

**Національний технічний університет України  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**імені Ігоря Сікорського»**

**НАВЧАЛЬНО - НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ  
ІНСТИТУТ**

Кафедра технології машинобудування

«На правах рукопису»

УДК 621.9 \_\_\_\_\_

**До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

Олександр Охріменко

(підпис) (власне ім'я, прізвище)

”

\_\_\_\_\_ 2025 р.

**Дипломний проєкт**

на здобуття ступеня бакалавра  
за освітньо-професійною програмою

**«Технології машинобудування»**

**зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

на тему: Технологічно-конструкторське забезпечення виготовлення деталі  
«Корпус насосу» \_\_\_\_\_

Виконав:

студент 4 курсу, групи МТ-11

Богданов Максим Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник: Фролов В. К., канд. техн. наук, доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Кравець О.М., канд. техн. наук, доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проєкті немає запозичень з  
праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра технології машинобудування**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма – «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр ОХРИМЕНКО

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломний проєкт студенту**

Богданову Максиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломного проєкту Технологічно-конструкторське забезпечення виготовлення деталі «Корпус насосу»

керівник проєкту Фролов Володимир Костянтинович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дипломного проєкту «15» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту

1. Ескіз деталі «Корпус насосу»

2. Величина замовлення – 200 штук.

4. Зміст пояснювальної записки, перелік завдань, які потрібно розробити

1. Розроблення креслеників деталі та заготовки.

2. Проєктування маршрутного і операційного процесу виготовлення деталі.

3. Проєктування складальних креслеників верстатних пристроїв.

4. Дослідження Варіанти виготовлення

5. Перелік графічно-ілюстративного матеріалу

1. Кресленик деталі – 1 аркуш ф. А1.

2. Кресленик заготовки – 1 аркуш ф. А2-А1.
  3. Схеми технологічних переходів операцій – 2 аркуші ф. А1.
  4. Візуалізація технологічних переходів за допомогою САМ- системи – 1 аркуш ф. А1.
  5. Складальні кресленики пристроїв – 2 аркуші ф. А1.
  6. Дослідження Варіанти виготовлення – 1 аркуш ф. А1.
6. Дата видачі завдання 25.04.2025.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Термін виконання етапів дипломного проєкту	Примітка
1	Кресленик деталі	01.05.2025	
2	Кресленик заготовки	05.05.2025	
3	Схеми технологічних переходів операцій	10.05.2025	
4	Візуалізація технологічних переходів за допомогою САМ- системи	15.05.2025	
5	Складальні кресленики пристроїв	25.05.2025	
6	Дослідження Варіанти виготовлення	01.06.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	13.06.2025	
8	Підготовка презентації проєкту	15.06.2025	

Студент

Максим БОГДАНОВ

Керівник проєкту

Володимир ФРОЛОВ

## Анотація дипломного проекту

Дипломний проект на тему «Проектування технологічного процесу виготовлення деталі „Корпус насосу“» спрямований на розробку оптимального технологічного маршруту механічної обробки деталі з урахуванням вибору заготовки, технологічних баз, припусків, інструментів та оснастки.

Основною метою проекту є створення технологічного процесу обробки деталі, який забезпечить досягнення необхідної точності, якості поверхонь і ефективності виробництва.

Завдання проекту включають:

- Аналіз конструкції деталі та вимог до її виготовлення.
- Вибір заготовки та обґрунтування її параметрів.
- Визначення технологічних баз для всіх операцій.
- Розробка маршрутного технологічного процесу.
- Визначення припусків для механічної обробки.
- Розрахунок режимів різання для виконання всіх технологічних переходів.
- Розробка схем базування та технологічних ескізів.
- Проектування технологічної оснастки.
- Вибір верстатного обладнання та ріжучого інструменту.
- Розробка операційного технологічного процесу виготовлення деталі.
- Економічне обґрунтування проекту.

Проект складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка містить розрахунки, вибір обладнання, аналіз режимів різання, нормування операцій і схеми технологічного процесу. Графічна частина включає креслення деталі, маршрутного та операційного процесів, а також креслення верстатного пристрою.

Обсяг роботи складає XX сторінок пояснювальної записки, 8 листів.

## Зміст

Завдання.....	2
Анотація дипломного проєкту .....	4
Вступ .....	6
Розділ 1. Технологічний розділ .....	8
1.1 Аналіз функціонального призначення та умов експлуатації деталі у вузлі..	8
1.1.1 Розробка 3D-моделі та креслення деталі .....	8
1.1.2 Аналіз умов роботи в складі вузла або збірної одиниці .....	9
1.1.3 Обґрунтування вибору конструкційного матеріалу .....	10
1.2 Визначення типу виробництва та його вплив на підготовку технологічного процесу .....	11
1.3 Оцінка технологічності конструкції деталі .....	12
1.4 Проєктування форми заготовки .....	13
1.5 Вибір та обґрунтування баз для реалізації технологічного процесу .....	15
1.6 Побудова типової послідовності обробки поверхонь заготовки .....	18
1.7 Розробка операційного технологічного процесу виготовлення деталі ...	21
1.8 Вибір верстатного обладнання .....	26
1.9 Розрахунок припусків для окремих технологічних переходів .....	29
1.10 Визначення режимів різання .....	34
1.11 Нормування технологічних операцій .....	39
Розділ 2. Проєктування верстатних пристроїв .....	40
2.1 Розробка та технічний розрахунок конструкцій пристроїв .....	41
2.2 Теоретичні та методичні засади проєктування верстатних пристроїв .....	43
2.3 Розрахунок систем затискання верстатних пристроїв .....	44

Розділ 3. Дослідницький розділ.....	45
3.1 Використання адитивних технологій для отримання готової деталі.....	45
Розділ 4. Економічна частина.....	51
4.1 Загальні визначення.....	51
Література.....	55

## Вступ

У сучасному машинобудуванні, що постійно розвивається, особливу увагу приділяють удосконаленню технологічних процесів виготовлення високотехнологічних компонентів, що забезпечують ефективну та безперебійну роботу складних механізмів і систем. Одним із таких ключових елементів є корпуси, які виконують не лише функцію механічної підтримки та захисту внутрішніх елементів, але й забезпечують стабільність роботи виробу в цілому. Матеріали, з яких виготовляються корпуси, повинні відповідати низці важливих вимог, таких як висока міцність, зносостійкість, жаростійкість, а також стійкість до корозії й агресивних хімічних середовищ, що дозволяє гарантувати тривалий термін експлуатації без втрати працездатності.

Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т є одним із найбільш поширених матеріалів для виготовлення таких корпусів, оскільки поєднує високу стійкість до корозії, механічну міцність, пластичність і хорошу оброблюваність, що робить її ідеальним вибором для застосування в умовах підвищених вимог до деталей. Ця сталь, завдяки своїм аустенітним властивостям, здатна витримувати високі температури та механічні навантаження, що робить її надзвичайно актуальною для виготовлення корпусів, які повинні функціонувати в складних умовах, зокрема, у хімічній, харчовій, фармацевтичній та інших промислових галузях.

Одним із ключових факторів, що визначають ефективність та надійність роботи корпусу, є технологія його виготовлення, зокрема, процеси обробки матеріалу. Вибір інструментів, режимів різання, термічних операцій та методів контролю якості має вирішальне значення для досягнення необхідної точності, міцності та довговічності готової деталі. Складність обробки сталі 12Х18Н10Т обумовлена її високими механічними властивостями та схильністю до налипання на різальні інструменти, що вимагає використання спеціальних технічних рішень і високоякісних інструментів.

Метою даної роботи є розробка та детальне дослідження технологічного процесу обробки корпусу з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. У роботі буде здійснено вивчення вибору інструментів та режимів різання, а також оптимізація процесу для досягнення необхідної точності.

## 1. Технологічний розділ

### 1.1 Аналіз функціонального призначення та умов експлуатації деталі у

#### вузлі

#### 1.1.1 Розробка 3D-моделі та креслення деталі

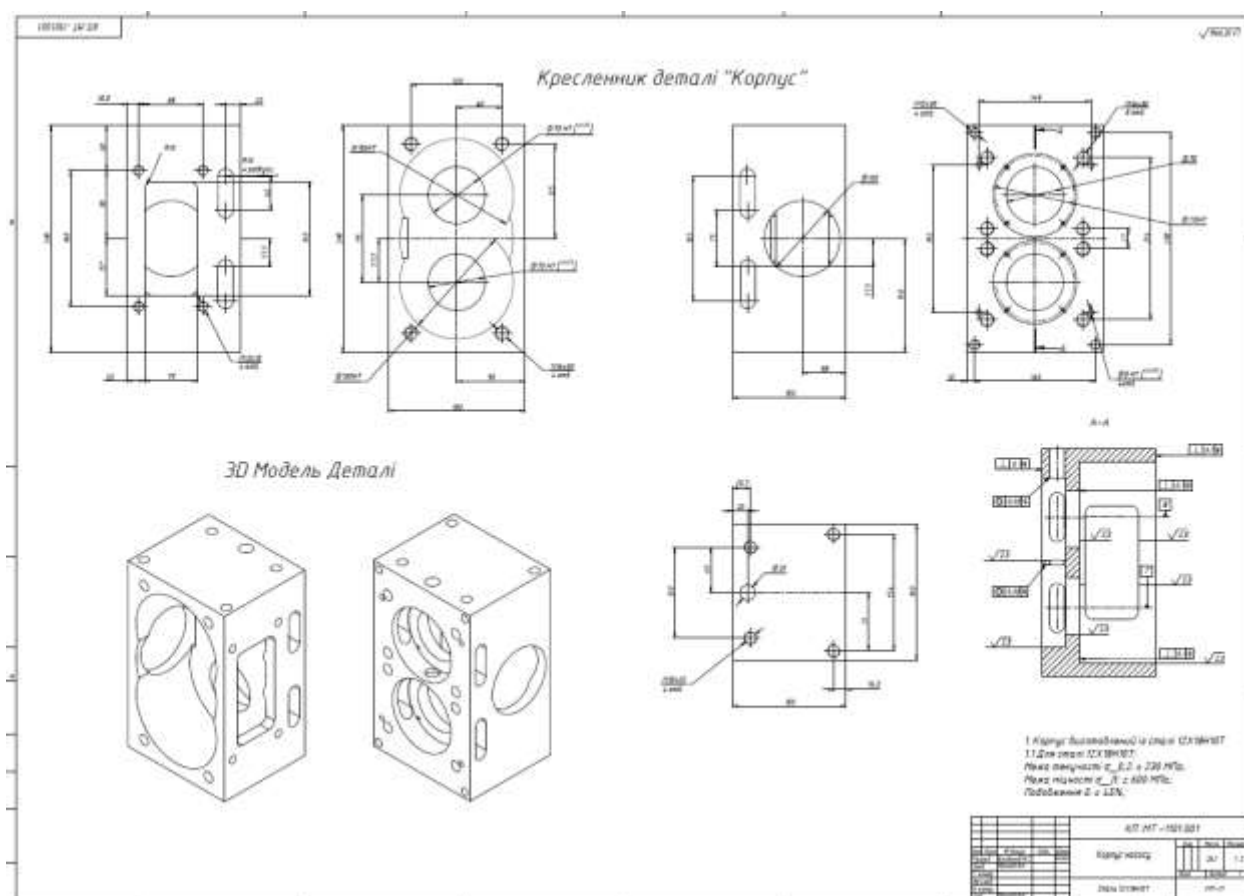


Рис. 1.1.1 – Креслення деталі

Для проектування 3-Д моделі було використано Autodesk Inventor 2023 та за отриманою 3-Д моделлю сформований кресленик деталі. Також даний програмний продукт дає можливість розрахувати масу деталі, яка

знадобиться для визначення типу виробництва та знаходження інших параметрів.

### **1.1.2 Аналіз умов роботи в складі вузла або збірної одиниці**

Корпус з нержавіючої сталі 12X18Н10Т є важливим елементом складальної одиниці або вузла, виконуючи функції механічної підтримки, захисту від зовнішніх впливів, а також забезпечення стабільної роботи інших компонентів. У складальному вузлі корпус сприяє правильному розміщенню внутрішніх елементів і захищає їх від механічних пошкоджень, корозії, а також від агресивних середовищ. Оскільки корпус виготовлений з нержавіючої сталі, він має високу стійкість до корозії, що є важливим при експлуатації в умовах підвищеної вологості, хімічних або агресивних середовищах.

У процесі експлуатації корпус піддається різним механічним і термічним навантаженням. Механічні навантаження можуть бути як статичними, так і динамічними. Статичні навантаження виникають при постійному тиску або силових впливах на корпус, тоді як динамічні навантаження характеризуються змінною величиною навантаження, що виникає під час руху або роботи механізму. У випадку роботи в умовах вібрацій або ударних навантажень корпус має бути достатньо міцним, щоб витримати ці впливи без деформації чи пошкодження.

Корпус також піддається температурним коливанням. Завдяки своїй жаростійкості та стабільності при високих температурах, нержавіюча сталь 12X18Н10Т дозволяє корпусу працювати в умовах перепадів температури без втрати своїх механічних властивостей, що робить його надійним елементом при експлуатації в умовах високих температур або температурних змін.

Крім механічних і температурних навантажень, корпус може працювати в умовах впливу хімічних речовин. Завдяки хімічному складу сталі 12X18H10T, що містить хром і нікель, корпус має високу стійкість до корозії, що робить його ідеальним вибором для роботи в агресивних середовищах, де інші матеріали могли б швидко зазнати руйнування.

Таким чином, корпус з нержавіючої сталі 12X18H10T в складальній одиниці або вузлі працює в умовах механічних навантажень, високих температур і агресивних середовищ, забезпечуючи необхідну міцність, довговічність і стійкість до корозії в складних експлуатаційних умовах.

Змоделюємо тривимірну модель деталі «Корпус насоса» за наданим кресленням деталі. Кресленник деталі знаходиться на 1-му листі А1.

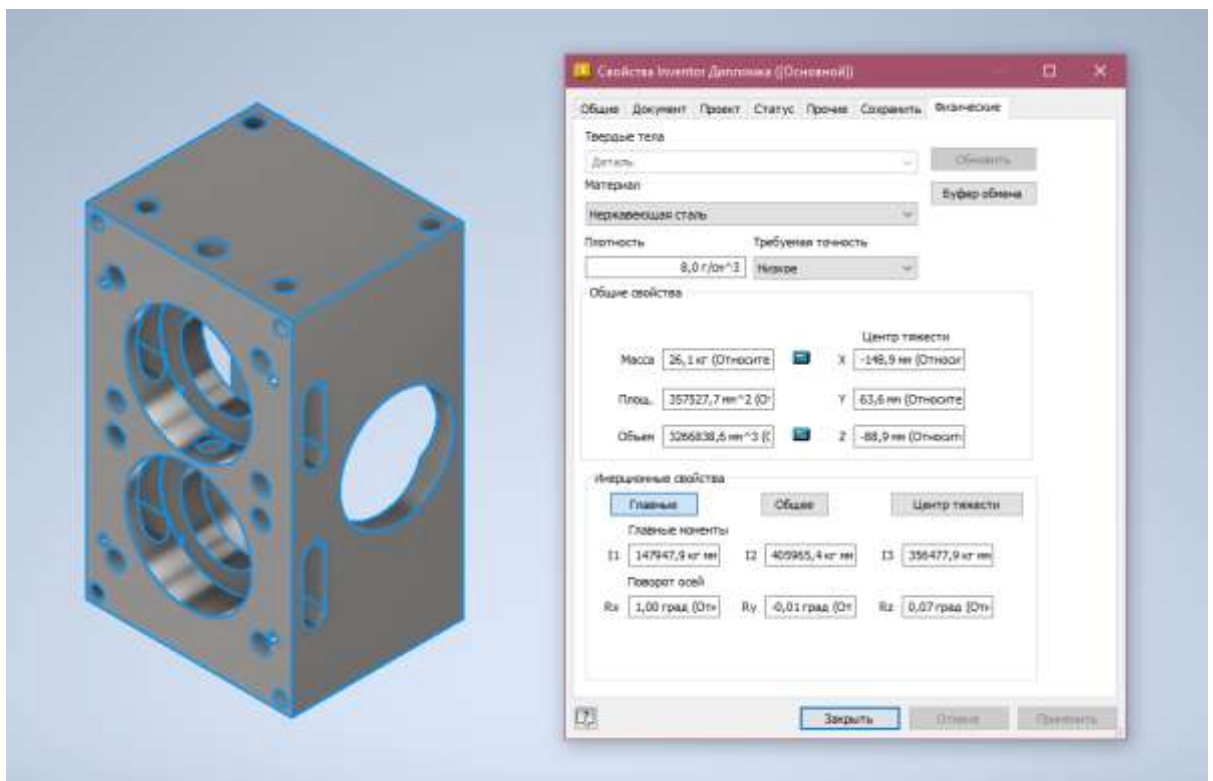


Рис 1.1.2 – Тривимірна модель деталі «Корпус насоса» та її параметри

### 1.1.3 Аналіз вибору конструкційного матеріалу

Характеристики матеріалу корпусу деталі:

- Межа текучості  $\sigma_{0,2}: \geq 230$  МПа;
- Межа міцності  $\sigma_B: \geq 600$  МПа;
- Подовження  $\delta: \geq 45\%$ ;
- Контроль якості матеріалу: Відповідно до таблиці контролю якості Уф 26074–100М ТБ1.

Табл. 1.1.3 - Хімічний склад сталі 08X18H10T, % [1]

Елемент	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti
Вміст	$\leq 0,12$	$\leq 0,8$	$\leq 2,0$	$\leq 0,035$	$\leq 0,02$	17,0- 19,0	9,0- 11,0	0,4-1

## 1.2 Визначення типу виробництва та його вплив на підготовку технологічного процесу

За отриманою 3Д моделлю у програмі Autodesk Inventor визначаємо масу деталі, яка має значення 26.1 кг. Обсяг виробництва: 200 деталей.

Визначимо з таблиці тип виробництва.

Табл 1.2 - тип виробництва в залежності від маси і обсягу виготовлення деталі [Т.2, с.9, 2]

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	оди- ничне	мало- серійне	середньо- серійне	велико- серійне	масове
До 1,0	До 10	10...2000	2000...75000	75000...200000	>200000
Від 1,0...2,5	До 10	10...1000	1000...50000	50000...100000	>100000
Від 2,5...5,0	До 10	10...500	500...35000	35000...75000	>75000
Від 5,0...10,0	До 10	10...300	300...25000	25000...50000	>50000
Від 10,0	До 10	10...200	200...10000	10000...25000	>25000

Для даного обсягу та отриманої маси деталі можна визначити малосерійний тип виробництва. Малосерійне виробництво характеризується гнучкістю технологічного процесу, можливістю використання універсального обладнання та стандартного інструменту, а також застосуванням спеціальних інструментів за

необхідністю. Важливим аспектом є ефективна організація виробничих потоків, що дозволяє мінімізувати час простоїв обладнання та знижує витрати на переналагодження верстатів.

У малосерійному виробництві важливим є економічне використання матеріалу, оскільки зменшення коефіцієнта відходів сприяє суттєвому зниженню собівартості продукції. Вибір технологічних баз також має велике значення, оскільки точність розмірів і мінімізація похибок є критично важливими для забезпечення високої якості кінцевого виробу.

Тип виробництва безпосередньо впливає на підготовку технологічного процесу. Основні етапи включають вибір оптимальної заготовки, проектування технологічного маршруту, визначення припусків, підбір відповідного обладнання та інструментів. Також слід враховувати можливість модернізації та автоматизації окремих операцій для підвищення продуктивності та зниження впливу людського фактора.

Отже, класифікація виробництва як малосерійного дозволяє ефективно спланувати технологічний процес, вибрати відповідне обладнання та інструменти, а також оптимізувати витрати на виготовлення деталей.

### **1.3 Оцінка технологічності конструкції деталі**

Аналіз технологічності конструкції деталі «Корпус насосу» включає оцінку її придатності для виготовлення з урахуванням наявних технологічних процесів та обладнання. Важливими аспектами є складність форми, точність, вимоги до припусків, а також можливість використання стандартного або універсального інструменту та оснастки. У разі виготовлення деталі «Корпус насосу», конструкція має бути оцінена за кількома основними критеріями. По-перше, складність форми: деталь має складні контури, зокрема отворів різного діаметра та виїмок, що може ускладнити процес обробки. Це збільшить

час на переналагодження обладнання та підвищить вимоги до точності виготовлення, що впливає на загальні витрати на виробництво.

По-друге, точність і припуски: визначення точності розмірів деталі та припусків на механічну обробку є важливим для вибору технологічних операцій. Оскільки деталь включає різні отвори та виїмки, точність виготовлення повинна бути високою. Це потребуватиме використання спеціального інструменту та більш складних операцій, що збільшить вартість виробництва.

По-третє, можливість застосування універсального обладнання: технологічність конструкції залежить від того, чи можна використовувати стандартне обладнання для її виготовлення. У випадку цієї деталі, зважаючи на наявність різних отворів і виїмок, може бути необхідне спеціалізоване обладнання для точного виконання операцій, що може призвести до додаткових витрат на модернізацію або налаштування виробничих ліній.

Останнім критерієм є оброблюваність матеріалу: вибір матеріалу для виготовлення деталі впливає на вибір технологічних операцій. Якщо деталь виготовляється з матеріалу, який складно обробляти, або якщо вимагається спеціальне покриття чи термічна обробка, це потребуватиме додаткових затрат на інструмент і обладнання.

Отже, технологічність конструкції деталі «Корпус» вимагає ретельного підходу до вибору матеріалів, інструментів та обладнання для забезпечення необхідної точності та якості виготовлення.

#### **1.4 Проектування форми заготовки**

Важливим етапом технологічного процесу є оптимальний підбір заготовки. Від нього залежить як економічна ефективність, так і продуктивність обробки. Грамотно обрана заготовка дає змогу знизити залишкові напруження у матеріалі, зменшити припуски на механічну обробку та прискорити виготовлення деталі.

- Основними факторами, що визначають вибір заготовки, є:
- Матеріал деталі: сталь 12X18H10T із високою корозійною стійкістю;
- Конструктивна форма деталі: прямокутна призма з декількома отворами;
- Серійність виробництва: малосерійне виробництво (200 деталей);  
Маса деталі: 26,1 кг.

Зважаючи на матеріал, форму деталі та обсяг виробництва, найбільш доцільним є використання заготовки, отриманої методом кування зі сталі 12X18H10T. Такий вибір обґрунтований наступними перевагами:

- **Гарячий процес кування** забезпечує високу щільність та однорідність структури металу, що позитивно впливає на механічні властивості деталі;
- **Зменшення залишкових напружень** у порівнянні з литтям, що дозволяє підвищити точність обробки та зменшити ймовірність деформацій під час експлуатації;
- **Підвищення зносостійкості та міцності**, що особливо важливо для деталей з нержавіючої сталі, які працюють в агресивному середовищі;
- **Можливість отримання заготовок наближеної до готової форми**, що знижує обсяг механічної обробки та витрати матеріалу.

Таким чином, використання кованих заготовок із сталі 12X18H10T є найбільш раціональним рішенням для даної деталі за умов малосерійного виробництва.

Змоделюємо заготовку для визначення маси заготовки, це потрібно для визначення коефіцієнту використання матеріалу.

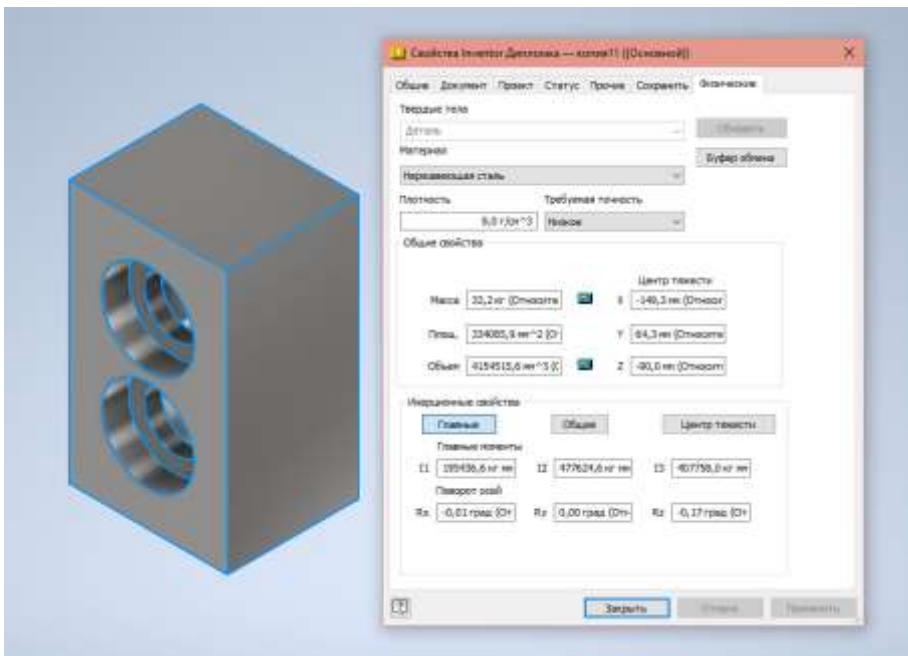
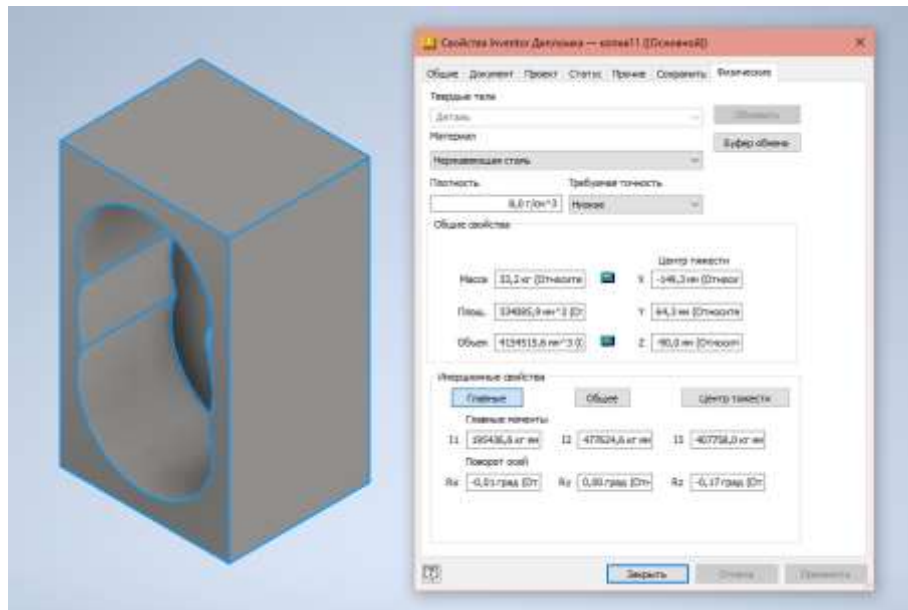


Рис. 1.4 – Змодельована заготовка

Розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{шт}} = \frac{m_{\text{д}}}{m_{\text{заг}}} = \frac{26,1}{33,2} = 0,78 \quad (1.4)$$

Кресленник заготовки знаходиться на 1-му листі А1.

## 1.5 Вибір та обґрунтування баз для реалізації технологічного процесу

Вихідними даними для вибору технологічних баз є робоче креслення деталі «Корпус насосу». Для обґрунтування вибору баз необхідно класифікувати поверхні деталі відповідно до їх функціонального призначення. Це дозволяє визначити основні бази, які забезпечують точність виготовлення, обробки та монтажу деталі в її вузлі.

Поверхні деталі поділяються на такі категорії:

- Основна конструкторська база (ОКБ): це поверхня або кілька поверхонь, які визначають орієнтацію деталі в складі вузла. Для «Корпусу» ОКБ може бути вибрана одна з основних площин, що забезпечує правильне розміщення деталі в складі вузла.
- Допоміжна конструкторська база (ДКБ): це поверхні, що визначають відносне розташування «Корпусу» та інших елементів, з якими він взаємодіє, таких як ущільнювальні елементи чи прокладки.
- Кріпильні поверхні (КП): це поверхні, що забезпечують фіксацію «Корпусу» в вузлі, щоб запобігти його переміщенню або зсуву під час експлуатації. Це можуть бути поверхні для закріплення деталі за допомогою стопорних елементів чи фіксаторів.
- Вільні поверхні (ВП): додаткові поверхні, що не взаємодіють з іншими деталями, але формують загальну геометрію деталі. Це можуть бути зовнішні частини корпусу, які не впливають на механічні з'єднання.

Оскільки складальне креслення вузла, в якому знаходиться деталь «Корпус насоса», відсутнє, вибір баз проводиться на основі аналізу конструкції деталі та її функціонального призначення. Саме тому правильний вибір технологічних баз є критично важливим для забезпечення необхідної точності при виготовленні та подальшому монтажі деталі. Відповідність базувальних поверхонь вимогам

конструкції допомагає знизити похибки в процесі механічної обробки, а також підвищує надійність і довговічність деталі в експлуатації.

Коректний вибір баз також сприяє стабільності виробничого процесу, зменшуючи можливі похибки під час фіксації деталі. Використання правильно обраних баз забезпечує повторюваність виготовлення деталей як в серійному, так і в малосерійного виробництві. Це особливо важливо для забезпечення сумісності «Корпусу» з іншими елементами вузла, гарантуючи його безперебійну роботу та тривалу експлуатацію в складі гідравлічної або пневматичної системи.

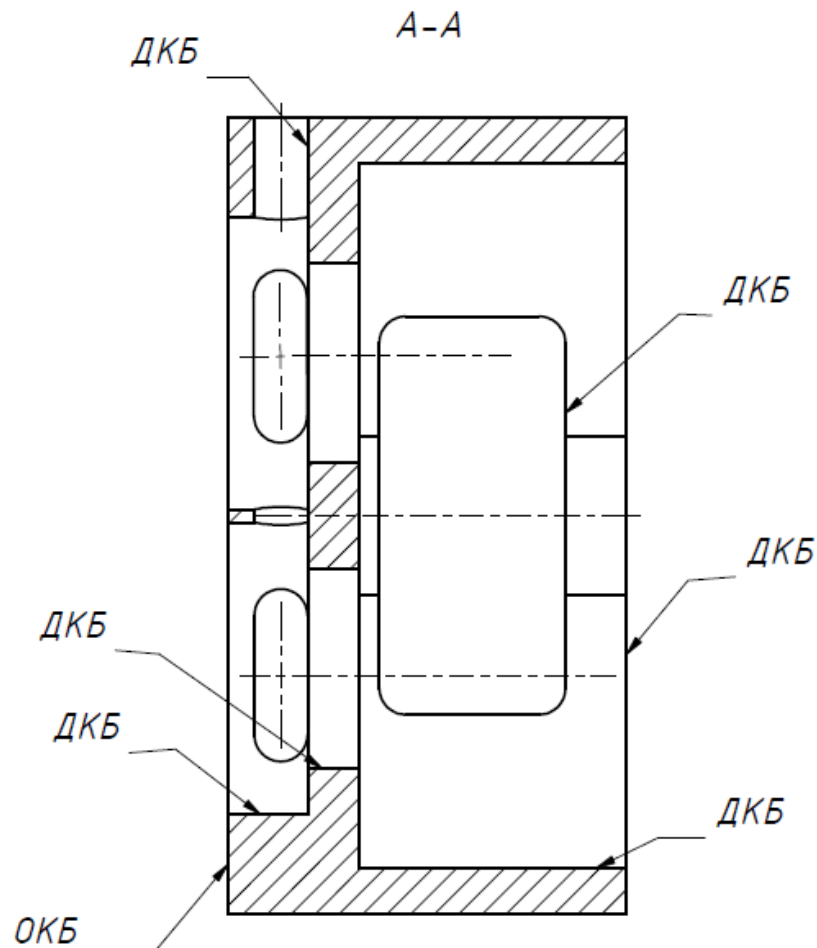


Рис. 1.5 – Класифікація поверхонь за їх призначенням

Як видно з рисунка 1.5 для деталі «Корпус» не маючи креслення деталі у вузлі можливо припустити що основними базами буде поверхня яка кріпитися до

основного вузла. Різьбові отвори є кріпильними поверхнями. Допоміжні конструкторські бази це поверхні які контактують з іншими деталями приладу. Вільних поверхонь немає.

### 1.6 Побудова типової послідовності обробки поверхонь заготовки

Пронумеруємо поверхні вищевказаної деталі для подальшого позначення у розробці маршрутів оброблення елементарних поверхонь.

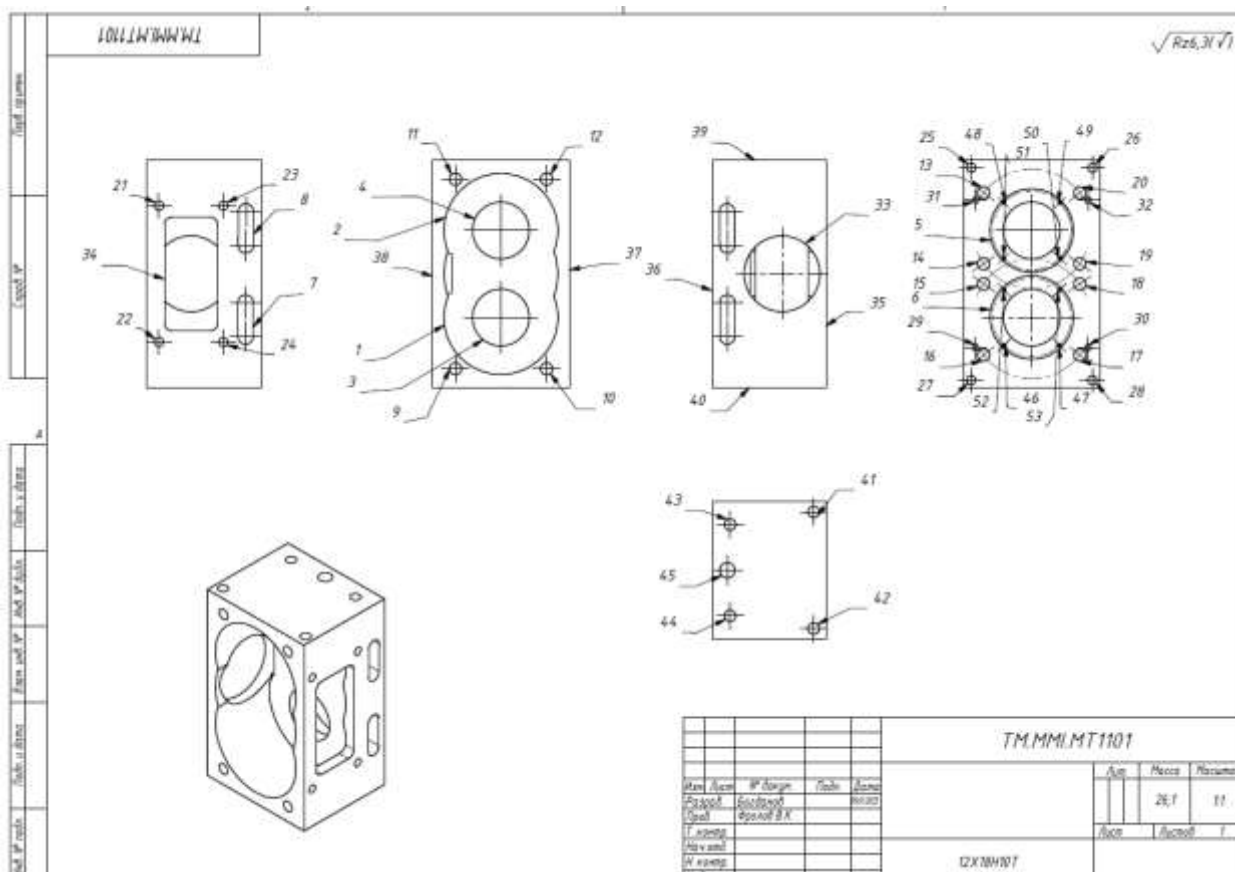


Рис. 1.6 – Позначення поверхонь деталі «Корпус насоса»

Розпишемо маршрути оброблення в наступній таблиці.

Табл. 1.6 – Таблиця маршрутів оброблення елементарних поверхонь

№	Параметри поверхні	Характеристики якості поверхні за креслеником		Маршрути обробки поверхні	Характеристики якості поверхні після обробки	
		IT	Ra		IT	Ra

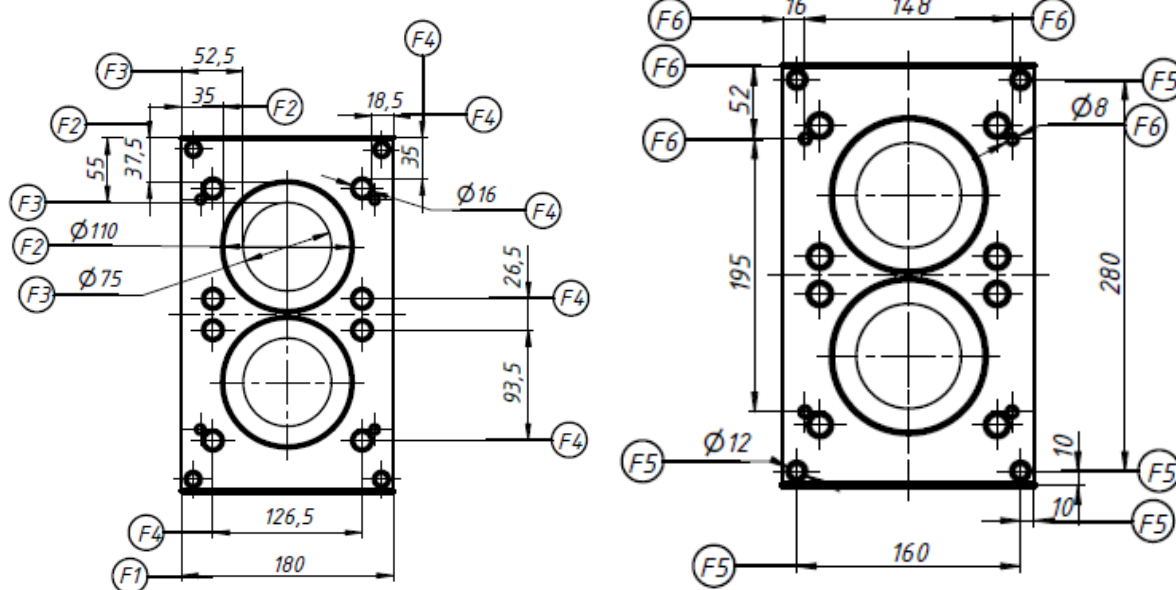
35, 36, 37, 38, 39, 40	Торцева поверхня	15	50	1. Фрезерування чорнове	12	6,3
1, 2	Внутрішня циліндрична поверхня, Ø150H7	15	50	1. Фрезерування чорнове 2. Фрезерування чистове 3. Шліфування одноразове	12 11 7	6,3 3,2 2,5
3, 4	Внутрішня циліндрична поверхня, Ø75H7	15	50	1. Свердління 2. Фрезерування чорнове 3. Фрезерування чистове 4. Шліфування одноразове	12 12 11 7	6,3 6,3 3,2 2,5
5, 6	Внутрішня циліндрична поверхня, Ø110H7	15	50	1. Фрезерування чорнове 2. Фрезерування чистове 3. Шліфування одноразове	12 12 11 7	6,3 6,3 3,2 2,5
7, 8	Паз	15	50	1. Свердління 2. Фрезерування чорнове	12 12	6,3 6,3
9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18,	Різьбова поверхня, M16x30	15	50	1. Свердління 2. Фрезерування різьби	12 8	6,3 3,2

19, 20						
21, 22, 23, 24,	Різьбова поверхня, M12x15	15	50	1. Свердління 2. Фрезерування різьби	12 8	6,3 3,2
25, 26, 27, 28	Різьбова поверхня, M12x30	15	50	1. Свердління 2. Фрезерування різьби	12 8	6,3 3,2
29, 30, 31, 32	Внутрішня циліндрична поверхня, Ø 8H7	15	50	1. Свердління	12	6.3
33	Внутрішня циліндрична поверхня, Ø100	15	50	1. Свердління 2. Фрезерування чорнове	12 12	6,3 6.3
34	Наскрізний паз	15	50	1. Свердління 2. Фрезерування чорнове	12 12	6,3 6.3
41, 42, 43, 44	Різьбова поверхня, M15x20	15	50	1. Свердління 2. Фрезерування різьби	12 8	6,3 3,2
45	Внутрішня циліндрична поверхня, Ø20	15	50	1. Свердління	12	6,3

Розробка оптимальної послідовності обробки поверхонь є ключовим етапом у створенні ефективного технологічного процесу. Вона передбачає ретельний підхід до визначення ланцюга технологічних операцій, які забезпечать необхідні експлуатаційні якості готової деталі. Основна ідея полягає у поступовому підвищенні точності обробки - від чорнових операцій зі зняттям основного припуску до чистових переходів, що забезпечують фінальні параметри деталі. Для отворів, які потребують високої точності, типова

послідовність включає свердління, розточування та при необхідності розвертання. Особливу увагу при плануванні слід приділяти вибору технологічних баз - на початкових етапах використовуються основні бази для чорнової обробки, тоді як для фінішних операцій застосовуються додаткові точні бази. Грамотно побудований маршрут обробки є гарантією виготовлення якісної деталі, яка повністю відповідатиме технічним вимогам креслення та забезпечуватиме безвідмовну роботу золотника у складі вузла. Правильний підхід до планування технологічного процесу дозволяє досягти оптимального співвідношення між продуктивністю, точністю та собівартістю виготовлення.

### 1.7 Розробка операційного технологічного процесу виготовлення деталі 005 Фрезерна з ЧПК, верстат моделі Верстат VF-2



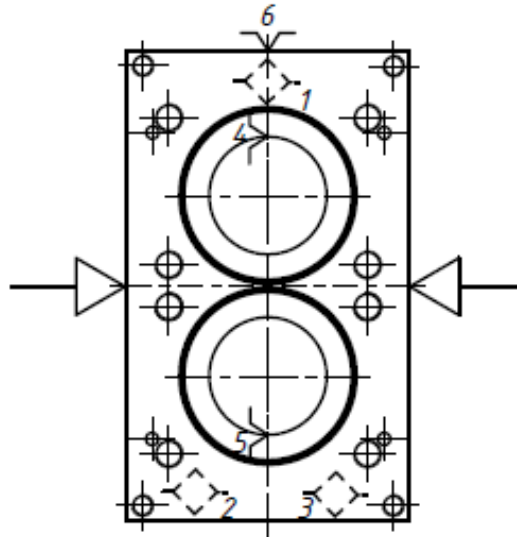


Рис. 1.7.1 – Операція 005

005.01 Установити, закріпити, зняти.

005.02 Фрезерувати начорно торцеву поверхню

005.03 Фрезерувати начорно торцеву поверхню, витримуючи розміри F1

005.04 Фрезерувати начорно внутрішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри F2

005.05 Свердлити внутрішню циліндричну поверхню, витримуючи розмір інструмента операції (005.06)

005.06 Фрезерувати начорно внутрішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри F3

005.07 Свердлити 8 отворів, витримуючи розміри F4

005.08 Свердлити 4 отвори, витримуючи розміри F5

005.09 Свердлити 4 отвори, витримуючи розміри F6

005.10 Фрезерувати начисто внутрішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри F2

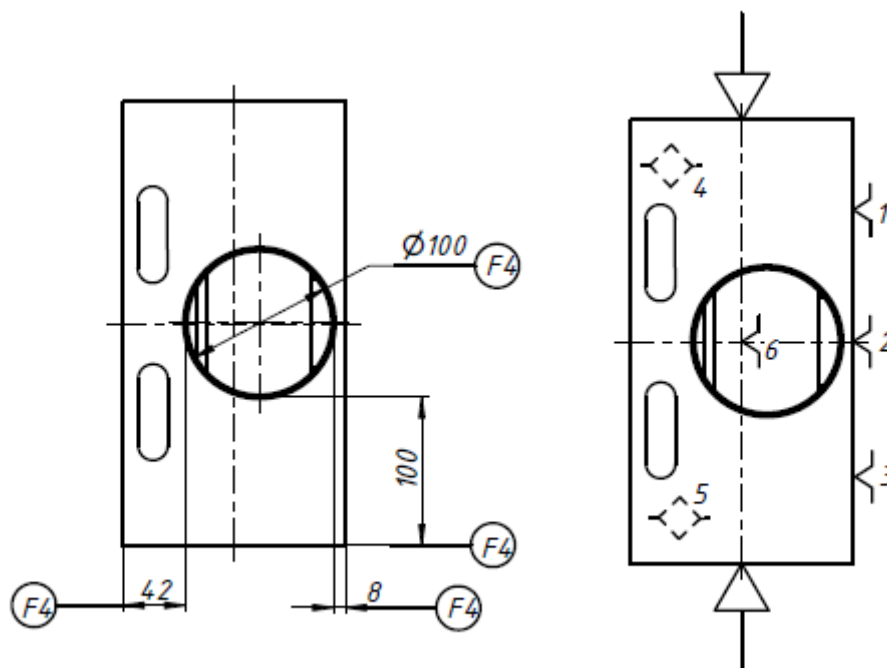
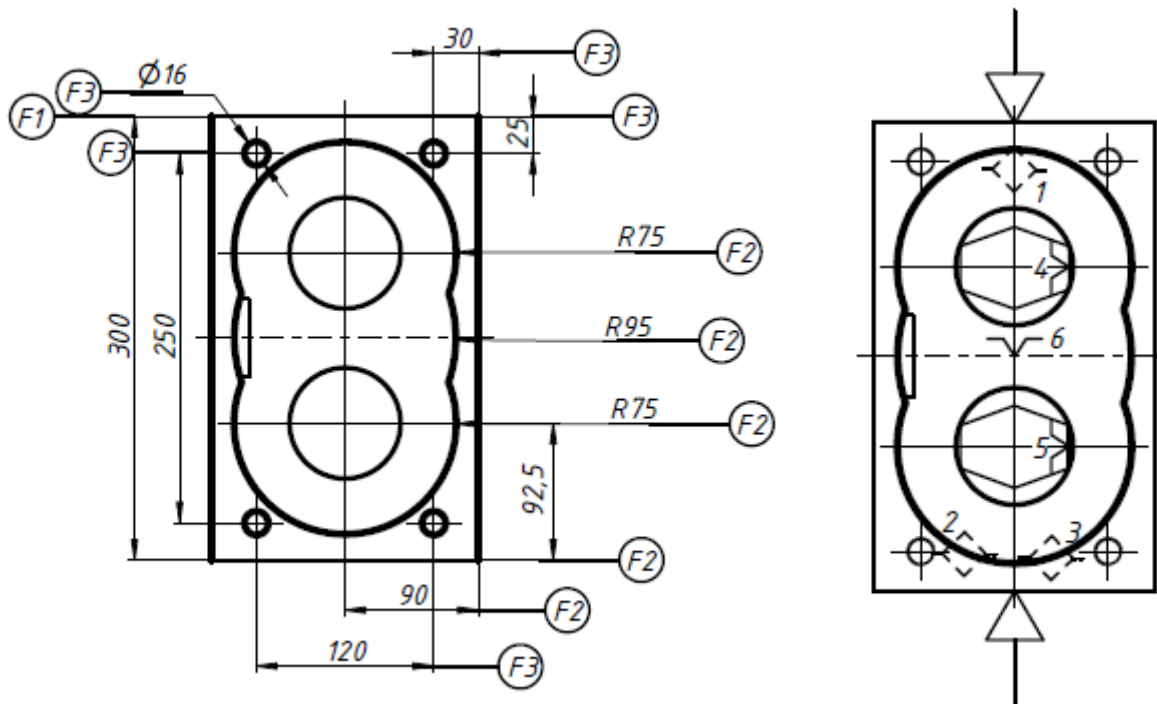
005.11 Фрезерувати начисто внутрішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри F3

005.12 Фрезерувати різьбу поверхні, витримуючи розміри F4

005.13 Фрезерувати різьбу поверхні, витримуючи розміри F5

005.14 Фрезерувати різьбу поверхні, витримуючи розміри F6

010 Фрезерна з ЧПК, верстат моделі Верстат VF-2



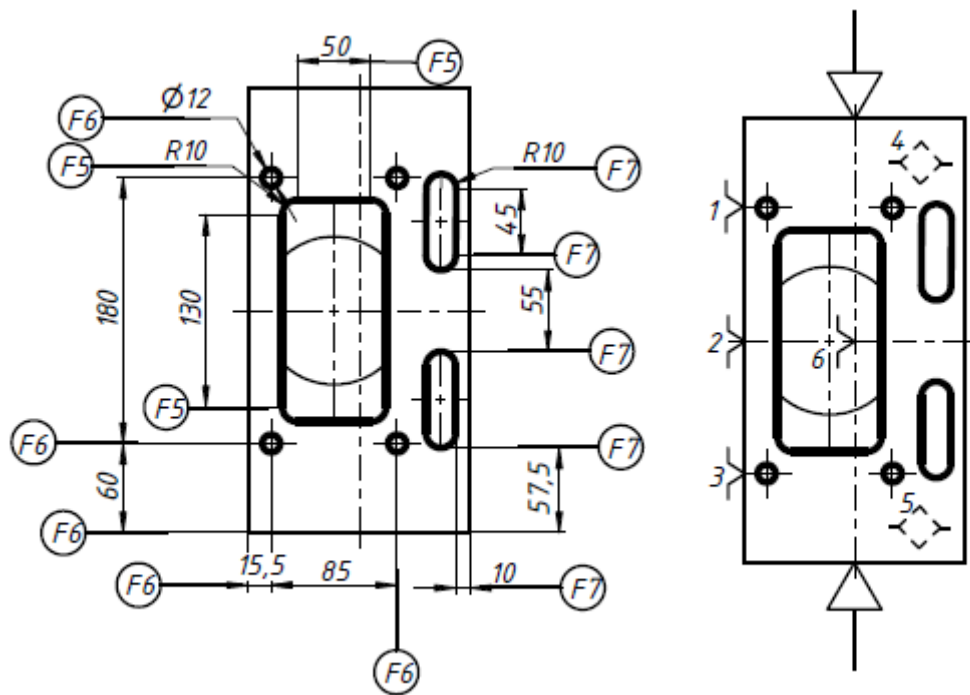


Рис. 1.7.2 – Операція 010

010.01 Установити, закріпити, зняти.

010.02 Фрезерувати начорно торцеву поверхню

010.03 Фрезерувати начорно торцеву поверхню, витримуючи розмір F1

010.04 Фрезерувати начорно внутрішню циліндричну поверхню , витримуючи розміри F2

010.05 Фрезерувати начисто внутрішню циліндричну поверхню , витримуючи розміри F2

010.06 Свердлити різьбові поверхні, витримуючи розміри F3

010.07 Фрезерувати різьбу поверхні, витримуючи розміри F3

010.08 Повернути заготовку на 90°

010.09 Фрезерувати начорно внутрішню поверхню, витримуючи розміри F4

010.10 Повернути заготовку на 180°

010.11 Свердлити наскрізь паз, витримуючи розмір інструмента операції (010.12)

010.12 Фрезерувати начорно паз, витримуючи розміри F5

010.13 Свердлити різьбові поверхні, витримуючи розміри F6

010.14 Фрезерувати різьбу поверхні, витримуючи розміри F6

010.15 Свердли́ти наскрізь паз, витримуючи розмір інструмента операції (010.16)

010.16 Фрезерувати начорно паз, витримуючи розміри F7

### 015 Фрезерна з ЧПК, верстат моделі Верстат VF-2

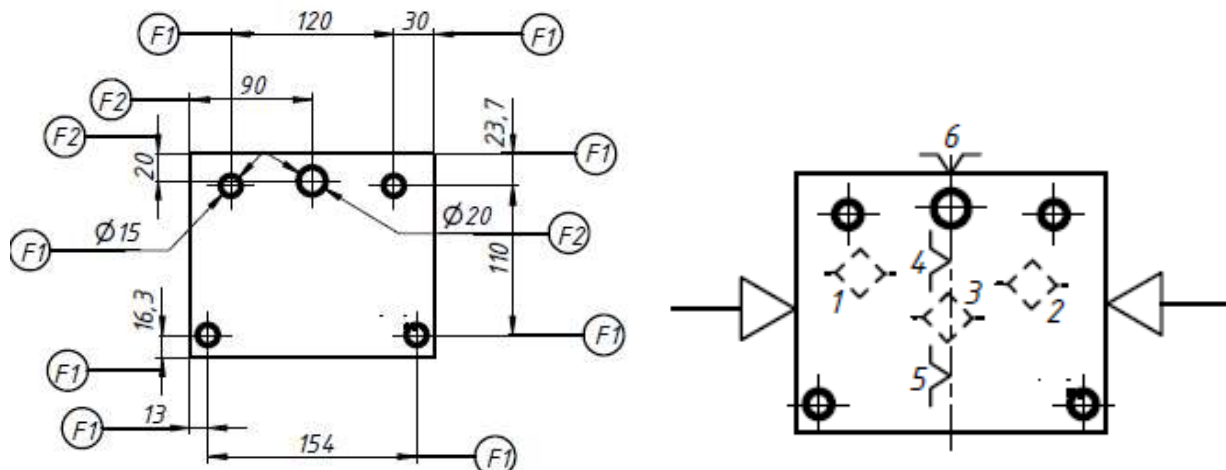


Рис. 1.7.3 – Операція 015

015.01 Установити, закріпити, зняти.

015.02 Свердли́ти різьбові поверхні, витримуючи розміри F1

015.03 Свердли́ти внутрішню циліндричну поверхню, витримуючи розмір F2

015.04 Фрезерувати різьбу поверхні, витримуючи розміри F1

### 020 Шліфувальна, верстат моделі Kellenberger 1000

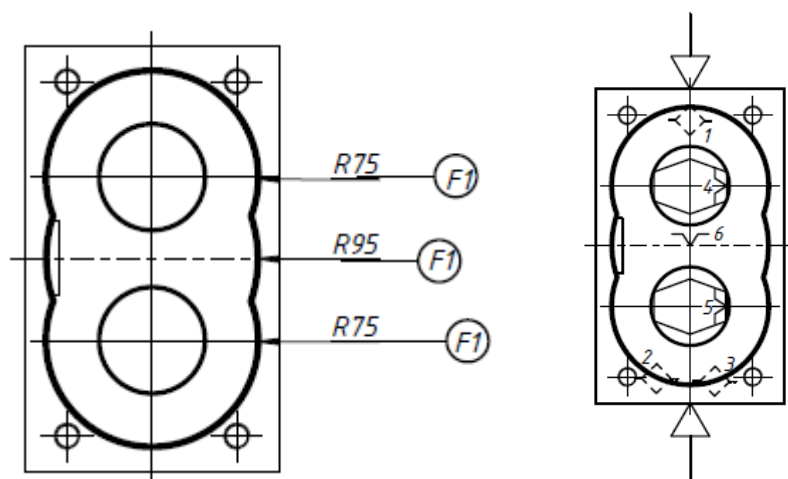


Рис. 1.7.4 – Операція 020

020.01 Установити, закріпити, зняти.

020.02 Шліфувати одноразово внутрішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри F1

### 025 Шліфувальна, верстат моделі Kellenberger 1000

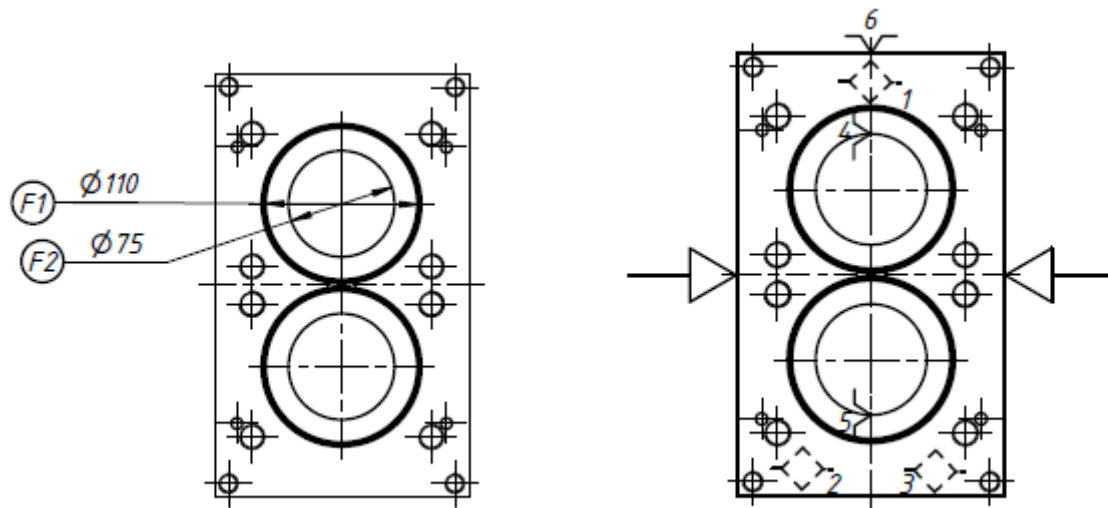


Рис. 1.7.5 – Операція 055

025.01 Установити, закріпити, зняти.

025.02 Шліфувати одноразово внутрішні циліндричні поверхню, витримуючи розміри F1

025.03 Шліфувати одноразово внутрішні циліндричні поверхню, витримуючи розміри F2

### 030 Мийочна

## 1.8 Вибір верстатного обладнання

Підбір верстата для виготовлення деталі проводиться під час розробки технологічної карти. Вибір обладнання залежить від технічних можливостей наявного парку верстатів на підприємстві, що дозволяє забезпечити максимальну ефективність і відповідність технологічним вимогам.

На фрезерній операції використовується верстат HAAS VF-2.



Рис. 1.8.1 – Верстат VF-2

HAAS VF-2 — це високоякісний вертикальний фрезерний станок з ЧПУ, який має ряд переваг для обробки деталей. Він оснащений великим робочим столом розмірами 762×406 мм, що дозволяє працювати з більшими заготовками та виконувати складніші операції. Хід по осях X — 762 мм, Y — 406 мм, Z — 508 мм, що забезпечує великий робочий простір для обробки деталей різних розмірів. Потужність шпинделя 7.5 кВт і швидкість обертання до 8000 об/хв дозволяють ефективно обробляти навіть жорсткі матеріали. Станок забезпечує високу точність і повторюваність, що робить його ідеальним для виготовлення деталей з високими вимогами до допусків. HAAS VF-2 також має високу гнучкість у виконанні різноманітних операцій, включаючи складне 3D-фрезерування, нарізку різьби та інші спеціалізовані роботи. Система ЧПУ значно спрощує програмування та автоматизує більшість операцій, що дозволяє збільшити швидкість обробки та зменшити ймовірність помилок. HAAS VF-2 є оптимальним вибором для високоточних фрезерувальних робіт, де важливі точність, потужність та ефективність.

На шліфувальні операції використовується верстат Kellenberger 1000.



Рис. 1.8.2 – Верстат Kellenberger 1000

Kellenberger 1000 — це універсальний шліфувальний верстат з ЧПУ, розроблений для високоточних операцій з обробки як зовнішніх, так і внутрішніх поверхонь. Він ідеально підходить для прототипного виробництва, а також для малосерійного та середньосерійного виробництва в таких галузях, як інструментальна, автомобільна, електрична та аерокосмічна промисловість. Основні характеристики Kellenberger 1000 включають висоту центру 200/250/300 мм, відстань між центрами 1000/1600 мм і максимальну вагу заготовки до 300 кг. Хід осей X та Z складає відповідно 365 мм і 1150/1670 мм. Верстат оснащений гідростатичними напрямними на всіх основних осях для забезпечення високої точності та стабільності, а також швидкохідними осями з прямими приводами, що зменшують час на переналагодження і підвищують продуктивність. Шліфувальні головки для Kellenberger 1000 мають більше 30 варіантів, включаючи зовнішні та внутрішні шпинделі, що забезпечує гнучкість при виконанні різних операцій. Система управління на базі ЧПУ FANUC 31i-B з 19-дюймовим сенсорним екраном дозволяє швидко та зручно програмувати верстат, а інтерфейс BLUE Solution забезпечує інтуїтивне налаштування.

## 1.9 Розрахунок припусків для окремих технологічних переходів

Припуск — це шар матеріалу, який необхідно зняти з поверхні заготовки під час обробки для досягнення потрібних розмірів, точності та якості поверхні деталі. Він є необхідним етапом технологічного процесу, оскільки без нього неможливо досягти потрібної геометрії деталі. Величина припуску залежить від типу обробки, виду матеріалу, точності обладнання та інших факторів, які впливають на кінцевий результат. Припуск зазвичай визначається на основі стандартів (таких як ДСТУ, ISO та інші) або розраховується за допомогою аналітичних методів з урахуванням особливостей конкретного технологічного процесу. Визначення припуску враховує тип обробки, точність обладнання, рівень зносу інструменту та інші фактори, які впливають на кінцевий результат. При використанні стандартних таблиць для розрахунку припусків можна швидко призначити необхідні значення, однак ці припуски часто мають завищені значення, оскільки не завжди враховують усі індивідуальні умови обробки, такі як знос інструментів, точність верстатів та інші деталі обробки. Такий підхід може призвести до зайвого зняття матеріалу, що збільшує витрати і знижує ефективність виробництва. Для більш точного визначення припусків використовують розрахунково-аналітичний підхід. Цей метод включає детальний аналіз кожної операції та враховує вплив таких факторів, як тип обробки, знос інструменту, точність верстата та інших умов. Це дозволяє отримати точніші значення припусків, запобігти надмірному зняттю матеріалу і сприяти економії ресурсів.

Існують кілька основних типів припусків, які можна розрізнити за етапами обробки: загальний припуск, який є сумою всіх припусків, що необхідно зняти з деталі протягом усього процесу обробки, і операційний припуск, що знімається на конкретній стадії обробки, під час виконання певної технологічної операції. Міжопераційні припуски можуть бути різними для кожної операції: чорнового,

напівчистового та чистового фрезерування чи точіння. Чорновий припуск — це найбільша товщина шару, який знімається на перших етапах обробки за допомогою грубих інструментів. Чистовий припуск — це найменший припуск, який знімається на завершальному етапі обробки. Чистовий припуск забезпечує досягнення необхідної точності розмірів і якості поверхні.

### 1.9.1 Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом

Виконаємо розрахунок для визначення припуску на обробку поверхні 3,4 за рисунком 1.6.1.

Необхідно отримати 7 квалітет. Заготовку отримаємо поковкою з 15 квалітетом. Тобто вхідними даними будуть Н15.

Стратегія обробки поверхні:

- Фрезерування чорнове
- Фрезерування чистове
- Шліфування одноразове

Поля допусків на поверхню складають:

- Фрезерування чорнове = 300 мкм;
- Фрезерування чистове = 150 мкм;
- Шліфування одноразове = 10 мкм;

Розрахунок мінімального припуску на обробку проводиться за допомогою наступної формули [ф.1, с.175, 3]:

$$Z_{imin} = (R_z + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i, \quad (1.9.1.1)$$

де  $R_{z_{i-1}}$  – висота мікронерівностей профілю на попередньому етапі обробки;  $h_{i-1}$  – глибина дефектного шару після попереднього переходу;  $\Delta_{\Sigma i-1}$  – сумарне відхилення дефектного шару на попередньому етапі;  $\varepsilon_i$  – похибка при установці заготовки.

Максимальний припуск на обробку визначається за такою формулою [ф.6, с.176, 3]:

$$Z_{imax} = Z_{imin} + T_{i-1} - T_i, \quad (1.9.1.2)$$

де  $Z_{i \min}$  – розраховане значення мінімального припуску на операції;  $T_{i-1}$  – допуск на попередньому етапі обробки;  $T_i$  – допуск на поточному етапі, який розраховується.

Параметри  $R_{z1,2,3}$  та  $h_{1,2,3}$  для переходів знаходимо по таблиці [т.10, с.185, 3]:

- $R_{z1} = 50$  мкм,  $h_1 = 50$  мкм;
- $R_{z2} = 20$  мкм,  $h_2 = 20$  мкм;
- $R_{z3} = 5$  мкм,  $h_3 = 10$  мкм;

Так як у нас корпусна деталь, то з таблиці [т.8, с.183, 3] відомо відхилення короблення  $\Delta_K$ : 0,3-0,5 мкм на 1 мм.

Загальне просторове відхилення після чорнового фрезерування:

$$\Delta_{K2} = \Delta_{K1} \cdot K_y$$

$$\Delta_{K1} = \Delta_K \cdot L = 0,004 \cdot 50 = 0,2 \text{ мм} = 200 \text{ мкм} \quad (1.9.1.3)$$

Тоді:

$$\Delta_{K2} = \Delta_{K1} \cdot K_y = 200 \cdot 0,06 = 12 \text{ мкм} \quad (1.9.1.4)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення [т.29, с190, 3], який має значення для попереднього точіння  $K_y = 0,06$ .

Загальне просторове відхилення після фрезерування чистового:

$$\Delta_{K3} = \Delta_{K2} \cdot K_y = 12 \cdot 0,04 = 0,48 \text{ мкм} \quad (1.9.1.5)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення [т.29, с190, 3], який має значення для чистового фрезерування  $K_y = 0,04$ .

Розрахуємо похибку установки заготовки в ліщатах. Знайдемо за формулою:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_6 + \varepsilon_3$$

де  $\varepsilon_6$  – допуск на діаметр заготовки і складає 1300 мкм;  $\varepsilon_3$  – похибка закріплення заготовки в ліщатах нехай 0,1 мм, тобто 100 мкм.

Отже:

$$\varepsilon_{y1} = 1300 + 100 = 1400 \text{ мкм} \quad (1.9.1.6)$$

$$\varepsilon_{y2} = \varepsilon_{y1} \cdot K_{y2} = 1400 \cdot 0,06 = 84 \text{ мкм} \quad (1.9.1.7)$$

$$\varepsilon_{y3} = \varepsilon_{y2} \cdot K_{y3} = 216 \cdot 0,04 = 3,36 \text{ мкм} \quad (1.9.1.8)$$

Виконаємо розрахунок мінімальних і максимальних припусків на обробку:

$$Z_{2min} = 50 + 50 + 200 + 300 = 600 \text{ мкм} = 0,6 \text{ мм} \quad (1.9.1.9)$$

$$Z_{3min} = 50 + 50 + 12 + 216 = 328 \text{ мкм} \approx 0,328 \text{ мм} \quad (1.9.1.10)$$

$$Z_{2max} = Z_{2min} + T_1 - T_2 = 0,6 + 1,3 - 0,15 = 1,75 \text{ мм} \quad (1.9.1.11)$$

$$Z_{3max} = Z_{3min} + T_2 - T_3 = 0,328 + 0,1 - 0,015 = 0,413 \text{ мм} \quad (1.9.1.12)$$

Розрахуємо загальні припуски:

$$Z_{1min} = Z_{2min} + Z_{3min} = 0,6 + 0,328 = 0,928 \text{ мм} \quad (1.9.1.13)$$

$$Z_{1max} = Z_{2max} + Z_{3max} = 1,75 + 0,413 = 2,163 \text{ мм} \quad (1.9.1.14)$$

Розрахуємо мінімальні і максимальні розміри технічних переходів:

За креслеником деталі (див. рис. 1.1.1.1):

$$a_{3min} = 74,973 \text{ мм}$$

$$a_{3max} = 75,030 \text{ мм}$$

Отже:

$$a_{2min} = a_{3min} + z_{3min} = 74,973 + 0,328 = 75,301 \text{ мм} \quad (1.9.1.15)$$

$$a_{2max} = a_{2min} + T_2 = 75,301 + 0,15 = 75,451 \text{ мм} \quad (1.9.1.16)$$

$$a_{1min} = a_{2min} + z_{2min} = 75,451 + 0,6 = 76,051 \text{ мм} \quad (1.9.1.17)$$

$$a_{1max} = a_{1min} + T_1 = 76,051 + 1,3 = 77,351 \text{ мм} \quad (1.9.1.18)$$

Перевіримо правильність розрахунків за формулою:

$$T_0 - T_3 = Z_{1max} - Z_{1min}$$

$$1,245 - 0,01 = 2,163 - 0,928 \quad (1.9.1.19)$$

Рівність виконується. Отже розрахунки виконані вірно.

Табл. 1.9.1 – прорахунок припуску на обробку поверхні ОКБ


Елементи припуску, мкм	h	$\Delta_k$	$\varepsilon_y$	Розрахунковий припуск $Z_{i_{min}}$ , мкм	Допуск T, мкм	Граничні значення припусків, мм	
						$Z_{min}$	$Z_{max}$
	50	1400	1400	0,928	300	-	-
	20	84	84	0,6	150	0,6	1,75
	10	3,36	3,36	0,328	10	0,328	0,413
						0,928	2,163


	R <sub>z</sub>	50	20	5	
Технологічні Переходи обробки поверхні ОКБ1		Фрезерування чорнове	Фрезерування чистове	Шліфування одноразове	

### 1.10 Визначення режимів різання



Визначимо режими різання шляхом використання калькулятора від Sandvik Cormant [4] і знайдемо інструменти для операцій для знаходження режимів різання.


Табл. 1.10 – Різальні інструменти для операцій

Номер операції і	Інструмент																								
005.02 005.03	 <table border="1"> <tr> <td>VC (mm) швидкість різання</td> <td>FZ (mm) подача на зуб</td> <td>N (1/min) частота обертання шпинделя</td> </tr> <tr> <td>374</td> <td>0,8</td> <td>2300</td> </tr> <tr> <td>VFM (mm/min) подача на один виток/один діаметр</td> <td>AE (mm) глибина фрезерування</td> <td>AP (mm) глибина різання</td> </tr> <tr> <td>5630</td> <td>0,3</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>ICORAE число трюзових напівнадрів на зуб</td> <td>ICORAP число трюзових напівнадрів на зуб</td> <td>IPC (kW) потужність різання</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>3</td> <td>5,48</td> </tr> <tr> <td>MMC (mm) кількість ходів</td> <td>MEK (mm) контурна товщина</td> <td>DQ (mm/min) швидкість зйому матеріалу</td> </tr> <tr> <td>22,2</td> <td>0,323</td> <td>84,5</td> </tr> </table>	VC (mm) швидкість різання	FZ (mm) подача на зуб	N (1/min) частота обертання шпинделя	374	0,8	2300	VFM (mm/min) подача на один виток/один діаметр	AE (mm) глибина фрезерування	AP (mm) глибина різання	5630	0,3	30	ICORAE число трюзових напівнадрів на зуб	ICORAP число трюзових напівнадрів на зуб	IPC (kW) потужність різання	1	3	5,48	MMC (mm) кількість ходів	MEK (mm) контурна товщина	DQ (mm/min) швидкість зйому матеріалу	22,2	0,323	84,5
VC (mm) швидкість різання	FZ (mm) подача на зуб	N (1/min) частота обертання шпинделя																							
374	0,8	2300																							
VFM (mm/min) подача на один виток/один діаметр	AE (mm) глибина фрезерування	AP (mm) глибина різання																							
5630	0,3	30																							
ICORAE число трюзових напівнадрів на зуб	ICORAP число трюзових напівнадрів на зуб	IPC (kW) потужність різання																							
1	3	5,48																							
MMC (mm) кількість ходів	MEK (mm) контурна товщина	DQ (mm/min) швидкість зйому матеріалу																							
22,2	0,323	84,5																							
005.04 005.06	 <table border="1"> <tr> <td>VC (mm) швидкість різання</td> <td>FZ (mm) подача на зуб</td> <td>N (1/min) частота обертання шпинделя</td> </tr> <tr> <td>180</td> <td>0,25</td> <td>718</td> </tr> <tr> <td>VF (mm/min) швидкість різання/швидкість різання</td> <td>VFM (mm/min) подача на один виток/один діаметр</td> <td>AE (mm) глибина фрезерування</td> </tr> <tr> <td>701</td> <td>1000</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>AP (mm) глибина різання</td> <td>ICORAE число трюзових напівнадрів на зуб</td> <td>ICORAP число трюзових напівнадрів на зуб</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>1</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>DMS (mm) динамічний момент</td> <td>IPC (kW) потужність різання</td> <td>MMC (mm) кількість ходів</td> </tr> <tr> <td>130</td> <td>47,8</td> <td>838</td> </tr> </table>	VC (mm) швидкість різання	FZ (mm) подача на зуб	N (1/min) частота обертання шпинделя	180	0,25	718	VF (mm/min) швидкість різання/швидкість різання	VFM (mm/min) подача на один виток/один діаметр	AE (mm) глибина фрезерування	701	1000	75	AP (mm) глибина різання	ICORAE число трюзових напівнадрів на зуб	ICORAP число трюзових напівнадрів на зуб	10	1	10	DMS (mm) динамічний момент	IPC (kW) потужність різання	MMC (mm) кількість ходів	130	47,8	838
VC (mm) швидкість різання	FZ (mm) подача на зуб	N (1/min) частота обертання шпинделя																							
180	0,25	718																							
VF (mm/min) швидкість різання/швидкість різання	VFM (mm/min) подача на один виток/один діаметр	AE (mm) глибина фрезерування																							
701	1000	75																							
AP (mm) глибина різання	ICORAE число трюзових напівнадрів на зуб	ICORAP число трюзових напівнадрів на зуб																							
10	1	10																							
DMS (mm) динамічний момент	IPC (kW) потужність різання	MMC (mm) кількість ходів																							
130	47,8	838																							

005.05		VC [m/min] СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ	FN [mm] ПОДАЧА НА ОБОРОТ
		1 134	0.365
		<hr/>	
		VF [mm/min] МИНУТНАЯ ПОДАЧА У ЦЕНТРА ИНСТРУМЕНТА	PPC [kW] МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ
		1 971	8.9
		<hr/>	
		FFF [N] УСИЛИЕ ПОДАЧИ	DEPTH [mm] ГЛУБИНА
		1 3130	30

Продовження табл. 1.10.1

005.07		VC [mm/min] CUTTING SPEED	FN [mm] FEED PER REVOLUTION	N [1/min] SPINDLE SPEED
		1 110	0.376	2190
		<hr/>		
		VF [mm/min] FEED SPEED AT TOOL CENTER	PPC [kW] CUTTING POWER	MMC [Nm] CUTTING TORQUE
		1 823	7.41	323
		<hr/>		
		FFF [N] FEED FORCE	DEPTH [mm] SERIAL DEPTH PARAMETER	
		1 3310	20	
005.08		VC [mm/min] CUTTING SPEED	FN [mm] FEED PER REVOLUTION	N [1/min] SPINDLE SPEED
		1 110	0.342	2820
		<hr/>		
		VF [mm/min] FEED SPEED AT TOOL CENTER	PPC [kW] CUTTING POWER	MMC [Nm] CUTTING TORQUE
		1 995	5.21	171
		<hr/>		
		FFF [N] FEED FORCE	DEPTH [mm] SERIAL DEPTH PARAMETER	
		1 2330	20	

<p>005.09</p>  <p>005.10</p>  <p>005.11</p>	<table border="0"> <tr> <td>VC (mm/min) CUTTING SPEED</td> <td>FN (mm) FEED PER REVOLUTION</td> <td>N (1/min) SPINDLE SPEED</td> </tr> <tr> <td>1 177</td> <td>0.27</td> <td>7000</td> </tr> <tr> <td>VF (mm/min) FEED SPEED AT TOOL CENTER</td> <td>PPC (kW) CUTTING POWER</td> <td>MMC (Nm) CUTTING TORQUE</td> </tr> <tr> <td>1 1800</td> <td>4.77</td> <td>6.48</td> </tr> <tr> <td>FFF (N) FEED FORCE</td> <td>DEPTH (mm) DEPTH OF CUT</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 1300</td> <td>20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VC (mm/min) СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ</td> <td>VZ (mm) ПОДАЧА НА ВВ</td> <td>N (1/min) ЧИСЛО ВРАЩЕНИЙ В МИНУТУ</td> </tr> <tr> <td>5 180</td> <td>0.35</td> <td>718</td> </tr> <tr> <td>VF (mm/min) СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ В ЦЕНТРЕ ИНСТРУМЕНТА</td> <td>VFM (mm/min) ПОДАЧА НА ОБЪЕМ В ЦЕНТРЕ ИНСТРУМЕНТА</td> <td>AE (mm) ГЛУБИНА ВРЕЗКОПОДАНИИ</td> </tr> <tr> <td>5 701</td> <td>1000</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>AP (mm) ПЛУВАКА РЕЗАНИЯ</td> <td>NDPFE ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АЕ</td> <td>NDPAP ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АР</td> </tr> <tr> <td>5 30</td> <td>1</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>DMS (mm) ДИНАМИЧЕСКИЙ МОМЕНТ</td> <td>PPC (kW) МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ</td> <td>MMC (Nm) МОМЕНТ ПРОЖИГАНИЯ</td> </tr> <tr> <td>5 130</td> <td>47.8</td> <td>638</td> </tr> </table>	VC (mm/min) CUTTING SPEED	FN (mm) FEED PER REVOLUTION	N (1/min) SPINDLE SPEED	1 177	0.27	7000	VF (mm/min) FEED SPEED AT TOOL CENTER	PPC (kW) CUTTING POWER	MMC (Nm) CUTTING TORQUE	1 1800	4.77	6.48	FFF (N) FEED FORCE	DEPTH (mm) DEPTH OF CUT		1 1300	20		VC (mm/min) СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ	VZ (mm) ПОДАЧА НА ВВ	N (1/min) ЧИСЛО ВРАЩЕНИЙ В МИНУТУ	5 180	0.35	718	VF (mm/min) СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ В ЦЕНТРЕ ИНСТРУМЕНТА	VFM (mm/min) ПОДАЧА НА ОБЪЕМ В ЦЕНТРЕ ИНСТРУМЕНТА	AE (mm) ГЛУБИНА ВРЕЗКОПОДАНИИ	5 701	1000	75	AP (mm) ПЛУВАКА РЕЗАНИЯ	NDPFE ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АЕ	NDPAP ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АР	5 30	1	10	DMS (mm) ДИНАМИЧЕСКИЙ МОМЕНТ	PPC (kW) МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ	MMC (Nm) МОМЕНТ ПРОЖИГАНИЯ	5 130	47.8	638
VC (mm/min) CUTTING SPEED	FN (mm) FEED PER REVOLUTION	N (1/min) SPINDLE SPEED																																									
1 177	0.27	7000																																									
VF (mm/min) FEED SPEED AT TOOL CENTER	PPC (kW) CUTTING POWER	MMC (Nm) CUTTING TORQUE																																									
1 1800	4.77	6.48																																									
FFF (N) FEED FORCE	DEPTH (mm) DEPTH OF CUT																																										
1 1300	20																																										
VC (mm/min) СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ	VZ (mm) ПОДАЧА НА ВВ	N (1/min) ЧИСЛО ВРАЩЕНИЙ В МИНУТУ																																									
5 180	0.35	718																																									
VF (mm/min) СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ В ЦЕНТРЕ ИНСТРУМЕНТА	VFM (mm/min) ПОДАЧА НА ОБЪЕМ В ЦЕНТРЕ ИНСТРУМЕНТА	AE (mm) ГЛУБИНА ВРЕЗКОПОДАНИИ																																									
5 701	1000	75																																									
AP (mm) ПЛУВАКА РЕЗАНИЯ	NDPFE ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АЕ	NDPAP ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АР																																									
5 30	1	10																																									
DMS (mm) ДИНАМИЧЕСКИЙ МОМЕНТ	PPC (kW) МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ	MMC (Nm) МОМЕНТ ПРОЖИГАНИЯ																																									
5 130	47.8	638																																									
<p>005.12</p> <p>005.13</p> <p>005.14</p>	 <table border="0"> <tr> <td>VC (mm/min) CUTTING SPEED</td> <td>FN (mm) FEED PER REVOLUTION</td> <td>N (1/min) SPINDLE SPEED</td> </tr> <tr> <td>1 61.4</td> <td>2</td> <td>1220</td> </tr> <tr> <td>PPC (kW) CUTTING POWER</td> <td>MMC (Nm) CUTTING TORQUE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 3.43</td> <td>36.8</td> <td></td> </tr> </table>	VC (mm/min) CUTTING SPEED	FN (mm) FEED PER REVOLUTION	N (1/min) SPINDLE SPEED	1 61.4	2	1220	PPC (kW) CUTTING POWER	MMC (Nm) CUTTING TORQUE		1 3.43	36.8																															
VC (mm/min) CUTTING SPEED	FN (mm) FEED PER REVOLUTION	N (1/min) SPINDLE SPEED																																									
1 61.4	2	1220																																									
PPC (kW) CUTTING POWER	MMC (Nm) CUTTING TORQUE																																										
1 3.43	36.8																																										
<p>010.03</p>  <p>010.04</p> <p>010.05</p>	<table border="0"> <tr> <td>VC (mm/min) СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ</td> <td>VZ (mm) ПОДАЧА НА ВВ</td> <td>N (1/min) ЧИСЛО ВРАЩЕНИЙ В МИНУТУ</td> </tr> <tr> <td>1 374</td> <td>0.8</td> <td>2300</td> </tr> <tr> <td>VFM (mm/min) ПОДАЧА НА ОБЪЕМ В ЦЕНТРЕ ИНСТРУМЕНТА</td> <td>AE (mm) ГЛУБИНА ВРЕЗКОПОДАНИИ</td> <td>AP (mm) ПЛУВАКА РЕЗАНИЯ</td> </tr> <tr> <td>1 5630</td> <td>0.3</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>NDPFE ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АЕ</td> <td>NDPAP ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АР</td> <td>PPC (kW) МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ</td> </tr> <tr> <td>1 1</td> <td>3</td> <td>5.48</td> </tr> <tr> <td>MMC (Nm) МОМЕНТ ПРОЖИГАНИЯ</td> <td>VEK (mm) СКОРОСТЬ ОБЖИГА СТРОИТЕЛЯ</td> <td>OQ (mm/min) СКОРОСТЬ ОБЖИГА ИНТЕРНАЛА</td> </tr> <tr> <td>1 22.2</td> <td>0.123</td> <td>84.5</td> </tr> </table>	VC (mm/min) СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ	VZ (mm) ПОДАЧА НА ВВ	N (1/min) ЧИСЛО ВРАЩЕНИЙ В МИНУТУ	1 374	0.8	2300	VFM (mm/min) ПОДАЧА НА ОБЪЕМ В ЦЕНТРЕ ИНСТРУМЕНТА	AE (mm) ГЛУБИНА ВРЕЗКОПОДАНИИ	AP (mm) ПЛУВАКА РЕЗАНИЯ	1 5630	0.3	30	NDPFE ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АЕ	NDPAP ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АР	PPC (kW) МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ	1 1	3	5.48	MMC (Nm) МОМЕНТ ПРОЖИГАНИЯ	VEK (mm) СКОРОСТЬ ОБЖИГА СТРОИТЕЛЯ	OQ (mm/min) СКОРОСТЬ ОБЖИГА ИНТЕРНАЛА	1 22.2	0.123	84.5																		
VC (mm/min) СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ	VZ (mm) ПОДАЧА НА ВВ	N (1/min) ЧИСЛО ВРАЩЕНИЙ В МИНУТУ																																									
1 374	0.8	2300																																									
VFM (mm/min) ПОДАЧА НА ОБЪЕМ В ЦЕНТРЕ ИНСТРУМЕНТА	AE (mm) ГЛУБИНА ВРЕЗКОПОДАНИИ	AP (mm) ПЛУВАКА РЕЗАНИЯ																																									
1 5630	0.3	30																																									
NDPFE ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АЕ	NDPAP ЧИСЛО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АР	PPC (kW) МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ																																									
1 1	3	5.48																																									
MMC (Nm) МОМЕНТ ПРОЖИГАНИЯ	VEK (mm) СКОРОСТЬ ОБЖИГА СТРОИТЕЛЯ	OQ (mm/min) СКОРОСТЬ ОБЖИГА ИНТЕРНАЛА																																									
1 22.2	0.123	84.5																																									

010.06



VC (mm) скорость резания	FZ (mm) подача на зуб	N (1/min) частота вращения шпинделя
5 180	0.35	318
VF (mm/min) рекомендуемая скорость резания	VFM (mm/min) подача на шаг (в зависимости от диаметра)	AE (mm) длина резания
5 701	1000	75
AP (mm) глубина резания	NDPAE число проходов на шаг резания	NDPAP число проходов на шаг резания
5 10	1	10

010.07



DMS (mm) динамический диаметр	PPC (kW) мощность резания	MMC (Nm) интерференционный момент
5 130	47.8	838
VC (mm/min) cutting speed	FN (mm) recommended cutting	N (1/min) spindle speed
1 110	0.376	2190
VF (mm/min) FEED SPEED AT TOOL CENTER	PPC (kW) CUTTING POWER	MMC (Nm) CUTTING TORQUE
1 823	7.41	823





010.09




FFF (N) FEED FORCE	DEPTH (mm) GENERAL DEPTH PARAMETER	
1 3310	20	
VC (mm/min) CUTTING SPEED	FN (mm) FEED PER REV/TOOTH	N (1/min) SPINDLE SPEED
1 177	0.27	7030
VF (mm/min) FEED SPEED AT TOOL CENTER	PPC (kW) CUTTING POWER	MMC (Nm) CUTTING TORQUE
1 1900	4.77	6.48



FFF (N) FEED FORCE	DEPTH (mm) GENERAL DEPTH PARAMETER	
1 1300	20	
VC (mm/min) скорость резания	FZ (mm) подача на зуб	N (1/min) частота вращения шпинделя
5 180	0.35	318
VF (mm/min) рекомендуемая скорость резания	VFM (mm/min) подача на шаг (в зависимости от диаметра)	AE (mm) длина резания
5 701	1000	75
AP (mm) глубина резания	NDPAE число проходов на шаг резания	NDPAP число проходов на шаг резания
5 10	1	10
DMS (mm) динамический диаметр	PPC (kW) мощность резания	MMC (Nm) интерференционный момент
5 130	47.8	838

010.11		<p>VC (mm/min) CUTTING SPEED</p> <p>110</p>	<p>F<sub>z</sub> (mm) FEED PER REVOLUTION</p> <p>0.342</p>	<p>N (1/min) SPINDLE SPEED</p> <p>2820</p>
010.13		<p>VF (mm/min) FEED SPEED AT TOOL CENTER</p> <p>995</p>	<p>PPC (kW) CUTTING POWER</p> <p>5.21</p>	<p>MMC (Nm) CUTTING TORQUE</p> <p>17.1</p>
010.14		<p>FFF (N) FEED FORCE</p> <p>2330</p>	<p>DEPTH (mm) GENERAL DEPTH PARAMETER</p> <p>20</p>	<p>VC (mm/min) CUTTING SPEED</p> <p>177</p>
010.15		<p>VF (mm/min) FEED SPEED AT TOOL CENTER</p> <p>1900</p>	<p>PPC (kW) CUTTING POWER</p> <p>4.77</p>	<p>MMC (Nm) CUTTING TORQUE</p> <p>6.48</p>
		<p>FFF (N) FEED FORCE</p> <p>1300</p>	<p>DEPTH (mm) GENERAL DEPTH PARAMETER</p> <p>20</p>	<p>F<sub>z</sub> (mm) FEED PER REVOLUTION</p> <p>0.342</p>
		<p>VC (mm/min) CUTTING SPEED</p> <p>110</p>	<p>N (1/min) SPINDLE SPEED</p> <p>2820</p>	<p>VF (mm/min) FEED SPEED AT TOOL CENTER</p> <p>995</p>
		<p>FFF (N) FEED FORCE</p> <p>2330</p>	<p>DEPTH (mm) GENERAL DEPTH PARAMETER</p> <p>20</p>	<p>PPC (kW) CUTTING POWER</p> <p>5.21</p>
				<p>MMC (Nm) CUTTING TORQUE</p> <p>17.1</p>

Продовження табл. 1.10.1

	VC (mm) CUTTING SPEED	FN (mm) FEED PER REVOLUTION	N (1/min) SPINDLE SPEED
	177	0.27	7030
	VF (mm/min) FEED SPEED AT TOOL CENTER	PPC (kW) CUTTING POWER	MMC (Nm) CUTTING TORQUE
	1900	4.77	6.48
	FFF (N) FEED FORCE	DEPTH (mm) GENERAL DEPTH PARAMETER	
	1300	20	
VC (mm) CUTTING SPEED	FN (mm) FEED PER REVOLUTION	N (1/min) SPINDLE SPEED	
177	0.27	7030	
VF (mm/min) FEED SPEED AT TOOL CENTER	PPC (kW) CUTTING POWER	MMC (Nm) CUTTING TORQUE	
1900	4.77	6.48	
FFF (N) FEED FORCE	DEPTH (mm) GENERAL DEPTH PARAMETER		
1300	20		

### 1.11 Нормування технологічних операцій

Для виконання фрезерної обробки на оброблювальному центрі HAAS VF-2 потрібно здійснити обчислення норм часу. Враховуючи дані з керуючої програми, тривалість основного автоматичного циклу дорівнює  $T_{(a.c.)} = 20,2$  хв.

Допоміжний час розраховується за формулою:

$$T_{д.} = T_{д.у} + T_{д.оп} + T_{д.вим.} \quad (1.11.1.1)$$

де  $T_{устан}$  — це період, що витрачається на ручне встановлення або зняття деталі (0,2 хв),  $T_{опер}$  — додатковий час на запуск верстата (0,5 хв), повернення в стартову позицію (1 хв), а також інші організаційні дії, як-от вибір програми чи закриття захисних елементів (0,7 хв).  $T_{вимір}$  — час, необхідний для вимірювального контролю (3 хв).

Загальний допоміжний час буде:

$$T_{д.} = 0,3 + 2,2 + 2,8 = 5,3 \text{ хв}$$

Далі визначимо штучний час за наступною формулою:

$$T_{\text{шт.}} = (T_{\text{а.ц.}} + T_{\text{д.}} \cdot K_{tb}) \left( 1 + \frac{\alpha_{\text{орг.}} + \alpha_{\text{тех.}} + \alpha_{\text{отл.}}}{100} \right) \quad (1.11.1.2)$$

де  $K_{\text{поправ}} = 1$  — коефіцієнт, що враховує специфіку обробки;  $\alpha_{\text{орг}}$  і  $\alpha_{\text{тех}}$  — відсотки на організаційні та технічні перерви;  $\alpha_{\text{відх}}$  — поправка на можливі відхилення.

Припустимо, що  $\alpha_{\text{орг}} = \alpha_{\text{тех}} = 2,3\%$ , тобто по 0,47 хв кожен, а  $\alpha_{\text{відх}} = 4\%$ , що становить 0,81 хв.

Обчислюємо:

$$T_{\text{шт.}} = (18,5 + 5,3) \left( 1 + \frac{8,6}{100} \right) = 25,86 \text{ хв.} \quad (1.11.1.3)$$

Після цього можна визначити підготовчо-завершальний час:

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{орг}} + T_{\text{нал}} + T_{\text{налагоджувальна}}$$

де  $T_{\text{орг}}$  — це організаційна підготовка,  $T_{\text{нал}}$  — встановлення та перевірка інструменту, а  $T_{\text{налагоджувальна}}$  — пробна обробка першої деталі для перевірки правильності налаштувань.

$$T_{\text{П.З.}} = 8 + 15 + 6 = 29 \text{ хв.}$$

## 2. Проектування верстатних пристроїв

Під час організації будь-якого виробничого процесу однією з ключових складових є правильний вибір верстатного пристрою. Це не просто "тримач деталі" — це стратегічний елемент, від якого залежить точність, стабільність і рентабельність усієї обробки. Відповідно, його проектування повинно базуватися не лише на габаритах заготовки, а й на ряді інших критично важливих чинників.

Одним з основних аспектів є сумісність пристрою з обраним верстатом. Необхідно враховувати тип обладнання, його жорсткість, кількість доступних ступенів свободи, а також можливість автоматизації процесу. Адже навіть ідеально сконструйований пристрій втрачає сенс, якщо він не «дружить» із верстатом або потребує складного переналагодження.

Наступним важливим фактором є забезпечення надійного закріплення деталі. Воно повинно гарантувати фіксацію з достатнім зусиллям, але без деформацій заготовки. Тут вступає в гру раціональне розміщення затискних елементів, вибір матеріалу губок і правильна передача зусилля.

Не менш значущим є зручність обслуговування пристрою: чим менше часу оператор витрачає на закріплення деталі — тим вище загальна продуктивність. Особливо це актуально в умовах серійного або масового виробництва, де кожна зайва секунда перетворюється на втрати.

Варто також звертати увагу на універсальність конструкції. Якщо пристрій можна адаптувати під кілька типів деталей — це знижує витрати на виготовлення окремих пристроїв та дає гнучкість при зміні номенклатури продукції.

Нарешті, під час проектування потрібно враховувати можливість виведення стружки, зручність контролю розмірів після обробки та інтеграцію з сучасними системами ЧПК.

## **2.1 Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв**

Стіл Naas TR310 у поєднанні з самоцентрівними лещатами LANG Makro-Grip 125 XXL утворює високотехнологічний пристрій для надійного закріплення заготовок на 5-осьових верстатах з ЧПК. Цей комплект забезпечує високу точність позиціонування, стабільність обробки та зручність у переналагодженні, що критично важливо в умовах сучасного виробництва зі змінною номенклатурою деталей.

Ротарно-індексний стіл Naas TR310 забезпечує повноцінне обертання заготовки навколо двох осей, що дозволяє обробляти деталі складної геометрії з мінімальною кількістю перенастроювань. Завдяки великому діаметру диска (310 мм) і високій жорсткості конструкції, TR310 підходить для важких заготовок і високоточних операцій. Плавна робота серводвигунів і абсолютні енкодери дозволяють досягати високої повторюваності при багатосторонній обробці.

Лещата LANG Makro-Grip 125 XXL є ідеальним рішенням для надійного і швидкого затиску заготовок без попереднього фрезерування опорної поверхні. Їх запатентована система преформування матеріалу дозволяє досягати високої сили утримання при мінімальній висоті затиску, що особливо корисно при обробці з усіх боків у п'ятиосьовому режимі. Конструкція забезпечує повну симетрію затиску, що виключає зміщення центру деталі при фіксації.

Особливістю моделі 125 XXL є збільшена довжина затискної зони, яка дозволяє ефективно працювати з габаритними деталями до 300 мм. Висока точність виготовлення лещат гарантує повторювану посадку заготовок та зменшує ймовірність похибок при серійному виробництві. Завдяки самоцентрівному механізму значно спрощується налагодження процесу, що зменшує час простою та втручання оператора.

Використання тандему TR310 + Makro-Grip 125 XXL дозволяє суттєво підвищити ефективність виробничого процесу, забезпечуючи повну свободу обробки, скорочення циклів переналагодження та надійний контроль геометрії деталей. Такий підхід ідеально підходить для виготовлення корпусних деталей, зокрема – корпусів насосів, де критично важливе дотримання точності і чистоти оброблених поверхонь.



А



Б

Рис. 2.1 – Пристосування та допоміжний елемент: а – Поворотний стіл Haas TR310; б – Самоцентрівні лещата LANG Makro-Grip 125 XXL

## 2.2 Визначення похибок закріплення верстатного пристрою та точності пристосування

Операція 005 передбачає розрахунок точності пристосування для обробки отвору діаметром  $\text{Ø}75\text{H}7$  із заданою шорсткістю Ra 2,5. Допуски на цей розмір згідно з посадкою H7 становлять: верхнє відхилення  $ES = 0$  мкм, нижнє відхилення  $EI = -25$  мкм, тобто повний допуск дорівнює 25 мкм.

Похибка пристосування визначається за формулою:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \Sigma \Delta i + \Delta z + \Delta \text{п} + \Delta_{\text{и}} + \Delta_{\text{у.п.}}$$

$\Sigma \Delta i$  — сумарна похибка виготовлення окремих деталей пристосування — приймається 10 мкм (точна механічна обробка, контроль на координатно-вимірjuвальній машині).

$\Delta z$  — похибка через зазори при встановленні заготовки — 4 мкм, завдяки щільній посадці на циліндричну оправку з точністю IT6.

$\Delta \text{п}$  — похибка перекосу інструмента — 0 мкм, конструкція не дає люфту, жорстке направлення.

$\Delta_{\text{и}}$  — знос напрямних елементів. Для 2000 контактів, при  $U_0 = 1$  мкм,  $k_t = 0,2$ ,  $k_l = 1,1$ ,  $k_y = 0,9$ :

$$\Delta_{\text{и}} = 1 \times 0,2 \times 1,1 \times 0,9 \approx 0,2 \text{ мкм}$$

$\Delta_{\text{у.п.}}$  — похибка установки заготовки — 5 мкм, забезпечується упором із твердого сплаву.

Підставимо:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 10 + 4 + 0 + 0,2 + 5 = 19,2 \text{ мкм}$$

що менше за 25 мкм, тобто пристосування відповідає вимогам точності для обробки  $\text{Ø}75\text{H}7$ .

### 2.3 Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв

Розрахунок необхідної сили затиску виконується визначення необхідної сили затиску заготовки, і виконується для операції, яка піддається найбільшим навантаженням. Виконаємо розрахунок для операції 005.

Загальна формула для розрахунку сили затиску заготовки має вигляд:  $Q = k \cdot Q_i$

де  $Q_i$  – необхідна сила затиску;

$k$  – коефіцієнт запасу, який знаходиться за формулою:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6$$

де  $k_0$  – це гарантоване значення коефіцієнта запасу,  $k_0 = 2,5$ ;  $k_1$  – коефіцієнт, який враховує нерівномірність обробки,  $k_1 = 1$ ;  $k_2$  – коефіцієнт, що компенсує зростання сил різання внаслідок зношування різальної кромки інструменту має значення  $k_2 = 1,3$ ;  $k_3$  – коефіцієнт, який бере до уваги сили різання під час роботи з ударами має значення  $k_3 = 1,2$ ;  $k_4$  – коефіцієнт, що коригує вплив тиску затискного механізму має значення  $k_4 = 1$ ;  $k_5$  – коефіцієнт, що враховує спосіб розміщення затискної системи має значення  $k_5 = 1$ ;  $k_6$  – коефіцієнт на врахування наявності певних додаткових крутних моментів, які намагаються повернути заготовку має значення  $k_6 = 1,2$ ;

Знайдемо коефіцієнт запасу:  $k = 2,5 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 3,9$

1. Розрахунок обертів шпинделя:

$$n = (1000 \times V_c) / (\pi \times D) = (1000 \times 80) / (\pi \times 38) \approx 670 \text{ об/хв}$$

2. Розрахунок основної сили різання (P):

$$P = 0,75 \times f_z \times a_p \times V_c \times K_m = 0,75 \times 0,06 \times 6 \times 80 \times 1,9 \times 4 \approx 164,2 \text{ Н}$$

3. Розрахунок сили затиску:

$$F_z = K_z \times P = 3,9 \times 164,2 \approx 640,4 \text{ Н}$$

Отже, як видно з формули, сила затиску має значення в 640,4 Н.

### **3.1 Використання адитивних технологій для отримання готової деталі.**

Однією з сучасних технологій у сфері виробництва є адитивне виготовлення, яке часто асоціюється з 3D-друком. Суть цього підходу полягає в створенні об'ємних об'єктів шляхом пошарового додавання матеріалу згідно з цифровою моделлю. Основним інструментом у цьому процесі є 3D-принтер, який формує фізичну деталь, наслідуючи віртуальне зображення.

Особливої уваги заслуговує 3D-друк з металевих матеріалів, адже він дозволяє виготовляти деталі з різноманітних сплавів, включаючи як стандартні, так і спеціалізовані – ті, що створюються під конкретні технічні задачі. Одним з найсучасніших методів у цій галузі вважається селективне лазерне плавлення (SLM або DMP), де за допомогою потужного ітербієвого лазера металевий порошок розплавляється по шарах, формуючи готову деталь. Цей метод активно використовується компаніями SLM Solutions і 3D Systems, які розробляють обладнання як для масового виробництва, так і для дослідницьких потреб з можливістю гнучкого налаштування параметрів друку та зміни матеріалів.

Для підготовки моделей до друку використовують спеціалізоване програмне забезпечення. Лідером у цій сфері є Materialise Magics – потужний інструмент з аналізу моделей, створення підтримок та підбору принтерів. Також популярністю користується безкоштовна програма UltiMaker, яка пропонує зручний інтерфейс для початківців і базову функціональність.

Основні переваги металевого 3D-друку включають:

- Високу щільність виготовлених деталей, що може вдвічі перевищувати щільність литих виробів.
- Можливість реалізації складних і мікрогеометричних форм, у тому числі внутрішніх структур біонічного типу.
- Велику різноманітність сплавів – як типових, так і створених під специфічні потреби.

- Скорочення часу виробничого циклу й пришвидшення виходу продукції на ринок.

Металевий 3D-друк знайшов своє застосування в різних галузях:

- Авіація та космічні проєкти.
- Важке та точне машинобудування.
- Автомобільна промисловість.
- Енергетика та видобуток нафти й газу.
- Електроніка та високотехнологічні пристрої.
- Охорона здоров'я.
- Харчова промисловість.
- Науково-дослідницькі проєкти та освітні установи.

При виготовленні застосовуються різні типи металів:

- Інструментальні сталі та сплави.
- Нержавіючі сталі
- Алюмінієві сплави
- Титанові сплави
- Сплави на основі нікелю
- Кобальтові сплави

Таким чином, технологія металевого 3D-друку відкриває нові горизонти у виробництві, дозволяючи створювати складні, легкі й надміцні деталі з точністю до мікрона. Це не просто інновація — це індустріальна революція, яка змінює правила гри у найвибагливіших галузях. І хто знає — можливо, вже скоро саме 3D-друк стане основою для побудови майбутнього, від медичних протезів до космічних кораблів.

Алюмінієві сплави активно використовують у транспортній сфері — особливо в літакобудуванні та виробництві автомобілів — завдяки їхній малій вазі та високим експлуатаційним характеристикам.

Титан часто стає матеріалом вибору в медицині та космічній техніці, адже поєднує легкість, надзвичайну міцність і не викликає відторгнення в живих організмах.

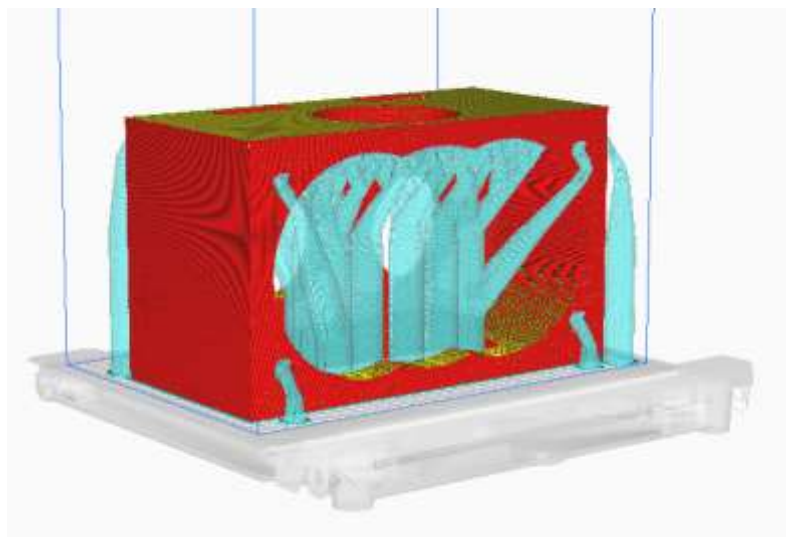
Нікелеві сплави виявляють стабільність і надійність в умовах екстремального нагріву, що робить їх незамінними у виробництві турбін, двигунів і обладнання для енергетики.

Кобальтові сплави відзначаються підвищеною стійкістю до зносу та відмінною сумісністю з тілом, тому їх широко застосовують для створення довговічних медичних імплантів.

У підсумку, технологія 3D-друку металами відкриває вікно у світ високоточного виробництва, де можливо створювати деталі складної форми без традиційних обмежень. Це не просто крок уперед — це трансформація промисловості, яка вже сьогодні формує майбутнє медицини, авіації й навіть космічних технологій.

Розглянемо 3 схеми для 3D друку:

1. Деталь друкується за один підхід, з використанням підтримок. Друк буде з бічної площини, для всього корпусу необхідна підтримка.



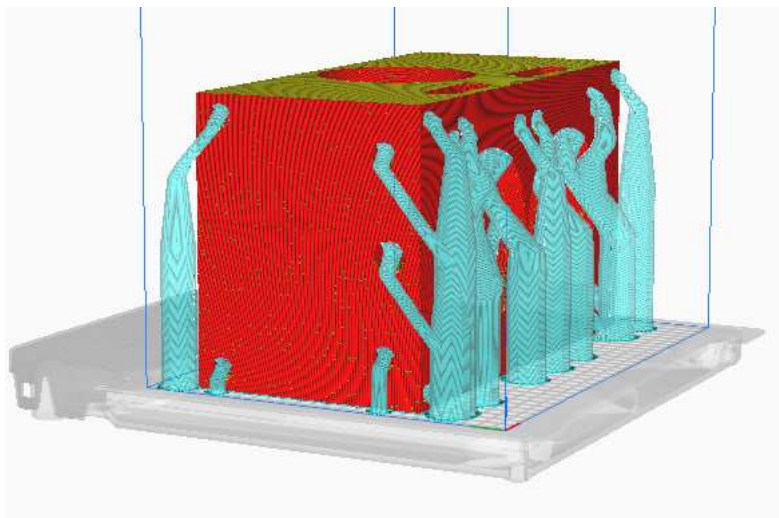
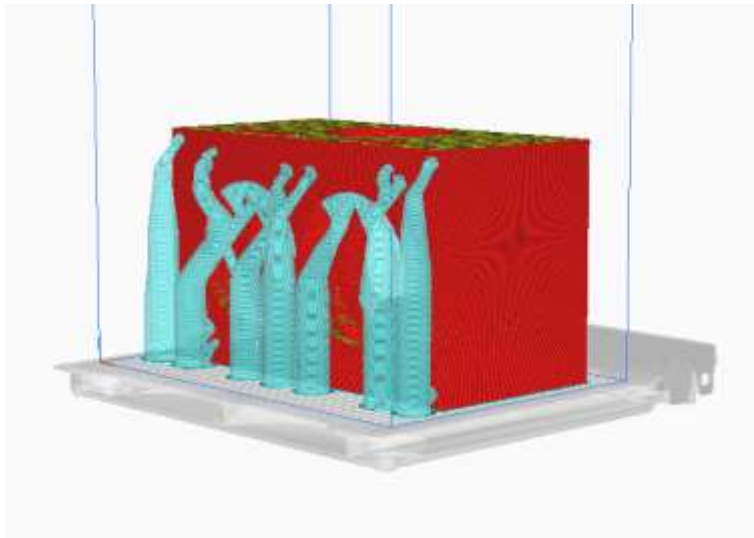
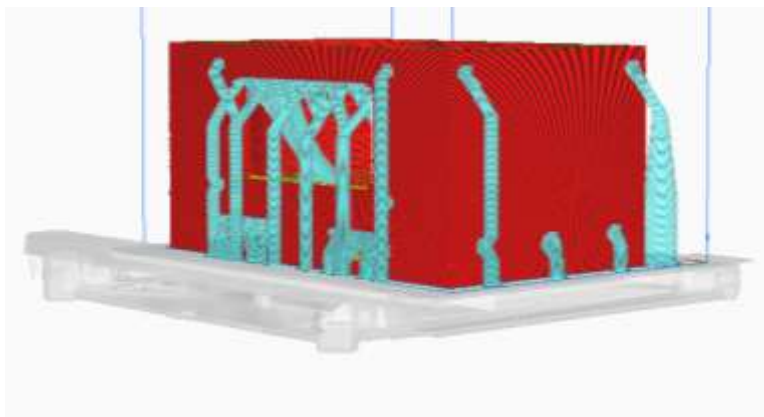


Рис. 3.1 Проектування 3D друку у програмі CURA.

2. Деталь друкується за один підхід, з використанням підтримок. Друк буде з торцевої сторони, для всього корпусу необхідна підтримка.



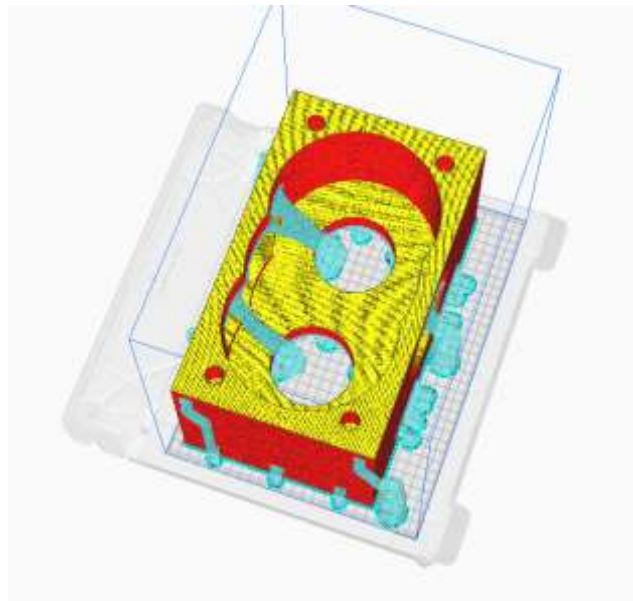
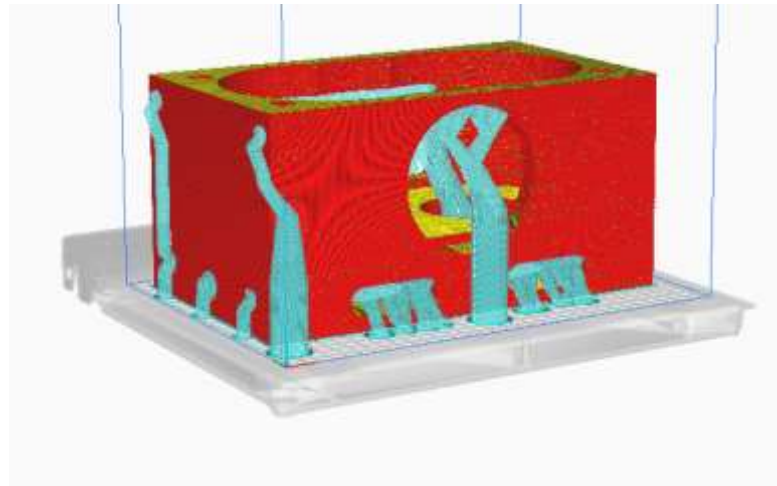
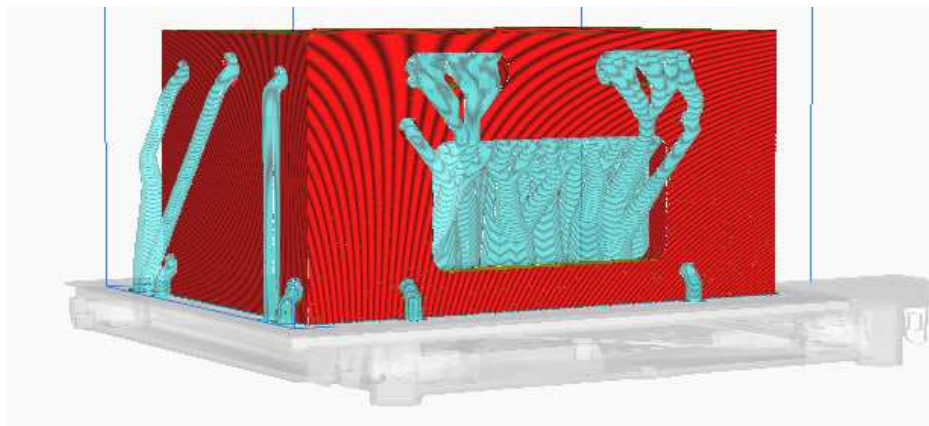


Рис. 3.2 Проектування 3D друку у програмі CURA.

3. Деталь друкується за один підхід, з використанням підтримок. Друк буде з торцевої сторони, для всього корпусу необхідна підтримка.



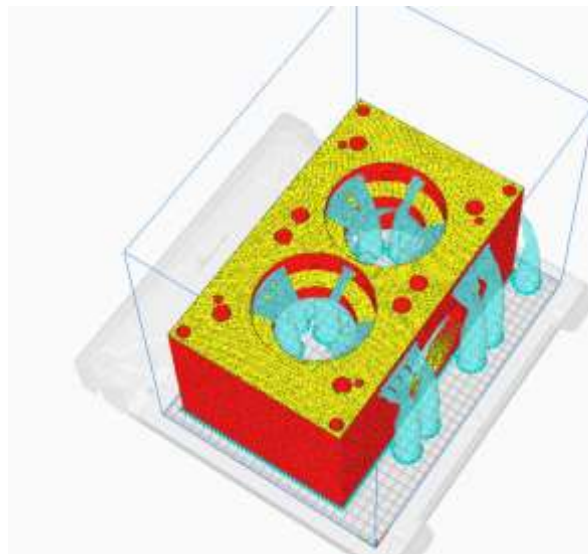
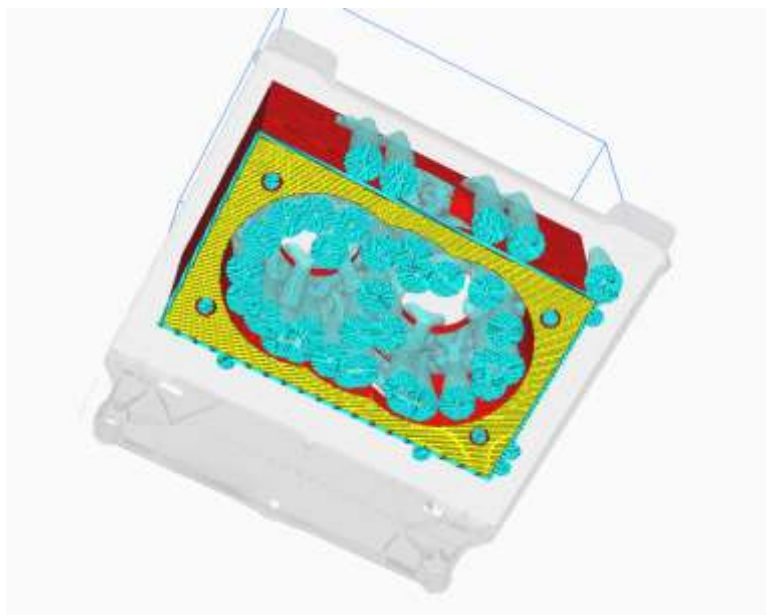
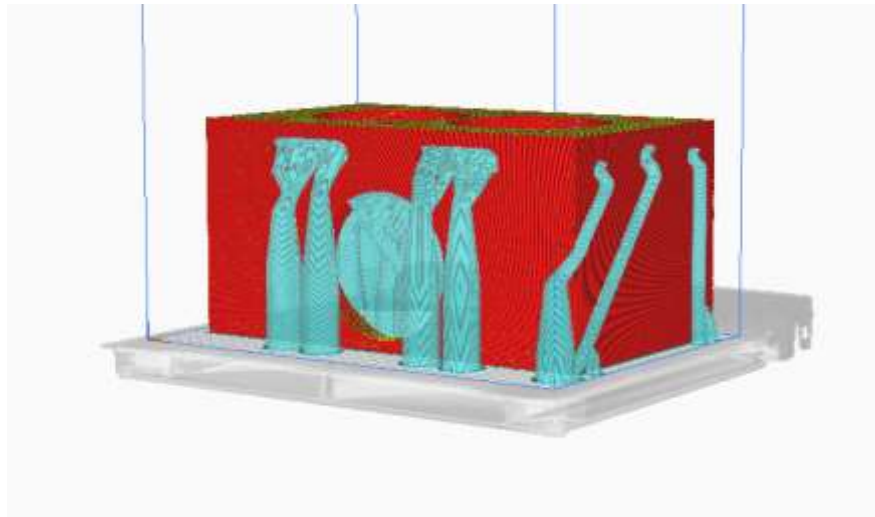


Рис. 3.3 Проектування 3D друку у програмі CURA.

На початку було проведено аналіз можливості застосування технології 3D-друку. У рамках дослідження розглядали один з найефективніших методів — варіант №2. Маса надрукованої деталі становить 1077 г, а з урахуванням підтримувальних структур — 1110 г. Це означає, що коефіцієнт використання матеріалу становить 97%.

Для порівняння, у розрахунках, наведених у дипломному проєкті, коефіцієнт використання матеріалу при традиційних методах обробки склав 78%. Таким чином, завдяки застосуванню адитивних технологій — зокрема, селективного лазерного спікання (SLS) — вдалося досягти економії матеріалу на рівні 19%. Це особливо важливо, враховуючи високу вартість металевого порошку, який використовується для друку.

Процес підготовки до друку включав проєктування моделі в середовищі Inventor, після чого файл експортували у формат STL, що є стандартом для адитивного виробництва. Подальше налаштування параметрів друку та підготовка G-коду виконувались у програмному забезпеченні CURA.

## **4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА**

### **4.1 Загальні визначення**

У межах дипломного проєкту обов'язковим є визначення вартості виготовлення продукції. Цей показник охоплює всі фінансові витрати, які супроводжують процес створення та постачання виробу. До них належать витрати на ресурси, сировину, енергію, робочу силу, зношування обладнання, а також інші супутні витрати виробничого циклу.

Собівартість поділяється на дві основні категорії. Перша — це прямі витрати, що безпосередньо залежать від кількості виготовленої продукції. Сюди входить вартість матеріалів, напівфабрикатів, енергії, що використовується під час виробництва, заробітна плата працівників, зайнятих у основному виробництві, а також витрати на використання спеціального обладнання.

Інша категорія — непрямі витрати. Вони не залежать прямо від обсягів виготовлення, проте мають вплив на загальну економіку виробництва. До них належать витрати на обслуговування обладнання, утримання виробничих приміщень, адміністративні витрати, а також витрати, пов'язані зі зберіганням і реалізацією готової продукції.

У ході розрахунків потрібно зібрати необхідні вихідні показники, розрахувати витрати за кожною статтею та підсумувати їх для визначення загальної вартості річного випуску, а також собівартості одиниці продукції.

## 4.2 Розрахунок собівартості деталі

**Таблиця 4.1 – Початкові дані для обчислення повної собівартості**

№ з/п	Найменування даних	Кількість
1	Програма випуску, шт.	200
2	Вага деталі, кг	26,1
3	Вага заготовки, кг	33,2
4	Вартість матеріалу, грн/кг	220
5	Ціна відходу, грн/кг	22
6	Норма витрат технологічної енергії, кВт·год./кг	0,5
7	Штучно-калькуляційний час, хв.	29
8	Амортизаційна вартість верстато-хвилини, грн	21,6
9	Витрати на інструмент, %	1,2
10	Розряд складності роботи	4
11	Додаткова заробітна плата, %	18
12	Відрахування на соціальні потреби, %	31
13	Загальновиробничі витрати, %	300
14	Загальногосподарські витрати, %	40
15	Комерційні витрати, %	6

Для прикладу розрахунку собівартості продукції використовуються вихідні дані, наведені в табл. 4.1. Розрахунки виконуються у такій послідовності: базова формула → підстановка числових значень → отриманий результат.

Обчислення витрат на основні матеріали ( $V_M$ ) проводиться за наступною формулою(4.1):

$$V_M = (m_D \times C_M - (m_3 - m_D) \times C_{\text{відх}}) \times n \quad (4.1)$$

$$V_M = (26,1 \times 220 - (33,2 - 21,6) \times 22) \times 200 = 1097360 \text{ грн} \quad (4.1)$$

Витрати на енергію  $V_{\text{те}}$  розраховуються при ціні енергії 8 *грн/кВт·год*. – заводські дані:

$$V_{\text{те}} = q_{\text{нв}} \times m_D \times C_e \times n$$

$$V_{\text{те}} = 0,5 \times 26,1 \times 8 \times 200 = 20880 \text{ грн} \quad (4.2)$$

Амортизаційні витрати  $V_o$  на обладнання, розраховуються за формулою (4.3):

$$V_o = A_B \times t_{\text{шт-к}} \times n \quad (4.3)$$

$$V_o = 21,6 \times 29 \times 200 = 125280 \text{ грн}$$

Затрати на інструмент при нормі відрахувань 1,2% від амортизаційної вартості верстатних хвилини  $V_i = V_o \cdot 0,012 = 125280 \cdot 0,012 = 1503,36 \text{ грн}$

Витрати на основну заробітну плату ( $V_{\text{озп}}$ ) розраховуються за формулою (4.4) із урахуванням коефіцієнта доплат 0,25 та погодинної тарифної ставки працівника четвертого розряду. 125 *грн/год*

$$V_{\text{озп}} = (1 \times k_D) \times \frac{S_{\text{год}}}{60} \times t_{\text{шт-к}} \times n \quad (4.4)$$

$$V_{\text{озп}} = (1 \times 0,25) \times \frac{125}{60} \times 29 \times 200 = 3020,8 \text{ грн}$$

Витрати  $V_{\text{дзп}}$  на додаткову заробітну плату (4.5):

$$V_{\text{дзп}} = V_{\text{озп}} \times \frac{H_{\text{взп}}}{100} \quad (4.5)$$

$$V_{\text{дзп}} = 3020,8 \times \frac{18}{100} = 543,75 \text{ грн}$$

Витрати  $V_{\text{СП}}$ , пов'язані з урахуванням на соціальні потреби (4.6):

$$V_{\text{СП}} = (V_{\text{озп}} + V_{\text{дзп}}) \times \frac{H_{\text{СП}}}{100} \quad (4.6)$$

$$V_{\text{СП}} = (3020,8 + 543,75) \times \frac{31}{100} = 1105 \text{ грн}$$

Загальновиробничі і загальногосподарські витрати рахуються за формулою (4.7):

$$V_{\text{Н}} = V_{\text{озп}} \times \frac{H_{\text{ЗВ}} + H_{\text{ЗГ}}}{100} \quad (4.7)$$

$$V_{\text{Н}} = 3020,8 \times \frac{340}{100} = 10270,72 \text{ грн/шт}$$

Виробнича собівартість продукції:

$$C_{\text{В}} =$$

$$1097360 + 20880 + 125280 + 1503,3 + 3020,8 + 543,75 + 1105 + 10270,72 = 1259963,57 \text{ грн}$$

Звідки собівартість однієї деталі:

$$C_{\text{Д}} = \frac{C_{\text{В}}}{n} \quad (4.8)$$

$$C_{\text{Д}} = \frac{1259963,57}{200} = 6299,82 \text{ грн}$$

Комерційні витрати розраховуються за формулою (4.9):

$$V_{\text{К}} = C_{\text{В}} \times \frac{H_{\text{КВ}}}{100} \quad (4.9)$$

$$V_{\text{К}} = 1259963,57 \times \frac{6}{100} = 75597,82 \text{ грн}$$

## Література

1. URL:

[https://metinvestsmc.com/ua/steel/stal08kh18n10t/?srsltid=AfmBOorSnj76Orlh-\\_oMvcij3lqCzCjE3ks6NPlhzAFgv1Vw\\_XVYLNKi](https://metinvestsmc.com/ua/steel/stal08kh18n10t/?srsltid=AfmBOorSnj76Orlh-_oMvcij3lqCzCjE3ks6NPlhzAFgv1Vw_XVYLNKi)

2. Методичні рекомендації до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Технологія машинобудування» : навчально-методичний посібник / НТУУ «КПІ», Механіко-машинобудівний інститут. – Київ: НТУУ «КПІ», 2017. – XX с.

3. Ю.А. Абрамов Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 496 с., ил.

4. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools/coroplus-toolguide>

5. Булига Ю.В., Веселовська Н.Р., Міськов В.П., Теорія різання. Розрахунок режимів різання: практикум. Вінниця, ВНТУ, 2019. 67с.

6. Технологічні основи виготовлення деталей машин. Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»./ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С. П. Сапон., В.К. Фролов, Н.В. Стельмах – Електронні текстові дані (1 файл: 2,86 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 135 с.

7. URL: <https://www.haascnc.com/uk.html>