

## Лекція 11.

### ЕЛЕМЕНТИ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ РІЗАННЯМ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

#### 11.1. Особливості ТП обробки деталей на верстатах з ЧПУ

Верстати з програмним управлінням дозволяють автоматизувати процеси механічної обробки навіть в умовах дрібносерійного виробництва. Гнучкість систем ЧПУ і можливість підключення верстатів до загальної системи управління від однієї ЕОМ створюють перспективу використання цих верстатів і в умовах масового виробництва.

*Ефективність застосування верстатів з ЧПУ* досягається за рахунок:

- зменшення витрат на технічне оснащення;
- зменшення втрат від браку;
- скорочення виробничих площ;
- підвищення режимів різання;
- концентрації операцій.

В умовах дрібносерійного та серійного виробництва складова машинного часу на універсальних верстатах складає 20–40 %, на верстатах з ЧПУ вона збільшується до 50–70 %. Точність позиціонування деталі досягає 0,01 мм, а повторного встановлення – 0,0025 мм. Точність обробки на сучасних верстатах такого типу в середньому досягає 7-6-го квалітету IT, а в деяких випадках – 6-5-го.

##### 11.1.1. Структура ТП

Технологічний процес (ТП) обробки на металорізальних верстатах (МРВ) з ЧПУ, на відміну від традиційного (не автоматизованого, в тому числі на основі ЧПУ) ТП, вимагає більшої деталізації при розв'язку технологічних задач і врахування специфіки подання інформації.

Структурно ТП, як і традиційний ТП, поділяється на *операції*, елементами яких є:

- = встановлення;
- = позиції;
- = технологічні (основні) переходи;
- = допоміжні переходи;
- = робочі ходи;
- = допоміжні ходи.

Деталізація ТП для верстатів з ЧПУ призводить до поділу виконавчих механізмів на ходи на кроки.

Кожен із кроків являє собою переміщення на ділянці траєкторії різального інструмента вздовж визначеного геометричного елемента, на якому не змінюються режими різання.

Наприклад, кроками є:

- окремі переміщення інструмента вздовж прямої або кола з постійною швидкістю;
- розгін та гальмування на початку та в кінці руху.

Кроки як такі в тексті УП не фіксуються.

Найпростішими складовими процесу обробки є елементарні переміщення та технологічні команди, що відпрацьовуються ПЧПУ.

*Елементарні переміщення* формуються із врахуванням обмежень конкретного ПЧПУ. До них відносяться, наприклад, необхідність розташування дуги кола в межах одного квадранта або задання відрізка прямої числом дискрет, що не перевищує ємності регістра пам'яті ПЧПУ тощо.

*Технологічні команди*, реалізовані виконавчими механізмами верстата, забезпечують необхідні умови відпрацювання робочими органами МРВ елементарних переміщень.

Послідовність елементарних переміщень і технологічних команд визначає зміст УП.

Вихідна документація для розробки УП роботи МРВ з ЧПУ включає:

- 1) креслення деталі та заготовки;
- 2) карту технологічного процесу;
- 3) карту операційну;
- 4) карту налагодження інструментів;
- 5) карту кодування інформації;
- 6) карту замовлення на розробку УП (необов'язково);
- 7) відомість деталей, що обробляються на верстатах з ЧПУ.

УП можуть бути записані на різних програмоносіях.

При виконанні лабораторного практикуму в Державному університеті “Житомирська політехніка” програмоносіями є:

- перфострічка для ПЧПУ Координата 70 С (лабораторна робота № 1);
- електронна пам'ять на базі мікропроцесорів для ОС ЧПУ Електроніка НЦ-31 (лабораторна робота № 2);
- електронна пам'ять на базі мікропроцесорів для ОС ЧПУ 2Р22 (лабораторна робота № 3).

Розробка ТП і УП для верстатів з ЧПУ є однією із задач технологічної підготовки виробництва (ТПВ) та повинна виконуватись у строгій відповідності із врахуванням зв'язків між структурними елементами цієї системи.

### 11.1.2. Етапи проєктування ТП для верстатів з ЧПУ

У загальному випадку проєктування ТП для верстатів з ЧПУ можна поділити на три стадії:

- розробка маршруту обробки деталі;
- розробка ТП;
- підготовка УП.

Створення УП для верстатів з ЧПУ в умовах автоматизованого виробництва є найважливішою задачею всієї системи ТПВ. Документація, що розроблена на першій стадії, є вихідною для виконання робіт на другій та третій стадіях.

### 11.1.3. Короткі коментарі щодо розробки ТП на верстатах з ЧПУ

Основні правила побудови ТП на верстатах з ПУ відповідають загальним принципам технологічної обробки деталі. Специфічні особливості проєктування ТП обумовлюються наявністю програми роботи технологічного обладнання.

Схема послідовності виконуваних робіт щодо обробки деталей на МРВ з ЧПУ та/або з ЦПУ (на сьогодні є нехарактерним) наведена на рис. 11.1.

Технологічна підготовка для виробництва деталей на МРВ з ЧПУ вимагає розробки ТП за переходами з ретельно встановленими режимами різання, що особливо важливо для контурних систем ЧПУ.

При розробці ТП встановлюються:

- не тільки вид і траєкторія переміщення кожного з інструментів;
- але і його вихідне (початкове) положення;
- характер траєкторії на ділянках підходу, врізання тощо.

У *контурних системах ЧПУ* (Ф3) звичайно використовується *відносний спосіб відліку* координат опорних точок еквідистанти оброблюваного контуру, а в *позиційних* (Ф2) – *абсолютний спосіб відліку*.

При *відносному способі відліку* координат (для Ф3) за нульове положення приймається положення виконавчого органу, яке він займає перед початком переміщення до наступної опорної точки.

Перша опорна точка при відносному способі відліку називається вихідною точкою або старт-точкою. Вона вивіряється при настроюванні верстата і відіграє роль початку координат, від якого розраховується програма обробки конкретної деталі.

При *абсолютному способі* точка початку відліку координат (Ф2) називається плаваючим нулем. Особливістю технологічної підготовки є необхідність точного розрахунку траєкторії переміщення кожного інструмента на всьому шляху його руху. При цьому задається напрямок переміщення.

Вказані коментарі тим чи іншим чином є зрозумілими при безпосередньому виконанні лабораторного практикуму.

#### 11.1.3.1 Вибір номенклатури деталей для обробки на верстатах з ЧПУ

Економічна доцільність використання МРВ з ЧПУ багато в чому визначається номенклатурою деталей, відібраних для обробки на цих верстатах. Вона встановлюється техніко-економічним порівнянням сумарних або приведених витрат за декількома варіантами обробки.

При визначенні ефективності необхідно враховувати також зміни, що вносяться використанням верстатів з ЧПУ в організацію виробництва.

При виборі номенклатури деталей враховуються:

- 1) складність конфігурації оброблюваних поверхонь, обсяг і номенклатура випуску деталей із врахуванням того, що обробка складних поверхонь на верстатах з контурними системами ЧПУ більш ефективна, ніж простих;
- 2) точність міжцентрових відстаней у деталях, оскільки з підвищенням точності підвищується ефективність обробки на верстатах з позиційними системами ЧПУ;
- 3) відносне розташування оброблюваних поверхонь щодо зручності виконання технологічних операцій;
- 4) оброблюваність матеріалу заготовки;
- 5) можливість уніфікації технологічних баз;
- 6) трудомісткість на верстатах без ЧПУ або на верстатах з ЧПУ (аналоги, альтернативи);
- 7) можливість конструктивної уніфікації оброблюваних поверхонь або їх елементів з метою створення умов для розробки модульних, групових ТП та уніфікованих елементів УП;
- 8) можливість створення ділянок верстатів з ЧПУ і організації багатостатного обслуговування.

Підвищення продуктивності обладнання та якості виробів при максимальному зменшенні витрат часу і засобів на розробку, ТПВ і обробку заготовок на верстатах з ЧПУ значною мірою визначається технологічністю конструкції деталі.

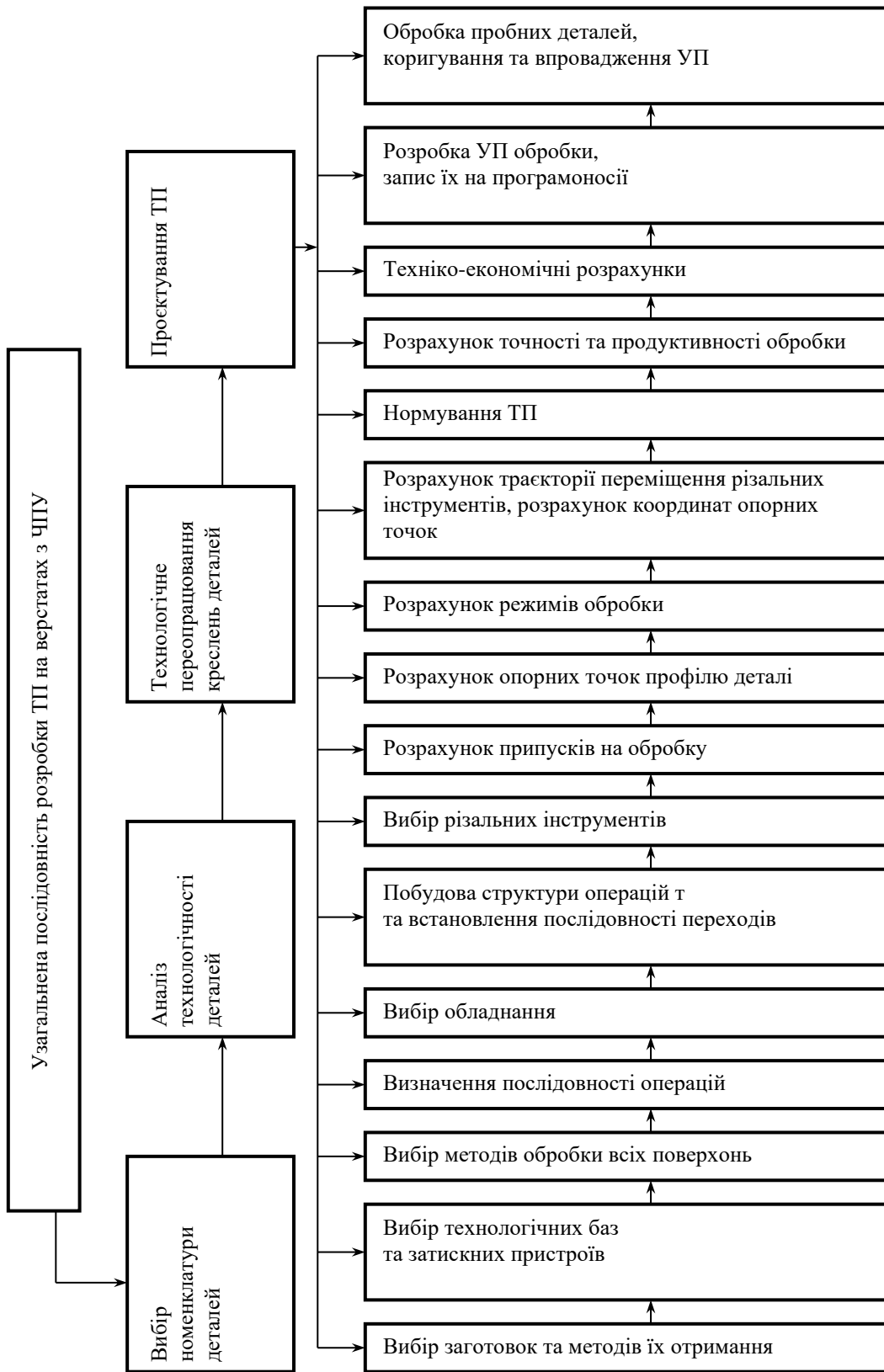


Рис. 1.1.1. Узагальнена схема послідовності робіт при розробці ТП на верстаті з ЧПУ

### 11.1.3.2. Вимоги до технологічності деталей

Вимоги до технологічності деталей особливо підвищуються в умовах автоматизованого виробництва. Моделювання процесу обробки з використанням ЕОМ дозволяє визначити не тільки ступінь технологічності деталі, але й можливість застосування типових, групових та модульних ТП.

На етапі ТПВ конструкторські документи всіх деталей повинні бути ретельно проаналізовані (конструктивно-технологічно переопрацьовані) з метою підвищення ступеня конструктивної та технологічної уніфікації елементів деталі. Розв'язок цієї задачі визначає повний перелік типорозмірів інструментів і виявляє ступінь їх застосування, дає можливість побудувати параметричні ряди інструментів і деталей. Це найбільш повно забезпечує спадковість ТП, їх елементів та засобів технологічного оснащення.

На етапі аналізу конструкції кожної деталі виявляється також, наскільки технологічною є її конструкція. Ця задача полягає у визначенні можливості виготовлення та експлуатації даного виробу при використанні наявних у розпорядженні конкретного підприємства матеріальних і трудових ресурсів.

В цілому задачі забезпечення технологічності конструкції розв'язуються на всіх етапах робіт, починаючи з поставки продукції на виробництво.

Таким чином, основними задачами відпрацювання конструкції деталі на технологічність є:

- 1) створення зручних баз;
- 2) можливість заміни встановлень позиціями;
- 3) перевірка відповідності проставлення розмірів вимогам розробки УП в залежності від способу відліку координат системою ЧПУ;
- 4) можливість обробки максимальної кількості поверхонь одним інструментом при мінімальній кількості встановлень.

Відпрацювання на технологічність деталей, що підлягають обробці на МРВ з ЧПУ, є характерним для початку процесу ТПВ, однак в умовах автоматизованого виробництва доцільно використовувати ці роботи на більш ранній стадії, що вимагає підвищення технологічної підготовки інженерів-конструкторів.

Загальні вимоги до технологічності деталей, що обробляються на верстатах ЧПУ або планованих до виготовлення на цих верстатах, є наступними:

- уніфікація внутрішніх і зовнішніх радіусів;
- уніфікація елементів форм деталей та їх розмірів;
- створення таких конфігурацій деталей, що забезпечують вільний доступ інструментів для обробки поверхонь;
- забезпечення можливості надійного і зручного базування деталей при обробці.

Усі ці вимоги насамперед спрямовані на:

- скорочення типорозмірів застосованих різальних інструментів;
- використання більш продуктивних (економічно вигідних) інструментів;
- заміну спеціальних інструментів стандартними;
- зменшення кількості перевстановлень деталей;
- зменшення кількості та необхідності необхідного оснащення;
- підвищення точності базування та точності і продуктивності обробки;
- зменшення ступеня короблення деталей при обробці та обсягу наступного слюсарного (верстатного) ручного доопрацювання;
- скорочення витрат на розрахунок і підготовку УП.

Для забезпечення зазначених вимог необхідно:

- 1) перевірити проставлення розмірів на кресленнях деталей, лінійні розміри проставити від єдиних баз, тобто застосувати координатний спосіб проставлення, за необхідності вибрати координати центрів дуг спряжень поверхонь;
- 2) форму деталі задавати поєднанням простих геометричних фігур;
- 3) криволінійні контури і криві задавати поєднанням простих геометричних фігур;
- 4) щоб внутрішні радіуси сполучень контурів були одного розміру зі стандартного ряду діаметрів для всіх ділянок деталей для виконання обробки деталі за однією програмою без зміни інструментів;
- 5) праві та ліві деталі проектувати як взаємні дзеркальні відображення – це полегшує програмування.

Зазначені вимоги, як правило, можуть бути виконані шляхом зміни геометричної форми або окремих елементів деталі, зміни деяких розмірів, переміщення окремих елементів тощо.

Приклади нетехнологічних і технологічних конструктивних рішень деталей, що обробляються на верстатах з ЧПУ, можуть бути графічно проаналізовані.

При обробці деталей на верстатах з ЧПУ (особливо на фрезерних) необхідно є строга орієнтація їх відносно осей координат верстата і прив'язка до вихідної точки траєкторії руху інструмента. Тому вже при аналізі технологічності деталі необхідно передбачити елементи для її базування. Якщо деталь не має конструктивних отворів, що можуть бути використані як базові, то такі отвори треба ввести, розташувачи їх на максимальній відстані один від одного. Можна вести в конструкцію деталі тільки один отвір, якщо має місце другий – конструктивний (див. табл. 11.1).

Найменші допустимі діаметри базових отворів  $d_{\min}$ 

Розміри деталі, мм	<100	100–200	200–1000	1000–2000	>2000
$d_{\min}$ , мм	4	6	10	16	20

За неможливості виконання технологічних базових отворів в деталі необхідно передбачити у заготовці спеціальні технологічні приливи, у яких і розмістити базові отвори.

При аналізі шорсткості поверхневого шару обробленої деталі необхідно враховувати, що після обробки кінцевими фрезами на горизонтальних поверхнях залишаються помітні навіть на око сліди фрезерування. У більшості випадків висота уступів та мікронерівностей не перевищує 0,01–0,05 мм.

Визначено, що краще мати такі мікронерівності, ніж ризики від слюсарної дообробки поверхні абразивними кругами. Мікронерівності після фрезерної обробки як концентратори напружень менш небезпечні, ніж ризики. Тому за можливістю при проектуванні ТП слюсарну доробку поверхонь, оброблених на верстатах з ЧПУ, вводити не потрібно. Це зберігає поверхневий шар обробленої поверхні, що зміцнений наклепом при фрезеруванні та має порівняно задовільний мікрорельєф.

### 11.1.3.3. Технологічне переопрацювання креслень деталей

Вказане виконується на одному з етапів розробки ТП. Зміст технологічного переопрацювання креслень деталей означає виконання необхідних змін креслення і схеми проставлення розмірів, що спрямовані на підвищення технологічності конструкції.

В даному випадку до основних вимог технологічності відносяться:

- стандартизація та уніфікація елементів заготовок;
- уніфікація радіусів з'єднань поверхонь і канавок для виходу інструментів;
- спрощення форм контуру заготовок;
- вибір конструктивного компонування заготовки, що забезпечує максимальну доступність інструментів до всіх оброблюваних поверхонь;
- створення єдиних конструкторських і технологічних баз та проставлення розмірів від цих баз відповідно до прийнятої системи координат для програмування обробки заготовки.

Зазначені, а також деякі інші вимоги повинні бути спрямовані на:

- скорочення кількості встановлень заготовки;
- скорочення кількості типорозмірів різальних інструментів;
- покращення умов базування;
- підвищення точності виготовлення заготовок.

Необхідно виконувати ряд правил, що полегшують процес програмування обробки конкретної деталі, а саме:

1) всі розміри проставляються на деталі в прямокутній системі координат від єдиних конструктивних баз деталі;

2) бажано також проставляти розміри від осі деталі до центрів всіх кіл, якщо це не вимагає від конструктора додаткових трудомістких обчислень;

3) проставляти розміри потрібно так, щоб дані про кожен контур були за можливістю на одній проєкції, а розмірні ланцюги мали двосторонній допуск ( $\pm$ ), що полегшує розробку УП;

4) у випадку, якщо контури виробу задані аналітично або таблицею координат точок, у кресленні не повинно бути посилань на плаз. Замість вказівок “Контур зняти з плазу” необхідно писати “Контур розраховувати за даними теоретичного креслення, першу деталь звірити з плазом”;

5) креслення виконують у масштабі, дотримуючись його по всьому полю креслення;

6) на полі креслення рекомендується робити напис “Виготовляти на верстаті з ЧПУ” або “Контур фрезерувати на верстаті з ЧПУ”.

Для полегшення задач програмування необхідно:-

- спрощувати геометричні образи;
- типізувати основні (повторювані) геометричні елементи заготовки;
- бажано, щоб оброблювані поверхні заготовки представляли собою площини або криволінійні поверхні, профіль яких утворений спряженням прямих з дугами кола;
- на корпусних заготовках необхідно уникати похилих стінок;
- в загальному випадку необхідно використовувати заготовки з такими поверхнями, обробку яких можна було б виконувати за УП для контурної системи з лінійно-круговим інтерполіатором без додаткового використання методів апроксимації поверхонь;
- програмування спрощується, якщо обробка поверхонь ведеться з управлінням одночасно не більше, ніж по одній або двох координатах.

Для задоволення вимог механічної обробки на верстатах з ЧПУ в загальному випадку необхідно вважати технологічними такі заготовки, форми і розміри яких відповідають умовам виконання обробки в безперервному

автоматичному циклі. Допускаються короткі перерви, що обумовлені ручною заміною інструментів або контрольними вимірюваннями, але не зв'язані з виконанням ручних прийомів управління обробкою.

Якщо конструкція заготовки відповідає загальним вимогам механічної обробки і програмування, то підвищення технологічності конструкції в першу чергу повинне бути спрямоване на скорочення типорозмірів різальних інструментів, що необхідні для повної обробки заготовок. При цьому необхідно використовувати виготовлені централізовано стандартні різальні інструменти.