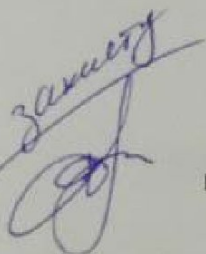


Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет  
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

До Замість  


### ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти Оберемок Ярослав Костянтинович  
(п.п.)

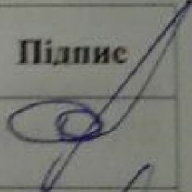
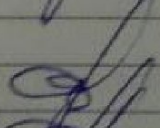

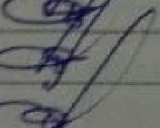
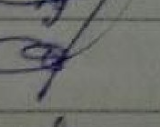
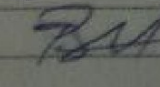
академічної групи 131М-23Н-1 ММФ  
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг  
машинобудівного виробництва»

на тему: «Аналіз та синтез альтернативних варіантів обробки деталі  
складної геометрії за умови використання спеціальних САМ-систем

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

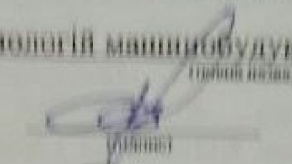
| Керівники                 | Прізвище,<br>ініціали | Оцінка за шкалою |               | Підпис  |
|---------------------------|-----------------------|------------------|---------------|---|
|                           |                       | рейтинговою      | інституційною |   |
| кваліфікаційної<br>роботи | Дербаба В.А.          | 75               | добре         |  |
| розділів:                 |                       |                  |               |   |
| Аналітичний               | Дербаба В.А.          | 80               | добре         |  |
| Технологічний             | Дербаба В.А.          | 77               | добре         |  |
| Спеціальний               | Дербаба В.А.          | 79               | добре         |  |
| Науково-<br>дослідницький | Дербаба В.А.          | 74               | добре         |  |
| Рецензент                 | Корсун В.І.           | 80               | добре         |  |
| Нормоконтролер            | Рубан В.М.            | 76               | добре         |  |

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

ЗАТВЕРДЖЕНО;  
завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства

  
(підпис)

В.А. Дербоба  
(підпис та прізвище)

2025 року

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Оберемок Ярослав Костянтинівич  
(прізвище та ініціали)

академічної групи 131М-23н-1 ММФ  
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

спеціалізації за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

### 1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

### 2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень - процес механічної обробки деталі на верстаті з ЧПК.

Предмет досліджень - швидкість виконання поставлених завдань в середовищі САМ-програми Autodesk PowerMill, функціональні можливості системи, складність роботи програми і повнота інформації.

Мета - ефективність використання інформаційних технологій на прикладі автоматизованої механічної обробки корпусної деталі на верстаті з ЧПК.

Вихідні дані для проведення роботи - 1) аналіз джерел інформації з питань режимних параметрів механічної обробки; 2) аналіз застосування інтерфейсу САМ-системи при виконанні конструкторських та технологічних задач; 3) визначення впливу режимів різання та стратегій фрезерної обробки на продуктивність і оптимальність керуючої програми для верстата з ЧПК.

### 3 ОЧКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна - удосконалено підхід до оцінки стратегій (траєкторій) фрезерної обробки деталі в САМ-системі Autodesk PowerMill та створення методики

залежності основного часу обробки від режимних параметрів обробки заданих матеріалів заготовки та інструментальних матеріалів циліндричних фрез.

Практична цінність - оптимізація стратегії обробки в САМ-програмі на прикладі корпусної деталі, скорочення (зменшення) часу на підготовку конструкторсько-технологічної документації, розрахунок оптимізованої керуючої програми для обладнання і скорочення часу механічної обробки на верстаті з ЧПК як наслідок.

#### 4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Створити практичні рекомендації щодо застосування альтернативних технологічних методів виготовлення деталі типу Корпус за умов використання CAD-CAM систем.

#### 5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

| Найменування етапів робіт    | Строки виконання робіт (початок-кінець) |
|------------------------------|---|
| Аналітичний розділ           | 29.01.2025-25.02.2025                   |
| Технологічний розділ         | 26.02.2025-24.03.2025                   |
| Спеціальний розділ           | 25.03.2025-21.04.2025                   |
| Науково-дослідницький розділ | 22.04.2025-05.05.2025                   |

Завдання видано

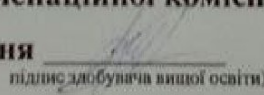
  
(підпис керівника)

В.А. Дербоба  
(ініціали та прізвище)

Дата видачі 15 січня 2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 5 травня 2025 р.

Прийнято до виконання

  
(підпис здобувача вищої освіти)

Я.К. Оберемок  
(ініціали та прізвище)

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ЕЙ БІ ЕМ ТЕХНОЛОДЖИ».

## 1.1 Загальна характеристика деталі

На машинобудівних підприємствах успішне впровадження нової техніки залежить від ступеня оснащення підприємства сучасним технологічним обладнанням. Для всіх видів технологічного обладнання характерна наявність значної кількості деталей, різноманітної і складної форми. Більшість деталей в процесі виготовлення піддається різним видам механічної обробки. Продуктивність процесу обробки залежить від режимів різання, від матеріалу ріжучої частини інструменту, його конструкції, геометричних параметрів. У дипломному проєкті для розрахунку режимів різання застосовується аналітичний метод.

Корпусні деталі широко застосовуються в машинобудуванні. Конструктивною особливістю деталей цього типу є те, що вони мають складну форму і досить високі вимоги по точності розмірів, розташуванню поверхонь, міцності, жорсткості, зносостійкості, корозійної стійкості та іншими властивостями, які визначаються їх призначенням. Відносно точності обробки до корпусних деталей висувають такі основні вимоги:

- точність геометричної форми плоских поверхонь;
- точність відстані між двома паралельними площинами;
- точність відносного повороту плоских базуючих поверхонь;
- точність діаметральних розмірів і форми отворів;
- точність відносного положення осей отворів;
- паралельність або перпендикулярність осей отворів і площин;

Широке поширення засувок пояснюється рядом переваг, серед яких:

- порівняльна простота конструкції;
- відносно невелика будівельна довжина;
- можливість застосування в різноманітних умовах експлуатації;
- малий гідравлічний опір.

Остання якість робить засувки особливо цінними для використання в магістральних трубопроводах, для яких характерний постійний високошвидкісний рух середовища.

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

Дана деталь входить до складу складальної одиниці (засувка клинова). Засувки клинові з висувним шпинделем призначені для установки їх на трубопроводах як запірний пристрій для водо- газонефтяних сумішей, для ізоляції зовнішніх факторів довкілля, зокрема, попадання пилу, сміття і вологи, що сприяє порушенню нормального функціонування елементів механізму.

Засувки виготовляються з клином жорсткої конструкції. з ручним керуванням, під електропривод, з нормальним і вибухозахисним електроприводом, а також зі спеціальним типом і вимогами з управління. Приєднання до трубопроводу: фланцеве по ДСТУ 12818, з відповідними фланцями по ДСТУ12820 або ДСТУ 12821. Робочий тиск засувок: 1,6 МПа; 2,5МПа; 4,0 МПа. Кліматичне виконання по ДСТУ 15150: У1; ХЛ1.

Корпус засувки, що розглядається в даному курсовому проєкті виготовлений зі сталі ХМ25Л. Засувка сталева відноситься до класу відновлюваних, ремонтваних виробів.

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

Відносне  
звуження

$\Psi \geq 30\%$

## 1.2 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Одним з важливих етапів проектування є відпрацювання конструкції деталі на технологічність. Оцінка технологічності може проводитися кількісно і якісно, з розрахунком показників технологічності по ДСТУ14.201-2003.

При цьому якісна оцінка передуює кількісній і характеризує технологічність загалом.

Метою даного етапу є виявлення можливості зниження собівартості і трудомісткості виготовлення без шкоди для службового призначення деталі, за рахунок незначних змін в її конструкції.

В результаті якісної оцінки деталей на технологічність, можна зробити наступні висновки:

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

спеціальним ризиком інструментів, таких як спеціальні відкриті ризики.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Таблиця 1.3 – Результати аналізу робочого кресленику деталі

| Найменування поверхонь               | Кількість поверхонь | Квалітет | Параметр шорсткості, Ra |
|--------------------------------------|---------------------|----------|-------------------------|
| Виточення Ø510H12                    | 2                   | 12       | 12,5                    |
| Центральний отвір Ø585H11            | 2                   | 11       | 6,3                     |
| Торець магістрального фланцю Ø585h12 | 2                   | 12       | 12,5                    |
| Торець виточення                     | 2                   | 14       | 12,5                    |
| Торець центрального отвору           | 2                   | 12       | 6,3                     |
| Отвір Ø591                           | 2                   | 14       | 12,5                    |
| Виточення середнього фланцю          | 1                   | 14       | 6,3                     |
| Тильна сторона фланцю                | 2                   | 14       | 12,5                    |
| Отвір Ø506                           | 2                   | 14       | 12,5                    |
| Торець отвору Ø486                   | 2                   | 14       | 12,5                    |
| Отвір Ø33                            | 40                  | 14       | 12,5                    |
| Отвір M30                            | 14                  | 7        | 6,3                     |
| Фаска                                | 14                  | 14       | 12,5                    |
| Торець виточення фланцю              | 1                   | 14       | 12,5                    |
| Торець виточення фланцю              | 1                   | 14       | 6,3                     |
| Зовнішня циліндрична поверхня Ø580   | 2                   | 14       | 12,5                    |
| Отвір Ø486                           | 2                   | 14       | 12,5                    |
| Фланець Ø710                         | 2                   | 14       | 12,5                    |
| Торець фланцю Ø710                   | 2                   | 14       | 12,5                    |

Кількісну оцінку технологічності корпусу проведено за такими показниками: коефіцієнти використання матеріалу ( $K_{\text{ВМ}}$ ), точності обробки ( $K_{\text{ТО}}$ ), шорсткості ( $K_{\text{Ш}}$ ).

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{ВМ}} = \frac{M_{\text{Д}}}{M_{\text{З}}}, \quad K_{\text{ВМ}} = \frac{600}{710} = 0,84 \quad (1.1)$$

де  $M_{\text{Д}}$  – маса деталі, кг;

$M_{\text{З}}$  – маса заготовки, кг.

Знайдений коефіцієнт використання матеріалу задовольняє вимогу технологічності деталі. Чим вище коефіцієнт використання матеріалу тим краще економія металу, ріжучого інструменту, машинного часу.

Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{\text{ТО}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{СР}}}, \quad (1.2)$$

де  $A_{\text{СР}}$  – середній квалітет точності обробки деталі по всі поверхнях.

$$A_{\text{СР}} = \frac{12 \cdot 2 + 11 \cdot 2 + 12 \cdot 2 + 12 \cdot 2 + 7 \cdot 14 + 14 \cdot 73}{97} = 12,5$$

Згідно кресленику деталі визначено, що  $A_{\text{СР}} = 12,5$ . Тоді  $K_{\text{ТО}} = 0,92$ . Так як  $K_{\text{ТО}} > 0,8$ , то деталь можна враховувати технологічною за цим параметром.

Коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_{\text{Ш}} = \frac{1}{B_{\text{СР}}}, \quad (1.3)$$

де  $B_{\text{СР}}$  – середнє числове значення параметра шорсткості усіх поверхонь деталі.

$$B_{\text{СР}} = \frac{12,5 \cdot 77 + 6,3 \cdot 20}{97} = 11,22$$

Визначено, що  $B_{\text{СР}} = 11,22$ . Тоді  $K_{\text{Ш}} = 0,09$ . Так як  $K_{\text{Ш}} < 0,32$ , то деталь можна враховувати технологічною за цим параметром.

На підставі якісного та кількісного аналізу на технологічність можна зробити наступний висновок: деталь цілком технологічна, немає необхідності вносити в її конструкцію будь-які зміни.

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1. Визначення типу виробництва

Тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій ( $K_{з.о.}$ ):

$1 < K_{з.о.} < 10$  – масове і багатосерійне виробництво;

$10 < K_{з.о.} < 20$  – середньосерійне виробництво;

$20 < K_{з.о.} < 40$  – малосерійне виробництво;

$40 < K_{з.о.}$  – одиничне виробництво.

Величину коефіцієнту закріплення операцій з достатньою для учбового проекту точністю, розраховано наступним чином:

а) Визначаємо розрахункову кількість верстатів:

$$C_{pi} = \frac{N \cdot t_{шт-к}}{60 \cdot F_o \cdot K_v \cdot K_p}, \quad (2.1)$$

де,  $N$  – об'єм річного випуску деталей;  $N = 180$  шт.;

$t_{шт-к}$  – штучно-калькуляційний час і-ой операції, хв;

$F_o$  – ефективний річний фонд часу роботи верстату;

$K_v$  – середній коефіцієнт виконання норм часу:

При обробці на верстатах з ручним керуванням  $K_v = 1,2$ ;

При обробці на верстатах з ЧПК,  $K_v = 1,0$ ;

$K_p$  – коефіцієнт, що враховує витрати з організаційно-технічних причин  $K_p = 0,95$ .

При розрахунку по цій формулі як  $t_{шт-к}$  використовуємо штучно-калькуляційний час базового технологічного процесу, скориговане шляхом зменшення на 10-20%. Коригування проводиться з урахуванням подальшого удосконалення базового технологічного процесу і деякого скорочення трудомісткості виготовлення деталі. Результати розрахунку  $C_{pi}$  зведені в таблицю 2.1.

б) Визначаємо прийнятну кількість устаткування на кожній верстатній операції ( $S_i$ ), розрахункову кількість верстатів ( $C_{pi}$ ) округляємо до цілих значень.

в) Розраховуємо коефіцієнт завантаження робочого місця ( $\eta_{zi}$ ):

$$\eta_{zi} = \frac{C_{pi}}{S_i}, \quad (2.2)$$

г) Визначаємо число операцій, за одним робочим місцем ( $O_{pmi}$ ):

$$O_{pmi} = \frac{\eta_n}{\eta_{zi}}, \quad (2.3)$$

де  $\eta_n$  – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання. Приймаємо  $\eta_n = 0,8$

д) Розраховуємо величину коефіцієнта закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O_{pmi}}{\sum P_i}, \quad (2.4)$$

де  $\sum P_i$  – загальна кількість робочих місць, на яких виконуються всі верстатні операції з виготовлення деталі, без урахування верстатів-дублерів. Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.1. Маємо:  $K_{з.о.} = 10,7$ .

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Серійне виробництво характеризується виготовленням чи ремонтом виробів, які періодично повторюються партіями. Для середньосерійного виробництва коефіцієнт закріплення операцій приймають від 10 до 20. Серійний тип виробництва характеризується виготовленням обмеженої номенклатури деталей партіями, що повторюються через певний проміжок часу. Це дозволяє використовувати поряд з універсальним спеціальне обладнання. Для організації серійного виробництва характерні такі риси: цехи, як правило, мають у своєму складі предметно-замкнуті ділянки, обладнання на яких розставляються по ходу типового технологічного процесу.

## 2.2. Аналіз базового технологічного процесу

В результаті проведення аналізу базового технологічного процесу виготовлення засувки клинової були виявлені наступні моменти:

- спосіб отримання заготовки для заданого річного обсягу випуску і матеріалу деталі є цілком раціональним;
- загальна послідовність обробки деталі, включаючи всі операції технологічного процесу - механічна обробка, технічний контроль, встановлена обґрунтовано;
- одним з недоліків базового технологічного процесу є використання неавтоматизованих верстатних і контрольних пристосувань;
- сильна диференціація операцій призводить до низького завантаження обладнання і як наслідок зниження продуктивності;
- технологічні можливості верстатів відповідають параметрам виконуваних на них операцій;
- в технологічному процесі використовується обладнання, як з ручним так і програмним управлінням, що відповідає вимогам що ставляться до серійного виробництва, але певна обмеженість можливостей обладнання призводить до зайвих витрат часу і матеріалу на формування поверхні деталі;
- застосування токарних верстатів моделі 1541 для обробки магістральних фланців не дозволяє обробляти деталь на високих швидкостях через високий дисбаланс деталі;
- застосування застарілих ріжучих матеріалів, таких як Т5К10 або Т15К6 також не дозволяє обробляти деталь на більш високих режимах.

Таблиця 2.2 – Маршрутний технологічний процес (базовий варіант)

| № операції               | Короткий зміст операції  | Обладнання                             | Базування                                |
|--------------------------|--|--|--|
| 000 Заготівельна         | Заготовка – вилівок.   |  |  |
| 005 Фарбування           |  |  |  |
| 010 Токарна              | Обробка 1-го м. фланцю;<br>Точити поверхню 1;<br>Підрізати торці 2 і 3;<br>Точити поверхню 4;<br>Розточити поверхню 5. | Токарно<br>карусельний<br>верстат 1541 | Циліндрична<br>поверхня 6 і<br>торець 7. |
| 015Токарна               | Обробка 2-го м. фланцю;<br>Подальша обробка<br>аналогічна операції 010.  | Токарно<br>карусельний<br>верстат 1541 | Аналогічно<br>операції № 010             |
| 020 Комбінована<br>з ЧПК | Фрезерувати фланець;<br>Фрезерувати торець 8;<br>Фрезерувати торець 9;<br>Зацентрувати 14 отворів 10.                  | Оброб. центр<br>IP1250ПМФ4             | Аналогічно<br>операції № 010             |
| 025<br>Токарна з ЧПК     | Розточити поверхні 11,12;<br>Розточити начисто поверхні<br>11,12,13,14,15,16.  | Токарний<br>верстат<br>1516Ф3          | Аналогічно<br>операції № 010             |
| 030 Свердлильна          | Свердлити 20 отворів 17 в<br>першому і другому<br>магістральних фланцях.   | Свердлильний<br>верстат 2М57           | Аналогічно<br>операції № 010             |
| 035 Свердлильна          | Свердлити 14 отворів 18,<br>зенкувати фаску в отворі 18,<br>нарізати різьбу в отворі 18.                               | Свердлильний<br>верстат 2М57           |  |
| 040 Слюсарна             | Зачистити задирки в 20<br>отворах в м. фланцях і в 14<br>отворах в середньому фланці.                                  | Стіл<br>слюсарний<br>БМА 04-26         |  |
| 045 Миюча                | Промити деталь і обдати<br>стиснутим повітрям.   | Миюча<br>машина<br>НКА 98-83           |  |
| 050 Іспит<br>гідралічний | Випробувати деталь на<br>міцність, щільність.  | Стенд<br>НКА 98-15А                    |  |
| 055 Зварювальна          | Виправлення дефектів лиття.  |  |  |
| 060 Іспит<br>гідралічний | Аналогічно операції №050.  | Стенд<br>НКА 98-15А                    |  |
| 065 Миюча                | Промити деталь і обдати<br>стиснутим повітрям.   | Миюча<br>машина<br>НКА 98-83           |  |
| 070 Контрольна           | Перевірити розміри,<br>шорсткість поверхонь,<br>технічні вимоги.   |  |  |

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Рис. 2.1 – Оброблювальні поверхні деталі

На базі проведеного аналізу, орієнтуючись на автоматизоване виробництво, розроблені наступні пропозиції щодо зміни базового технологічного процесу:

- замінити обладнання з ручним керуванням (1541, 2М57) на обладнання з програмним управлінням;
- старе обладнання з програмним управлінням (IP-1250ПМФ4, 1516Ф3) замінити на нове високопродуктивне, більш економічне;
- підвищити концентрацію виконання операцій за рахунок застосування верстатів типу «оброблювальний центр»;
- проектуючи механічну обробку, врахувати можливість застосування так званого високошвидкісного різання, що дозволить різко підвищити продуктивність і зменшити знос ріжучого інструменту;
- замінити старий інструмент - новим, що дозволяє досягати більш високих швидкостей різання і кращу якість оброблюваної поверхні;
- з огляду на можливості нового обладнання і підвищення концентрації операцій перерозподілити припуски на механічну обробку, скоротивши витрати дорогого матеріалу деталі.

### 2.3. Вибір заготовки

Вибір виду вихідної заготовки є відповідальним етапом розробки технологічного процесу, так як докорінно впливає на технологію виготовлення деталі. Особливо важливо правильно вибрати заготовку для умов серійного автоматизованого виробництва.

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

дефектів досягається конструкцією з рівномірною товщиною стінок.

Зовнішні контури виливка є поєднанням простих геометричних тіл, з плавними переходами. Необроблювані поверхні виливки, перпендикулярні до площини роз'єму, мають конструктивні ухили, що вже передбачено кресленням деталі.

Деталь середніх розмірів, по масі ставиться до виливків II вагової групи.

#### **Положення виливки у формі**

Приймаємо горизонтальне положення найбільших габаритних розмірів виливки. У цьому випадку зменшується неоднорідність сплаву при литті, спрощується забезпечення затвердіння заготовки.

#### **Визначення параметрів заготовки**

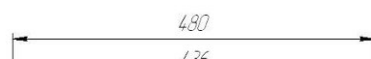
Визначимо шорсткість поверхні заготовки за ступенем точності поверхні виливки. Найбільший габаритний розмір для вибору – 960 мм;

ступінь точності поверхні виливки - 16, шорсткість поверхні Ra = 63 мкм.  
 Клас точності розмірів і мас – 12, ряд припусків – 5. Складемо зведену розрахункову таблицю 2.3 розмірів заготовки.

Таблиця 2.3 – Розміри заготовки

| Розмір деталі, мм | Припуск, мм | Допуск, мкм | Розмір заготовки |
|-------------------|-------------|-------------|------------------|
| Ø710              | 12          | 10,0        | Ø 722 ± 5,0      |
| 700               | 12          | 10,0        | 712 ± 5,0        |
| Ø585              | 12          | 9,0         | Ø 573 ± 4,5      |
| Ø486              | 10          | 9,0         | Ø 476 ± 4,5      |
| 570               | 10          | 9,0         | 580 ± 4,5        |
| 340               | 10          | 8,0         | 330±4,0          |
| 40                | 6           | 4,4         | 46±2,2           |

Примітка:  
 1. Ливарні радіуси 5 мм.  
 2. Ливарні уклони 2° в сторону збільшення тіла деталі.



**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

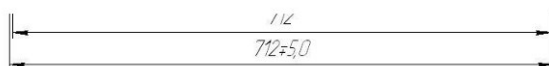


Рис. 2.2 – Заготовка

Вибираємо спосіб виготовлення заготовки: лиття в піщано-глинясту форму.

## 2.4. Розробка маршрутного технологічного процесу

На підставі аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі і вибору методу отримання заготовки розробимо проектний варіант маршрутного технологічного процесу, що забезпечує вимоги робочого креслення деталі при одночасному зниженні витрат на її виготовлення. В якості основного технологічного обладнання для проектного варіанту маршрутного технологічного процесу вибираємо горизонтальний двошпindelний обробний центр Trevisan DS 900 / 300C. Даний обробний центр призначається для обробки складних, важких корпусних деталей. Всі характеристики даного верстата повністю задовольняють умовам обробки проектного варіанту технологічного процесу.

Основною відмінною рисою горизонтально-розточувальних центрів фірми Trevisan є наявність двох незалежних шпindelів, розташованих в шпindelю вузла.

Базовий шпindelь призначений для виконання основних операцій з використанням інструменту, що обертається: фрезерування площин і уступів, нарізання різьби, свердління і розгортання отворів.

Токарний план-супорт призначений для виконання будь-яких операцій, в основі яких покладено токарна обробка: підрізування торців, зовнішнє і внутрішнє точіння, обробка зовнішніх і внутрішніх канавок, нарізання різьби різцем (в тому числі конічної), задня підрізування фланців, точіння фасок. Основним рухом є обертання інструмента з одночасним програмованим переміщенням уздовж осі «U», перпендикулярно до осі обертання план-супорта. Переміщення вздовж осі «U» відбувається за рахунок шариковинтової пари по напрямних від незалежного приводу.

Перевагою даного методу обробки в порівнянні з використанням стандартного шпindelю є фіксоване положення заготовки в процесі обробки (і таким чином точність обробки не залежить від маси деталі).

Дана система обробки забезпечує стабільність процесу різання, відсутність інерційних сил, що виникають при обертанні заготовки, і підвищену точність обробки в межах  $\pm 0,010\text{мм}$ .

Вузол шпинделя має головний двигун, який забезпечує обертання базового шпинделя і план-супорта.

Важливою перевагою даної конфігурації верстатів є мінімізація використання спеціального інструменту (для обробки складних внутрішніх поверхонь) за рахунок програмування план-супорта під різні види обробки.

Застосування цього верстата з використанням прогресивних ріжучих інструментів, таких як різці, фрези зі змінними пластинами, свердла зі змінними пластинами фірми Seco, Walter дозволить значно скоротити основний час обробки деталі.

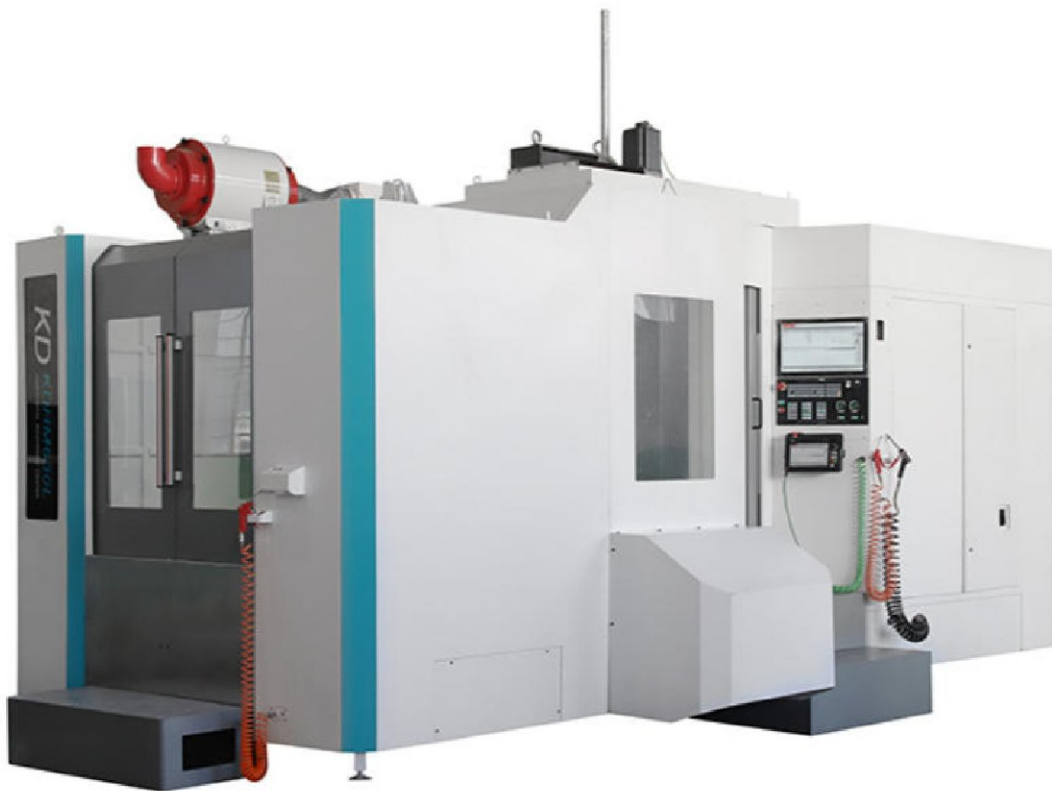


Рис 2.3 – Горизонтальний, двошпindelний оброблювальний центр Trevisan модель DS 900/300C

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики верстату

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| <i>Програмуємий план-супорт</i>       |            |
| Переміщення по осі «U»                | 300 мм     |
| Потужність                            | 37 КВт     |
| Частота обертів                       | 450 об/хв  |
| <i>Стандартний розточний шпиндель</i> |            |
| Потужність                            | 37 КВт     |
| Частота обертів                       | 1500 об/хв |
| <i>Переміщення по осям</i>            |            |
| Ось X                                 | 2700 мм    |
| Ось Y                                 | 1440 мм    |
| Ось Z                                 | 1650 мм    |

## Палетна система з гідравлічним приводом

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| Кількість палет                    | 2 шт           |
| Габаритні розміри палети           | 1250 × 1250 мм |
| Максимальне навантаження на палету | 6000 кг        |

## Точність верстату

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| Точність позиціювання по осям | ± 0.015 мм |
| Точність повтору по осям      | ± 0.005 мм |

## Інструмент

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Максимальна довжина інструменту | 800 мм  |
| Максимальна маса інструменту    | 60 кг   |
| Час зміни інструменту           | 20 сек. |
| Інструментальний магазин        | 40 поз. |

## Система ЧПК

|            |           |
|------------|-----------|
| Стойка ЧПК | Fanuc 31i |
|------------|-----------|

## Енергетичні вимоги верстату

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Напруга             | 380 В ±10% |
| Частота             | 50 Гц      |
| Тиск повітря        | 6 бар      |
| Потужність верстату | 107 КВт    |

|                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| Габаритні розміри | 8900 × 7400 × 4500 |
| Маса              | 60 000 кг          |

Розроблений маршрут можливо представити в наступному вигляді:

1. Отримання заготовки (виливка).
2. Механічна обробка.
3. Контроль.

Даний маршрутний технологічний процес був складений на основі аналізу існуючих типових маршрутних технологічних процесів. Відповідно до креслення деталі розробимо технологічний маршрут і оформлений у вигляді таблиці 2.6.

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

Таблиця 2.5 – Технологічний маршрут

| № операції                   | Короткий зміст операції   | Обладнання                     | Базування                             |
|------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------------------|
| 000<br>Заготівельна          | Лиття в піщану форму  |                                |                                       |
| 005<br>Фарбування            |   |                                |                                       |
| 010<br>Комбінована           | Точити поверхню 1;<br>Підрізати торець 2;<br>Підрізати торець 3;<br>Точити поверхню 4;<br>Точити поверхню 5;<br>Розточити поверхні 6,7;<br>Точити поверхні 8,9,10;<br>Поворот палети на 180°;<br>Аналогічно обробити другий фланець<br>Поворот палети на 90°;<br>Фрезерування поверхні 11;<br>Фрезерування торця 12;<br>Свердлими 14 отворів 13;<br>Зенкувати фаску 14 в 14 отворах;<br>Нарізати різьбу 15 в 14 отворах;<br>Поворот палети на 90°;<br>Свердлими 20 отворів 16;<br>Поворот палети на 180°;<br>Аналогічно обробити другий фланець | Trevisan<br>DS900\300C         | За трьома<br>горловинам<br>и в призми |
| 015<br>Слюсарна              | Зачистити задирки в 20 отворах в магістральних фланцях і в 14 отворах в середньому фланці.  | Стіл<br>слюсарний<br>БМА 04-26 |                                       |
| 020<br>Миюча                 | Промити деталь и обдути стиснутим повітряним.   | Миюча<br>машина<br>НКА 98-83   |                                       |
| 025<br>Іспит<br>гідравлічний | Випробувати деталь на міцність, щільність   | Стенд<br>НКА98-15А             |                                       |
| 030<br>Миюча                 | Промити деталь и обдути стиснутим повітряним.   | Миюча<br>машина<br>НКА 98-83   |                                       |
| 035<br>Контрольна            | Перевірити розміри, шорсткість поверхонь, технічні вимоги.  |                                |                                       |

## **2.5 Вибір технологічних баз і послідовності технологічних переходів**

Вибір технологічних баз і послідовності технологічних переходів є відповідальним етапом проектування технологічних процесів, від якого залежать якість, продуктивність і ефективність процесу виготовлення машин.

На операції 010 заготовка базується на три призми по необробленим поверхням і затискачем зверху. На початку обробки відбувається обмір всієї деталі вимірювальною головкою ReniShaw, тобто верстат визначає нулі деталі. Потім на першій позиції відбувається обробка першого магістрального фланця, а саме: зовнішні, внутрішні і торцеві поверхні фланця. На другій позиції відбувається аналогічна обробка другого магістрального фланця. На третій позиції обробляється середній фланець: свердлиться 14 отворів і нарізується різьба, а також відбувається обробка поверхонь, що знаходяться в сполученні з кришкою. На четвертій і п'ятій позиції відбувається обробка кріпильних отворів першого і другого магістрального фланця.

## **2.6 Вибір і проектування засобів технологічного оснащення**

Ріжучий інструмент вибираємо з літератури [3,4] відповідно до переходів. Для точіння зовнішніх циліндричних поверхонь, підрізування торців вибираємо державку типу S.

Для чорнового розточування внутрішніх циліндричних поверхонь приймаємо державку типу M. Для чистового розточування внутрішніх циліндричних поверхонь приймаємо державку типу D.

Тип і розмір пластини визначаються вибором державки. Для вибору стружколому і сплаву пластини скористаємося системою Secolor. За цією системою вибираємо для чорнової обробки стружколом R5, а для чистової обробки стружколом MF2.

При фрезеруванні використовуємо інструмент фірми Walter. Застосовуємо фрезу F 4042.B27.080.Z06.16 з зовнішнім діаметром 80 мм і числом ріжучих пластин рівним 6. При свердлінні отворів використовуємо свердла perfoMAX

## 2.7. Розрахунок припусків і операційних розмірів

Розрахунок припусків аналітичним методом ведемо згідно методики [5] для поверхонь  $\text{Ø}585\text{H}11(+0,44)$  и  $340\text{H}12(+0,57)$

Технологічний маршрут обробки поверхні  $\text{Ø}585\text{H}11$  складається з чистового і чернового точіння.

Використовуючи складений маршрутний технологічний процес, записуємо технологічні переходи для оброблювальних поверхонь в порядку їх виконання.

Мінімальний припуск при обробці зовнішніх і внутрішніх поверхонь:

$$2 \cdot Z_{i \min} = 2 \cdot ((R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i}) \quad (2.5)$$

де  $R_{z i-1}$  – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

$h_{i-1}$  – глибина дефектного поверхневого слою на попередньому переході;

$\Delta_{\Sigma i-1}$  – сумарне відхилення розташування поверхні;

$\varepsilon_i$  – похибка установки заготовки при виконуваному переході.

Значення  $R_{z i-1}$ ,  $h_{i-1}$  визначаємо для кожного технологічного переходу:

Відливка  $R_z = 300$  мкм,  $h = 300$  мкм.

Чорнове точіння  $R_z = 100$  мкм,  $h = 100$  мкм,

Чистове точіння  $R_z = 25$  мкм,  $h = 25$  мкм,

Сумарне значення похибок (відхилів від площини) визначається:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{кор}}^2 + \Delta_{\text{см}}^2} \quad (2.6)$$

де  $\Delta_{\text{оп}}$  – відхилення від паралельності площини в мкм на 1 мм (0,8 мкм);

$\Delta_{\text{кор}} = \Delta_K \cdot L$  – викривлення корпусних деталей в мкм на 1 мм

$L$  – довжина площини (700мм).

$$\Delta_{\text{кор}} = 0,8 \cdot 700 = 560 \text{ мкм}$$

$\Delta_{\text{см}} = 1,5$  мкм – зміщення стержнів.

Тоді маємо:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{560^2 + 1500^2} = 1600 \text{ мкм}$$

Похибка установки:

$$E_y = \sqrt{E_6^2 + E_3^2} \quad (2.7)$$

де  $E_6$  – похибка базування

$$E_6 = 0,5TD \cdot \left(\frac{1}{\sin \alpha} + 1\right) \quad (2.8)$$

$$E_6 = 0,5 \cdot 2400 \cdot \left(\frac{1}{\sin 120^\circ} + 1\right) = 2239 \text{мкм}$$

Розрахункові значення  $\Delta$  занесені в табл. 2.6;

Похибка установки на подальших переходах визначається аналогічно.

Мінімальний припуск:

- під чорнове точіння Ø585H11:

$$2z_{\text{mini}} = 2 \cdot (300 + 300 + \sqrt{1600^2 + 2239^2}) = 6704 \text{мкм},$$

- під чистове точіння Ø585H11:

$$2z_{\text{mini}} = 2 \cdot (100 + 100 + \sqrt{96^2}) = 592 \text{мкм},$$

Максимальний розрахунковий розмір для кожного технологічного переходу:

- під чистове точіння Ø585H11:

$$d_p = 585 + 0,44 = 585,44 \text{мм},$$

- під чорнове точіння Ø585H11:

$$d_p = 585,44 - 0,592 = 584,848 \text{мм},$$

- під заготовку:

$$d_p = 584,848 - 6,704 = 578,144 \text{мм}.$$

Найменші граничні розміри наступним чином:

- для чистового точіння Ø585H11:

$$d_{\text{min}} = 585,44 - 0,44 = 585 \text{мм}$$

- для чорнового точіння Ø585H11:

$$d_{\text{min}} = 584,848 - 1,550 = 583,298 \text{мм},$$

- для заготовки:

$$d_{\text{min}} = 578,144 - 9,0 = 569,144 \text{мм},$$

Граничні значення припусків  $Z_{\text{ПР}}^{\text{MAX}}$  визначаємо як різницю граничних розмірів і  $Z_{\text{ПР}}^{\text{MIN}}$  – як різницю найменших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходів:

$$2z_{\text{MIN}2} = 585,44 - 584,848 = 0,592\text{мм} = 592\text{мкм},$$

$$2z_{\text{MIN}1} = 584,848 - 578,144 = 6,704\text{мм} = 6704\text{мкм},$$

$$2z_{\text{MAX}2} = 585 - 583,298 = 1,702\text{мм} = 1702\text{мкм},$$

$$2z_{\text{MAX}1} = 583,298 - 569,144 = 14,154\text{мм} = 14154\text{мкм},$$

Перевірка:

$$(T_{\text{дз}} - T_{\text{дд}}) - (Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}}) = (9000 - 440) - (15856 - 7296) = 0.$$

Аналогічно визначаються припуски на розмір  $340\text{H}12\left(+0,57\right)$ .

Результати розрахунків припусків наведені в таблиці 2.6 і таблиці 2.7.

Таблиця 2.6 – Розрахунок припусків на обробку Ø585H11

| Розрахунок припусків на обробку і граничних розмірів за технологічними переходами Ø585H11 <sup>(+0,44)</sup> |                   |        |                    |                     |                       |                      |        |                     |        |                   |          |
|--|-------------------|--------|--------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|--------|---------------------|--------|-------------------|----------|
| Ra=6,3 мкм   |                   |        |                    |                     |                       |                      |        |                     |        |                   |          |
| Маршрут обробки  | Елементи припуску |        |                    |                     | Розрахунковий припуск | Розрахунковий розмір | Допуск | Розмір по переходам |        | Граничні припуски |          |
|  | Rz, мкм           | h, мкм | $\Delta\Sigma$ мкм | $\varepsilon$ , мкм |                       |                      |        | 2Zmin, мкм          | D, мм  | Td, мкм           | Dmax, мм |
| Виливка  | 300               | 300    | 1600               | -                   |                       | 578,144              | 9000   | 578,14              | 569,14 |                   |          |
| Розточування чорнове   | 100               | 100    | 96                 | 2239                | 6704                  | 584,48               | 1550   | 584,84              | 583,29 | 14154             | 6704     |
| Розточування чистове   | 25                | 25     | 5,76               | 0                   | 592                   | 585,44               | 440    | 585,44              | 585    | 1702              | 592      |
|  |                   |        |                    |                     |                       |                      |        |                     |        | 15856             | 7296     |

Таблиця 2.7 – Розрахунок припусків на обробку 340Н12

| Розрахунок припусків на обробку і граничних розмірів за технологічними переходами 340Н12 <sup>(+0,57)</sup> |                   |        |                      |                     |                       |                      |         |                     |          |                   |           |
|---|-------------------|--------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|---------|---------------------|----------|-------------------|-----------|
| Ra=6,3 мкм  |                   |        |                      |                     |                       |                      |         |                     |          |                   |           |
| Маршрут обробки   | Елементи припуску |        |                      |                     | Розрахунковий припуск | Розрахунковий розмір | Допуск  | Розмір по переходам |          | Граничні припуски |           |
|   | Rz, мкм           | h, мкм | $\Delta\Sigma$ , мкм | $\varepsilon$ , мкм | Zmin, мкм             | D, мм                | Td, мкм | Dmax, мм            | Dmin, мм | Zmax, мкм         | Zmin, мкм |
| Виливка   | 300               | 300    | 1600                 | -                   | -                     | 333,34               | 8000    | 333,34              | 325,34   | -                 | -         |
| Підрізання чорнове торець 1   | 100               | 100    | 96                   | 2239                | 4439                  | 337,78               | 5500    | 337,78              | 332,28   | 6939              | 4439      |
| Підрізання чистове торець 1   | 25                | 25     | 5,76                 | 0                   | 296                   | 338,07               | 5000    | 338,07              | 333,07   | 796               | 296       |
| Виливка   | 300               | 300    | 1600                 | -                   | -                     | 338,07               | 5000    | 338,07              | 333,07   | -                 | -         |
| Підрізання чорнове торець 2   | 100               | 100    | 96                   | 0                   | 2200                  | 340,27               | 1000    | 340,27              | 339,27   | 6200              | 2200      |
| Підрізання чистове торець 2   | 25                | 25     | 5,76                 | 0                   | 296                   | 340,57               | 570     | 340,57              | 340      | 726               | 296       |
|   |                   |        |                      |                     |                       |                      |         |                     |          | 14661             | 7231      |

## 2.8. Розрахунок режимів різання

### Вибір інструментального оснащення для токарного переходу

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Приймаємо частоту обертання  $n=128$  об/хв.

Уточнюємо швидкість різання у зв'язку з прийнятою частотою обертання:

$$V = \frac{3,14 \cdot 585 \cdot 128}{1000} = 235,1 \text{ м/хв}$$

### **Чистове внутрішнє точіння**

Початкові дані:  $\varnothing 585$ ;  $t=0,85\text{мм}$ ;  $f=0,1\text{мм}$ ;  $V_C=320\text{ м/хв}$

Частота обертання:

$$n = \frac{320 \cdot 1000}{585 \cdot 3,14} = 174,2 \text{ об/хв}$$

Приймаємо частоту обертання  $n=175\text{ об/хв}$

Уточнюємо швидкість різання у зв'язку з прийнятою частотою обертання:

$$V = \frac{3,14 \cdot 585 \cdot 175}{1000} = 321,4 \text{ м/хв}$$

### **Вибір режимно-інструментального оснащення для фрезерного переходу**

Розрахунок режимів різання проведемо за методикою викладеної в каталозі Walter select [4]. Розробимо технологічну операцію на фрезерування із застосуванням прогресивного режимно-інструментального оснащення. Обробка уступу глибиною 15мм з шорсткістю  $R_a = 6,3\text{ мкм}$ . Процедура покрокового вибору інструментального оснащення:

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

- Для чистового фрезерування вибираємо ADGT1204PER-D51 WKP25.

Крок 5 Вибираємо з технічної інформації режими різання.

Крок 5.1 По групі матеріалу заготовки і обраної для кожного типу пластини умови обробки вибираємо швидкості різання.

- Група матеріалу заготовки - P.
- Для чорнового фрезерування з умовою обробки WKP35,  $V_c = 220$  м/хв.
- Для чистового фрезерування з умовою обробки WKP25,  $V_c = 260$  м/хв.

Крок 5.2. По групі матеріалу заготовки, типу обробки, обраному інструменту і максимальній глибині різання, визначаємо швидкості подачі.

Для чорнового фрезерування:

- Максимальна глибина різання  $t = 7,40$  мм.
- Вибираємо швидкість подачі -  $fz = 0,20$  мм / зуб.

Для чистового фрезерування:

- Максимальна глибина різання  $t = 0,20$  мм.
- Вибираємо швидкість подачі -  $fz = 0,15$  мм / зуб.

### **Чорнове фрезерування**

Початкові дані:  $t=7,40$  мм,  $V_c=220$  м/хв,  $D_c=80$  мм.

Частота обертання:

$$n = \frac{220 \cdot 1000}{80 \cdot 3,14} = 875,79 \text{ об/хв}$$

Приймаємо частоту обертання  $n=876$  об/хв

Уточнюємо швидкість різання у зв'язку з прийнятою частотою обертання:

$$V = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 876}{1000} = 220,05 \text{ м/хв}$$

### **Чистове фрезерування**

Початкові дані:  $t=0,2$  мм,  $V_c=260$  м/хв,  $D_c=80$  мм.

Частота обертання:

$$n = \frac{260 \cdot 1000}{80 \cdot 3,14} = 1035 \text{ об/хв}$$

Уточнюємо швидкість різання у зв'язку з прийнятою частотою обертання:

$$V = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 1035}{1000} = 259,9 \text{ м/хв}$$

## **Вибір інструментального оснащення для свердлильного переходу**

Розрахунок режимів різання проведемо за методикою викладеної в каталозі Seco [3]. Розробимо технологічну операцію із застосуванням прогресивного режимно-інструментального оснащення. Обробка 40 отворів Ø33мм і глибиною 40мм.

Крок 1 Визначити матеріал заготовки, що підлягає обробці:

- Група матеріалу заготовки - 3.

Крок 2 По діаметру і глибині отвору вибираємо тип свердла:

- Свердло SD502-33-66-32R7 зі змінними пластинами:
- Центральна пластина SPGX 11T3-C1 сплав T3000D
- Периферійна пластина SCGX 09T308-P1 сплав T3000D

Крок 3 Вибираємо з технічної інформації режими різання:

- $V_c = 155 \text{ м / хв}$ ,  $f = 0,18 \text{ мм / об}$ .

### **Вибір режимів різання для свердлильного переходу:**

- Початкові дані:
- Свердло SD502-33-66-32R7
- Центральна пластина SPGX 11T3-C1
- Периферійна пластина SCGX 09T308-P1
- Діаметр свердління 33мм;
- Глибина свердління 66мм;
- Швидкість різання  $V_c=125 \text{ м/хв}$ ;
- Подача  $f=0,18 \text{ мм/об}$ .

Частота обертання:

$$n = \frac{155 \cdot 1000}{33 \cdot 3,14} = 1495 \text{ об/хв}$$

Приймаємо частоту обертання  $n=1500 \text{ об/хв}$

Уточнюємо швидкість різання у зв'язку з прийнятою частотою обертання:

$$V = \frac{3,14 \cdot 33 \cdot 1500}{1000} = 155,43 \text{ м/хв}$$

## 2.9. Технічне нормування операцій

В серійному виробництві норма штучно-калькуляційного часу  $T_{Ш-К}$ :

$$T_{Ш-К} = T_{ШТ} + \frac{T_{П-З}}{n}, \quad (2.9)$$

де  $T_{ШТ}$  – норма штучного часу;

$T_{П-З}$  – норма підготовчо-заключного часу;

$n$  – розмір партії.

Штучний час визначається за формулою:

$$T_{ШТ} = t_0 + t_B + t_{ОБС} + t_{ЛП}, \quad (2.10)$$

де  $t_0$  – основний час;

$t_B$  – допоміжний час;

$t_{ОБС}$  – час на обслуговування робочого місця;

$t_{ЛП}$  – час перерви на відпочинок та інші потреби.

Основний час визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{(L+l) \cdot i}{V_f}, \quad (2.11)$$

де  $L$  – довжина оброблювальної поверхні;

$l$  – сума довжин врізання і перебігу;

$i$  – кількість робочих ходів;

$V_f$  – хвилинна подача;

1. Визначимо основний час на токарні переходи.

Основний час переходу з обробки  $\varnothing 710$ :

$$t_0 = \frac{44}{106 \cdot 0,4} = 1,03 \cdot 2 = 2,07 \text{хв}$$

Основний час переходу з обробки торця магістрального фланцю:

$$t_0 = \frac{112}{106 \cdot 0,4} = 2,64 \cdot 2 = 5,28 \text{хв}$$

Основний час переходу з обробки зовнішньої сторони фланцю:

$$t_0 = \frac{62 \cdot 2}{88 \cdot 0,2} = 7,04 \cdot 2 = 14,09 \text{хв}$$

Основний час чорнового і чистового переходу з обробки  $\varnothing 585H11$ :

$$t_0 = \frac{130}{128 \cdot 0,4} = 2,54 \cdot 2 = 5,08 \text{хв} \quad t_0 = \frac{130}{175 \cdot 0,1} = 7,43 \cdot 2 = 14,86 \text{хв}$$

Основний час переходу з обробки  $\varnothing 486$ :

$$t_0 = \frac{16}{154 \cdot 0,4} = 0,26 \cdot 2 = 0,52 \text{хв}$$

Основний час переходу з обробки  $\varnothing 506$ :

$$t_0 = \frac{35}{148 \cdot 0,4} = 0,45 \cdot 2 = 0,9 \text{хв}$$

Основний час переходу з обробки Ø510H12:

$$t_0 = \frac{17}{147 \cdot 0,4} = 0,29 \cdot 2 = 0,58 \text{ хв}$$

Основний час переходу з обробки канавки Ø520:

$$t_0 = \frac{47 \cdot 2}{0,3 \cdot 144} = 2,17 \cdot 2 = 4,35 \text{ хв}$$

2. Визначимо основний час фрезерних переходів.

Основний час з обробки площини середнього фланцю:

$$t_0 = \frac{1686 \cdot 2}{0,2 \cdot 876 \cdot 6} = 3,25 \text{ хв}$$

Основний час чорнового переходу з обробки виступу середнього фланцю:

$$t_0 = \frac{2900}{0,2 \cdot 876 \cdot 6} = 2,76 \text{ хв}$$

Основний час чистового переходу з обробки виступу середнього фланцю:

$$t_0 = \frac{1533}{0,15 \cdot 1035 \cdot 6} = 1,65 \text{ хв}$$

3. Визначимо основний час на свердлильні переходи.

Основний час з обробки отвору Ø33:

$$t_0 = \frac{61}{1500 \cdot 0,18} \cdot 20 = 4,51 \cdot 2 = 9,03 \text{ хв}$$

Основний час з обробки отвору Ø26,5:

$$t_0 = \frac{60}{1500 \cdot 0,18} \cdot 14 = 3,11 \text{ хв}$$

Основний час з обробки різьби М30:

$$t_0 = \frac{80 \cdot 2}{1500 \cdot 0,15} \cdot 14 = 9,9 \text{ хв}$$

Допоміжний час:

$$t_B = t_{\text{ВУ}} + t_{\text{МВ}} + t_K + t_{\text{ИН}} + t_{\text{ПОВ}}, \quad (2.12)$$

де  $t_{\text{ВУ}}$  – час на установку і зняття заготовки;  $t_{\text{ВУ}} = 0$  хв;

$t_{\text{ор}}$  – час на орієнтацію заготовки в системі верстату;  $t_{\text{ор}} = 3,5$  хв;

$t_{\text{МВ}}$  – час на допоміжні ходи;  $t_{\text{МВ}} = 3,46$  хв;

$t_K$  – час на контроль;  $t_K = 5,24$  хв;

$t_{\text{ин}}$  – час на зміну інструменту;  $t_{\text{ин}} = 0,33$  хв;

$t_{\text{пов}}$  – час повороту стола на  $360^\circ$ .  $t_{\text{пов}} = 0,16$  хв;

Час на допоміжні ходи:

$$t_{\text{МВ}} = \frac{L_{\text{х.х.}}}{V_f}, \quad (2.13)$$

де  $L$  – довжина холостого ходу;

$t_{\text{МВ1}}$  – час на допоміжні ходи токарних переходів,  $t_{\text{МВ1}} = 2,2$  хв;

$t_{\text{МВ2}}$  – час на допоміжні ходи фрезерних переходів,  $t_{\text{МВ2}} = 0,18$  хв;

$t_{\text{МВ3}}$  – час на допоміжні ходи свердлильних переходів,  $t_{\text{МВ3}} = 1,02$  хв;

Тоді:  $t_B = 3,46 + 12 \cdot 0,33 + 7 \cdot 0,16 + 2 \cdot 0,08 + 5,24 + 1,5; \quad t_B = 17,2$  хв.

Операційний час:

$$t_{OP} = t_O + t_B = 77,4 + 17,2 = 94,6 \text{ хв} \quad (2.14)$$

Час обслуговування робочого місця і час на особисті потреби становить 12 % від операційного часу. Тоді:

$$T_{ШТ} = t_O + t_B + t_{OBC} + t_{ЛП} = 105,9 \text{ хв} \quad (2.15)$$

Норма підготовчо-заключного часу при обробці на верстаті Trevisan DS900:

$$T_{П-3} = T_{П-31} + T_{П-32} + T_{П-33}, \text{ хв}, \quad (2.16)$$

де  $T_{П-31}$  – час на ознайомлення з документами, огляд заготовки, інструктаж майстра, встановлення робочих органів верстату, хв;  $T_{П-31} = 12$  хв;

$T_{П-32}$  – час на отримання інструменту, необхідного для наладки, хв;  $T_{П-32} = 16$  хв;

$T_{П-33}$  – час на пробну обробку деталі;  $T_{П-33} = 0$  хв.

Партія запуску:

$$n = \frac{N}{S_n} \quad (2.17)$$

де  $N$  – річний випуск деталей,  $N = 180$ ;

$S_n$  – число запусків на рік (приймаємо  $S_n = 12$ ).

Маємо:

$$n = \frac{180}{12} = 15$$

Тоді штучно-калькуляційний час:

$$T_{ШТ-К} = 105,9 + \frac{28}{15} = 107,7 \text{ хв}$$

Результати нормування операції зведені в таблицю 2.9.

Таблиця 2. 8 – Результати нормування операції 010

| № Назва операції | $t_O$ | $t_B$ | $T_{ШТ}$ | $T_{П-3}$ | $n$ , шт. | $T_{Ш-К}$ |
|------------------|-------|-------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 010 Комбінована  | 77,4  | 17,2  | 105,9    | 28        | 15        | 107,7     |

## 2.10 Опис і розрахунок інструментальних наладок

В даному розділі наладка виконана на комбіновану операцію (010). Наладка представлена на чотирьох аркушах графічної частини: на першому аркуші показана обробка магістрального фланця: точіння зовнішньої циліндричної поверхні, торця і тильного боку фланця, на другому аркуші обробка внутрішніх циліндричних поверхонь магістрального фланця, на третьому показана обробка центрального фланця: фрезерування площини, уступу. На четвертому аркуші показано свердління отворів.

Таблиця 2.9 – Координати опорних точок наладки (лист 2)

| Операція   |                     |   |       |        | 010 Комбінована з ЧПК  |          |         |          |                     |                        |
|--|---------------------|---|-------|--------|------------------------|----------|---------|----------|---------------------|------------------------|
| Обладнання   |                     |   |       |        | ОЦ Trevisan DS900/300C |          |         |          |                     |                        |
| № точки  | Координати за осями |   |       |        | t, мм                  | S, мм/об | v, м/хв | n, об/хв | t <sub>o</sub> , хв | t <sub>ум-к</sub> , хв |
|  | x                   | y | z     | u      |                        |          |         |          |                     |                        |
| T05 Seco Різець S32T-PDUNL15 Ріжуча пластина DNMG150608-M5   |                     |   |       |        |                        |          |         |          |                     |                        |
| 0  | 0                   | 0 | 800   | 0      |                        |          |         |          |                     | 0,71                   |
| 30   | 0                   | 0 | 184   | 243    |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| 31   | 0                   | 0 | 168   | 243    | 4,0                    | 0,4      | 235     | 154      |                     |                        |
| 32   | 0                   | 0 | 168   | 241    |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| 33   | 0                   | 0 | 206,5 | 241    |                        | 8000     | 130     | 122      |                     |                        |
| 34   | 0                   | 0 | 206,5 | 249,34 |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| 35   | 0                   | 0 | 200,2 | 253    | 8,0                    | 0,4      | 235,1   | 147      |                     |                        |
| 36   | 0                   | 0 | 179   | 253    | 8,0                    | 0,4      | 235,1   | 147      |                     |                        |
| 37   | 0                   | 0 | 177   | 248,5  | 8,0                    | 0,4      | 235,1   | 147      |                     |                        |
| 38   | 0                   | 0 | 177   | 241    | 8,0                    | 0,4      | 235,1   | 147      |                     |                        |
| 0  | 0                   | 0 | 800   | 0      |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| T06 Seco Різець MVJNR 2020K16 Ріжуча пластина VNMG 160404-M3 |                     |   |       |        |                        |          |         |          |                     |                        |
| 0  | 0                   | 0 | 800   | 0      |                        |          |         |          |                     | 107,7                  |
| 39   | 0                   | 0 | 206,5 | 249,34 |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| 40   | 0                   | 0 | 187,6 | 256,5  | 3,5                    | 0,3      | 235     | 144      |                     |                        |
| 41   | 0                   | 0 | 185,5 | 258,5  | 3,5                    | 0,3      | 235     | 144      |                     |                        |
| 42   | 0                   | 0 | 182   | 249,34 | 3,5                    | 0,3      | 235     | 144      |                     |                        |
| 39   | 0                   | 0 | 206,5 | 249,34 |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| 43   | 0                   | 0 | 206,5 | 249,34 |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| 44   | 0                   | 0 | 187,6 | 260    | 3,5                    | 0,3      | 235     | 144      |                     |                        |
| 45   | 0                   | 0 | 182   | 255    | 3,5                    | 0,3      | 235     | 144      |                     |                        |
| 46   | 0                   | 0 | 182   | 249,34 | 3,5                    | 0,3      | 235     | 144      |                     |                        |
| 39   | 0                   | 0 | 206,5 | 249,34 |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| 0  | 0                   | 0 | 800   | 0      |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| Поворот столу на 180° обробка другого фланцю аналогічно      |                     |   |       |        |                        |          |         |          |                     |                        |

Таблиця 2.10 – Координати опорних точок наладки (лист 3)

| Операція   |                     |        |       | 010 Комбінована з ЧПК  |          |         |          |                     |                        |
|--|---------------------|--------|-------|------------------------|----------|---------|----------|---------------------|------------------------|
| Обладнання   |                     |        |       | ОЦ Trevisan DS900/300C |          |         |          |                     |                        |
| № точки  | Координати за осями |        |       | t, мм                  | S, мм/об | v, м/хв | n, об/хв | t <sub>o</sub> , хв | t <sub>ум-к</sub> , хв |
|  | x                   | y      | z     |                        |          |         |          |                     |                        |
| T07: Фреза F 4042.B27.080.Z06.16 Ріж. пластина ADGT1204PER-D51 WKP35 |                     |        |       |                        |          |         |          |                     |                        |
| 0  | 0                   | 0      | 800   |                        |          |         |          |                     |                        |
| 69   | -79,8               | 0      | 573   |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| 70   | -79,8               | 30     | 562,6 | 7,4                    | 0,2      | 220     | 876      | 2,76                | 107,7                  |
| 71   | -79,8               | 275    | 562,6 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 72   | -70                 | 284,8  | 562,6 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 73   | 70                  | 284,8  | 562,6 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 74   | 79,8                | 275    | 562,6 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 75   | 79,8                | -275   | 562,6 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 76   | 70                  | -284,8 | 562,6 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 77   | -70                 | -284,8 | 562,6 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 78   | -79,8               | -275   | 562,6 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 79   | -79,8               | 0      | 562,6 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 80   | -79,8               | 30     | 555,2 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 81   | -79,8               | 275    | 555,2 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 82   | -70                 | 284,8  | 555,2 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 83   | 70                  | 284,8  | 555,2 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 84   | 79,8                | 275    | 555,2 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 85   | 79,8                | -275   | 555,2 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 86   | 70                  | -284,8 | 555,2 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 87   | -70                 | -284,8 | 555,2 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 88   | -79,8               | -275   | 555,2 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 89   | -79,8               | 0      | 555,2 |                        |          |         |          |                     |                        |
| 0  | 0                   | 0      | 800   |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| T08: Фреза F 4042.B27.080.Z06.16 Ріж. пластина ADGT1204PER-D51 WKP25 |                     |        |       |                        |          |         |          |                     |                        |
| 0  | 0                   | 0      | 800   |                        |          |         |          |                     |                        |
| 90   | -55                 | 0      | 555   |                        | 8000     |         |          |                     |                        |
| 91   | -80                 | 0      | 555   | 0,2                    | 0,15     | 260     | 1035     | 1,65                | 107,7                  |
| 92   | -80                 | 275    | 555   |                        |          |         |          |                     |                        |
| 93   | -70                 | 285    | 555   |                        |          |         |          |                     |                        |
| 94   | 70                  | 285    | 555   |                        |          |         |          |                     |                        |
| 95   | 80                  | 275    | 555   |                        |          |         |          |                     |                        |
| 96   | 80                  | -275   | 555   |                        |          |         |          |                     |                        |
| 97   | 70                  | -285   | 555   |                        |          |         |          |                     |                        |
| 98   | -70                 | -285   | 555   |                        |          |         |          |                     |                        |
| 99   | -80                 | -275   | 555   |                        |          |         |          |                     |                        |
| 100  | -80                 | 16     | 555   |                        |          |         |          |                     |                        |
| 0  | 0                   | 0      | 800   |                        |          |         |          |                     |                        |

## 3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Проектування верстатного пристосування

Пристосування для комбінованої операції №010 базується по двом отворам і площині на палеті верстата DS900/300С. Зібране пристосування, що включає палету, базуючі елементи і елементи затискних пристроїв, встановлюється на поворотний стіл верстата.

Верстатне пристосування для закріплення оброблюваної заготовки має дозволяти вести обробку з одного установка, тому, з огляду на складну просторову форму заготовки і схему базування на даній операції, пристосування повинно бути спроектовано спеціально для даної заготовки. З огляду на розташування основних баз заготовки, приймемо схему базування за трьома горловинами на установчі опори. Для закріплення деталі використовуємо гвинтовий затиск.

Методика розрахунку верстатного пристосування на силу закріплення і довідкові дані наведені в [7,8]. Розрахуємо силу закріплення в трьох найбільш навантажених переходах: точіння циліндричної поверхні  $\varnothing 710$ , фрезерування торця уступу, свердління отворів  $\varnothing 33$  в магістральному фланці.

1. Токарний перехід.

**Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.**

Сила закріплення повинна забезпечити надійне закріплення заготовки в пристосуванні і не допускати зсуву, повороту або вібрації заготовки при обробці. Визначимо дві розрахункові формули сили закріплення:

1) від тангенціальної складової сили різання, що прагне повернути заготовку навколо точки О:

$$\Sigma M_0 = P_Z \cdot l_2 - W \cdot l_1$$

Тоді розрахункова формула приймає вид:

$$W = \frac{K \cdot P_Z \cdot l_2}{l_1}, \quad (3.1)$$

де  $P_Z = 4131$  Н – сила різання;

$W$  – сила закріплення, Н;

$K$  – коефіцієнт запасу, який вводять у формулу при розрахунку сили закріплення для надійного закріплення заготовки;

$f_1$  – коефіцієнт тертя в місцях контакту заготовки з опорами;

$f_2$  – коефіцієнт тертя в місцях контакту заготовки з затискующим механізмом.

Коефіцієнт запасу розраховується за формулою:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, \quad (3.2)$$

де  $K_0 = 1,5$  – коефіцієнт гарантованого запасу;

$K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через нерівності при чорновій обробці;

$K_2 = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання внаслідок затуплення різального інструменту;

$K_3 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при переривчастому різанні;

$K_4 = 1,3$  – коефіцієнт, що характеризує сталість сил закріплення для немеханізованих пристосувань;

$K_5 = 1,0$  – коефіцієнт, що характеризує зручність затиску;

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 2,81$$

Сила закріплення:

$$W = \frac{2,81 \cdot 4131 \cdot 896}{548} = 18979,6 \text{ Н}$$

2) від осьової складової сили різання, яка прагне зрушити заготовку.

$$\sum X = 0; \quad P_X - 4 \cdot F - R \cdot \cos 45^\circ = 0;$$

$$\sum Y = 0; \quad 4 \cdot N \cdot \cos 45^\circ + 2 \cdot N \cdot \cos 45^\circ + R \cdot \cos 45^\circ - W = 0;$$

$$6 \cdot N \cdot 0,7 + R \cdot 0,7 - W = 0;$$

$$N = \frac{W - 0,7 \cdot R}{4,2};$$

$$\sum X_1 = 0; \quad P_X - R \cdot \cos 45^\circ = 0;$$

$$R = \frac{P_X}{0,7};$$

$$N = \frac{W - 0,7 \cdot R}{4,2} = \frac{W - P_X}{4,2};$$

$$P_X - 4 \cdot f \cdot N - R \cdot \cos 45^\circ = P_X - 4 \cdot f \cdot \frac{W - P_X}{4,2} - P_X = 0;$$

$$-4 \cdot f \cdot \frac{W}{4,2} + \frac{4 \cdot f \cdot P_X}{4,2} = 0;$$

де  $P_X = 2065,5 \text{ Н}$  – осьова сила різання;

$F$  – сила тертя, Н;

$N$  – нормальна сила реакції опори Н;

$R$  – сила реакції опори від діючої осьової сили Н;

$f=0,22$  – коефіцієнт тертя.

Тоді розрахункова формула приймає вид:

$$W = K \cdot P_X;$$

$$W = 2,81 \cdot 2065,5 = 5804,1 \text{ Н};$$

Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.



Рис. 3.2 – Схема закріплення деталі

Визначимо дві розрахункові формули сили закріплення:

1) від тангенціальної складової сили різання, що прагне повернути заготовку навколо точки O:

$$\Sigma M_O = P_Z \cdot l_2 - W \cdot l_1$$

Тоді розрахункова формула приймає вид:

$$W = \frac{K \cdot P_Z \cdot l_2}{l_1}, \quad (3.3)$$

де  $P_Z = 4868\text{Н}$  – сила різання;

Сила закріплення:

$$W = \frac{2,81 \cdot 4868 \cdot 380}{260} = 19992,5\text{Н};$$

2) від осьової складової сили різання, яка прагне зрушити заготовку.

$$\Sigma X = 0; \quad P_X - 2 \cdot F - 2 \cdot R \cdot \cos 45^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = 0; \quad 2 \cdot N \cdot \cos 45^\circ + 4 \cdot N \cdot \cos 45^\circ + 2R \cdot \cos 45^\circ - W = 0;$$

$$6 \cdot N \cdot 0,7 + 2 \cdot R \cdot 0,7 - W = 0;$$

$$N = \frac{W - 1,4 \cdot R}{4,2};$$

$$\sum X_1 = 0; P_X - 2 \cdot R \cdot \cos 45^\circ = 0;$$

$$R = \frac{P_X}{1,4};$$

$$N = \frac{W - 1,4 \cdot R}{4,2} = \frac{W - P_X}{4,2};$$

$$P_X - 2 \cdot f \cdot N - 2 \cdot R \cdot \cos 45^\circ = P_X - 2 \cdot f \cdot \frac{W - P_X}{4,2} - P_X = 0;$$

$$-2 \cdot f \cdot \frac{W}{4,2} + \frac{2 \cdot f \cdot P_X}{4,2} = 0;$$

де  $P_X = 2434\text{Н}$  – осьова сила різання;

$f = 0,22$  – коефіцієнт тертя;

Тоді розрахункова формула приймає вид:

$$W = K \cdot P_X \tag{3.4}$$

Сила закріплення:

$$W = 2,81 \cdot 2434 = 6840\text{Н};$$

Конфіденційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 30.06.2025р.

Рис. 3.3 – Схема закріплення деталі

Визначимо дві розрахункові формули сили закріплення:

1) від тангенціальної складової сили різання, що прагне повернути заготовку навколо точки O:

$$\Sigma M_O = P_Z \cdot l_2 - W \cdot l_1$$

Тоді розрахункова формула приймає вид:

$$W = \frac{K \cdot P_Z \cdot l_2}{l_1} \quad (3.5)$$

де  $P_Z = 1879\text{Н}$  – сила різання;

Сила закріплення:

$$W = \frac{2,81 \cdot 1879 \cdot 880}{548} = 8479\text{Н};$$

2) від осьової складової сили різання, яка прагне зрушити заготовку.

$$\Sigma X = 0; \quad P_X - 4 \cdot F - R \cdot \cos 45^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = 0; \quad 4 \cdot N \cdot \cos 45^\circ + 2 \cdot N \cdot \cos 45^\circ + R \cdot \cos 45^\circ - W = 0;$$

$$6 \cdot N \cdot 0,7 + R \cdot 0,7 - W = 0;$$

$$N = \frac{W - 0,7 \cdot R}{4,2};$$

$$\sum X_1 = 0; P_X - R \cdot \cos 45^\circ = 0;$$

$$R = \frac{P_X}{0,7};$$

$$N = \frac{W - 0,7 \cdot R}{4,2} = \frac{W - P_X}{4,2};$$

$$P_X - 4 \cdot f \cdot N - R \cdot \cos 45^\circ = P_X - 4 \cdot f \cdot \frac{W - P_X}{4,2} - P_X = 0;$$

$$-4 \cdot f \cdot \frac{W}{4,2} + \frac{2 \cdot f \cdot P_X}{4,2} = 0;$$

де  $P_X = 2434\text{Н}$  – осьова сила різання;

$f = 0,22$  – коефіцієнт тертя;

Тоді розрахункова формула приймає вид:

$$W = K \cdot P_X; \tag{3.6}$$

Сила закріплення:

$$W = 2,81 \cdot 4443 = 12485\text{Н};$$

# Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рис. 3.4 – Схема закріплення деталі

Визначимо дві розрахункові формули сили закріплення:

1) від тангенціальної складової сили різання, що прагне повернути заготовку навколо точки О:

$$\Sigma M_O = P_Z \cdot l_2 - W \cdot l_1$$

Тоді розрахункова формула приймає вид:

$$W = \frac{K \cdot P_Z \cdot l_2}{l_1} \quad (3.7)$$

де  $P_Z = 1879\text{Н}$  – сила різання;

Сила закріплення:

$$W = \frac{2,81 \cdot 1879 \cdot 610}{548} = 5877\text{Н};$$

2) від осьової складової сили різання, яка прагне повернути заготовку навколо т. А.

$$\Sigma M_A = P_X \cdot l_4 - W \cdot l_3$$

Тоді розрахункова формула приймає вид:

$$W = \frac{K \cdot P_X \cdot l_4}{l_3} \quad (3.8)$$

де  $P_X = 2434\text{Н}$  – осьова сила різання;

Сила закріплення:

$$W = \frac{2,81 \cdot 4443 \cdot 592}{260} = 28427 \text{ Н};$$

Для подальшого розрахунку приймаємо найбільшу силу закріплення.

Розрахунок гвинтового затиску.

Номінальний діаметр гвинта розраховується за формулою:

$$d = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{P_3}{\sigma_P}}, \quad (3.9)$$

де  $\sigma_P$  – напруження розтягу (стиску), МПа.

$$d = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{28427}{78}} = 26,7 \text{ мм}$$

Обираємо різьбу М27 мм; Р = 3 мм,

**Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.**

діаметру і шагу різьби  
кута при вершині  
відведений кут тертя в різьбі

відношенню різьби

$$\text{tg}P / (\pi \cdot d)$$

$$= 25,051) = 0,91^\circ$$

відсутності в м'ятин

кінець гвинта під п'яту.

Визначаємо момент, необхідний для закріплення заготовки.

$$M = W \cdot [0,5 \cdot d_2 \cdot \text{tg}(\alpha + \phi_{\text{пр}}) + f_1 \cdot R \cdot \text{ctg}(\gamma/2)]$$

$$M = 28427 \cdot \left[ 0,5 \cdot 25,051 \cdot \text{tg}(0,91 + 6,40) + 0,15 \cdot 20 \cdot \text{ctg}\left(\frac{118}{2}\right) \right] = 96652 \text{ [Нмм]}$$

Приймаємо довжину рукоятки 550 мм, тоді необхідне зусилля дорівнюватиме:

$$Q = \frac{M}{l} = \frac{96652}{400} = 175,7 \text{ Н.}$$

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

У науково-дослідницькому розділі проведено комп'ютерний експеримент з моделювання тривимірної деталі з подальшою автоматизацією технологічного процесу її виготовлення із сталевого сплаву. За допомогою сучасної САМ-програми Autodesk PowerMill виконано серію комп'ютерних експериментів, результати яких оброблено з використанням інформаційних технологій.

Також проведено теоретичне дослідження впливу параметрів стратегії обробки САМ-програмою Autodesk PowerMill, режимів різання і геометрії ріжучого інструменту на показники ефективності процесу фрезерування.

PowerMILL - є основним пакетом в програмній лінійці Autodesk. PowerMILL призначений для розробки керуючих програм для 3-осьових і багатоосьових фрезерних верстатів з ЧПК.

Обробка формотворним оснащенням - ливарні форми для металу і пластмас, модельна оснастка, штампи та інше - як і раніше найсильніша сторона PowerMILL. Тут важлива якість поверхні і відсутність врізів. Оптимізація програм і сучасні стратегії обробки, де не витрачається час на холості ходи, дозволяють скоротити час обробки в порівнянні з традиційними підходами до програмування в інших системах.

Сучасний високошвидкісний верстат з ЧПК вимагає іншого підходу до програмування обробки. Перехід від традиційного силового різання до високошвидкісного не тільки збільшує продуктивність і якість обробки, але і продовжує термін служби верстата і інструменту. PowerMILL була однією з перших систем, яка запропонувала новий підхід до програмування обробки. В даний час функціонал в даній області значно покращився і розширився, на додаток до наявних функцій високошвидкісного фрезерування додалося так зване вихриве фрезерування (Vortex технологія), а також запатентована технологія DNA, яка дозволяє на основі мікротестів визначити оптимальні технічні можливості верстата з обробки.

Довгі роки багатоосьова обробка застосовувалася в аерокосмічній промисловості внаслідок обробки специфічних форм деталей і дорожчого верстатного устаткування, проте останнім часом цей вид обробки став застосовуватися і в інших областях, наприклад в інструментальному виробництві, що дозволило виключити створення додаткових пристосувань, а також ерозійну обробку при великих вертикальних стінках. Багатоосьова обробка передбачає одночасний рух верстата по більш ніж 3 осям, що висуває додаткові вимоги до безпеки траєкторії. PowerMILL володіє численними функціями для створення багатоосьових траєкторій, відмітними з них є:

- автопредотвращення зіткнень;
- згладжування нахилу фрези;
- ручне редагування осі нахилу фрези і т.д.

Останні розробки Delcam, виконані спільно з виробниками авіаційних двигунів і закладені в новий модуль з обробки лопаток, вивели PowerMILL в лідери в цій галузі. До появи даного модуля користувачеві доводилося програмувати вироби в ручному режимі: підбирати потрібну стратегію, будувати допоміжні поверхні, що займало кілька годин роботи. Новий модуль забезпечує простоту і зручність в роботі, тому що створені спеціальні стратегії, де користувачеві досить зробити вибір даних по CAD моделі і призначити необхідні параметри обробки [9].

Далі наведено порівняльні статистики чотирьох стратегій механічної обробки фрезеруванням у програмі PowerMill.

1. Чистова растр.
2. Оптимізована Z.
3. Постійна Z.
4. Фрезерування фасок.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

## ВИСНОВКИ

В даному дипломному проєкті на основі базового технологічного процесу із застосуванням отриманих знань з технології машинобудування, стандартизації, автоматизації, і проєктування пристосувань, був розроблений вдосконалений технологічний процес, що відповідає вимогам гнучкого автоматизованого виробництва та економічної ефективності.

В аналітичному розділі була виконана характеристика деталі, а також якісна і кількісна оцінка технологічності деталі. Завдяки цьому відбулося зниження собівартості і трудомісткості виготовлення без шкоди для службового призначення деталі, за рахунок незначних змін в її конструкції.

В технологічному розділі обрано і обґрунтовано тип заготовки, розраховано припуски. Також був розроблений новий технологічний маршрут для механічної обробки, для кожної операції здійснювався вибір технологічних баз, послідовність технологічних переходів, режимів різання. Застосовувалось прогресивне режимно-інструментальне оснащення. На одну з операцій технологічного процесу розроблена інструментальна наладка, проведено вибір інструментального оснащення, проведено нормування. Всі листи графічної частини розроблені з застосуванням графічного пакета "Autodesk Inventor".

В спеціальному розділі було спроектоване верстатне пристосування для закріплення оброблюваної заготовки, яке дозволяє вести обробку з одного установа. При проєктуванні було розраховано необхідну силу закріплення для кожного переходу.

Дослідницький розділ присвячений порівнянню впливу параметрів стратегії обробки САМ-програмою Autodesk PowerMill, режимів різання і геометрії ріжучого інструменту на показники ефективності процесу свердління і фрезерування. За умови врахування закладених початкових даних, обмежень та допущень Autodesk PowerMill є найбільш продуктивною САМ-системою для розрахунку автоматизованої технології механічної

обробки даної деталі. У програмі PowerMill мається значна кількість стратегій для чорнової і чистової обробки поверхонь, а також спеціальних траєкторій для зачистки радіусів та заокруглень профілю. Значна кількість варіантів траєкторій чистової обробки деталі і варіативність програмування підводів, відводів і переходів ріжучого інструменту, у програмі PowerMill призводить до значного скорочення часу на розрахунок траєкторії на ПК та машинного часу на обробку деталі.

В результаті оптимізованої траєкторії обробки значно скорочено об'єм GM-коду для верстата з ЧПК, а як наслідок, і кількість переміщень та підйомів робочих вузлів верстата, що відображається на ресурсі самого верстата та стійкості ріжучого інструменту в цілому.

При розробці даного дипломного проекту широко використані можливості сучасної комп'ютерної техніки і застосовані різні технічні та графічні програмні пакети.