головку й виконання операцій прив'язки кожного з них можна починати писати керуючу програму (КП) для оброблення деталі або виклику програми з пам'яті системи ЧПК та її запуску.

Створити нову КП в програмному забезпеченні «SSCNC» можна лише за активного режиму «Редагування програм» двома способами:

– за допомогою команд «Файл» – «Нова КП» та подальшого введення назви КП з клавіатури ручного введення даних. Назва КП обов'язково повинна складатися з англійської літери «O» й цифр, здебільшого чотирьох. Наприклад, O0008. Пробіл між літерою «O» та цифрами заборонений. Після введення назви КП натискаємо клавішу «INSERT». Вікно введення КП матиме вигляд, зображений на рисунку 5.24;

– за допомогою команди «DIR» і введення назви нової КП, як у першому способі (рис. 5.25).



Рисунок 5.24 – Вікно створення нової КП першим способом



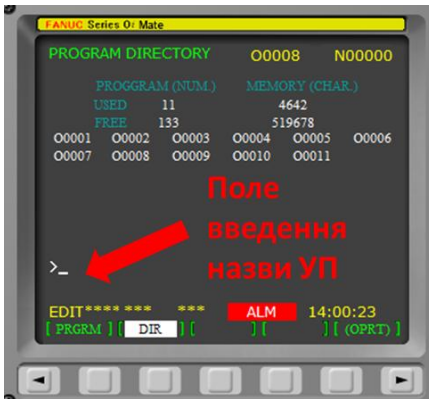


Рисунок 5.25 – Вікно створення нової КП другим способом

Докладно розглянемо *основні переходи, виконувані на токарних операціях із ЧПК способом написання фрагментів КП, а саме:*

- підрізання торця;
- точіння зовнішньої циліндричної поверхні за один прохід;
- точіння зовнішньої циліндричної поверхні за декілька проходів із застосуванням циклу багатопрхідного оброблення;
- точіння дуг кола за й проти годинникової стрілки;
- точіння канавки по циклу;
- нарізування зовнішньої різі;
- свердління отвору;
- розточування отвору за декілька проходів із застосуванням циклу багатопрхідного оброблення;
- нарізування внутрішньої різі.

Вищезазначені основні переходи будемо виконувати як приклади за ескізами оброблюваних поверхонь (позначених потовщеними лініями), наведеними на рисунках нижче.

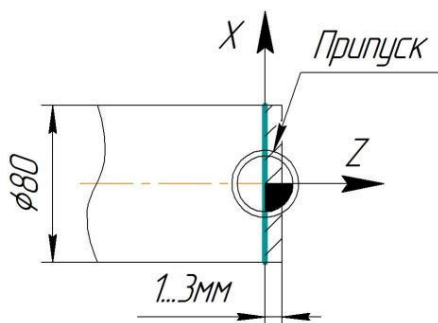


Рисунок 5.26 – Фрагмент деталі з підрізанням торця

Увага! Для зручності розрахування координат по осі  $Z$  (лінійних розмірів) нульову точку деталі переважно беруть на торці ДЕТАЛІ, а не заготовки. Величину припуску по осі  $Z$  оператор або технолог-програміст вибирає в кожному разі індивідуально, проте вона становить не більше ніж 1–3 мм. Зважаючи на те, що верстати з ЧПК є високоточним і дорогавартісним обладнанням, заготовки по довжині й діаметру або надходять для оброблення на верстаті вже попередньо обробленими, або сама заготовка має досить точні розміри та приблизно однакову й постійну величину припуску, як на діаметральні, так і на лінійні розміри. Якщо заготовки надходять із великими коливаннями припусків, діють одним зі способів:

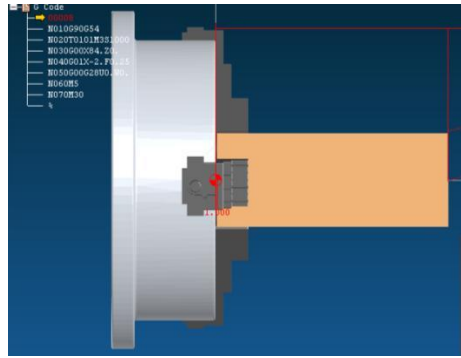
- попередньо обробляють кожну з них у ручному режимі;
- задають цикл багатопрхідного оброблення по найбільшій заготовці, щоб уникнути можливої аварії й поломки інструменту.

На менших заготовках робочі ходи певний час можна виконувати без зняття припуску (в повітрі), але це істотно подовжує час оброблення, а отже, збільшує собівартість готової деталі. Щоб уникнути цього, на верстати з ЧПК заготовки переважно надходять із мінімальною різницею в розмірах і величинах припуску відповідно.

Фрагмент КП для підрізання торця з коментарями наведено нижче, а записану КП в програмному забезпеченні «SSCNC» і вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.27.



а)



б)

Рисунок 5.27 – Оброблення торця:  
а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

*Фрагмент КП для підрізання торця:*

N010 G90 G54 – задання абсолютної системи координат (G90) і зміщення нульової точки деталі у функції (G54);

N020 T0101 M3 S1000 – вибір інструмента номером 1, задання напрямку (M3) та частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000);

N030 G00 X84. Z0. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (у разі заготовки діаметром 80 мм вершина різця прискорено підходить у координату X84, що відповідає відстані 2 мм від деталі);

N040 G01 X-2. F0.25 – підрізання торця на робочій подачі 0,25 мм/оберт;

N050 G28 U0. W0. – вихід у точку зміни інструмента;

N060 M5 – зупинка обертання шпинделя;

N070 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).

Символ «%» у кінці кожного кадру (рис. 5.27 а) є обов'язковим. У програмному забезпеченні «SSCNC» його ставлять за допомогою клавіші EOB<sub>E</sub> на клавіатурі ручного введення. На інший рядок для запису наступного кадру переходять клавішею «INSERT» на клавіатурі ручного введення.

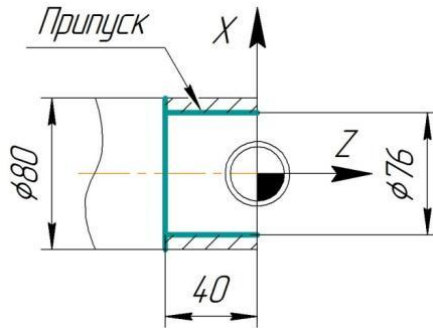


Рисунок 5.28 – Фрагмент деталі з точінням зовнішньої циліндричної поверхні за один прохід

Фрагмент КП з точінням зовнішньої циліндричної поверхні за один прохід наведено нижче, а записану КП в програмному забезпеченні «SSCNC» та вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.29.

*Фрагмент КП з точінням зовнішньої циліндричної поверхні за один прохід:*

N010 G90 G54 – задання абсолютної системи координат (G90) і зміщення нульової точки деталі у функції (G54);

N020 T0101 M3 S1000 – вибір інструмента номером 1, задання напрямку (M3) та частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000);

N030 G00 X76. Z2. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (вершина різця прискорено підходить у координату X76 на діаметр оброблення, а по координаті Z – на 2 мм не доходячи до торця деталі);

N040 G01 Z-40. F0.25 – точіння циліндричної поверхні на довжину 40 мм на робочій подачі 0,25 мм/оберт;

N050 X82. – підчистка торця на довжині 40 мм (утворення прямого кута між торцевою й циліндричною поверхнями);

N060 G28 U0. W0. – вихід у точку зміни інструмента;

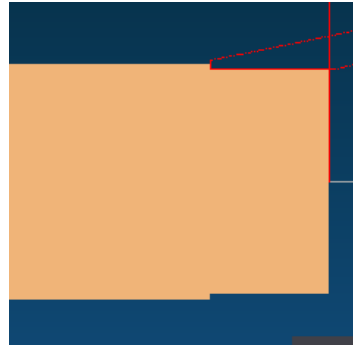
N070 M5 – зупинка обертання шпинделя;

N080 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).



а)



б)

Рисунок 5.29 – Оброблення зовнішньої циліндричної поверхні:  
а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

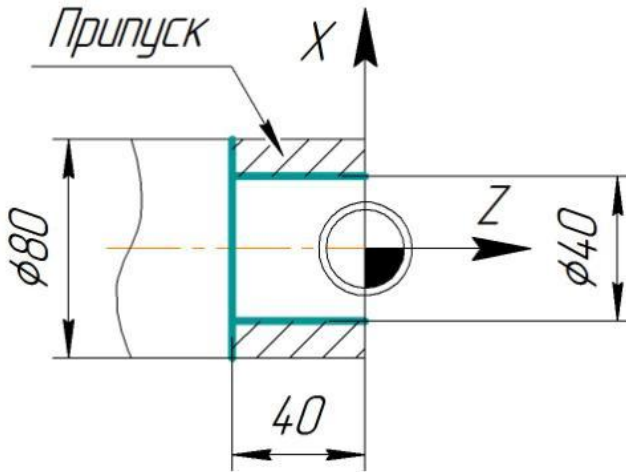


Рисунок 5.30 – Фрагмент деталі з точінням  
зовнішньої циліндричної поверхні  
із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення

Фрагмент КП з точінням зовнішньої циліндричної поверхні із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення наведено нижче, а записану КП в програмному забезпеченні «SSCNC» та вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.31.

**Примітка 1** Нумерація кадрів у програмі може бути довільною, але повинен зберігатися взаємозв'язок між номерами кадрів у циклах і кадрах, на яких є посилання на інші кадри

*Фрагмент КП з точінням зовнішньої циліндричної поверхні із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення:*

N010 G90 G54 – задання абсолютної системи координат (G90) та зміщення нульової точки деталі у функції (G54);

N020 T0101 M3 S1000 – вибір інструмента номером 1, задання напрямку (M3) і частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000);

N030 G00 X80. Z2. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (вершина різця прискорено підходить у координату X80 на початок циклу G71, а по координаті Z – на 2 мм не доходячи до торця деталі);

N040 G71 U2. R0.5 – перша частина циклу багатопрохідного оброблення з поділом на проходи: U2. – глибина рівання за один прохід; R0.5 – величина відходу інструмента від заготовки під час «холостого ходу»;

N050 G71 P100 Q120 U0.3 W0.3 F0.15 – друга частина циклу багатопрохідного оброблення з поділом на проходи: P100 – початок опису контуру деталі; Q120 – кінець опису контуру деталі; U0.3 – припуск на чистовий прохід по осі X; W0.3 – припуск на чистовий прохід по осі Z; F0.15 – величина робочої подачі;

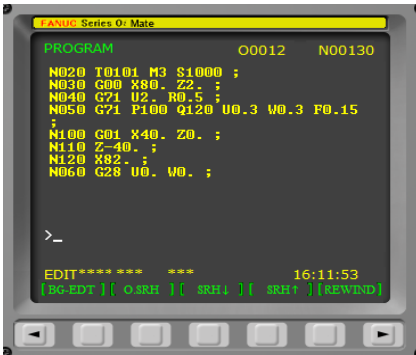
N100 G01 X40. Z0.; N110 Z-40.; N120 X82. – багатопрохідне оброблення на довжину 40 мм та діаметр 40 мм;

N060 G28 U0. W0. – вихід у точку зміни інструмента;

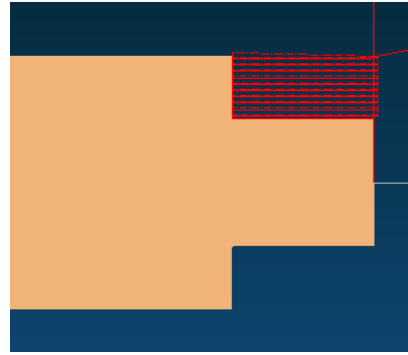
N070 M5 – зупинка обертання шпинделя;

N080 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).



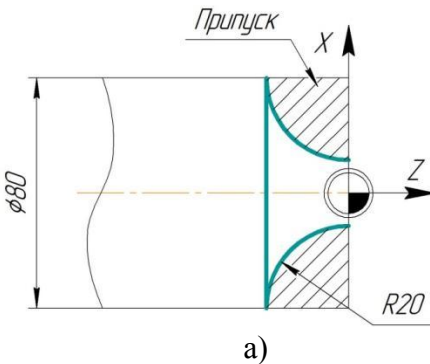
а)



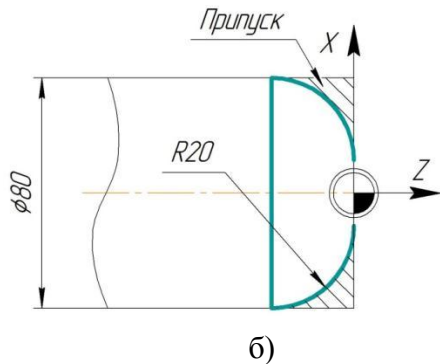
б)

Рисунок 5.31 – Точіння зовнішньої циліндричної поверхні із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення:

а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня



а)



б)

Рисунок 5.32 – Фрагмент деталі з точінням дуг із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення: а) за годинниковою стрілкою; б) проти годинникової стрілки

Фрагменти КП з точінням дуг за годинниковою стрілкою й проти неї із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення наведено нижче, а вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.33.

*Фрагмент КП з точінням дуги за годинниковою стрілкою:*

N010 G90 G54 – задання абсолютної системи координат (G90) і зміщення нульової точки деталі у функції (G54);

N020 T0101 M3 S1000 – вибір інструмента номером 1, задання напрямку (M3) та частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000);

N030 G00 X80. Z2. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (вершина різця прискорено підходить у координату X80 на початок циклу G71, а по координаті Z – на 2 мм не доходячи до торця деталі);

N040 G71 U2. R0.5 – перша частина циклу багатопрохідного оброблення з поділом на проходи: U2. – глибина різання за один прохід; R0.5 – величина відходу інструмента від заготовки під час «холостого ходу»;

N050 G71 P100 Q110 U0.3 W0.3 F0.15 – друга частина циклу багатопрохідного оброблення з поділом на проходи: P100 – початок опису контуру деталі; Q110 – кінець опису контуру деталі; U0.3 – припуск на чистовий прохід по осі X; W0.3 – припуск на чистовий прохід по осі Z; F0.15 – величина робочої подачі;

N100 G01 X40. Z0.; N110 G02 X80. Z-20. R20. – багатопрохідне оброблення дуги радіусом 20 мм за годинниковою стрілкою;

N060 G28 U0. W0. – вихід у точку зміни інструмента;

N070 M5 – зупинка обертання шпинделя;

N080 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).

*Фрагмент КП з точінням дуги проти годинникової стрілки:*

N010 G90 G54 – задання абсолютної системи координат (G90) і зміщення нульової точки деталі у функції (G54);

N020 T0101 M3 S1000 – вибір інструмента номером 1, задання напрямку (M3) та частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000);



N030 G00 X80. Z2. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (вершина різця прискорено підходить у координату X80 на початок циклу G71, а по координаті Z – на 2 мм не доходячи до торця деталі);

N040 G71 U2. R0.5 – перша частина циклу багатопрхідного оброблення з поділом на проходи: U2. – глибина рівання за один прохід; R0.5 – величина відходу інструмента від заготовки під час «холостого ходу»;

N050 G71 P100 Q110 U0.3 W0.3 F0.15 – друга частина циклу багатопрхідного оброблення з поділом на проходи: P100 – початок опису контуру деталі; Q110 – кінець опису контуру деталі; U0.3 – припуск на чистовий прохід по осі X; W0.3 – припуск на чистовий прохід по осі Z; F0.15 – величина робочої подачі;

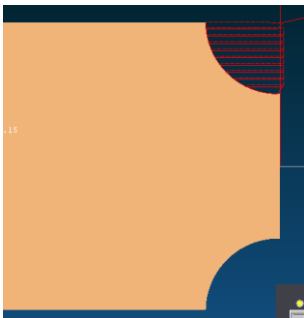
N100 G01 X40. Z0.; N110 G03 X80. Z-20. R20. – багатопрхідне оброблення дуги радіусом 20 мм проти годинникової стрілки;

N060 G28 U0. W0. – вихід у точку зміни інструмента;

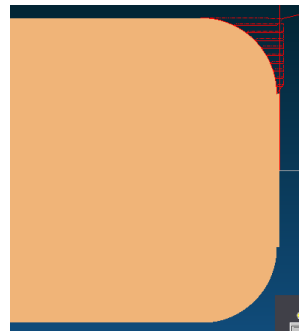
N070 M5 – зупинка обертання шпинделя;

N080 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).



а)



б)

Рисунок 5.33 – Точіння дуг із застосуванням циклу багатопрхідного оброблення:

а) за годинниковою стрілкою; б) проти годинникової стрілки

Фрагмент КП з точінням канавки відповідно до циклу багатопрохідного оброблення канавок наведено нижче, а вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.35. Варто зауважити, що канавковий різець може бути прив'язаним до однієї з двох вершин різця. З огляду на це як прив'язку вершини беремо ту, що знаходиться ближче до деталі (рис. 5.34). Відповідно для витримування відстані 40 мм необхідно вийти на координату Z-43 із додержанням ширини канавкового різця 3 мм.

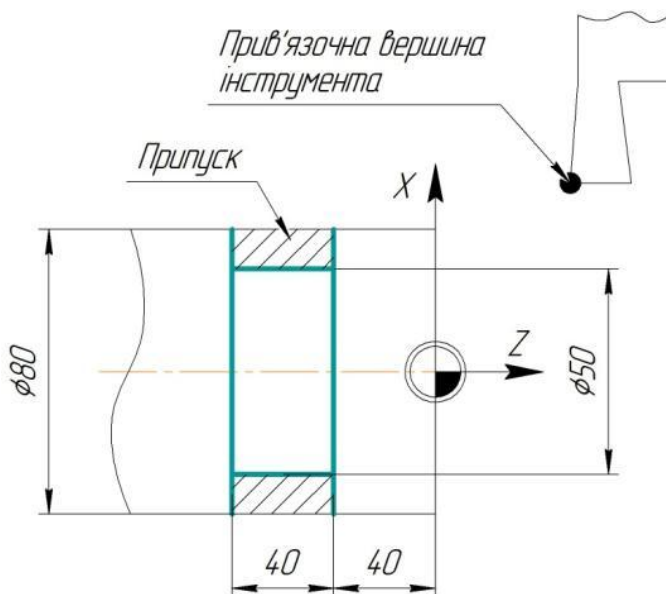


Рисунок 5.34 – Фрагмент деталі з точінням канавки відповідно до циклу багатопрохідного оброблення канавок

*Фрагмент КП з точінням канавки відповідно до циклу багатопрохідного оброблення канавок:*

N010 G90 G54 – задання абсолютної системи координат (G90) і зміщення нульової точки деталі у функції (G54);

N020 T0303 M3 S1000 – вибір інструмента номером 3, задання напрямку (M3) та частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000);

N030 G00 X84. Z-43. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (вершина різця прискорено підходить у координату X84, а по координаті Z – на 43 мм на початок циклу G75);

N040 G75 R0.5 – перша частина циклу багатопрхідного оброблення канавок: R0.5 – відхід інструмента для надлому стружки;

N050 G75 X50.Z-80. P5000 Q2000 F0.15 – друга частина циклу багатопрхідного оброблення з поділом на проходи: X50. – кінцева точка по осі X; Z-80. – кінцева точка по осі Z; P7500 – глибина врізання за один прохід по осі X (задають у мкм); Q2000 – глибина врізання за один прохід по осі Z (задають у мкм, залежить від ширини різця); F0.15 – величина робочої подачі;

N060 G28 U0. W0. – вихід у точку зміни інструмента;

N070 M5 – зупинка обертання шпинделя;

N080 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).



а)



б)

Рисунок 5.35 – Точіння канавки відповідно до циклу багатопрхідного оброблення канавок: а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

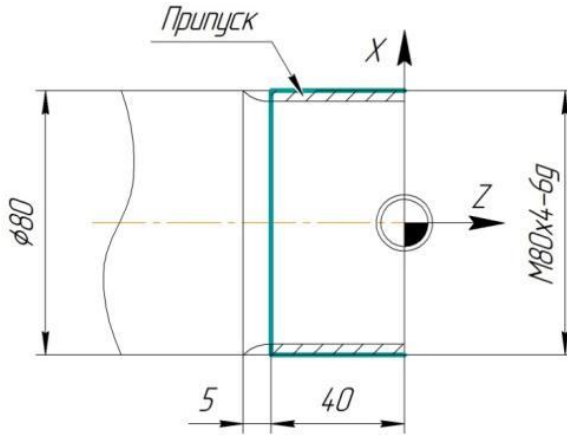


Рисунок 5.36 – Фрагмент деталі з нарізуванням різі відповідно до циклу

Фрагмент КП з нарізуванням різі наведено нижче, а вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.37. На кресленні (рис. 5.36) розмір 5 мм – це величина збігу різі.

*Фрагмент КП з нарізуванням різі:*

N010 G90 G54 – задання абсолютної системи координат (G90) і зміщення нульової точки деталі у функції (G54);

N020 T0404 M3 S1000 – вибір інструмента номером 4, задання напрямку (M3) та частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000);

N030 G00 X80. Z6. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (вершина різця прискорено підходить у координату X80, а по координаті Z – на 6 мм на початок циклу G76);

N040 G76 P020560 Q500 R0.5 – перша частина циклу багатопрохідного оброблення різі, де P020560: 02 – кількість чистових проходів (2); 05 – довжина збігу різі (5 мм); 60 – кут урізання (60°); Q500 – глибина різання за один прохід по осі X (задають у мкм); R0.5 – припуск на чистовий прохід (задають у мм);

N050 G76 X76.Z-40. P2000 Q500 F4. – друга частина циклу багатопрохідного оброблення різи: X76. – кінцева точка по осі X; Z-40. – кінцева точка по осі Z; P2000 – висота профілю різи (задають у мкм); Q500 – глибина різання за перший прохід по осі Z (задають у мкм); F4 – крок різи;

N060 G28 U0. W0. – вихід у точку зміни інструмента;

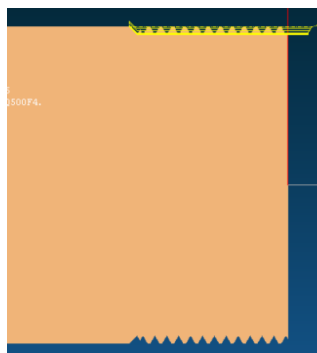
N070 M5 – зупинка обертання шпинделя;

N080 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).



а)



б)

Рисунок 5.37 – Нарізування різи відповідно до циклу:  
а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

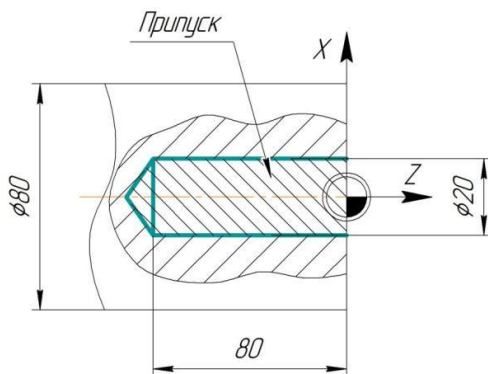


Рисунок 5.38 – Фрагмент деталі зі свердлінням отвору по циклу

Фрагмент КП зі свердлінням отвору наведено нижче, а вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.39.

*Фрагмент КП зі свердлінням отвору:*

N010 G90 G54 – задання абсолютної системи координат (G90) і зміщення нульової точки деталі у функції (G54);

N020 T0202 M3 S1000 – вибір інструмента номером 2, задання напрямку (M3) та частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000);

N030 G00 X0. Z3. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (вершина свердла прискорено підходить у координату X0, а по координаті Z – на 3 мм на початок циклу G83);

N040 G83 Z-80 Q5. R1.F0.2 – перша частина циклу глибокого свердління: Z-80. – глибина отвору (80 мм); Q5. – глибина врізання за один прохід по осі Z (5 мм); R1.0 – підхід інструмента на безпечну відстань для виконання наступного проходу для свердління; F0.2 – величина робочої подачі;

N060 G28 U0. W0. – вихід у точку зміни інструмента;

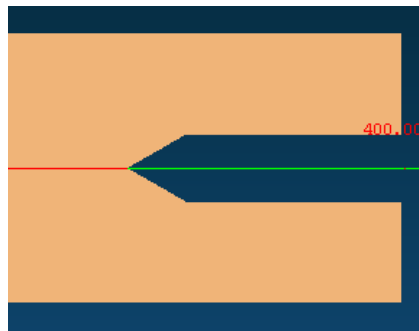
N070 M5 – зупинка обертання шпинделя;

N080 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий)



а)



б)

Рисунок 5.39 – Свердління отвору відповідно до циклу:

а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

Фрагмент КП зі свердлінням і розточуванням отвору із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення наведено нижче, а вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.41.

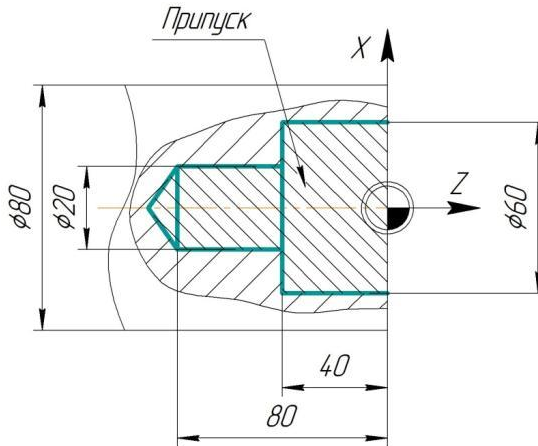


Рисунок 5.40 – Фрагмент деталі зі свердлінням і розточуванням отвору із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення

*Фрагмент КП зі свердлінням та розточуванням отвору із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення:*

N010 G90 G54 – задання абсолютної системи координат (G90) і зміщення нульової точки деталі у функції G54;

N020 T0202 M3 S1000 – вибір інструмента номером 2, задання напрямку (M3) та частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000);

N030 G00 X0. Z3. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (вершина свердла прискорено підходить у координату X0, а по координаті Z – на 3 мм на початок циклу G83);

N040 G83 Z-80 Q5. R1.F0.2 – перша частина циклу глибокого свердління: Z-80. – глибина отвору (80 мм); Q5. – глибина врізання за один прохід по осі Z (5 мм); R1.0 – підхід інструмента на безпечну відстань для виконання наступного проходу для свердління; F0.2 – величина робочої подачі;

N060 G28 U0. W0. – вихід у точку зміни інструмента;

N020 T0505 S2000 – вибір інструмента номером 5 і задання частоти обертання шпинделя 2 000 обертів за хвилину (S2000);

N030 G00 X20. Z2. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (вершина різця прискорено підходить у координату X20 на початок циклу G71, а по координаті Z – на 2 мм не доходячи до торця деталі);

N040 G71 U2. R0.5 – перша частина циклу багатопрхідного оброблення з поділом на проходи: U2. – глибина різання за один прохід; R0.5 – величина відходу інструмента від заготовки під час «холостого ходу»;

N050 G71 P100 Q120 U-0.3 W0.3 F0.15 – друга частина циклу багатопрхідного оброблення з поділом на проходи: P100 – початок опису контуру деталі; Q120 – кінець опису контуру деталі; U-0.3 – припуск на чистовий прохід по осі X; W0.3 – припуск на чистовий прохід по осі Z; F0.15 – величина робочої подачі;

N100 G01 X20. Z2.; X60.; Z-40.; N120X18. – розточування за допомогою циклу багатопрхідного оброблення на довжину 40 мм і діаметр 60 мм;

N060G28U0.W0. – вихід у точку зміни інструмента;

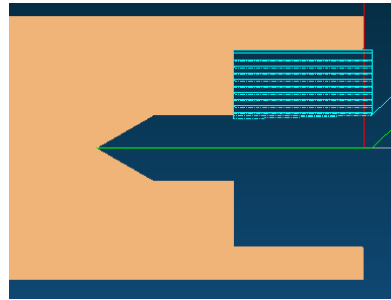
N070 M5 – зупинка обертання шпинделя;

N080 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).



а)



б)

Рисунок 5.41 – Свердління й розточування отвору із застосуванням циклу багатопрхідного оброблення:

а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня



Фрагмент КП зі свердлінням і нарізуванням внутрішньої різі із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення наведено нижче, а вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.43.

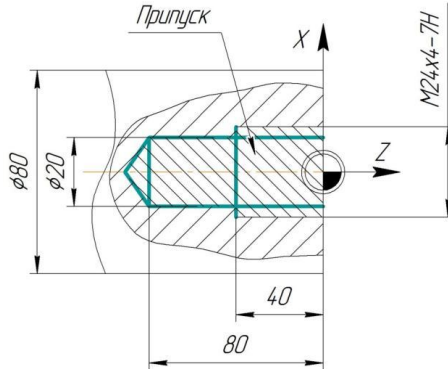


Рисунок 5.42 – Фрагмент деталі зі свердлінням та нарізуванням внутрішньої різі із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення

*Фрагмент КП зі свердлінням і нарізуванням внутрішньої різі із застосуванням циклу багатопрохідного оброблення:*

N010 G90 G54 – задання абсолютної системи координат (G90) та зміщення нульової точки деталі у функції (G54);

N020 T0202 M3 S1000 – вибір інструмента номером 2, задання напрямку (M3) і частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000);

N030 G00 X0. Z3. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (вершина свердла прискорено підходить у координату X0, а по координаті Z – на 3 мм на початок циклу G83);

N040 G83 Z-80 Q5. R1.F0.2 – перша частина циклу глибокого свердління: Z-80. – глибина отвору (80 мм); Q5. – глибина врізання за один прохід по осі Z (5 мм); R1.0 – підхід інструмента на безпечну відстань для виконання наступного проходу для свердління; F0.2 – величина робочої подачі;

N060 G28 U0. W0. – вихід у точку зміни інструмента;

N020 T0606 S500 – вибір інструмента номером 6 та задання частоти обертання шпинделя 500 обертів за хвилину (S500);

N030 G00 X20. Z3. – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення (вершина різця прискорено підходить у координату X20 на початок циклу G71, а по координаті Z – на 3 мм не доходячи до торця деталі);

N040 G76 P020560 Q500 R0.5 – перша частина циклу багатопрхідного оброблення різі, де P020560: 02 – кількість чистових проходів (2); 05 – довжина збігу різі (5 мм); 60 – кут уривання (60°); Q500 – глибина різання за один прохід по осі X (задають у мкм); R0.5 – припуск на чистовий прохід (задають у мм);

N050 G76 X24. Z-40. P2000 Q500 F4. – друга частина циклу багатопрхідного оброблення різі: X24. – кінцева точка по осі X; Z-40. – кінцева точка по осі Z; P2000 – висота профілю різі (задають у мкм); Q500 – глибина різання за перший прохід по осі Z (задають у мкм); F4 – крок різі;

N060G28U0.W0. – вихід у точку зміни інструмента;

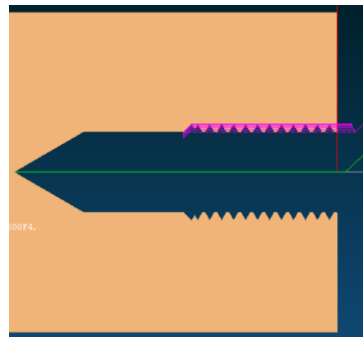
N070 M5 – зупинка обертання шпинделя;

N080 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).



а)



б)

Рисунок 5.43 – Свердління й нарізування внутрішньої різі в отворі із застосуванням циклу багатопрхідного оброблення:

а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

Після оброблення деталі необхідно перевірити розміри оброблених поверхонь за допомогою команди «Вимірювання» на головній панелі інструментів угорі (рис. 5.44), натиснувши на значок якої відкриється вікно для вимірювання (рис. 5.45). У вікні, що відкрилося, для контролю розміру поверхні потрібно вибрати команду «Feature Line» та підвести курсор на поверхню, розмір якої варто перевірити.

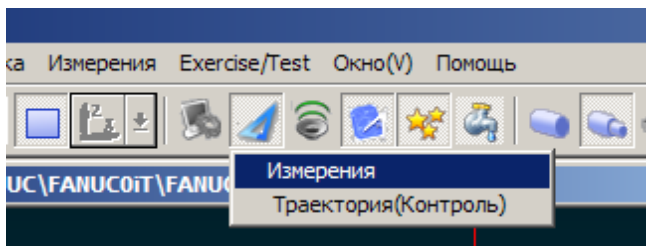


Рисунок 5.44 – Знаходження команди «Вимірювання»

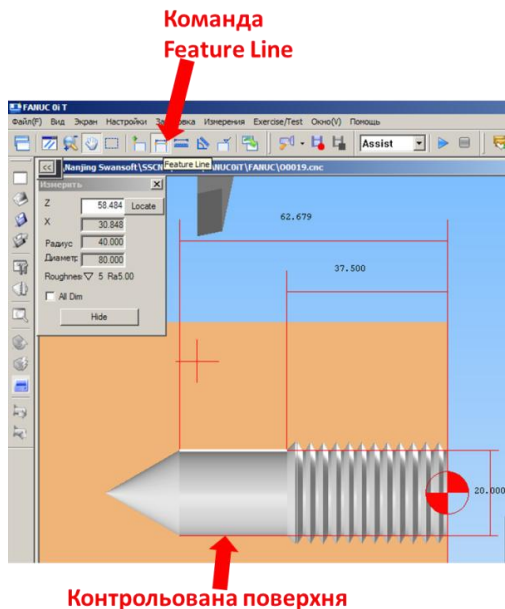
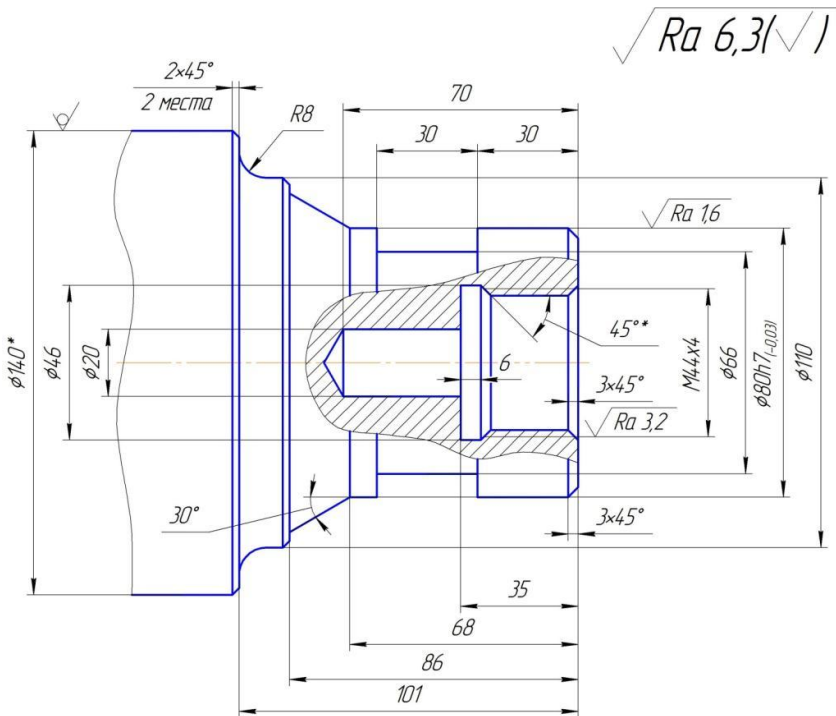


Рисунок 5.45 – Контроль обробленої поверхні

Вийти з режиму «Вимірювання» можна за допомогою команди «Вимірювання» – «Закінчити вимірювання» на основній панелі інструментів угорі.

Для остаточного розуміння принципів написання керуючих програм розглянемо оброблення комплексної деталі (рис. 5.46) із застосуванням стандартних циклів токарного оброблення в системі FANUC 0iT.

Щоб спростити програмування, визначимо характерні (опорні) точки контуру деталі для найскладніших циклів багатопрхідного оброблення зовнішніх (рис. 5.47) і внутрішніх (рис. 5.48) поверхонь. Поверхні зовнішньої циліндричної канавки та оброблення внутрішньої різі описуватимемо відразу в циклах КП.



*\*Разміри для довідок*

Рисунок 5.46 – Приклад комплексної деталі для оброблення

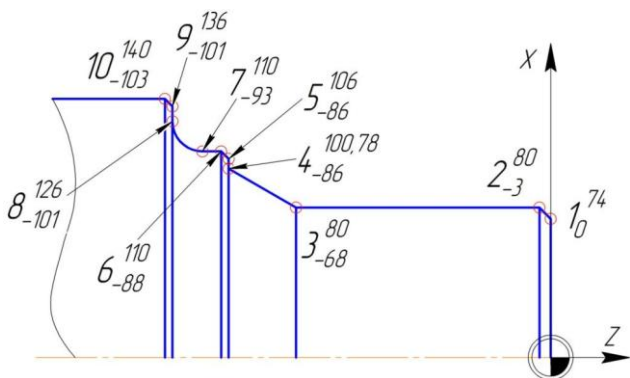


Рисунок 5.47 – Опорні точки зовнішнього контуру деталі

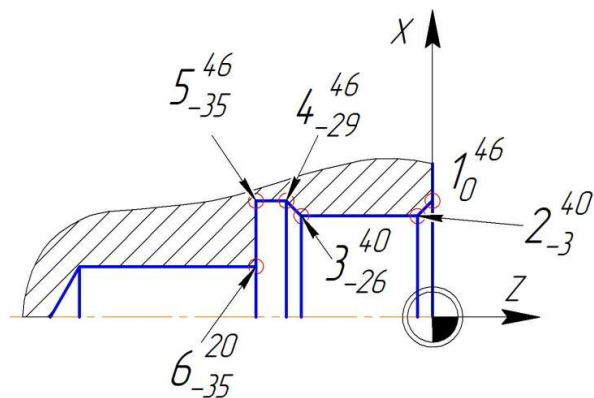


Рисунок 5.48 – Опорні точки внутрішнього контуру деталі

Фрагмент КП для оброблення комплексної деталі з коментарями наведений нижче, вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.49, а результат контролю зовнішньої канавки – як приклад на рисунку 5.50.

**Примітка 1** У КП різальні інструменти репрезентовані не в порядку оброблення, а зручно для встановлення інструментів у блоках (свердло, розточувальні різці) у корпус револьверної головки, як у реальному виробництві. Дозволене почергове встановлення різальних інструментів у револьверну головку. У навчальному процесі його не вважають помилкою

*Фрагмент КП для оброблення комплексної деталі:*

O0021 – назва (номер програми);

N010 G90 G54 – задання абсолютної системи координат (G90) і зміщення нульової точки деталі у функції (G54);

N020T0101M3S1000; G00X144.Z0; G01Z-2.F0.2; Z2.; N030G00X140.; N040G71U3.R0.5; N050G71P100Q120U0.3W0.3 F0.25; N100G01X74.Z0.; X80.Z-3.; Z-68.; X100.78Z-86.; X106.; X110.Z-88.; Z-93.; G02X126.Z-101.R8.; G01X136.; N120X142.Z-104.; G28U0.W0. – вибір інструмента номером 1 (прохідного упорного різця для чорнового оброблення з пластиною з кутом при вершині 80°), задання напрямку (M3) та частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000), а також підрізання торця й чорнове оброблення зовнішнього контуру деталі;

T0505S2000; G00X140.Z2; N030G70P100Q120F0.07; N060G28U0.W0. – вибір інструмента номером 5 (прохідного упорного різця для контурного оброблення з пластиною з кутом при вершині 35°), задання частоти обертання шпинделя 2 000 обертів за хвилину (S2000) і чистове оброблення зовнішнього контуру деталі;

T0303S1000; N030G00X84.Z-33.; N040G75R0.5; N050G75X66.Z-60.P5000Q2000F0.1; N060G28U0.W0. – вибір інструмента номером 3 (канавкового різця з пластиною шириною 3 мм), задання частоти обертання шпинделя 1 000 обертів за хвилину (S1000) та оброблення зовнішньої канавки;

T0202S500; N030G00X0.Z3.; N060G83Z-75.Q5.R1.F0.2; N065G80; N070G28U0.W0. – вибір інструмента номером 2 (спірального свердла Ø20 мм), задання частоти обертання шпинделя 500 обертів за хвилину (S500) і свердління отвору;

T0404S2000; N030G00X20.Z2.; N040G71U2.R0.5; N050G71P200Q220U-0.3W0.3F0.15; N200G01X20.Z2.; X46.Z0.; X40Z-3.; Z-26.; X46.Z-29.; Z-35.; N220X19.; N030G70P200Q220F0.1 – вибір інструмента номером 4 (розточувального прохідного упорного різця для контурного оброблення з пластиною з кутом при вершині 35°), задання

частоти обертання шпинделя 2 000 обертів за хвилину (S2000) та оброблення внутрішнього контуру деталі;

T0606S500; N090G00X40.Z3.; N040G76P020060Q500R0.5;  
N050G76X44.Z-33.P2000Q500F4.; N070G28U0.W0. – вибір інструмента номером 6 (різьбового різця для внутрішньої різі), задання частоти обертання шпинделя 500 обертів за хвилину (S500) і нарізування внутрішньої різі;

N070 M5 – зупинка обертання шпинделя;

N080 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).

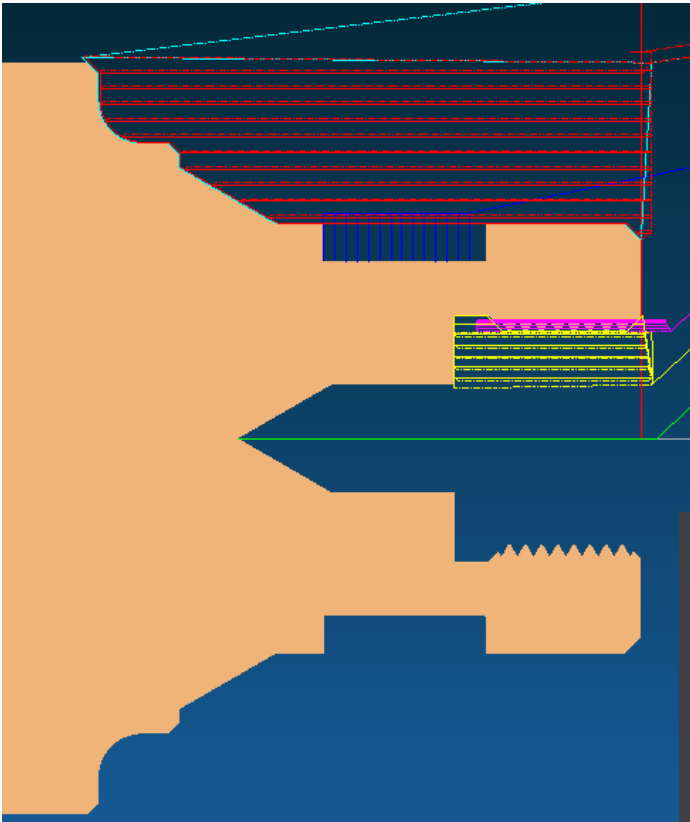


Рисунок 5.49 – Вигляд комплексної деталі після оброблення

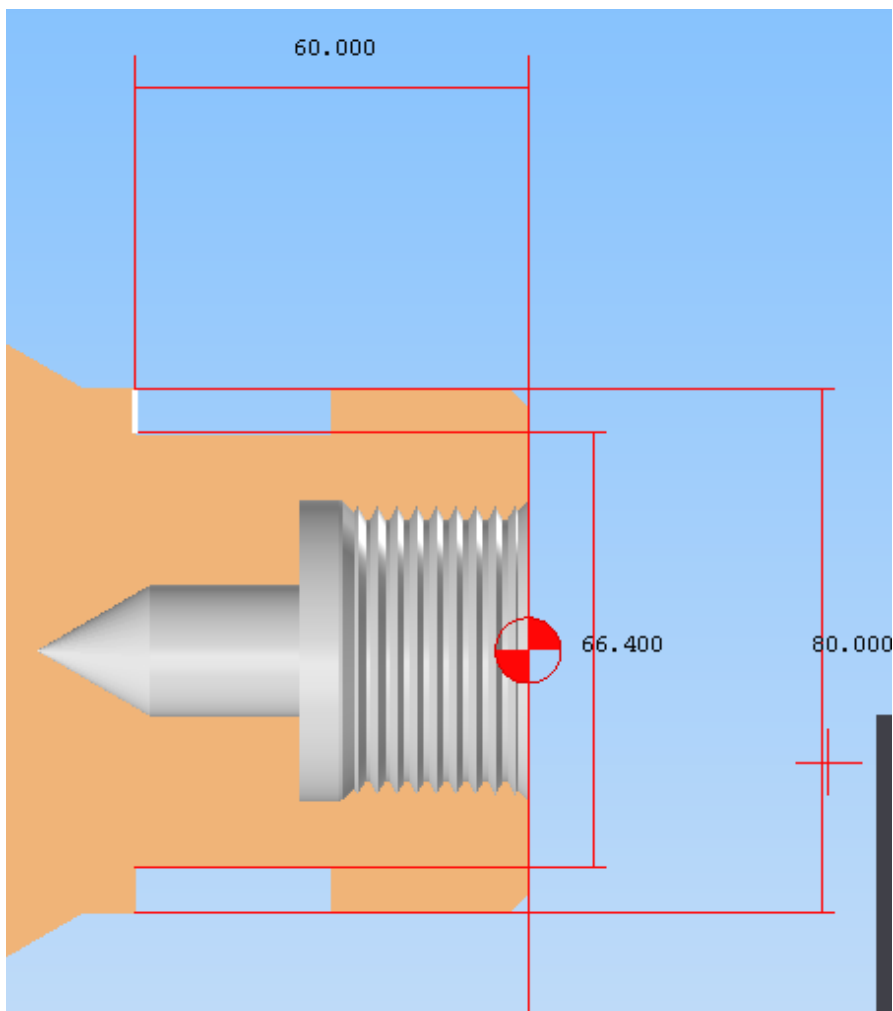


Рисунок 5.50 – Контроль лінійних розмірів канавки після оброблення

Після завершення роботи необхідно зберегти файл проєкту за допомогою команд «Файл» – «Зберегти» – «Зберегти проєкт» (рис. 5.51). Назву файлу проєкту потрібно зазначати англійською мовою.



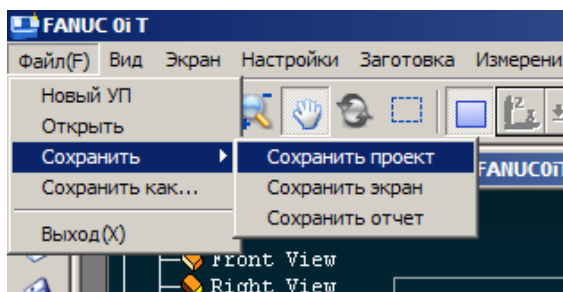


Рисунок 5.51 – Приклад збереження проекту

Здавання звіту практичної частини передбачає виконання завдань із програмування токарного оброблення зовнішніх і внутрішніх поверхонь (рис. 5.52 та 5.53 відповідно) деталей за варіантами. Геометричні параметри (розміри) деталей розраховують із креслення залежно від заданих розмірів  $l_1$ ,  $d_1$ ,  $P$ ,  $R$ ,  $\alpha$  способом вибору за номером останньої цифри залікової книжки й прізвищем студента.

Для визначення параметрів  $l_1$ ,  $d_1$ ,  $P$ ,  $R$ ,  $\alpha$  необхідно вибрати число, що відповідає першій літері прізвища студента, наприклад Щербак – лігера Щ, тобто число 25. Далі це число потрібно перемножити на число, що відповідає першій літері імені студента, наприклад Іван – 9. Добуток цифр становить  $25 \times 9 = 225$ . Наступним кроком буде додавання цифр цього числа, наприклад  $2 + 2 + 5 = 9$ . Цифри варто додавати до одержання значень від 1 до 9. Відповідно до знайденого числа необхідно вибрати параметри  $l_1$ ,  $d_1$ ,  $P$ ,  $R$ ,  $\alpha$  з таблиці 5.3.

Програмування оброблення деталей за рисунками 5.52 і 5.53 у разі позитивного результату механічного оброблення в програмному забезпеченні «SSCNC» дозволить одержати позитивну оцінку (60–80 % балів, передбачених за практичну частину). Для більшої кількості балів (81–100 %) студент повинен самостійно створити фрагмент (креслення) деталі із зовнішньою та внутрішньою різьями, канавками, точними поверхнями, для оброблення яких потрібно не менше ніж п'ять різальних інструментів, а також скласти КП для механічного оброблення такої деталі й симулювати оброблення в програмному забезпеченні «SSCNC».

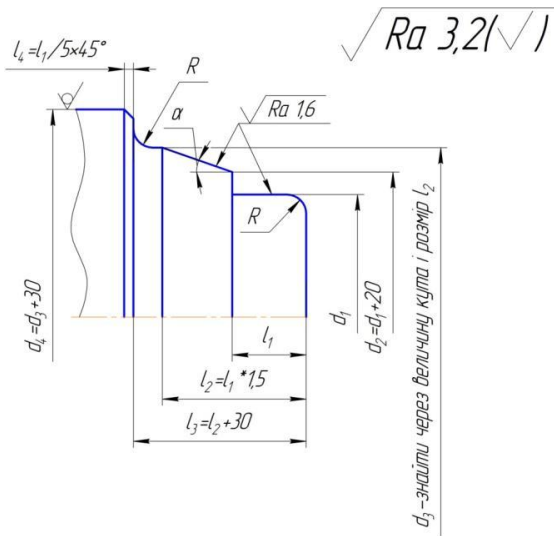


Рисунок 5.52 – Завдання для звіту щодо виконання завдання з оброблення зовнішнього контуру

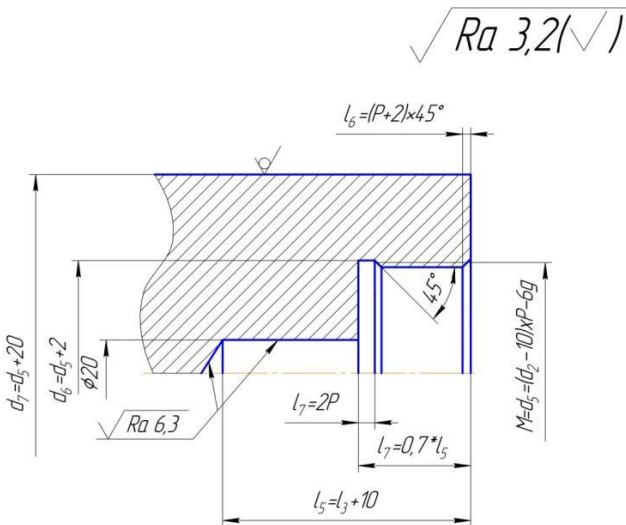


Рисунок 5.53 – Завдання для звіту щодо виконання завдання з оброблення внутрішнього контуру

Таблиця 5.4 – Відповідність літер числам

<b>Літера</b>	<b>Число</b>
А	1
Б	2
В	3
Г	4
Д	5
Е	6
Ж	7
З	8
І	9
К	10
Л	11
М	12
Н	13
О	14
П	15
Р	16
С	17
Т	18
У	19
Ф	20
Х	21
Ц	22
Ч	23
Ш	24
Щ	25
Ю	26
Я	27

Таблиця 5.5 – Значення параметрів  $l_1$ ,  $d_1$ ,  $P$ ,  $R$ ,  $\alpha$ 

Число	$l_1$ , мм	$d_1$ , мм	$P$ , мм	$R$ , мм	$\alpha$ , °
1	20	20	1	3	8
2	32	34	1,5	4	10
3	41	37	2	5,5	12
4	47	46	3	3,5	5
5	51	57	3,5	6	4
6	26	17	3	2,5	15
7	63	28	2,5	6	17
8	70	41	4	7,3	5
9	57	38	4,5	4,8	21

Для початку виконання роботи, присвяченої фрезерному обробленню, необхідно запуснути програму «Nanjing Swansoft CNC Simulator» аналогічно роботі з токарного оброблення. Після відкриття вікна вибору систем ЧПК потрібно вибрати «Fanuc OiM» і натиснути клавішу «Пуск» у зазначеному вікні.

Панель керування системи ЧПК фрезерного верстата така сама, як у токарного верстата з ЧПК, та відрізняється лише наявністю додаткової кнопки «Y» на панелі (рис. 5.54) для керування віссю Y. Екран системи ЧПК і клавіатура ручного введення аналогічні екрану й клавіатурі токарного верстата з ЧПК.

Вибір моделі верстата, «обнулення», задання потрібних різальних інструментів та позначення клавіш на панелі керування й клавіатурі ручного введення виконують так само, як на токарних верстатах із ЧПК. Вікно вибору різальних інструментів із їх найменуваннями зображене на рисунку 5.55.

У бібліотеці способом подвійного натискання на надпис «Тип» у відкритому вікні можна вибрати типи різальних інструментів необхідного розміру (довжини й діаметра) з короткою характеристикою, наведеною в таблиці 5.6.

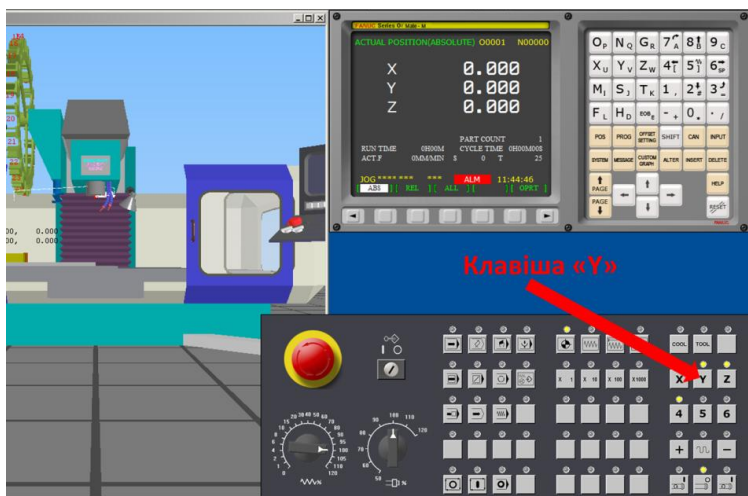


Рисунок 5.54 – Інтерфейс системи ЧПК «FANUC 0iM»

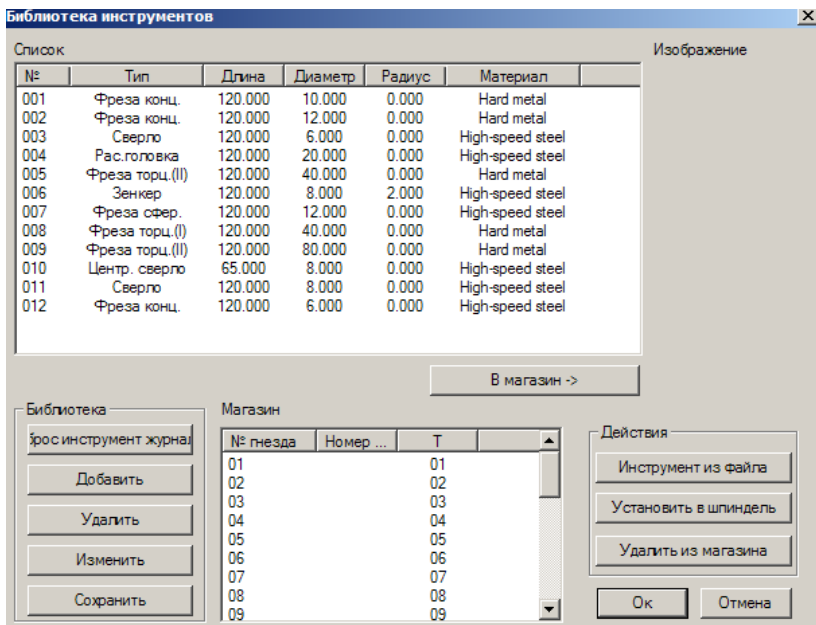
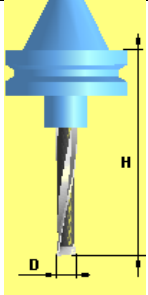
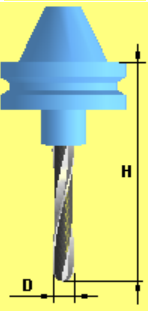
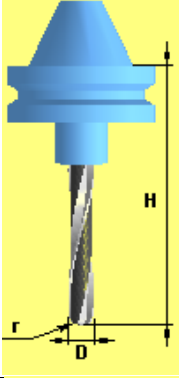
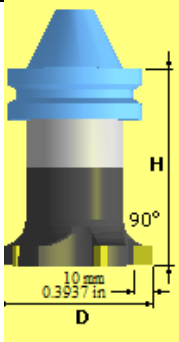


Рисунок 5.55 – Бібліотека вибору різальних інструментів для фрезерного верстата з ЧПК

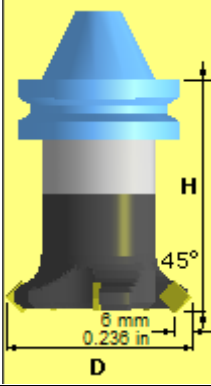
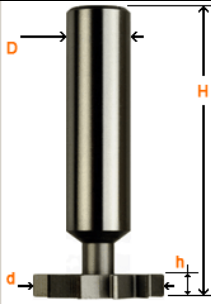
Таблиця 5.6 – Різальні інструменти фрезерної групи в бібліотеці програми

Тип інструмента (галузь використання)	Зображення інструмента
1	2
<p>Фреза кінцева для чорнового й чистового оброблення плоских (2D) контурів, шпонкових пазів, уступів, невеликих за площею площин, фасонних поверхонь начорно</p>	
<p>Фреза кінцева (сферична або радіусна) зі сферичним кінцем для чорнового та чистового оброблення фасонних 3D-поверхонь</p>	

Продовження таблиці 5.6

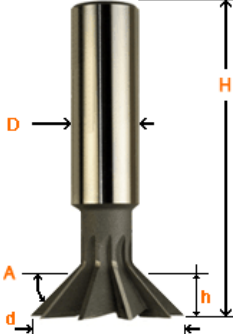
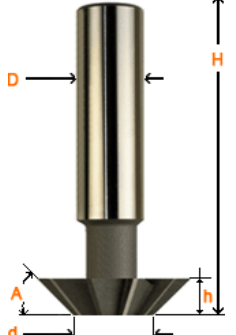
1	2
<p>Фреза кінцева радіусна (з радіусом при вершині) для чорнового й чистового оброблення карманів та уступів із постійним радіусом по контуру</p>	
<p>Фреза торцева із зубом, паралельним площині оброблення, для оброблення площин «на прохід» і площин із прямокутними уступами</p>	

Продовження таблиці 5.6

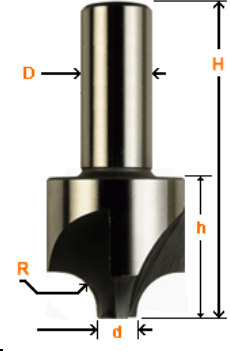
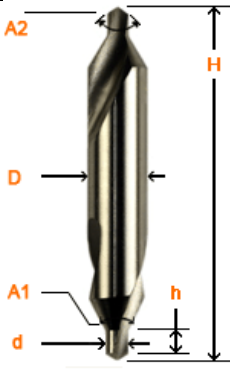
1	2
<p>Фреза торцева із зубом, розміщеним під кутом до площини оброблення, для оброблення площин «на прохід»</p>	
<p>Фреза для оброблення Т-подібних пазів та вирізання сегментів під вихід довбального різця й сегментних шпонкових пазів</p>	



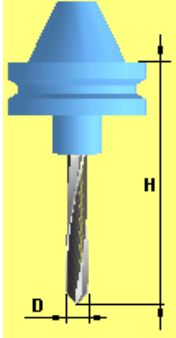
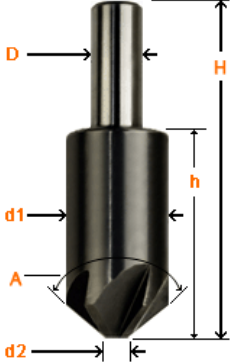
Продовження таблиці 5.6

1	2
Фреза для оброблення пазів типу «хвіст ластівки»	
Фреза фаскова для оброблення фасок на зовнішніх контурах деталей	

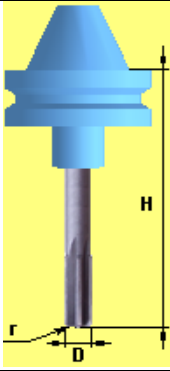
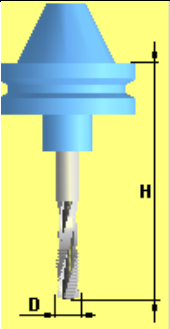
Продовження таблиці 5.6

1	2
<p>Фреза фаскова радіусна для оброблення радіусів закруглень на зовнішніх контурах деталей</p>	
<p>Свердло центрувальне для центрування отворів під наступне свердління отворів у деталях</p>	

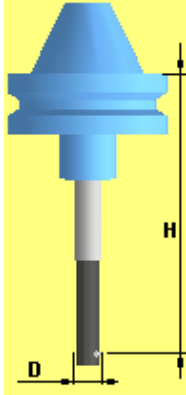
Продовження таблиці 5.6

1	2
<p>Свердло спіральне для отримання наскрізних і глухих отворів у деталях</p>	 <p>A 3D rendering of a blue spiral drill bit. The cutting edge is shown in a light grey color. Dimension lines indicate the diameter <math>D</math> and the length <math>H</math> of the cutting edge.</p>
<p>Зенківка конічна для отримання фасок в отворах</p>	 <p>A 3D rendering of a black conical reamer. The cutting edge is shown in a light grey color. Dimension lines indicate the diameter <math>D</math> of the cylindrical part, the total length <math>H</math>, the diameter <math>d1</math> of the conical part, the length <math>h</math> of the conical part, the angle <math>A</math> of the cutting edge, and the diameter <math>d2</math> at the base of the conical part.</p>

Продовження таблиці 5.6

1	2
<p>Зенкер для отримання отворів середньої точності та підвищення точності геометричної форми отворів після свердління</p>	
<p>Мігчик для нарізування різь в отворах</p>	

Продовження таблиці 5.6

1	2
<p>Головка розточувальна для отримання отворів точних розмірів і геометричної форми</p>	

Після задання необхідних параметрів інструмента його варто встановити в потрібну позицію магазину інструментів способом перетягування за допомогою курсора миші. І так для кожного з них. **У команді «Налаштування» важливими є три функції** (рис. 5.56):

– *параметри заготовки*, що дозволяє вибирати заготовку циліндричної або призматичної форми необхідних розмірів. Розміри для призматичної (довжину, ширину, висоту) та циліндричної (діаметр і довжину) заготовок задають уведенням потрібних значень та натисканням кнопки «ОК» (рис. 5.57). Також у відстані від вершини інструмента до верхнього торця деталі ОБОВ'ЯЗКОВО необхідно зазначити «0»;

– *приспосовування*, що дає можливість вибирати верстатний пристрій і його параметри для встановлення заготовок. Зокрема, можна задати закріплення прихватами (рис. 5.58 а), закріплення на основі, що імітує необроблювані поверхні деталі (рис. 5.58 б), закріплення в лещатах (рис. 5.58 в);

– *прискорено перемістити*, за допомогою якої можна перемістити вершину різального інструмента в «точку прив'язки» на деталі. Зазначена точка може бути розміщеною на одній із чотирьох вершин призматичної заготовки, у її центрі, центрі циліндричної заготовки (рис. 5.59). Здебільшого для призматичних заготовок нуль вибирають на ближній лівій або правій вершині. Головне, щоб ця вершина збігалася з вершиною, закладеною як «нуль» у КП.

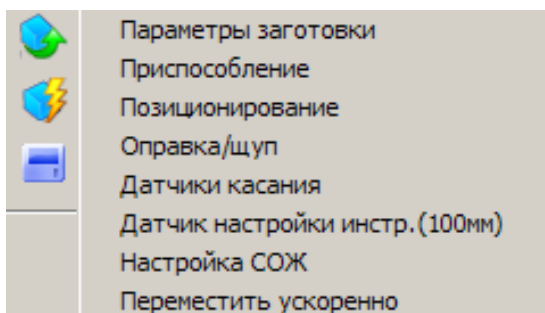
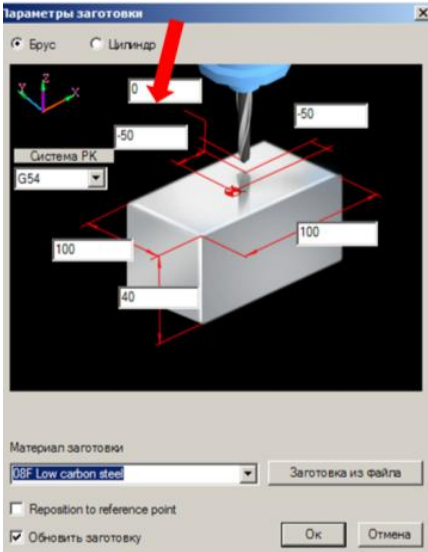


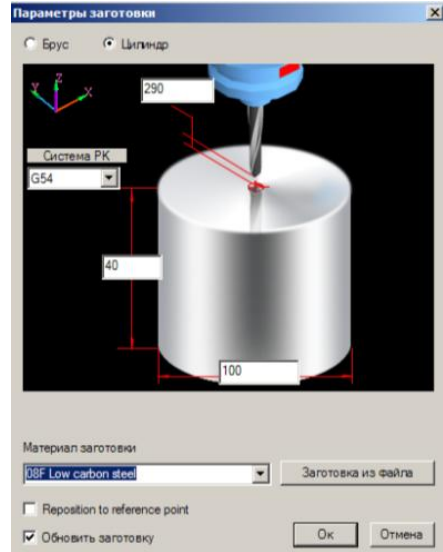
Рисунок 5.56 – Вибір параметрів налаштування для фрезерного верстата

У вікні вибору параметрів заготовки система координат (G54–G59) обов’язково повинна збігатися із зазначеною в КП та на карті налаштування.

**Значення «0»**



а)



б)

Рисунок 5.57 – Вибір параметрів заготовки для фрезерного верстата: а) призматичної; б) циліндричної

Зважаючи на те, що фрезерне оброблення охоплює трикоординатне оброблення, для наочного пояснення процесу переміщення різального інструмента в площині оброблення необхідно у вкладці «Вигляд» на основній панелі інструментів угорі ввімкнути режими «Спереду», «Зверху», «Справа», «Показати все» (рис. 5.59).

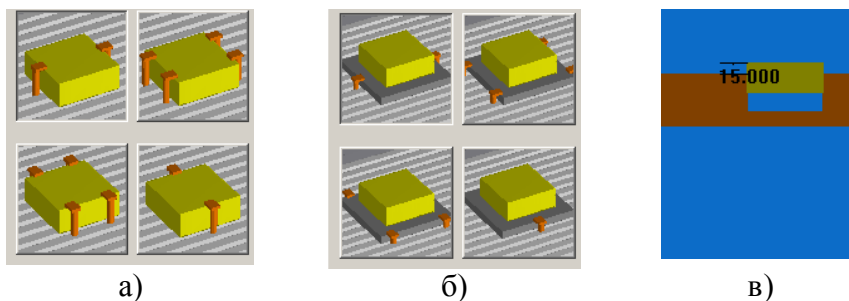


Рисунок 5.58 – Схеми закріплення заготовки в програмі «SSCNC»: а) прихватами; б) на основі; в) у лещатах

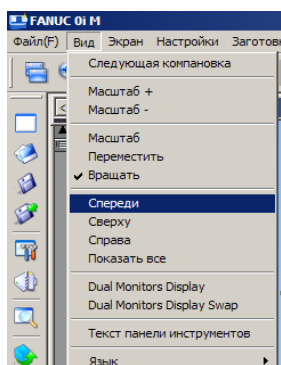


Рисунок 5.59 – Увімкнення режимів вибору площин оброблення

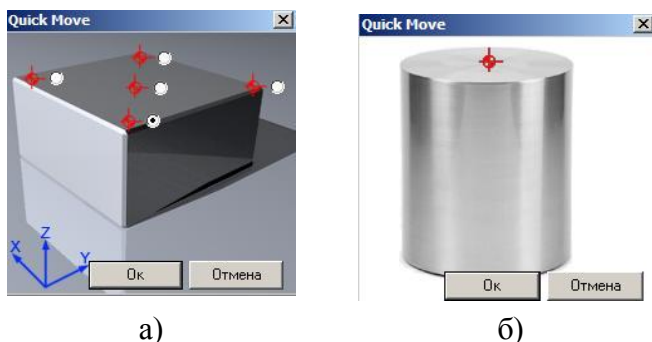


Рисунок 5.60 – Вибір точки прискореного переміщення інструмента: а) для призматичної заготовки; б) для циліндричної заготовки



Після вибору точки прискореного переміщення й натискання кнопки «ОК» (рис. 5.60) вершина інструмента переміститься в зазначені точки (рис. 5.61).

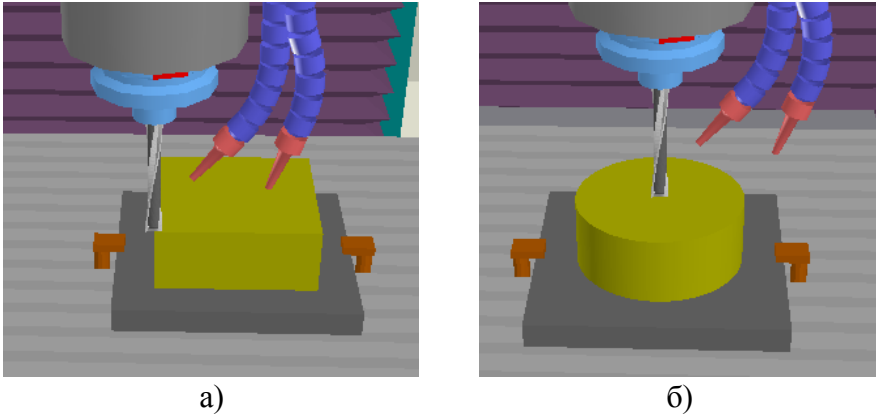


Рисунок 5.61 – Переміщення в точку прив'язки для заготовки: а) призматичної, б) циліндричної

Для зміни позиції інструмента в магазині інструментів необхідно вибрати режим ручного введення даних на панелі керування системи ЧПК і в режимі «PROG» (редагування збереженої в пам'яті програми) ввести команду T01M06 (перший інструмент), по чергово натиснути клавіші EOB<sub>E</sub> та «INSERT» (рис. 5.62) на клавіатурі ручного введення даних, а потім один раз клавішу «Запуск циклу» на панелі керування. І так для кожного інструмента.

Водночас переміщення центра інструмента в точку прив'язки є лише першим кроком до його прив'язки, тобто заданням визначеного положення вершини інструмента щодо нульової точки деталі / заготовки.

Далі за ввімкненого режиму «Подача в режимі поштовху» на клавіатурі ручного введення даних варто натиснути клавішу «OFFSET SETTING», у результаті чого на моніторі системи ЧПК відкриється вікно прив'язки інструментів (рис. 5.63). Наступний крок – натискання клавіші «OFFSET» під монітором системи

ЧПК, що дозволить задати геометричні параметри інструментів (довжину (CEOM (H)) і діаметр (CEOM (D))). Наприклад, вводимо довжину інструмента 1 (120.0) та натискаємо клавішу «INPUT». Значення діаметра задають аналогічно.



Рисунок 5.62 – Уведення команди зміни інструмента в шпинделі фрезерного верстата

Також параметри (координати) прив'язки інструмента встановлюють за допомогою команди «WORK» у полях вибраної системи координат (рис. 5.64). У зазначеному вікні необхідно почергово ввести значення координат заготовки X, Y і Z. Для цього вводимо значення координати «X0.» та натискаємо клавішу «MEASUR» під монітором. Такі самі дії виконуємо для координат Y і Z, задаючи значення «0».

Також у вікні геометричних параметрів інструментів можна встановити величину зношування кромки кожного інструмента окремо в команді «WEAR». Для другого й наступних інструментів, використовуваних для оброблення деталі, виконуємо аналогічні дії. У результаті заповнюється вікно з координатами прив'язки – параметрами CEOM (H) та CEOM (D). Приклад задання довжин і діаметрів інструментів наведено на рисунку 5.65.



Рисунок 5.63 – Вікно прив'язки інструментів



Рисунок 5.64 – Вікно задання параметрів системи координат

NO	GEOM(H)	WEAR(H)	GEOM(D)	WEAR(D)
001	120.000	0.000	10.000	0.000
002	80.000	0.000	8.000	0.000
003	0.000	0.000	0.000	0.000

Рисунок 5.65 – Заповнення геометричних параметрів інструментів

Після задання параметрів, установлення заготовки, вибору необхідних різальних інструментів, їх установлення в магазин інструментів, виконання операцій прив'язки кожного з них та задання нуля заготовки можна писати КП для оброблення деталі або виклику програми з пам'яті системи ЧПК і її запуску.

Нову КП для фрезерного оброблення в програмному забезпеченні «SSCNC» створюють так само, як для токарного оброблення.

Докладно розглянемо основні переходи, здебільшого виконувані на фрезерних із ЧПК операціях способом написання фрагментів КП, а саме:

- фрезерування площин;
- фрезерування паза;
- фрезерування дуги кола;
- фрезерування зовнішнього контуру деталі;
- звичайне свердління за циклом G81;
- нарізування різьї мігчиком G84;
- параметричне програмування свердління отворів.

Виконуватимемо їх як приклади за ескізами оброблюваних поверхонь (позначених потовщеними лініями), зображеними на рисунках нижче.

Для зручності закріплення й недопущення контакту різального інструмента з елементами верстатних пристроїв виберемо одну схему закріплення для всіх вищезазначених переходів механічного оброблення – прихватами на основі (рис. 5.66). Для оброблення площини вибираємо торцеву фрезу діаметром 60 мм і довжиною 120 мм. Оброблення передбачає перекриття обробленої поверхні від 5 мм до 10 мм.

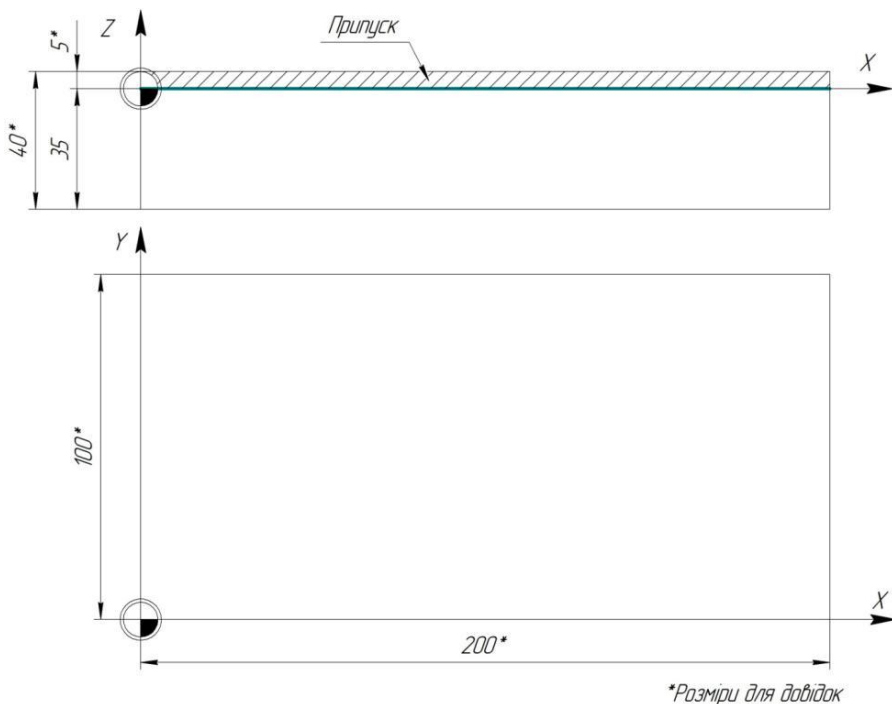


Рисунок 5.66 – Фрагмент деталі з обробленням площини

Увага! Для зручності розрахування координат по осі  $Z$  (лінійних розмірів) нульову точку деталі по осі  $Z$  здебільшого беруть на торці ДЕТАЛІ, а не заготовки. Тобто позитивні значення по осі  $Z$  означають, що інструмент рухається в повітрі, а негативні по координаті  $Z$  – знаходиться в «тілі» деталі. Величину припуску по осі  $Z$  оператор або технолог-програміст вибирає в кожному разі індивідуально, проте вона становить не більше ніж 1–3 мм. Зважаючи на те, що верстати з ЧПК є високоточним і дороговартісним обладнанням, заготовки по довжині, ширині й висоті надходять для оброблення на верстаті або вже попередньо обробленими, або сама заготовка має досить точні розміри та приблизно однакову й постійну величину

припуску на лінійні розміри. Якщо заготовки надходять із великими коливаннями припуску, то виконують такі самі дії, як за токарного оброблення з ЧПК.

Фрагмент КП для оброблення площини з коментарями наведений нижче, а записана КП в програмному забезпеченні «SSCNC» та вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.67.

*Фрагмент КП для оброблення площини:*

N010 G90 G54 G17 – задання абсолютної системи координат (G90), зміщення нульової точки деталі у функції (G54), площини оброблення (G17);

N020 T01 M06 – вибір інструмента номером 1;

N030 G00 X-40. Y20. M3 S1000 – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення для недопущення удару в заготовку під час подальшого опускання по осі Z (за фрези діаметром 60 мм вона прискорено підходить у координати X-40 та Y20, що відповідає відстані 10 мм від деталі);

N040 G00 G43 Z0. H01 – підхід у площину оброблення й увімкнення корекції (G43 H01) на довжину інструмента;

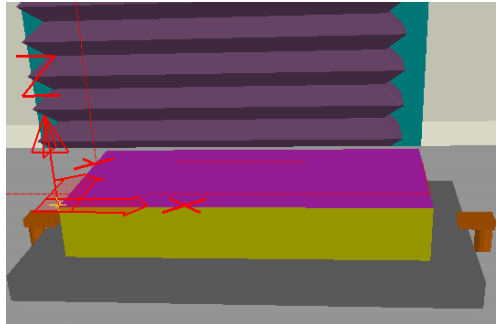
N050 G01 X200. F200; N060 Y75.; N070 X0. – оброблення площини на робочій подачі 200 мм/хв способом переміщення за координатними осями X і Y;

N080 G00 Z300. G49 M5 – підйом на висоту 300 мм над поверхнею деталі, відміна корекції (G49) та вимкнення шпинделя (M5);

N090 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).

Символ «;» у кінці кожного кадру є обов'язковим. У програмному забезпеченні «SSCNC» його ставлять за допомогою клавіші EOB<sub>E</sub> на клавіатурі ручного введення. На інший рядок для запису наступного кадру переходять клавішею «INSERT» на клавіатурі ручного введення.



а)

б)

Рисунок 5.67 – Оброблення площини:  
а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

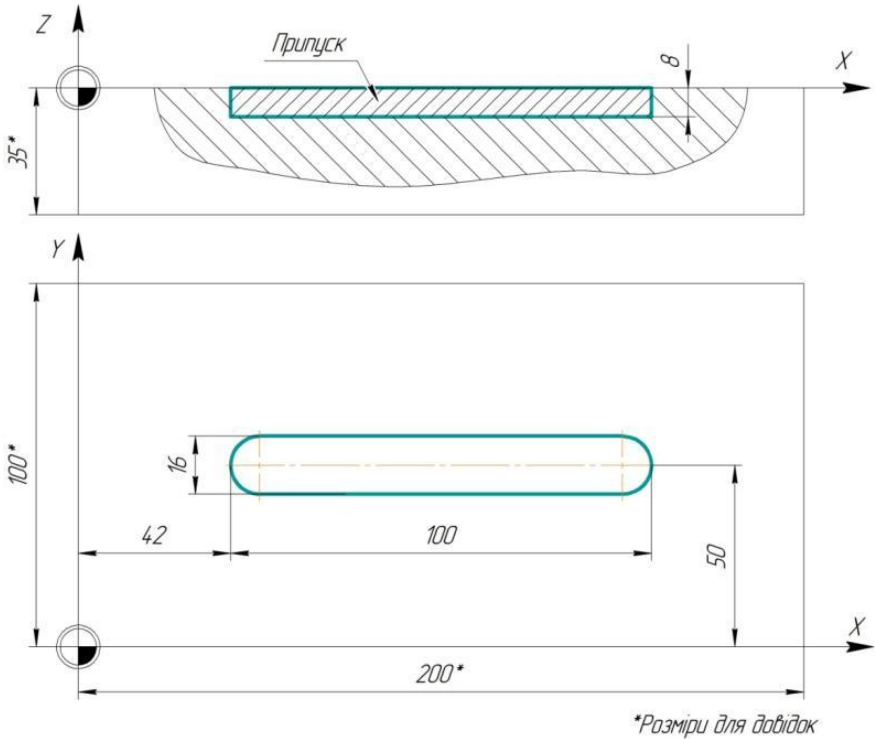


Рисунок 5.68 – Фрагмент деталі з обробленням  
закритого шпонкового паза

Фрагмент КП для оброблення шпонкового паза з коментарями наведений нижче, а записана КП в програмному забезпеченні «SSCNC» та вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.69.

*Фрагмент КП для оброблення шпонкового паза:*

N010 G90 G54 G17 – задання абсолютної системи координат (G90), зміщення нульової точки деталі у функції (G54), площини оброблення (G17);

N020 T01 M06 – вибір інструмента номером 1 (кінцевої фрези діаметром 16 мм);

N030 G00 X50. Y50. M3 S1000 – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення початку паза (за фрези діаметром 16 мм вона прискорено підходить у координати X50 та Y50);

N040 G00 G43 Z5. H01 – підхід у площину оброблення й увімкнення корекції (G43 H01) на довжину інструмента;

N050 G01 Z0. F100; N060 X136. Z-8.; N070 X50. – оброблення шпонкового паза на робочій подачі 100 мм/хв способом одночасного переміщення за координатними осями X і Z (X136. Z-8. – урізання під кутом; X50. – формування дна паза, паралельного основі деталі);

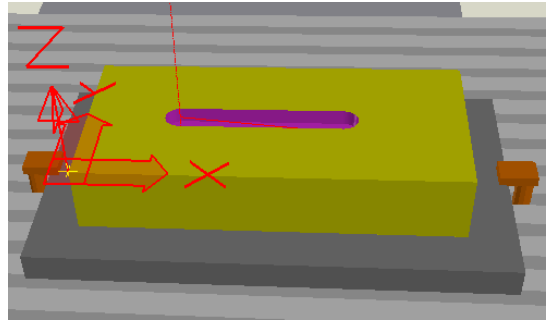
N080 G00 Z300. G49 M5 – підйом на висоту 300 мм над поверхнею деталі, відміна корекції (G49) та вимкнення шпинделя (M5);

N090 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).

Для пояснення координат переміщення інструмента наведемо характерні точки на рисунку 5.71. Оброблення проводитимемо від точки 1 до точки 2 з поступовим заглибленням по осі Z згідно з кресленням, а потім із точки 2 до точки 3, формуючи потрібну глибину по всій дузі кола. У рамках навчального процесу як приклад ліву дугу оброблятимемо за годинниковою стрілкою, а праву – проти неї.



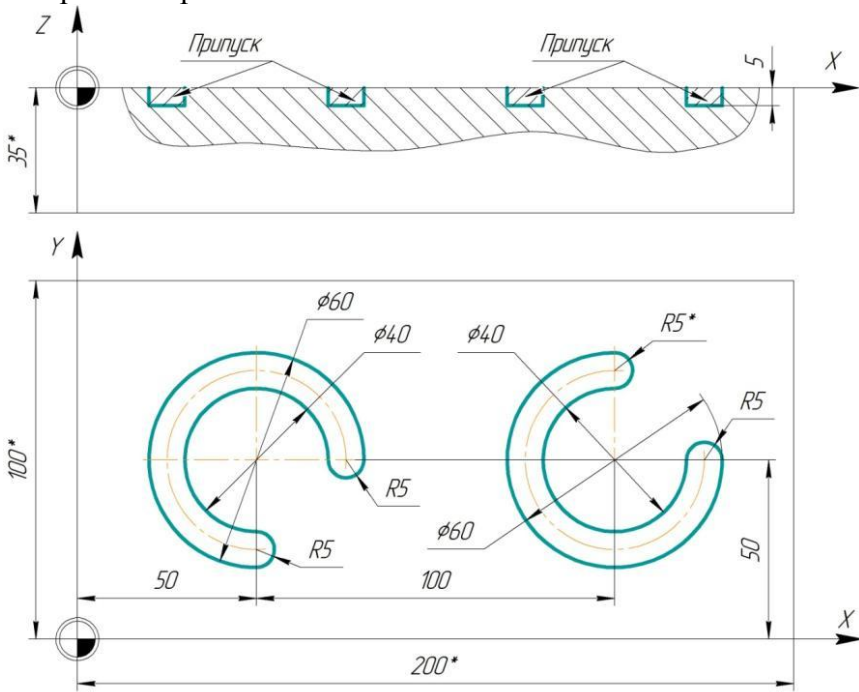


а)

б)

Рисунок 5.69 – Оброблення шпонкового паза:  
а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

Після оброблення розміри перевіряють так само, як у роботі з токарного оброблення.



\*Розміри для довідок

Рисунок 5.70 – Фрагмент деталі з обробленням закритих дуг

Фрагмент КП для оброблення дуг кіл із коментарями наведений нижче, а записана КП в програмному забезпеченні «SSCNC» та вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.72. Координати I, J, K розраховують так:

- $I = X_{\text{центра дуги}} - X_{\text{початкової точки дуги}}$ ;
- $J = Y_{\text{центра дуги}} - Y_{\text{початкової точки дуги}}$ ;
- $Z = Z_{\text{центра дуги}} - Z_{\text{початкової точки дуги}}$ .

Значення координат центра дуги й початкової точки дуги беруть в АБСОЛЮТНИХ координатах із відповідними знаками в декартовій системі координат. Наприклад, для оброблення лівої дуги

$$I = 50 - 50 = 0;$$

$$J = 50 - 25 = 25;$$

$$K = 0 - 0 = 0.$$

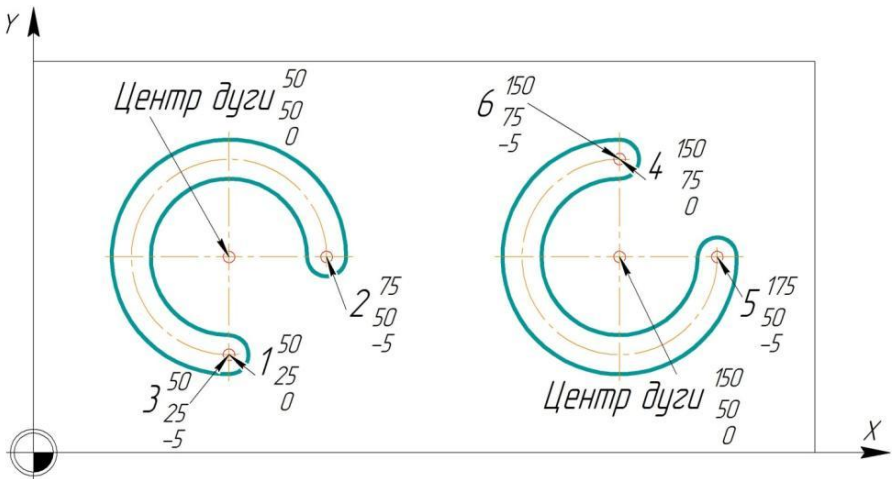


Рисунок 5.71 – Характерні точки для оброблення дуг кола

*Фрагмент КП для оброблення дуг кіл:*

N010 G90 G54 G17 – задання абсолютної системи координат (G90), зміщення нульової точки деталі у функції (G54), площини оброблення (G17);

N020 T01 M06 – вибір інструмента номером 1 (кінцевої фрези діаметром 10 мм);

N030G00X50.Y25.M3S1000 – підхід на прискореній подачі в початкову точку оброблення початку паза (за фрези діаметром 10 мм вона прискорено підходить у координати X50 та Y25);

N040 G00 G43 Z5. H01 – підхід у площину оброблення й увімкнення корекції (G43 H01) на довжину інструмента;

N045 G01 Z0. F100 – опускання до поверхні деталі для початку оброблення дуги;

N050 G02 X75. Y50. Z-5. I0. J25. K0.; N060 G03 X50. Y25. I-25. J0. – оброблення лівої дуги кола на робочій подачі 100 мм/хв способом спочатку одночасного переміщення за координатними осями X, Y і Z (X75. Y50. Z-5. – уривання під кутом), а потім за двома координатами (X50 та Y25). Формується дно, паралельне основі деталі;

N070 G01.Z5. – вихід із деталі для переміщення в початкову точку оброблення другої дуги;

N080 G00 X150. Y75. – переміщення в початкову точку оброблення другої дуги на прискореній подачі;

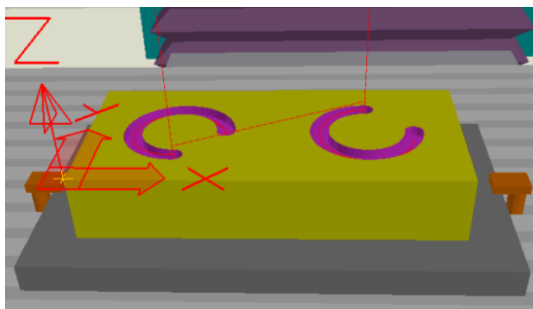
N085 G01 Z0. F100 – опускання до поверхні деталі для початку оброблення дуги;

N090 G03 X175. Y50. Z-5. I0. J-25. K0.; N100 G02 X150. Y75. I-25. J0. – оброблення правої дуги кола на робочій подачі 100 мм/хв способом спочатку одночасного переміщення за координатними осями X, Y і Z (X175. Y50. Z-5. – уривання під кутом), а потім за двома координатами (X150 та Y75). Формується дно, паралельне основі деталі;

N120 G00 Z300. G49 M5 – підйом на висоту 300 мм над поверхнею деталі, відміна корекції (G49) і вимкнення шпинделя (M5);

N130 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).



а)

б)

Рисунок 5.72 – Оброблення дуг кіл:  
а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

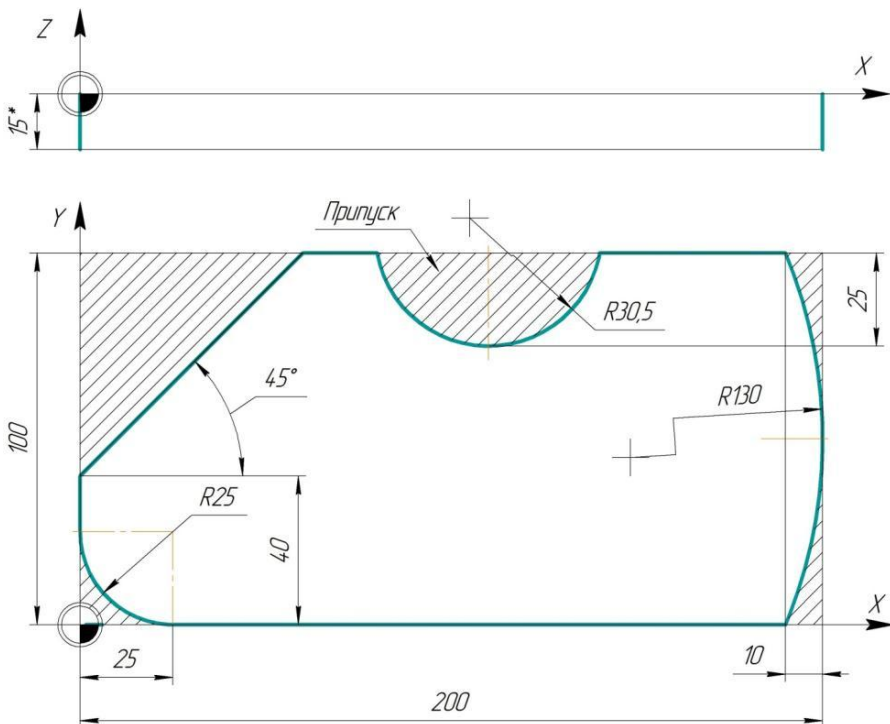


Рисунок 5.73 – Фрагмент деталі з обробленням зовнішнього контуру

Для пояснення координат переміщення інструмента по еквідистантному контуру під час оброблення зовнішнього контуру наведемо характерні точки на рисунку 5.74. Оброблення проводитимемо від точки 1 (підхід до контуру для ввімкнення корекції на радіус інструмента) до точки 17 (відхід від контуру після завершення оброблення й вимкнення корекції на радіус). Контур оброблятиметься відразу на всю глибину ( $Z - 15$  мм) згідно з кресленням. Різальним інструментом буде фреза діаметром 10 мм.

Фрагмент КП для оброблення контуру з коментарями наведений нижче, а записана КП в програмному забезпеченні «SSCNC» та вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.75. Центри координат дуг та значення координат  $I$ ,  $J$  можна обчислити математично (за допомогою тригонометричних функцій) або фіксуванням цих значень і координат точок по осях  $X$  та  $Y$  способом побудови контуру деталі в CAD-системі, установивши нуль деталі в початок її системи координат.

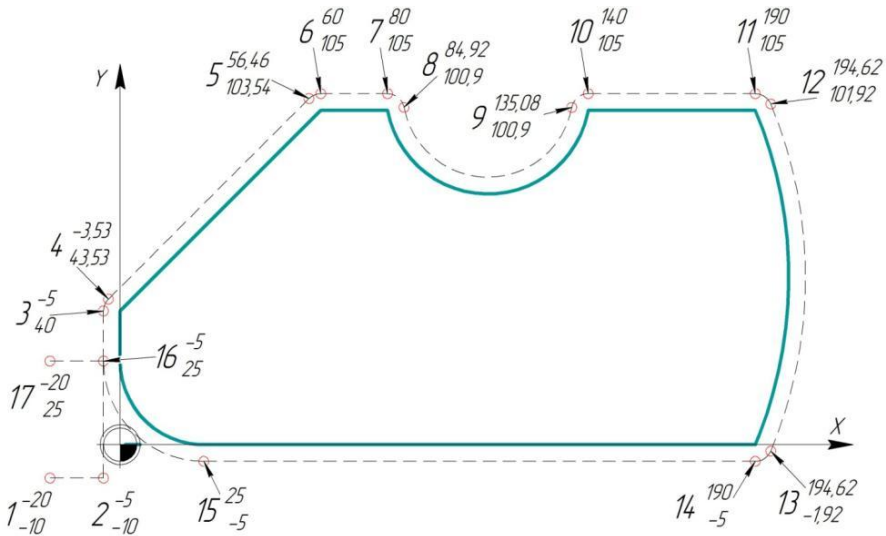


Рисунок 5.74 – Характерні точки для оброблення зовнішнього контуру

*Фрагмент КП для оброблення контуру:*

N010 G90 G54 G17 – задання абсолютної системи координат (G90), зміщення нульової точки деталі у функції (G54), площини оброблення (G17);

N020 T01 M06 – вибір інструмента номером 1 (кінцевої фрези діаметром 10 мм);

N030G00 X-20. Y-10. M3 S1000 – підхід на прискореній подачі в початкову точку для опускання по координаті Z (за фрези діаметром 10 мм вона прискорено підходить у координати X-20 та Y-10);

N040 G00 G43 Z-15. H01 – підхід на задану глибину оброблення й увімкнення корекції (G43 H01) на довжину інструмента;

G01 G41 D01 X-5. F100 – підхід до оброблюваного контуру та ввімкнення корекції на радіус інструмента зліва (G41 D01);

Y40.; G02 X-3.53 Y43.53 I5. J0.; G01 X56.46 Y103.54; G02 X60. Y105. I3.54 J3.54; G01. X80.; G02 X84.92 Y100.9 I0. J-5.; G03 X135.08 Y100.9 I25.08 J4.6; G02 X140. Y105. I4.83 J-0.94; G01 X190.; G02 X194.62 Y101.92 I0. J-5.; G02 X194.62 Y-1.92 I-124.62 J-51.92; G02 X190. Y-5. I-4.62 J1.92; G01 X25.; G02 X-5. Y25. I0. J30. – оброблення контуру на робочій подачі 100 мм/хв способом переміщення за координатними осями X, Y із координатами характерних точок контуру;

N090 G01 X-20. G40 – відхід від оброблюваного контуру й вимкнення корекції на радіус інструмента справа (G40);

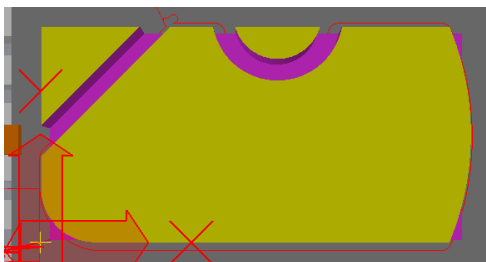
N120 G00 Z300. G49 M5 – підйом на висоту 300 мм над поверхнею деталі, скасування корекції (G49) та вимкнення шпинделя (M5);

N130 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).



а)



б)

Рисунок 5.75 – Оброблення контуру:  
а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

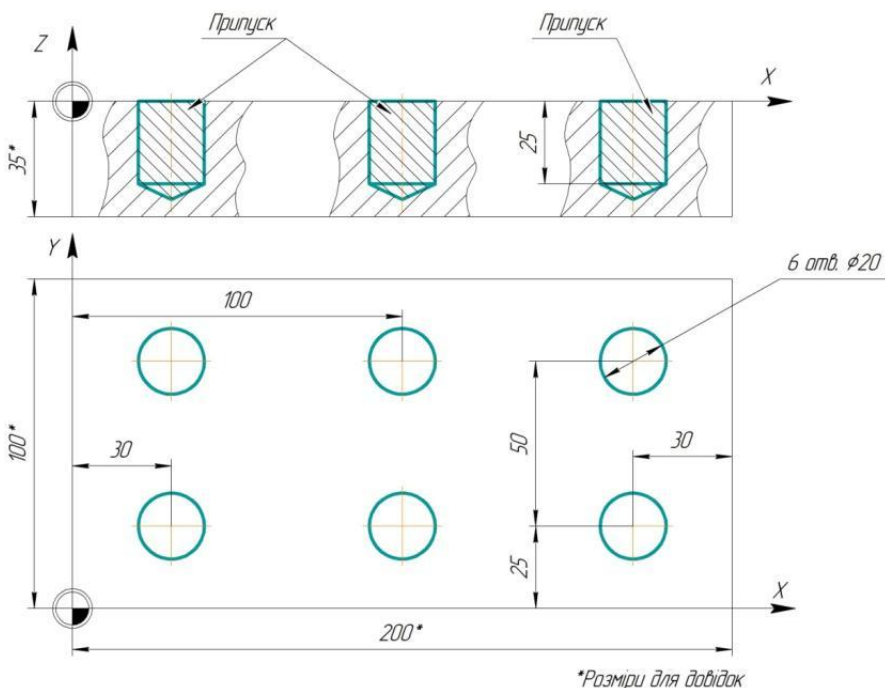


Рисунок 5.76 – Фрагмент деталі зі свердлінням отворів відповідно до циклу G81

Фрагмент КП для свердління отворів із коментарями наведений нижче, а записана КП в програмному забезпеченні «SSCNC» та вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.77.

*Фрагмент КП для свердління отворів відповідно до циклу G81:*

N010 G90 G54 G17 G40 – задання абсолютної системи координат (G90), зміщення нульової точки деталі у функції (G54), площини оброблення (G17), скасування корекції на радіус інструмента (G40);

N020 T01 M06 – вибір інструмента номером 1 (спірального свердла діаметром 20 мм);

N030 G00 X0. Y0. M3 S1000 – підхід на прискореній подачі в початкову точку циклу (свердло діаметром 20 мм прискорено підходить у координати X0 та Y0);

N040 G43 Z10. H01 – підхід у площину оброблення й увімкнення корекції (G43 H01) на довжину інструмента;

N050 G81 X30. Y25. R5. Z-25. F100; X30. Y75.; X100. Y75.; X100. Y25.; X170. Y25.; X170. Y75. – виклик циклу звичайного свердління (G81), зазначення отворів за координатами X, Y, задання глибини отвору (Z-25) та площини безпеки (R5);

N060 G80 – скасування циклу свердління;

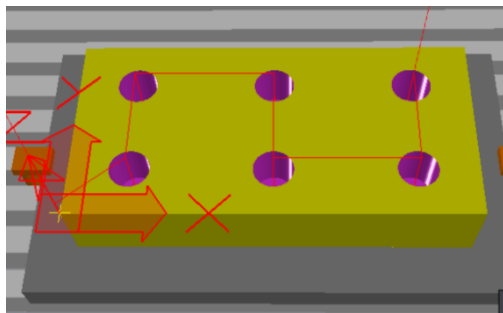
N080 G00 Z300. G49 M5 – підйом на висоту 300 мм над поверхнею деталі, скасування корекції (G49) і вимкнення шпинделя (M5);

N090 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).



а)



б)

Рисунок 5.77 – Оброблення отворів відповідно до циклу G81:

а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня



Фрагмент КП для свердління й нарізування різей в отворах відповідно до циклів G81 та G84 із коментарями наведений нижче, а записана КП в програмному забезпеченні «SSCNC» і вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.79.

*Фрагмент КП для свердління й нарізування різей в отворах відповідно до циклів G81 та G84:*

N010 G90 G54 G17 G40 – задання абсолютної системи координат (G90), зміщення нульової точки деталі у функції (G54), площини оброблення (G17), скасування корекції на радіус інструмента (G40);

N020 T01 M06 – вибір інструмента номером 1 (спірального свердла діаметром 20 мм);

N030 G00 X30. Y25. M3 S1000 – підхід на прискореній подачі в початкову точку циклу (свердло діаметром 20 мм прискорено підходить у координати X30 та Y25);

N040 G43 Z10. H01 – підхід у площину оброблення й увімкнення корекції (G43 H01) на довжину інструмента;

N050 G81 R5. Z-25.F100; X30. Y75.; X100. Y75.; X100. Y25.; X170. Y25.; X170. Y75. – виклик циклу звичайного свердління (G81), зазначення отворів за координатами X, Y, задання глибини отвору (Z-25) та площини безпеки (R5);

N060 G80 – скасування циклу свердління;

N080 G00 Z300. G49 M5 – підйом на висоту 300 мм над поверхнею деталі, скасування корекції (G49) і вимкнення шпинделя (M5);

N120 T02 M06 – вибір інструмента номером 2 (мігчика M 22 мм × 2 мм);

N125 M3 S100 – напрямок обертання шпинделя за годинниковою стрілкою й кількість обертів за хвилину (100);

N130 G00 X30. Y25. M3 S1000 – підхід на прискореній подачі в початкову точку циклу (свердло діаметром 20 мм прискорено підходить у координати X30 та Y25);

N040 G43 Z10. H02 – підхід у площину оброблення й увімкнення корекції (G43 H02) на довжину інструмента;

N050 G84 Z-20. R5. F200; X30. Y75.; X100. Y75.; X100. Y25.; X170. Y25.; X170. Y75. – виклик циклу нарізування різьї мігчиком (G84), зазначення отворів за координатами X, Y, задання глибини різі (Z-20) та площини безпеки (R5);

N060 G80 – скасування циклу різьонарізування;

N080 G00 Z300. G49 M5 – підйом на висоту 300 мм над поверхнею деталі, скасування корекції (G49) та вимкнення шпинделя (M5);

N090 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).

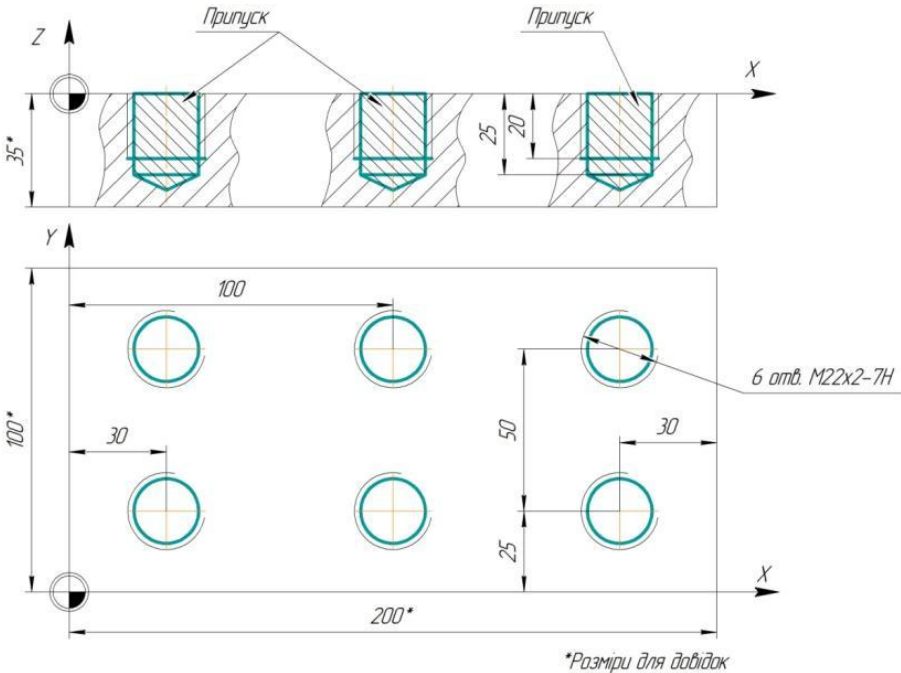
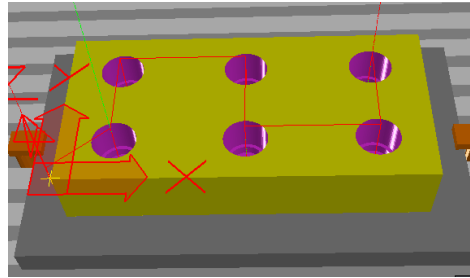


Рисунок 5.78 – Фрагмент деталі зі свердлінням і нарізуванням різьї в отворах відповідно до циклів G81 та G84



а)



б)

Рисунок 5.77 – Оброблення отворів відповідно до циклів G81 та G84: а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

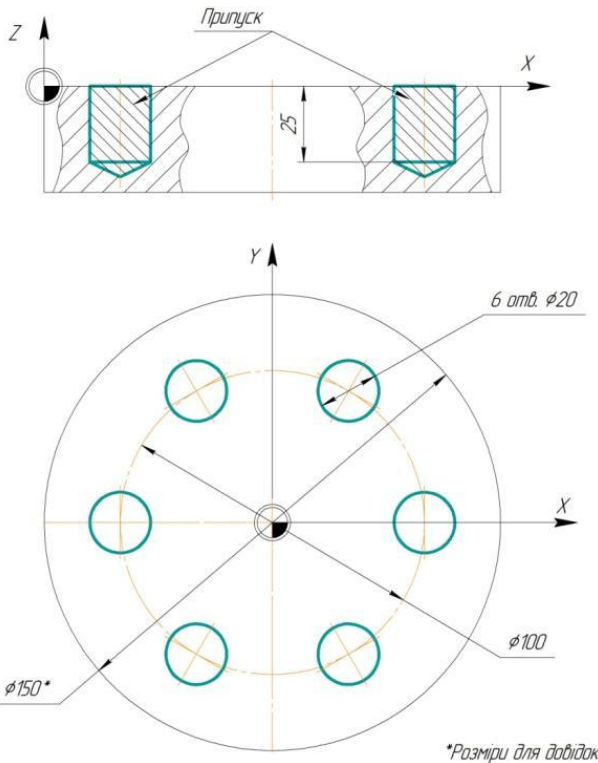


Рисунок 5.78 – Фрагмент деталі зі свердлінням отворів, розміщених на діаметрі, відповідно до циклу G81 із застосуванням параметричного програмування

Часто на виробництвах необхідне свердління отворів, розміщених на певному діаметрі рівномірно по колу, наприклад отворів для болтів у напівмуфтах, кришках, фланцях та ін. Програмувати для цього кожен точку досить трудомістко. Крім того, можна помилитися, неправильно зазначивши координату хоча б одного отвору. Зважаючи на це, для зменшення кількості кадрів КП та її спрощення застосовують параметричне програмування, за допомогою якого після задання певних параметрів система ЧПК автоматично визначає координати кожного отвору.

Фрагмент КП для свердління отворів відповідно циклу G81 із застосуванням параметричного програмування з коментарями наведений нижче, а записана КП в програмному забезпеченні «SSCNC» та вигляд деталі після оброблення – на рисунку 5.79.

*Фрагмент КП для свердління отворів відповідно циклу G81 із застосуванням параметричного програмування:*

N010 G90 G54 G17 G40 – задання абсолютної системи координат (G90), зміщення нульової точки деталі у функції (G54), площини оброблення (G17), скасування корекції на радіус інструмента (G40);

N020 T01 M06 – вибір інструмента номером 1 (спірального свердла діаметром 20 мм);

N030 G00 X0. Y0. M3 S1000 – підхід на прискореній подачі в початкову точку циклу (за свердла діаметром 20 мм вона прискорено підходить у координати X0 та Y0);

N040 G43 Z10. H01 – підхід у площину оброблення й увімкнення корекції (G43 H01) на довжину інструмента;

G65 Z-25. P0034 R5. F200 A60. B60. I50 H6 – виклик функції підпрограми (G65) із зазначенням номера (назви) підпрограми, заданням глибини отвору (Z-25), площини безпеки (R5), подачі (F200), радіуса розміщення отворів (I50) (тобто отвори розміщені на діаметрі 100 мм згідно з кресленням), а також задання кута розміщення першого отвору (A60.), кутів між отворами (B60.) та кількості отворів (H6);

O0034#3=1 WHILE[#3LE#11]DO1 #5=#1+[#3-1]\*#2  
 #6=#24+#4\*COS[#5] #7=#25+#4\*SIN[#5] G98G81X#6Y#7Z#26R#  
 18F#9 #3=#3+1 END1 G80 M99 GOTON100 – підпрограма  
 номером 0034 (її можна застосовувати для написання власних  
 програм з оброблення отворів, розміщених по колу). Запис  
 виконано з використанням тригонометричних функцій. Зокрема,  
 «#» – символ параметра, а цифра за ним – його номер. Перехід  
 до основної програми в кадр 100;

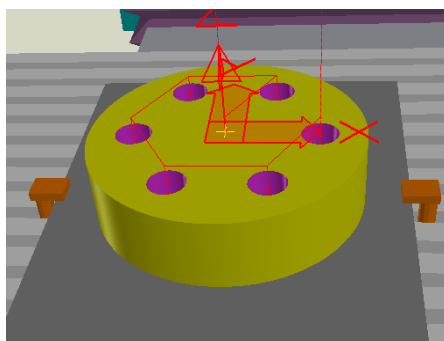
N100 M5 G0 Z150. – підйом на висоту 150 мм над  
 поверхнею деталі та вимкнення шпинделя (M5);

N110 M30 – кінець програми;

% – символ кінця програми (обов'язковий).



а)



б)

Рисунок 5.79 – Оброблення отворів відповідно до циклу G81  
 із застосуванням параметричного програмування:

а) фрагмент КП; б) оброблена поверхня

Здавання звіту практичної частини передбачає виконання завдань із програмування фрезерного оброблення контуру деталі (рис. 5.80) за варіантами. Геометричні параметри (розміри) деталі вираховують із креслення залежно від заданих розмірів  $l_1$ ,  $K$ ,  $\alpha$  способом вибору за номером останньої цифри залікової книжки та прізвищем студента, як у роботі з токарного оброблення. Відповідно до розрахованого значення потрібно вибирати параметри  $l_1$ ,  $K$ ,  $\alpha$  з таблиці 5.5. Товщина деталі  $S$  становить 10 мм.

Таблиця 5.5 – Значення параметрів  $l_1$ ,  $K$ ,  $\alpha$

Число	$l_1$ , мм	$K$	$\alpha$ , °
1	120	1,8	8
2	132	3,4	10
3	141	2,1	12
4	147	1,95	15
5	151	2,15	18
6	126	3,1	25
7	163	1,7	22
8	170	2,5	28
9	157	3,75	14

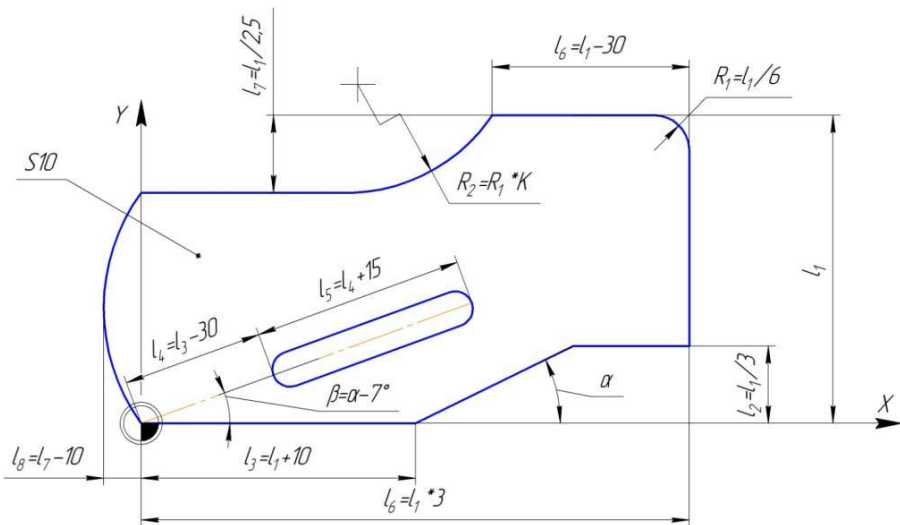


Рисунок 5.80 – Завдання для звіту щодо виконання роботи з фрезерування контуру деталі

Програмування оброблення деталі за рисунком 5.80 у разі позитивного результату механічного оброблення в програмному забезпеченні «SSCNC» дозволить одержати позитивну оцінку (60–80 % балів, передбачених за роботу). Для більшої кількості

балів (81–100 %) студент повинен самостійно створити фрагмент (креслення) деталі із зовнішнім і внутрішнім контурами, отворами й точними поверхнями для оброблення яких потрібні не менше ніж чотири різальні інструменти, а також скласти КП для механічного оброблення такої деталі та симулювати оброблення в програмному забезпеченні «SSCNC». Додатковим заохоченням буде написання КП із застосуванням параметричного програмування.

## Список літератури

1. Марцинковский В. А. Насосы атомных электростанций. Расчет. Конструирование. Эксплуатация / В. А. Марцинковский, С. С. Шевченко. – Сумы : Университетская книга, 2018. – 472 с.
2. Карелин В. Я. Насосы и насосные станции : учебник / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1986. – 320 с.
3. Спиридонов Е. К. Расчет и проектирование лопастных насосов : учебное пособие / Е. К. Спиридонов, А. С. Прохасько. – Челябинск : ЮУрГУ, 2004. – 62 с.
4. Беркин А. Б. Физические основы вакуумной техники : учебное пособие / А. Б. Беркин, А. И. Василевский. – Новосибирск : НГТУ, 2014. – 84 с.
5. Прокопенко Н. И. Экспериментальные исследования двигателей внутреннего сгорания : учебное пособие / Н. И. Прокопенко. – Санкт-Петербург : Лань, 2010. – 592 с.
6. Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении : пособие для инженеров / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – Москва : ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
7. Интегрированные генеративные технологии : учебное пособие / А. И. Грабченко и др. ; под ред. А. И. Грабченка. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2011. – 396 с.
8. Gibson I. Additive Manufacturing Technologies. Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. W. Rosen, B. Stucker. – Springer Science + Business Media, 2019. – 459 p.
9. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур та ін. – Львів : Новий Світ, 2010. – 422 с.



Електронне навчальне видання

**Дегтярьов** Іван Михайлович,  
**Нешга** Анна Олександрівна,  
**Колесник** Віталій Олександрович

# **ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск В. О. Іванов  
Редактор О. В. Федяй  
Комп'ютерне верстання І. М. Дегтярьова

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 14,88. Обл.-вид. арк. 15,25.

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.