

**Національний технічний університет України**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені Ігоря Сікорського»**  
**НАВЧАЛЬНО - НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ**  
**ІНСТИТУТ**

Кафедра технології машинобудування

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
Олександр Охріменко  
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**  
на здобуття ступеня бакалавра  
за освітньо-професійною програмою

**«Технології машинобудування»**

**зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

на тему: Технологічне підготування виробництва деталі “Корпус основи  
направляючої стійки”

Виконав:  
студент 4 курсу, групи МТ-11

Солодчук Максим Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доцент, Приходько Василь Петрович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент к.т.н., доцент Ковальов Віктор Дмитрович  
(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

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломний проєкт студенту**  
**групи МТ-11 Солодчуку Максиму**

**1.Тема проєкту:** «Технологічне підготовлення виробництва деталі “Корпус основи направляючої стійки” »

**Керівник проєкту:** Приходько Василь Петрович, к.т.н.,доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «29» травня 2025 р. № 1835 -с

**2. Термін подання студентом проєкту** «10» червня 2025р.

**3. Вихідні дані до проєкту:** Кресленик деталі та технічні вимоги на її виготовлення. Тип виробництва-серійне. Матеріал деталі – Чавун СЧ 18

**4. Зміст пояснювальної записки, перелік завдань, які необхідно розробити:**  
*Загальні питання машинобудування(дослідницька частина) - Статистичний аналіз точності оброблення отворів корпусних деталей на верстатах з ЧПУ. Технологічний розділ - вибір методу отримання заготовки, технологічних баз і схем базування, розроблення та представлення операційного ТП виготовлення деталі, розрахунок припусків (для 2-х поверхонь), режимів різання (для 2-х переходів), норм часу. Конструкторський розділ- проектування, опис і силовий розрахунок верстатних пристроїв.*

**5. Перелік графічно-ілюстративного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):** Кресленики деталі та заготовки - 1аркуш; графічне представлення елементів ТП - 2-3 аркуші; конструкції 2-х верстатних пристроїв – 2 аркуші; Результати статистичного аналізу точності оброблення отворів корпусних деталей –1 - 2 аркуші ф. А1. Усього-6-7 аркушів ф.А1

**6. Дата видачі завдання:** квітень, травень 2025р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Статистичний аналіз точності оброблення отворів корпусних деталей на верстатах з ЧПУ	25 травня 2025	
2	Вибір методу отримання заготовки	14 травня	
3	Вибір технологічних баз і схем базування	15 травня	
4	Розроблення та представлення ТП	22 травня	
5	Розрахунки припусків, режимів різання	26 травня	
6	Проектування і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв	5 червня	
7	Оформлення і подання до захисту	6 червня	
8	Попередній захист	10 червня	
9			

Студент

Максим СОЛОДЧУК

Керівник

Василь ПРИХОДЬКО

## Зміст

Зміст.....	1
Вступ.....	2
1 Технологічний розділ.....	3
1.1.1 Аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі .....	3
1.1.2 Аналіз вибору конструкційного матеріалу.....	4
1.2 Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва .....	5
1.3 Проектування конструкції заготовки .....	6
1.3.1. Визначення допусків вилівка.....	6
1.4 Обґрунтування вибору технологічних баз .....	8
1.5. Проектування маршрутів оброблення елементарних поверхонь заготовки	10
1.6. Проектування технологічного процесу оброблення деталі «“Корпус основи направляючої стійки”».....	12
1.7 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус стійки основи направляючих».....	14
1.8. Вибір верстату .....	17
1.9. Визначення припусків на механічну обробку .....	18
1.10. Розрахунки режимів різання .....	23
1.11 Нормування технологічних операцій.....	32
2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	34
2.1. Опис пристрою та принципу його дії.....	34
2.2. Розрахунок затискної системи верстатного пристрою .....	36
2.3. Розрахунок силових механізмів пристрою .....	39
2.4. Розрахунок сили, яку необхідно прикласти до ключа для затиску заготовки .....	40
2.5. Розрахунок різьби на міцність .....	40
2.6. Опис пристрою для операції 015 та принципу його дії .....	42
3. Дослідницька частина.....	44
3.1. Постановка задачі та етапи її виконання .....	44
3.2. Оцінка точності отвору, що забезпечується чистовим .....	45
3.2.1. Вихідні дані:.....	45
3.2.2. Завдання, що необхідно вирішити .....	45
Список використаної літератури .....	55

## Вступ

Темою даного дипломного проекту є технологічне підготовлення виробництва деталі “Корпус основи направляючої стійки”. Яке полягає в розробці яке включає аналіз конструкції, вибір матеріалів, визначення технологічних баз, вибір обладнання, інструменту та розробку маршрутів обробки.

Під час виконання першого розділу було здійснено детальний аналіз конструкції деталі, обґрунтовано вибір заготовки, проведено розрахунок припусків, визначено технологічні бази та спроектовано маршрут обробки з урахуванням сучасних вимог до технологічності, точності та економічної доцільності. Крім того, були визначені режими різання, здійснено вибір відповідного різального інструменту, а також, на основі розрахованих режимів, проведено нормування технологічних операцій, що дозволяє оцінити трудомісткість виготовлення та спрогнозувати ефективність виробничого процесу.

У другому розділі було розроблено та обґрунтовано конструкцію верстатних пристроїв, що використовуються для надійного базування й закріплення деталі під час виконання технологічних операцій. Проведено необхідні розрахунки, які підтверджують працездатність і ефективність запропонованих конструкцій.

Під час написання з’явилися сумніви чи достатньо чистового розточування для отримання потрібної точності деталі, що було вирішено в третьому розділі дипломної роботи. Було доведена необхідність уведення тонкого розточування.

Зокрема, в ході роботи над проектуванням технологічного процесу виникли сумніви щодо достатності застосування лише чистового розточування для досягнення необхідної точності обробки деталі. Це питання було розглянуто в третьому розділі, де на основі статистичного аналізу точності оброблення отворів розточуванням, проведеного на виробництві, та наступного порівняння його результатів з довідковими даними було обґрунтовано необхідність уведення додаткової операції — тонкого розточування, яка дозволяє забезпечити задані параметри точності та якості поверхні оброблюваних отворів.

## 1. Технологічний розділ

### 1.1.1 Аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі

Через відсутність складального кресленика не має змоги точно визначити яке призначення має дана деталь. Точно можна сказати що дана деталь відноситься до корпусних.

Зважаючи на точність і шорсткість певних частин деталі, можна припустити думку, що ця деталь потрібна для фіксації двох валів-стійок в підшипниках і кріпленні на більшій корпусній деталі, до якої кріпиться за допомогою 4 отворів діаметру 10мм.

Також на деталі є отвори з різьбою під болти радіусом 5мм, для кріплення відповідних кришок, які необхідні для забезпечення нормальної роботи підшипникових вузлів.

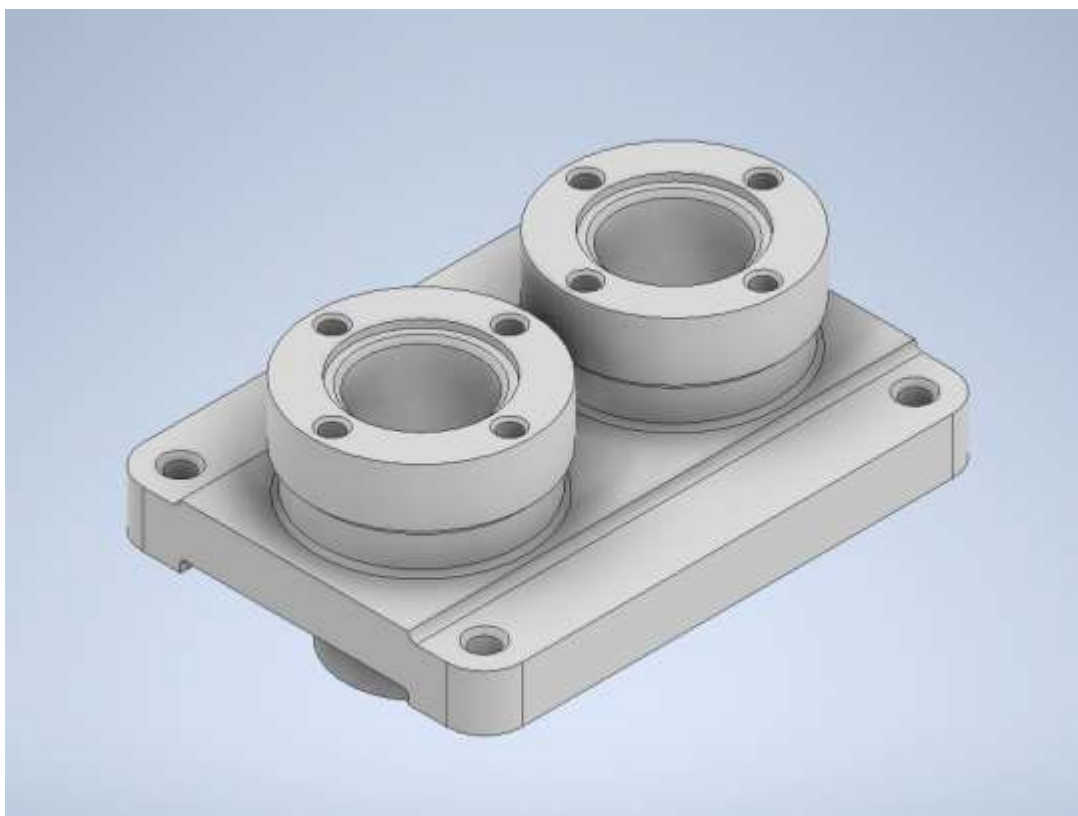


Рис. 1. Деталь “Корпус основи направляючої стійки”

### 1.1.2 Аналіз вибору конструкційного матеріалу

Згідно з кресленням деталь виготовлена з сірого чавуну з пластинчастим графітом марки СЧ18 ГОСТ 1412-85.

Хімічний склад даного матеріалу наведено в наступній таблиці.

Хімічний склад СЧ18				
С	Si	Mn	S	P
3,1 - 3,6	1,4 - 2,4	0,5 - 1,1	до 0,12	до 0,45

Табл. 1 Хімічний склад СЧ18

При нормальних умовах даний матеріал має наступні хіміко-механічні властивості.

$$\sigma_B^D = 200 \text{ МПа}; \sigma_A^{\tilde{n}\delta} = 700 \text{ МПа}; \sigma_A^{\zeta\tilde{a}} = 360 \text{ МПа}; \text{НВ} = 143\text{-}255 \text{ МПа}$$

- $\sigma_B^D$  — границя міцності при розтягуванні;
- $\sigma_A^{\tilde{n}\delta}$  — границя міцності при стисканні;
- $\sigma_A^{\zeta\tilde{a}}$  — границя міцності при згині;
- НВ — твердість за Брінеллем.

Даний матеріал використовується в автомобілебудуванні для виготовлення виливків блоків циліндрів, у верстатобудуванні: підстави верстатів, салазки, верстатобудування: столи, у хімічному машинобудуванні: зубчасті колеса, рами редукторів, муфти зчеплення, парові циліндри та інші середньонавантажені деталі, а також для виливків деталей гірничо-металургійного обладнання, виливків деталей трубопровідної арматури і приводних пристроїв та частин литих з'єднувань для трубопроводів.

## 1.2 Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва

За завданням дано обсяг виробництва в 5000 штук на рік. А зробивши 3D-модель, я дістав дані, що дана деталь має вагу 1,01кг.

Опираючись на таблицю для приблизного визначення типу серійності виробництва:

Таблиця 1.2. Дані для укрупненого визначення типу серійності виробництва

Тип виробництва	Річний обсяг випуску деталей одного найменування, шт.		
	Легкі, масою до 20 кг	Середні, масою 20...30 кг	Важкі, масою більше 30кг
одиничне	До 100	До 10	1...5
малосерійне	101...500	11...200	6...10
середньосерійне	501...5000	201...1000	101...300
великосерійне	5001...50000	1001...5000	201...1000
масове	більше 50000	більше 5000	більше 1000

Таким чином, з урахуванням характеристик деталі, програми її випуску при розробленні ТП необхідно орієнтуватись на серійний тип виробництва.

Визначимо розмір партії деталей за формулою (1):

$$n = \frac{N \cdot t}{F}, \text{ шт}$$

де, N - річна програма випуску деталей; t - кількість днів, на який необхідно мати запас деталей; F - кількість робочих днів у році.

Підставимо дані в формулу (1):

$$n = \frac{5000 \cdot 5}{250} = 100, \text{ шт}$$

### 1.3 Проектування конструкції заготовки

Оскільки матеріал виробу СЧ18 має складну форму, але добре виливається, тобто має хороші ливарні можливості, а при використанні інших видів і форм заготовки буде надто багато відходів, обираємо заготовку виготовлену методом литва в пісчано-глинисті форми.

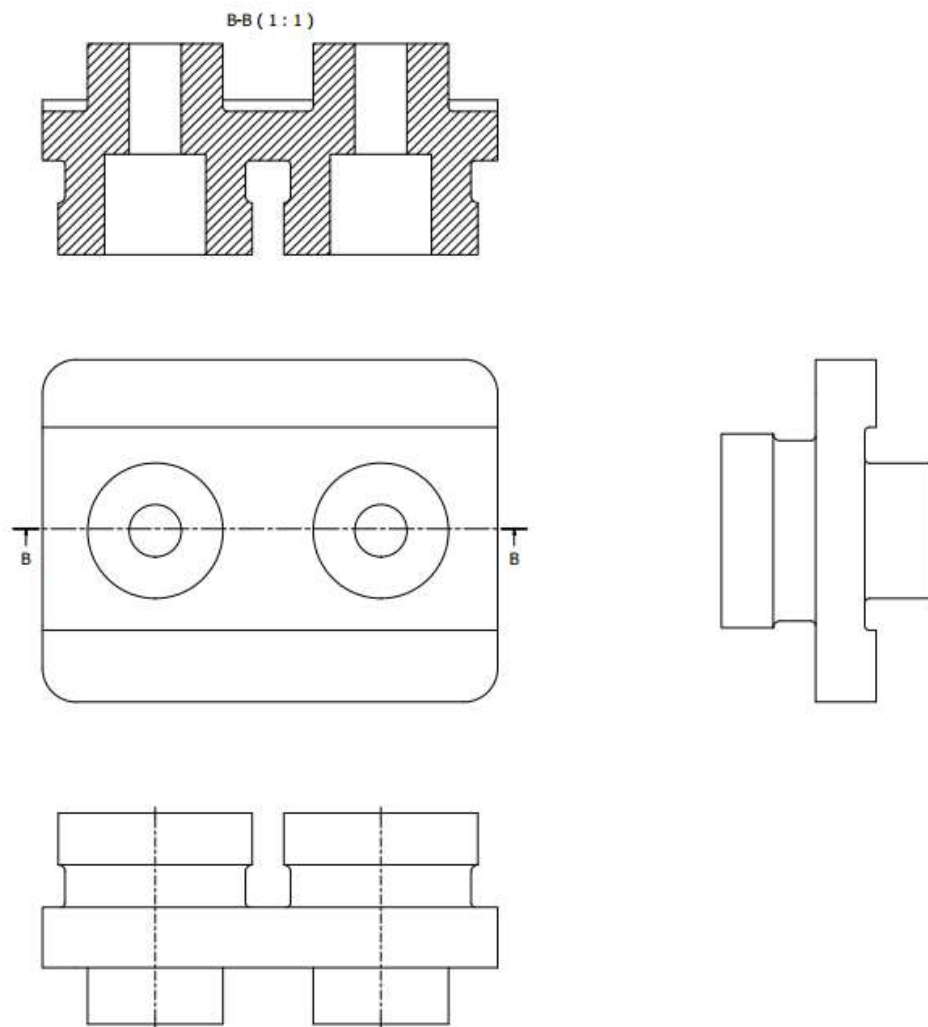


Рис. 2. Ескіз заготовки

#### 1.3.1. Визначення допусків вилівка

При проектуванні заготовки потрібно визначити необхідні припуски. Для цього вибирається відповідний спосіб отримання заготовки і довідкові таблиці з даними державних стандартів.

Допуски на розміри вилівка занесені до таблиці 3.

Таблиця 3. Розраховані допуски основних розмірів заготовки

Параметр	22h12 R <sub>a</sub> 2,5 зовнішній	Ø25H8 R <sub>a</sub> 1,25 внутрішній	Ø45H8 R <sub>a</sub> 1,25 внутрішній	40H12 Ra 2,5 зовнішній	25H12 Ra 2,5 зовнішній
Допуск на розмір вилівка	1,8(±0,9)	1,8(±1,1)	1,8(±1,1)	1,8(±1,4)	3,2(±1,6)
Вид остаточної мех.обробки, необхідний для забезпечення точності розмірів деталі	Чорнова Напівчистова Чистова	Чорнова Напівчистова Чистова Тонка	Чорнова Напівчистова Чистова Тонка	Чорнова Напівчистова Чистова	Чорнова Напівчистова Чистова
Допуск нерівностей поверхні вилівка	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Вид остаточної мех.обробки, необхідний для забезпечення шорсткості розмірів деталі	Чорнова Напівчистова	Чорнова Напівчистова Чистова Тонка	Чорнова Напівчистова Чистова Тонка	Чорнова Напівчистова Чистова	Чорнова Напівчистова Чистова
Прийнята остаточно обробка для забезпечення заданої якості поверхонь деталі	Чорнова Напівчистова Чистова	Чорнова Напівчистова Чистова Тонка	Чорнова Напівчистова Чистова Тонка	Чорнова Напівчистова Чистова	Чорнова Напівчистова Чистова
Технологічний напуск на сторону внаслідок формувальних уклонів	-	-	-	-	-
Допуск зміщення, що викликаний перекосом стержня (на 1 клас точніше)	-	1,8(±0,9)	1,8(±0,9)	-	-
Остаточний розмір вилівка	26,8(±0,9)	Ø23,2(±2,0)	Ø43,2(±2,0)	41,8(±1,4)	26,8(±1,6)

Отримані таким чином дані є укрупненими і використовуються на попередньому етапі та можуть уточнюватись після аналітичного розрахунку відповідних припусків.

## 1.4 Обґрунтування вибору технологічних баз

Вихідними даними для вибору ЗТБ є робочий кресленик деталі і вузла в який входить задана деталь.

Для обґрунтування вибору технологічних баз необхідно проаналізувати розмірні зв'язки поверхонь в конструкції деталі для цього виконати класифікацію поверхонь деталі за службовим призначенням, а також визначити поверхні, що мають найбільшу їх кількість. Поверхні з найбільшою кількістю розмірних зв'язків і будуть використовуватись у якості ТБ. Такий вибір ТБ забезпечить суміщення технологічних та вимірювальних баз, а отже усунення похибок базування для більшості розмірів.

Конструкцію будь-якої деталі можна представити як сукупність чотирьох видів поверхонь [1]:

- основні конструкторські бази (ОКБ);
- допоміжні конструкторські бази (ДКБ);
- кріпильні поверхні (КП);
- вільні поверхні (ВП);

Класифікація поверхонь деталі за службовим призначенням наведена на рис.3.

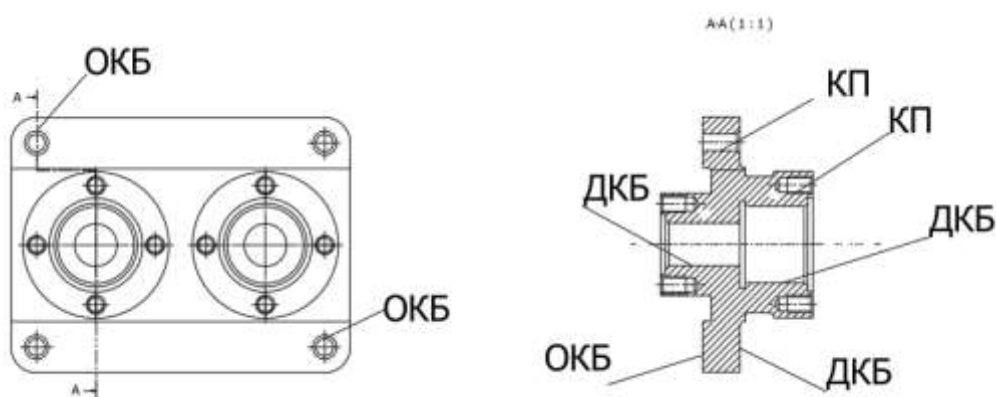


Рис. 3. Класифікація поверхонь і баз за призначенням

При обробленні корпусних деталей найчастіше використовують 2 основні схеми базування [1]: 1) базування по трьох площинах, що утворюють

координатний кут ; і 2) базування по площині основи корпусної деталі та по двох перпендикулярних до неї отворах.

Як правило перша схема базування (рис.4) використовується на першій операції, в якості чорнової ТБ для оброблення комплекту загальних технологічних баз.

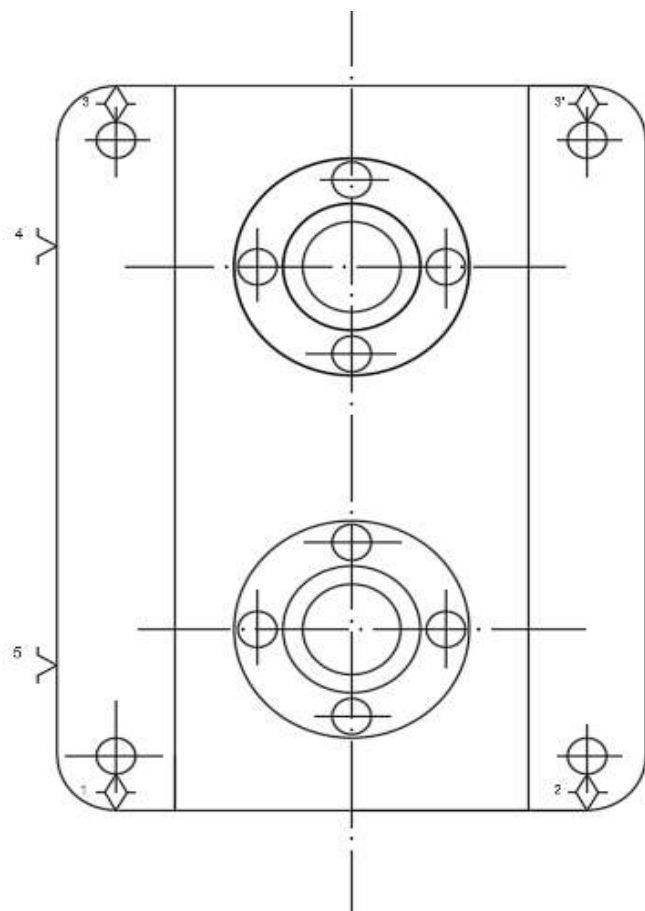


Рис. 4. Схема базування (чорнові ТБ) для операції 005

Комплект чорнових ТБ включає установчу ТБ (площина основи) для реалізації якої використовується 3 основні опори, які забезпечують відповідну орієнтацію заготовки, а також четверта, допоміжна опора, що підводиться до заготовки після завершення базування [5], вона не приймає участі в базуванні, а служить для підвищення стійкості заготовки при дії сил різання.

## 1.5. Проектування маршрутів оброблення елементарних поверхонь заготовки

Пронумеруємо поверхні та отвори для зручності.

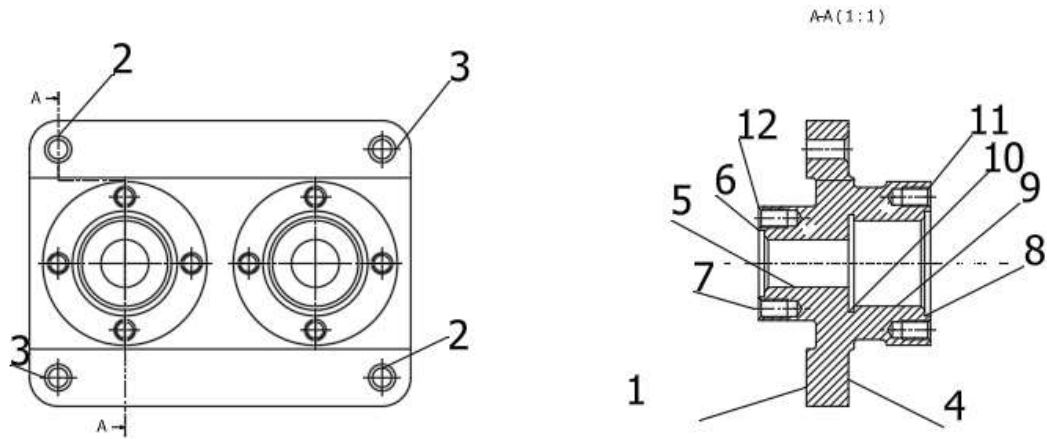


Рис. 5. Ескіз деталі із зазначеними під обробку поверхнями

Пронумерувавши поверхні і отвори, в таблиці нижче розписані маршрути оброблення поверхонь та зазначена їх точність і шорсткість, які будуть забезпечені.

Маршрути оброблення елементарних поверхонь деталі є основою для проектування технологічного процесу оброблення деталі [1]. Зокрема, на їх основі розробляється маршрутний ТП, а в подальшому визначається зміст і структура технологічних операцій. Після розроблення операційного ТП маршрути оброблення елементарних поверхонь використовуються для перевірки повноти відображення у відповідних операціях.

Таблиця 4. Маршрути оброблення елементарних поверхонь деталі

№ поверхні	Характеристики якості поверхні за креслеником		Маршрут обробки поверхні	Характеристики якості поверхні після оброблення	
	IT	Ra, мкм		IT	Ra, мкм
1 (площина основи)	14 12	5,0 2,5	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове	14 12	5,0 2,5
2 (отвори)	- 12 8	- 10 2,5	Центрування Свердління Розвертання	- 12 8	- 10 2,5
3 (отвори)	- 12	- 5,0	Центрування Свердління	- 12	- 5,0
4 (площина)	14 12	5,0 2,5	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове	14 12	5,0 2,5
5 (отвір)	12 10 8	5 2,5 0,63	Розточування попереднє Розточування чистове Розточування тонке	12 10 7	5 2,5 0,63
6 (отвір)	12 10	5 2,5	Розточування попереднє Розточування чистове	12 10	5 2,5
7 (отвори)	- 12 7	- 10 5	Центрування Свердління Нарізання різьби	- 12 7	- 10 5
8 (отвір)	12 10	5 2,5	Розточування попереднє Розточування чистове	12 10	5 2,5
9 (отвір)	12 10 8	5 2,5 1,25	Розточування попереднє Розточування чистове Розточування тонке	12 10 7	5 2,5 0,63
10 (отвір)	12 10	5 2,5	Розточування попереднє Розточування чистове	12 10	5 2,5
11 (площина)	14 12	5,0 2,5	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове	14 12	5,0 2,5
12 (площина)	14 12	5,0 2,5	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове	14 12	5,0 2,5
13 (отвори)	- 12 7	- 10 5	Центрування Свердління Нарізання різьби	- 12 7	- 10 5

## 1.6. Проектування технологічного процесу оброблення деталі

### «Корпус основи направляючої стійки»

Спершу потрібно обрати загальні технологічні бази (ЗТБ) [1] для того, щоб надалі визначити ТБ чорнові, які будуть використовувати для базування при обробленні ЗТБ

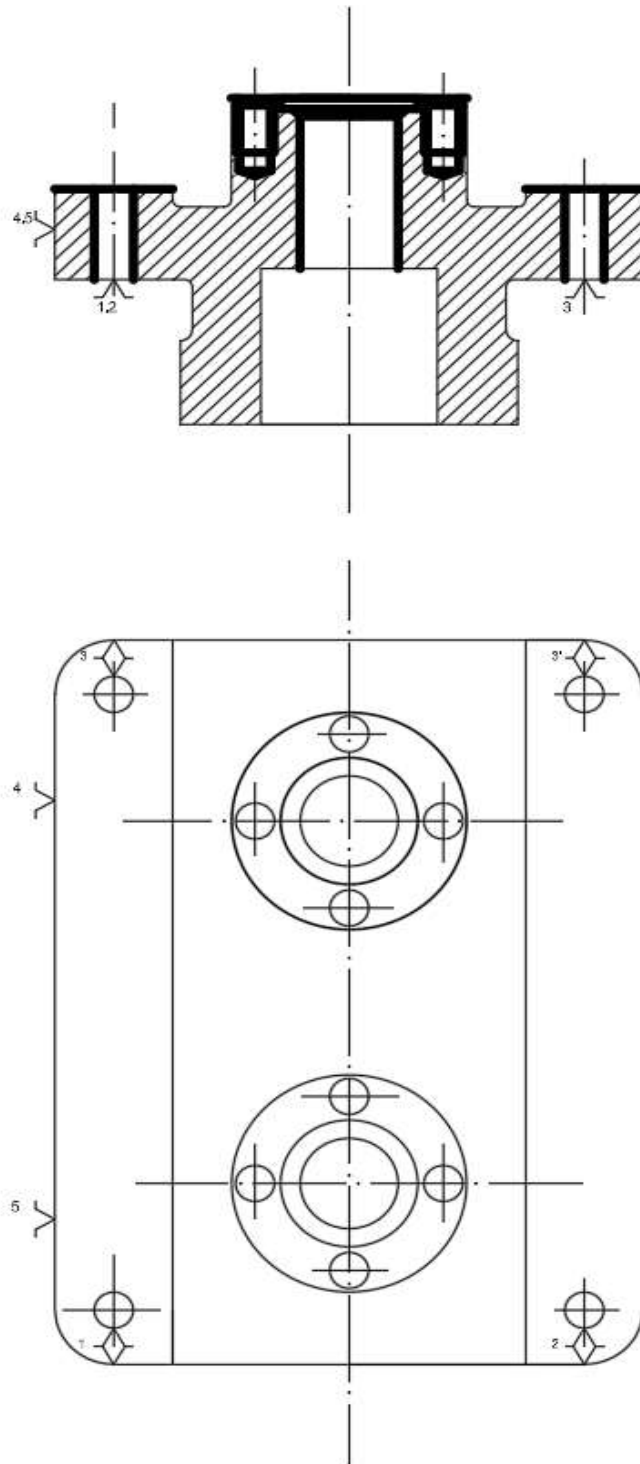
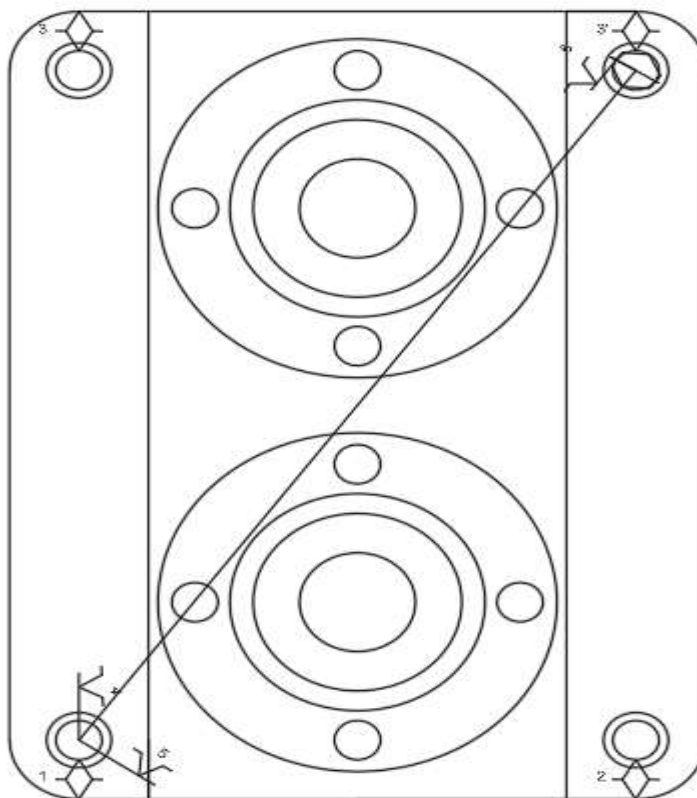
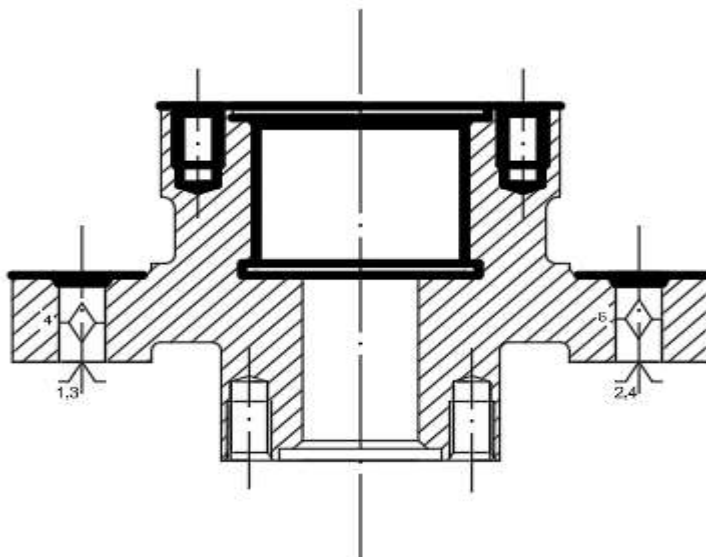


Рис. 6. Схема оброблення комплекту ЗТБ з використанням чорнових ТБ

ЗТБ оброблюються в першу чергу, на першій операції, одночасно із ними оброблюються ті поверхні, які будуть недоступні в подальшому[1].

Для базування використаємо опори, а для закріплення прихвати.

Як загальна технологічна база використовується поверхня 1 ( рис. 5) та 2 отвори  $\text{Ø}10\text{H}8$ , які розміщені по діагоналі і були оброблені на попередній



операції.

Рис. 5. Схема базування по ЗТБ

## 1.7 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус стійки основи направляючих»

Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі корпус вимагає визначення послідовності виконання операцій та технологічних переходів у кожній технологічній операції.

### 005 Заготівельна

Лиття у піщано-глинисті форми з машинним формуванням.

**010. Багатоцільова (Свердлильно-фрезерно-розточувальна) з ЧПК,**  
верстат моделі HAAS VF-2

Установити, закріпити, зняти

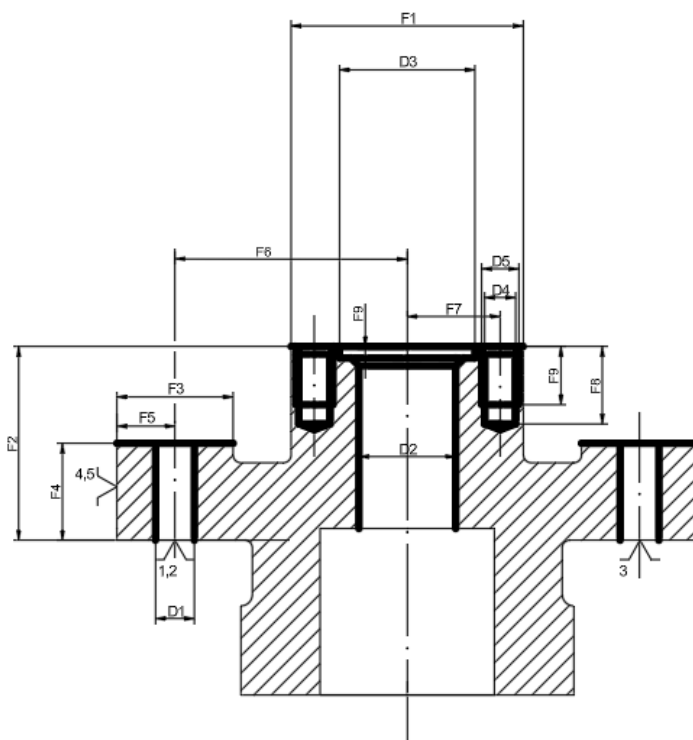


Рис. 5. Схема базування та оброблення на операції 010

010.01 Фрезерувати верхню поверхню напрохід, начорно, притримуючись розмірів F1,F2

010.02 Фрезерувати бокові поверхні напрохід, начорно, притримуючись розмірів F3, F4

010.03 Точити отвори D1 начорно притримуючись розмірів D1, F5

010.04 Точити отвори D1 начисто притримуючись розмірів D1, F5

010.05 Розточувати центральний отвір на прохід притримуючись розміру D2, F6

010.06 Розточувати центральний отвір на прохід притримуючись розміру D3, F6, F9

010.07 Сверлити отвори притримуючись розмірів F7, F8, D4

010.08. Розточити отвори притримуючись розмірів F7, F8, D4

010.09 Нарізати нарізь в отворах притримуючись розмірів F7, F9, D5

**015. Багатоцільова (Свердлильно-фрезерно-розточувальна) з ЧПК,**  
верстат моделі HAAS VF-2

Установити, закріпити, зняти

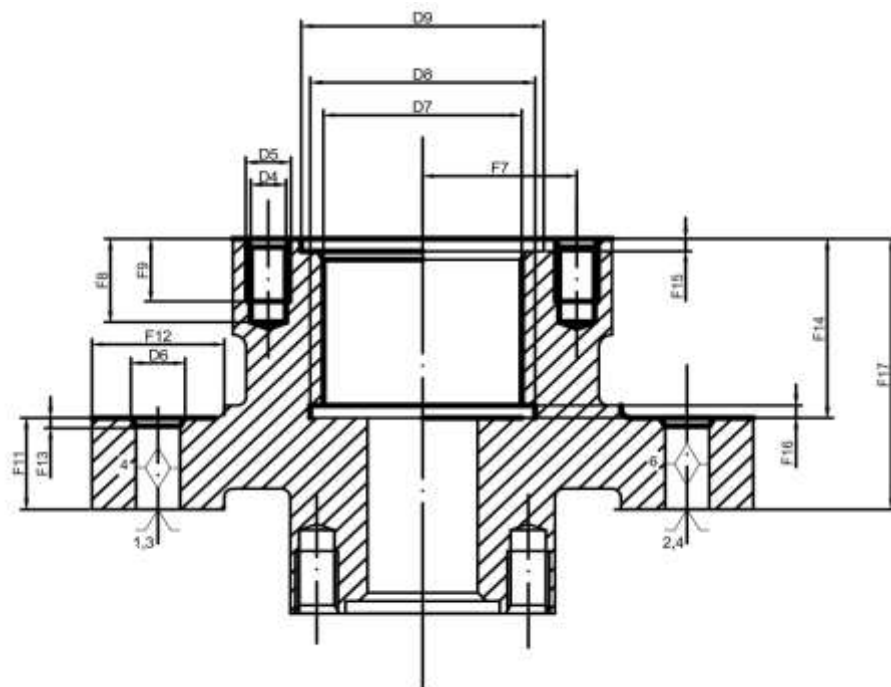


Рис.6. Схема базування та оброблення на операції 015

015.01 Фрезерувати верхню поверхню напрохід, начорно, притримуючись розміру F17

015.02 Фрезерувати бокові поверхні напрохід, начорно, притримуючись розмірів F11, F12

015.03 Розточити фаску притримуючись розмірів D6, F13

015.04 Розточити центральний отвір притримуючись розмірів D7, F14

015.05 Розточити паз притримуючись розмірів D8, F16

015.06 Розточити паз притримуючись розмірів D9, F15

015.07 Свердлити отвори притримуючись розмірів F7, F8, D4

015.08. Розточити отвори притримуючись розмірів F7, F8, D4

015.09 Нарізати нарізь в отворах притримуючись розмірів F7, F9, D5

**020. Слюсарна**

**025. Мийочна**

**030. Контрольна**

## 1.8. Вибір верстату



Рис. 7. Вертикальний обробляючий центр HAAS VF-2

Ходи:	
- вісь X	762 мм
- вісь Y	406 мм
- вісь Z	508 мм
Максимальна потужність:	22,4 кВт
Максимальна частота обертання шпинделя	8100 об/хв
Максимальна крутний момент шпинделя	122 Нм на 2000 об/хв
Максимальна вага на столі	1361 кг
Максимальне зусилля:	
- по осі X	11343 Н
- по осі Y	11343 Н
- по осі Z	18683 Н
Конус	СТ40   BT40   HSK-A63
Об'єм ЗОР	208 л
Маса	3539 кг

Таблиця 5. Основні технічні характеристики верстата HAAS VF-2

## 1.9. Визначення припусків на механічну обробку

Припуск - додатковий шар матеріалу, який необхідно видалити з поверхні заготовки для досягнення потрібних властивостей поверхні деталі після обробки [3,4].

Величина припуску визначається за допомогою табличних (довідкових) даних або з використанням розрахунково-аналітичних методів [3,4].

### 1.9.1. Аналітичний розрахунок припусків

Розрахунок міжопераційних припусків для оброблення точного отвору  $\text{Ø}25\text{H}8$ .

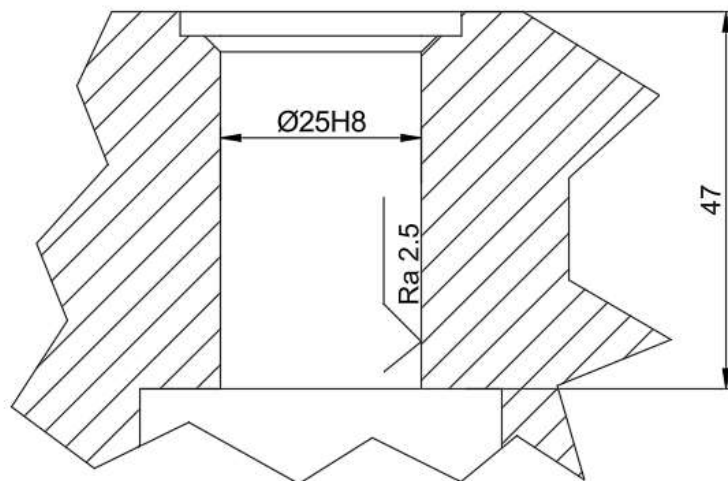


Рис. 8. Ескіз поверхні, яка обробляється

Технологічний процес обробки включає 3 переходи:

- розточування чорнове: H12, Ra = 5 мкм,
- розточування чистове: H9, Ra = 2,5 мкм,
- розточування тонке: H8, Ra = 0,63 мкм.

У таблицю 6 внесено розрахунок припусків, де вказано технологічний маршрут обробки та значення елементів припусків. Запис в таблицю виконується послідовно.

Для виробів, які виготовляються методом лиття у піщано-глинисті форми з використанням металевих моделей, точність та якість поверхонь:

$$R_z+h = 400 \text{ мкм}$$

Якість поверхонь після механічної обробки:

- після чорнового розточування:  $R_z=50 \text{ мкм}$ ,  $h=50 \text{ мкм}$
- після чистового розточування :  $R_z=25 \text{ мкм}$ ,  $h=25 \text{ мкм}$
- після тонкого розточування:  $R_z=5 \text{ мкм}$ ,  $h=5 \text{ мкм}$  .

Розрахунок мінімальних припусків проводиться за формулою [3,4] :

$$2Z_{\text{mini}} = 2 \left( R_{z(i-1)} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right)$$

де  $R_{z(i-1)}$  – висота нерівностей профілю попереднього переходу;

$h_{i-1}$  – глибина поверхневого дефектного шару попереднього переходу;

$\rho_{i-1}$  – сумарне відхилення розташування поверхні попереднього переходу;

$\varepsilon_i$  – похибка встановлення заготовки.

Чорнове розточування:

Сумарне просторове відхилення розташування поверхонь за формулою (мкм):

$$\rho_0 = \sqrt{(\Delta_k * D)^2 + (\Delta_k * L)^2}, \quad \Delta_k = 0,7 \text{ мкм/мм},$$

$$\rho_0 = 37,3 \text{ мкм}.$$

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} \text{ – однопозиційне оброблення};$$

$\varepsilon_6 = 0$  – суміщення технологічної та вимірювальної баз;

$$\varepsilon_3 = 135 \text{ мкм}.$$

$$2Z_{\text{min1}} = 2 \left( 400 + \sqrt{37,3^2 + 135^2} \right) = 1080 \text{ мкм}.$$

Розточування чистове:

$$2Z_{\text{min2}} = 2 \left( R_{z1} + h_1 + \sqrt{\rho_1^2 + \varepsilon_1^2} \right)$$

$R_{z1} + h_1 = 50 + 50 = 100 \text{ мкм}$  – після чорнового обточування;

$$\rho_1 = \rho_0 * k_y = 37,3 * 0,06 = 2,238 \text{ мкм};$$

$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 = 135 \text{ мкм}$  – без зміни оснастки.

$$2Z_{\text{min2}} = 2 \left( 100 + \sqrt{2,238^2 + 135^2} \right) = 470 \text{ мкм}$$

Розточування тонке:

$$2Z_{\min 3} = 2(25 + 25) = 100 \text{ мкм}$$

Результати розрахунку вводяться в табл. 7.

Технологічні допуски (ДСТУ 2500-94):

$$T_{\text{заг}} = 0,620 \text{ мм},$$

$$T_{\text{чорн}} = 0,250 \text{ мм},$$

$$T_{\text{чист}} = 0,062 \text{ мм},$$

$$T_{\text{тонке}} = 0,025 \text{ мм};$$

Максимальні граничні розміри :

$$D_{\text{мах тонке}} = D_{\text{ном}} + ES = 25 + 0,025 = 25,025 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мах чист}} = D_{\text{мах тонке}} - 2Z_{\min 3} = 25,025 - 0,100 = 24,925 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мах чорн}} = D_{\text{мах чист}} - 2Z_{\min 2} = 24,925 - 0,470 = 24,455 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мах заг}} = D_{\text{мах чорн}} - 2Z_{\min 1} = 24,455 - 1,08 = 23,375 \text{ мм};$$

Мінімальні міжопераційні розміри:

$$D_{\min \text{ тонке}} = D_{\text{мах тонке}} - T_{\text{тонке}} = 25,025 - 0,025 = 25 \text{ мм},$$

$$D_{\min \text{ чист}} = D_{\text{мах чист}} - T_{\text{чист}} = 24,925 - 0,062 = 24,863 \text{ мм},$$

$$D_{\min \text{ чорн}} = D_{\text{мах чорн}} - T_{\text{чорн}} = 24,455 - 0,25 = 24,205 \text{ мм},$$

$$D_{\min \text{ заг}} = D_{\text{мах заг}} - T_{\text{заг}} = 23,375 - 0,62 = 22,755 \text{ мм};$$

Максимальні розміри припусків:

$$2Z_{\text{мах чорн}} = D_{\min \text{ чорн}} - D_{\min \text{ заг}} = 24,205 - 22,755 = 1,5 \text{ мм},$$

$$2Z_{\text{мах чист}} = D_{\min \text{ чист}} - D_{\min \text{ чорн}} = 24,863 - 24,205 = 0,658 \text{ мм},$$

$$2Z_{\text{мах тонк}} = D_{\min \text{ тонк}} - D_{\min \text{ чист}} = 25 - 24,863 = 0,137 \text{ мм};$$

Мінімальні розміри припусків:

$$2Z_{\min \text{ чорн}} = D_{\text{мах чорн}} - D_{\text{мах заг}} = 24,455 - 23,375 = 1,14 \text{ мм},$$

$$2Z_{\min \text{ чист}} = D_{\text{мах чист}} - D_{\text{мах чорн}} = 24,925 - 24,455 = 0,47 \text{ мм},$$

$$2Z_{\min \text{ тонк}} = D_{\text{мах тонк}} - D_{\text{мах чист}} = 25,025 - 24,925 = 0,1 \text{ мм},$$

Сумарні розміри припусків:

$$2Z_{\min \Sigma} = 0,14 + 0,47 + 0,1 = 1,71 \text{ мм},$$

$$2Z_{\text{мах } \Sigma} = 1,5 + 0,658 + 0,137 = 2,295 \text{ мм}.$$

Перевірка правильності розрахунків:

$$T_3 - T_{\text{тд}} = 620 - 25 = 595 \text{ мкм},$$

$$2Z_{\text{маx}} - 2Z_{\text{min}} = 2,241 - 1,646 = 0,595 \text{ мм};$$

Оскільки  $T_3 - T_{\text{тд}} = \Sigma 2Z_{\text{маx}} - \Sigma 2Z_{\text{min}} = 595 \text{ мкм}$ , розрахунки вірні.

Технол. перех.	Елементи припуску, мкм				Розр.		Т, мкм	Прийняті розміри, мм		Значення припусків, мм	
	R <sub>Z</sub>	h	ρ	ε	2Z <sub>min</sub>	D <sub>max</sub>		D <sub>min</sub>	D <sub>max</sub>	2Z <sub>mi</sub> n	2Z <sub>ma</sub> x
Заготовка	400		37,3	-	-	23,37 5	620	22,755	23,375	-	-
Розточування чорнове (H12)	50	50	2,238	135	1,14	24,45 5	250	24,205	24,455	1,14	1,5
Розточування чистове (H9)	25	25	-	135	0,47	24,92 5	62	24,863	24,925	0,47	0,65 8
Розточування тонке (H8)	5	5	-	-	0,1	25,02 5	25	25	25,025	0,1	0,13 7
									Σ	1,71	2,29 5

Таблиця 7. Результати розрахунків припусків і граничних розмірів за технологічними переходами оброблення отвору Ø 25H8

### 1.9.2. Табличний метод призначення припусків[3]

Основні параметри:

- Клас розмірної точності: 10.
- Ступінь жолоблення :7 (від 8 мм до 145 мм = 0,055).
- Ступінь точності поверхні вилівка :14.
- Клас точності маси вилівка : 10.
- Ряд припусків : 6

Поверхня деталі	Допуск деталі	Допуск Заготовки	Співвідношення допусків	Вид Кінцевої обробки	Припуск	Розмір
22h12	0,18	1,8	0,10	Чистова	2,8	24,8(±0,9)
Ø25H8	0,021	2,0	0,0105	Тонка	3,0	28(±1)
Ø45H8	0,033	2,5	0,0132	Тонка	3,2	48,2(±1)
40H12	0,025	2,5	0,01	Чистова	3,2	43,2(±0,9)
25H12	0,074	2,8	0,0264	Чистова	3,1	28,1(±1,4)

Таблиця 8. Припуски за табличним методом

## 1.10. Розрахунки режимів різання

### 1.10.1. Розрахунок режимів різання на обробку поверхні Ø25H8 аналітичним методом

#### 1.10.1.1. Чорнове розточування

Визначення глибини різання

З попередніх розрахунків  $2Z_{\max} = 1,5$  мм, тоді  $h = 0,75$  мм.

Визначення геометричних параметрів різальної частини інструменту

При обробленні сірого чавуну використовують: передній  $\gamma=5$ ,  $\alpha=10$ ,  $\varphi=90$ ,  $\varphi_1=10$ ,  $\lambda=0$

Де:  $\gamma$  - передній кут;

$\alpha$  - головний задній кут;

$\varphi$  - головний кут в плані °;

$\varphi_1$  - допоміжний кут в плані °;

$\lambda$  - кут нахилу головної різальної кромки °.

Сила різання  $[Pz]_{\text{мз}}$ , від міцності та жорсткості заготовки

Так як дана деталь відноситься до класу корпусних деталей, то сила різання, що допускається міцністю жорсткості заготовки не враховується, так як вона сильно більша за інші сили різання.

Отже нею можна знехтувати.

Сила різання  $[Pz]_{\text{мп}}$ , від механізму подач верстату

Силу різання, що допускає механізм подач верстату, беремо з таблиці 5.

Отже  $[Pz]_{\text{мп}} = 11343$  Н.

Сила різання  $[Pz]_{\text{пл}}$ , від різальної пластини

Розраховується за наступною емпіричною формулою:

$$[P_z]_{\text{пл}} = 310 * h^{0,77} * c^{1,35} * \left( \frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi} \right)^{0,8},$$

де  $h$  – глибина різання, мм;

$c$  – товщина пластини, мм; (4мм)

$\varphi$  – головний кут в плані, град. ( $90^\circ$ )

$$[P_z]_{\text{пл}} = 310 * 0,75^{0,77} * 4^{1,35} * (0,866)^{0,8} = 310 * 0,801 * 6,5 * 0,891 = 1438 \text{ Н}$$

Після розрахунків отримали 2 значення головної складової сили. Це  $[P_z]_{\text{мп}} = 11343 \text{ Н}$  та  $[P_z]_{\text{пл}} = 1438 \text{ Н}$ , з них обираємо менше  $[P_z]_{\text{пл}} = 1438 \text{ Н}$

Подача від найменшої сили різання визначається за формулою:

$$[S]_P = \left( \frac{P_z}{C_{P_z} \cdot h^{x_{P_z}} \cdot V^{n_{P_z}} \cdot K_{P_z}} \right)^{\frac{1}{y_{P_z}}},$$

де  $C_{P_z}$  – коефіцієнт пропорційності = 900 ;

показники степенів –  $x_{P_z} = 1$ ;  $y_{P_z} = 0,75$ ;  $n_{P_z} = 0$

Для інструменту з ВК6 приймаємо  $V = 70$ , що є серединою з діапазону швидкості різання .

Загальний поправочний коефіцієнт  $K_{P_z}$ :

$$K_{P_z} = K_{MP_z} \cdot K_{\varphi P_z} \cdot K_{\gamma P_z} \cdot K_{\lambda P_z} \cdot K_{r P_z},$$

де коеф., враховуючий мех. властивості матеріалу заготовки та

$$\text{інструменту} - K_{MP_z} = \left( \frac{HB}{190} \right)^{1,08} = \left( \frac{200}{190} \right)^{1,08} = 1,06$$

$K_{\lambda P_z} = 1$  – коефіцієнт, від впливу кута нахилу різальної кромки;

$K_{\varphi P_z} = 0,89$  – коефіцієнт, від впливу головного кута в плані;

$K_{\gamma P_z} = 1,05$  – коефіцієнт, від впливу переднього кута;

$K_{r P_z} = 0,93$  – коефіцієнт, від впливу радіусу вершини різальної кромки.

$$K_{P_z} = 1,06 \cdot 0,89 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,93 = 0,93$$

$$[S]_P = \left( \frac{1438}{900 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,93} \right)^{\frac{1}{0,75}} = 3 \text{ мм/об}$$

### **Визначення подачі, яка може бути забезпечена верстатом**

Вибраний верстат з ЧПУ HAAS VF-2 має безступеневе встановлення подач , тому значення подачі приймаємо – 3 мм/об

**Розрахунок найбільшої допустимої подачі, що допускається шорсткістю обробленої поверхні.**

При радіусі вершини різця  $>0.5 \text{ мм}$  для отримання шорсткості поверхні  $R_a = 5 \text{ мкм}$ , припустимий діапазон подач  $[S]_{\text{ш}} 0,25 - 0,4 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ . Приймаємо 0,4 мм/об.

**Розрахунок допустимої швидкості різання.**

Швидкість різання, від потужності верстата .

$$[V]_B = \frac{60 \cdot 1000 \cdot N \cdot h \cdot K_{\Pi}}{P_z},$$

де  $N$  – макс. потужність двигуна = 22,4 кВт;

$h$  – ККД двигуна, приймаємо 0,9;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт допустимого перевантаження двигуна = 1.25

$$[V]_B = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 22,4 \cdot 0,9 \cdot 1,25}{1438} = 1051,5 \text{ м/хв}$$

**Швидкість різання, що допускається стійкістю різця:**

$$[V]_i = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot h^{x_v} \cdot S^{y_v}},$$

де  $C_v = 260$  – коефіцієнт пропорційності при обробленні чавуну твердосплавним різцем;

$x_v = 0,15$ ;  $y_v = 0,4$ ;  $m = 0,2$  – показники степенів при обробленні чавуну твердосплавним різцем;

$T = 30$  хв – нормативний період стійкості різця.

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Cv} \cdot K_{\Pi v} \cdot K_{iv} \cdot K_{\phi v} \cdot K_{\phi 1v} \cdot K_{rv} \cdot K_{qv} \cdot K_{dv},$$

де  $K_{Mv} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{1,25} = \left(\frac{190}{200}\right)^{1,25} = 0,94$  – для СЧ;

$K_{Cv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує стан сталі при обробленні;

$K_{\Pi v} = 1$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{iv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує вплив ВКб на швидкість різання;

$K_{\phi v} = 0,7$ ;  $K_{\phi 1v} = 1$ ;  $K_{rv} = 0,94$ ;  $K_{qv} = 1,12$  – коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів різця на швидкість різання

$K_{dv} = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує вплив виду оброблення на швидкість різання.

$$K_v = 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 1,12 \cdot 0,9 = 0,62$$

$$[V]_i = \frac{260 \cdot 0,62}{30^{0,2} \cdot 0,75^{0,15} \cdot 0,4^{0,4}} = 125 \text{ м/хв}$$

Для розрахунків приймаємо швидкість різання:  $V = 125$  м/хв.

**Частота обертання шпинделя:**

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 \cdot 125}{3,14 \cdot 20} = 1990 \text{ об/хв}$$

Приймається 2000 об/хв.

Чорнова обробка проходить за один прохід, тому основний час буде:

$$T_0 = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{47}{0,4 \cdot 1990} = 0,047 \text{ хв} = 2,82 \text{ с}$$

### **1.10.1.2. Чистове розточування**

**Визначення глибини різання**

З попередніх розрахунків  $2Z_{\max} = 0,658 \text{ мм}$ , тоді  $h = 0,33 \text{ мм}$ .

**Сила різання  $[P_z]_{\text{пл}}$ , від різальної пластини**

Розраховується за наступною емпіричною формулою:

$$[P_z]_{\text{пл}} = 310 * h^{0,77} * c^{1,35} * \left( \frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi} \right)^{0,8},$$

де  $h$  – глибина різання, мм;

$c$  – товщина пластини, мм; (4мм)

$\varphi$  – головний кут в плані, град. ( $90^\circ$ )

$$[P_z]_{\text{пл}} = 310 * 0,33^{0,77} * 4^{1,35} * (0,866)^{0,8} = 310 * 0,426 * 6,5 * 0,891 = 765 \text{ Н}$$

Після розрахунків отримали 2 значення головної складової сили. Це  $[P_z]_{\text{мп}} = 11343 \text{ Н}$  та  $[P_z]_{\text{пл}} = 765 \text{ Н}$ , з них обираємо менше  $[P_z]_{\text{пл}} = 765 \text{ Н}$

Подача від найменшої сили різання визначається за формулою:

$$[S]_P = \left( \frac{P_z}{C_{P_z} * h^{x_{P_z}} * V^{n_{P_z}} * K_{P_z}} \right)^{\frac{1}{y_{P_z}}},$$

де  $C_{P_z}$  – коефіцієнт пропорційності = 900 ;

показники степенів –  $x_{P_z} = 1$ ;  $y_{P_z} = 0,75$ ;  $n_{P_z} = 0$

Для інструменту з ВК6 приймаємо  $V = 120 \text{ м/хв.}$ , що є середньою з діапазону швидкості різання .

Загальний поправочний коефіцієнт  $K_{P_z}$ :

$$K_{P_z} = K_{MP_z} * K_{\varphi P_z} * K_{\gamma P_z} * K_{\lambda P_z} * K_{r P_z},$$

де коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалу заготовки та інструменту –  $K_{MP_z} = \left(\frac{HB}{190}\right)^{1,08} = \left(\frac{200}{190}\right)^{1,08} = 1,06$

$K_{\lambda P_z} = 1$  – коефіцієнт, від впливу кута нахилу різальної кромки;

$K_{\varphi P_z} = 0,89$  – коефіцієнт, від впливу головного кута в плані;

$K_{\gamma P_z} = 1,05$  – коефіцієнт, від впливу переднього кута;

$K_{r P_z} = 0,93$  – коефіцієнт, від впливу радіусу вершини різальної кромки.

$$K_{P_z} = 1,06 * 0,89 * 1,05 * 1 * 0,93 = 0,93$$

$$[S]_P = \left(\frac{765}{900 \cdot 0,75 \cdot 1,8 \cdot 0,93}\right)^{\frac{1}{0,75}} = 1,15 \text{ мм/об}$$

**Розрахунок найбільшої допустимої подачі, що допускається шорсткістю обробленої поверхні.**

При радіусі вершини різця  $>0,5$ мм для отримання шорсткості поверхні  $Ra = 2,5$  мкм, припустимий діапазон подач  $[S]_{ш} 0,15 - 0,2 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ . Приймаємо  $0,2$  мм/об.

$$[V]_i = \frac{C_v * K_v}{T^{m*} h^{x_v} * S^{y_v}},$$

де  $C_v = 300$  – коефіцієнт пропорційності при обробленні чавуну твердосплавним різцем;

$x_v = 0,15$ ;  $y_v = 0,2$ ;  $m = 0,2$  – показники степенів при обробленні чавуну твердосплавним різцем;

$T = 30$  хв – нормативний період стійкості різця.

$$K_v = K_{Mv} * K_{Cv} * K_{Pv} * K_{iv} * K_{\varphi v} * K_{\varphi 1v} * K_{rv} * K_{qv} * K_{dv},$$

де  $K_{Mv} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{1,25} = \left(\frac{190}{200}\right)^{1,25} = 0,94$  – для СЧ;

$K_{Cv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує стан сталі при обробленні;

$K_{Pv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{iv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує вплив ВКб на швидкість різання;

$K_{\varphi v} = 0,7$ ;  $K_{\varphi 1v} = 1$ ;  $K_{rv} = 0,94$ ;  $K_{qv} = 1,12$  – коефіцієнти, що

враховують вплив геометричних параметрів різця на швидкість різання

$K_{dv} = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує вплив виду оброблення на швидкість різання.

$$K_v = 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 1,12 \cdot 0,9 = 0,62$$

$$[V]_i = \frac{300 \cdot 0,62}{30^{0,2} \cdot 0,75^{0,15} \cdot 0,4^{0,2}} = 118 \text{ м/хв}$$

Для розрахунків приймаємо швидкість різання:  $V = 118 \text{ м/хв}$ .

**Частота обертання шпинделя:**

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 118}{3,14 \cdot 20} = 1879 \text{ об/хв}$$

Чорнова обробка проходить за один прохід, тому основний час буде:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{47}{0,2 \cdot 1879} = 0,125 \text{ хв} = 7,5 \text{ с}$$

### 1.10.1.3.Тонке розточування

**Визначення глибини різання**

З попередніх розрахунків  $2Z_{\max} = 0,658 \text{ мм}$ , тоді  $h = 0,33 \text{ мм}$ .

**Сила різання  $[P_z]_{\text{пл}}$ , від різальної пластини**

Розраховується за наступною емпіричною формулою:

$$[P_z]_{\text{пл}} = 310 \cdot h^{0,77} \cdot c^{1,35} \cdot \left( \frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi} \right)^{0,8},$$

де  $h$  – глибина різання, мм;

$c$  – товщина пластини, мм; (4мм)

$\varphi$  – головний кут в плані, град. ( $90^\circ$ )

$$[P_z]_{\text{пл}} = 310 \cdot 0,33^{0,77} \cdot 4^{1,35} \cdot (0,866)^{0,8} = 310 \cdot 0,426 \cdot 6,5 \cdot 0,891 = 765 \text{ Н}$$

Після розрахунків отримали 2 значення головної складової сили. Це  $[P_z]_{\text{мп}} = 11343 \text{ Н}$  та  $[P_z]_{\text{пл}} = 765 \text{ Н}$ , з них обираємо менше  $[P_z]_{\text{пл}} = 765 \text{ Н}$

Подача від найменшої сили різання визначається за формулою:

$$[S]_P = \left( \frac{P_z}{C_{Pz} \cdot h^{x_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot K_{Pz}} \right)^{\frac{1}{y_{Pz}}},$$

де  $C_{Pz}$  – коефіцієнт пропорційності = 900 ;

показники степенів –  $x_{Pz} = 1$ ;  $y_{Pz} = 0,75$ ;  $n_{Pz} = 0$

Для інструменту з ВК6 приймаємо  $V = 150 \text{ м/хв.}$ , що вище середньої з діапазону швидкості різання .

Загальний поправочний коефіцієнт  $K_{Pz}$ :

$$K_{P_z} = K_{MP_z} * K_{\varphi P_z} * K_{\gamma P_z} * K_{\lambda P_z} * K_{r P_z},$$

де коэф., враховуючий мех. властивості матеріалу заготовки та інструменту –  $K_{MP_z} = \left(\frac{HB}{190}\right)^{1,08} = \left(\frac{200}{190}\right)^{1,08} = 1,06$

$K_{\lambda P_z} = 1$  – коефіцієнт, від впливу кута нахилу різальної кромки;

$K_{\varphi P_z} = 0,89$  – коефіцієнт, від впливу головного кута в плані;

$K_{\gamma P_z} = 1,05$  – коефіцієнт, від впливу переднього кута;

$K_{r P_z} = 0,93$  – коефіцієнт, від впливу радіуса вершини різальної кромки.

$$K_{P_z} = 1,06 * 0,89 * 1,05 * 1 * 0,93 = 0,93$$

$$[S]_P = \left(\frac{765}{900 \cdot 0,75 \cdot 2,4 \cdot 0,93}\right)^{\frac{1}{0,75}} = 2,15 \text{ мм/об}$$

**Розрахунок найбільшої допустимої подачі, що допускається шорсткістю обробленої поверхні.**

При радіусі вершини різця  $>0,5$ мм для отримання шорсткості поверхні  $Ra = 2,5$  мкм, припустимий діапазон подач  $[S]_{ш} 0,15 - 0,2 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ . Приймаємо  $0,2 \text{ мм/об}$ .

$$[V]_i = \frac{C_v * K_v}{T^m * h^{x_v} * S^{y_v}},$$

де  $C_v = 300$  – коефіцієнт пропорційності при обробленні чавуну твердосплавним різцем;

$x_v = 0,15$ ;  $y_v = 0,2$ ;  $m = 0,2$  – показники степенів при обробленні чавуну твердосплавним різцем;

$T = 30$  хв – нормативний період стійкості різця.

$$K_v = K_{Mv} * K_{Cv} * K_{Pv} * K_{iv} * K_{\varphi v} * K_{\varphi 1v} * K_{rv} * K_{qv} * K_{dv},$$

де  $K_{Mv} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{1,25} = \left(\frac{190}{200}\right)^{1,25} = 0,94$  – для СЧ;

$K_{Cv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує стан сталі при обробленні;

$K_{Pv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{iv} = 1$  – коефіцієнт, що враховує вплив ВКБ на швидкість різання;

$K_{\varphi v} = 0,7$ ;  $K_{\varphi 1v} = 1$ ;  $K_{rv} = 0,94$ ;  $K_{qv} = 1,12$  – коефіцієнти, що

враховують вплив геометричних параметрів різця на швидкість різання

$K_{dv} = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує вплив виду оброблення на швидкість різання.

$$K_v = 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 1,12 \cdot 0,9 = 0,62$$

$$[V]_i = \frac{300 \cdot 0,62}{30^{0,2} \cdot 0,75^{0,15} \cdot 0,4^{0,2}} = 118 \text{ м/хв}$$

Для розрахунків приймаємо швидкість різання:  $V = 120$  м/хв.

**Частота обертання шпинделя:**

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 120}{3,14 \cdot 20} = 1910 \text{ об/хв}$$

Чорнова обробка проходить за один прохід, тому основний час буде:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{47}{0,2 \cdot 1879} = 0,125 \text{ хв} = 7,5 \text{ с}$$

### 1.10.2. Розрахунок режимів різання на обробку поверхонь аналоговим методом

Для розрахунків режимів різання аналоговим методом, використовується калькулятор Sandvik Coromant [14], результати розрахунків дані в наступних таблицях.

Параметри режимів різання на операції 010. Таблиця 9.

№ переходу	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T <sub>о</sub> , хв
1	A345-035M32-13M 345R-1305M-KH3220	222	1,8	0,72	1580	0,163
2	A345-035M32-13M 345R-1305M-KH3220	222	1,55	0,72	1580	0,35
3	870-1000-6L16-3 870-1000-6-KM 3334	130	25,25	0,25	4140	0,097
4	BR20-29CC06F-C3 CCMT 06 02 08-KR 3210	184	45	0,38	2340	0,1
5	BR20-45CC09F-C4 CCMT 09 T3 12-KR 3210	202	5	0,57	1870	0,094
6	1K344-0500-XD 1730	226	20	0,45	2600	0,17
7	T100-KM106AA-M10 D210	61,2	11,5	1,5	1950	0,15

Параметри режимів різання на операції 015. Таблиця 10.

№ переходу	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T <sub>о</sub> , хв
1	A345-035M32-13M 345R-1305M-KH3220	222	1,8	0,72	1580	0,65
2	A345-035M32-13M 345R-1305M-KH3220	222	1,55	0,72	1580	0,35
3	BR20-56CC09F-C5 CCMT 09 T3 08-KR 3210	220	45	0,5	1550	0,1
4	BR20-56TC11F-C4 TCMT 11 03 08-KR 3210	217	5	0,412	1270	0,095
5	1K344-0500-XD 1730	226	20	0,45	2600	0,17
6	T100-KM106AA-M10 D210	61,2	11,5	1,5	1950	0,15

## 1.11 Нормування технологічних операцій

Норма поштучного часу для великосерійного виробництва визначається за наступною формулою :

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}$$

де  $n$  – розмір партії деталей, яка була визначена раніше  $i = 170$ :

Норма штучного часу розраховується за формулою :

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{обс} + T_{потр}$$

де  $T_o$  – сумарна кількість часу на виконання усіх переходів операції, хв;

$T_v$  – допоміжний час;

$T_{обс}$  – час, на обслуговування верстата

$T_{потр}$  – час призначений на потреби робітника

В серійному виробництві  $T_{обс}$  та  $T_{потр}$  сумуються, тому формула набуває наступного виду

$$T_{шт} = (T_{оп}) \left( \frac{K}{100} \right)$$

де  $T_{оп}$  – оперативний час, що  $= T_o + T_v$

$K$  – коефіцієнт, що  $= 4$

Сумарний час оброблення на операції 010 :

$$T_o = \sum T_{oi} = 1,288 \text{ хв}$$

Норма допоміжного часу  $T_v$  поєднує в собі: час на встановлення та зняття заготовок та деталей, час на вмикання та вимикання верстату, час на неробочі рухи інструменту і т.д.. Її визначають за наступною формулою:

$$T_v = T_{mv} + T_{vy}$$

де  $T_{mv}$  – допоміжний час на виконання холостих та допоміжних ходів, для 010 операції  $= 0,015$ хв;

$T_{\text{вв}}$  – час на установку та зняття заготовки і вмикання та вимикання верстата = 4 хв.

Отже:

$$T_{\text{в}} = 4 + 0,015 = 4,015 \text{ хв}$$

Отже норма штучного часу дорівнює:

$$T_{\text{шт}} = (1,288 + 4,015) \left( \frac{4}{100} \right) = 0,212 \text{ хв}$$

$T_{\text{пз}}$  – підготовчо-заклучний час нормує конкретну партію деталей та вчисляється за формулою:

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{пз.орг}} + T_{\text{пз.настр}} + T_{\text{пз.обр}}$$

де  $T_{\text{пз.орг}}$  – час організаційної підготовки = 10хв

$T_{\text{пз.настр}}$  – час налагодження верстату = 5хв

$T_{\text{пз.обр}}$  – час обробки пробної деталі  $\approx 2T_{\text{шт}}$

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{пз.орг}} + T_{\text{пз.настр}} + T_{\text{пз.обр}} = 10 + 5 + 2 * 0,212 = 15,424$$

Тоді норма поштучного часу :

$$T_{\text{шт.к}} = 0,212 + \frac{15,424}{170} = 0,3 \text{ хв}$$

## 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1. Опис пристрою та принципу його дії

Пристрій використовується для базування і закріплення деталі під час вертикально-фрезерної 010 операції.

Пристрій складається з двох основних частин. Перша частина являє собою корпус основи складної форми, в яку запресовано 3 постійні опори, які є основними для базування та забезпечують необхідну орієнтацію заготовки. Крім них використовується четверта допоміжна опора [5], яка не приймає участі в базуванні, а служить для підвищення жорсткості та стійкості заготовки під дією сил різання. Конструктивно додаткова опора реалізована у вигляді регульованої опори [5], яка підводиться до заготовки після її базування. Друга частина пристрою - це 2 прихвати, які є елементами стандартних УЗП. Корпус основи і прихвати кріпляться окремо до столу верстату, основа кріпиться за допомогою 2-х болтів, а прихвати кріпляться болтом та шпилькою, які є їх основою. Для орієнтації корпусу основи на столі верстата використовуються дві шпонки.

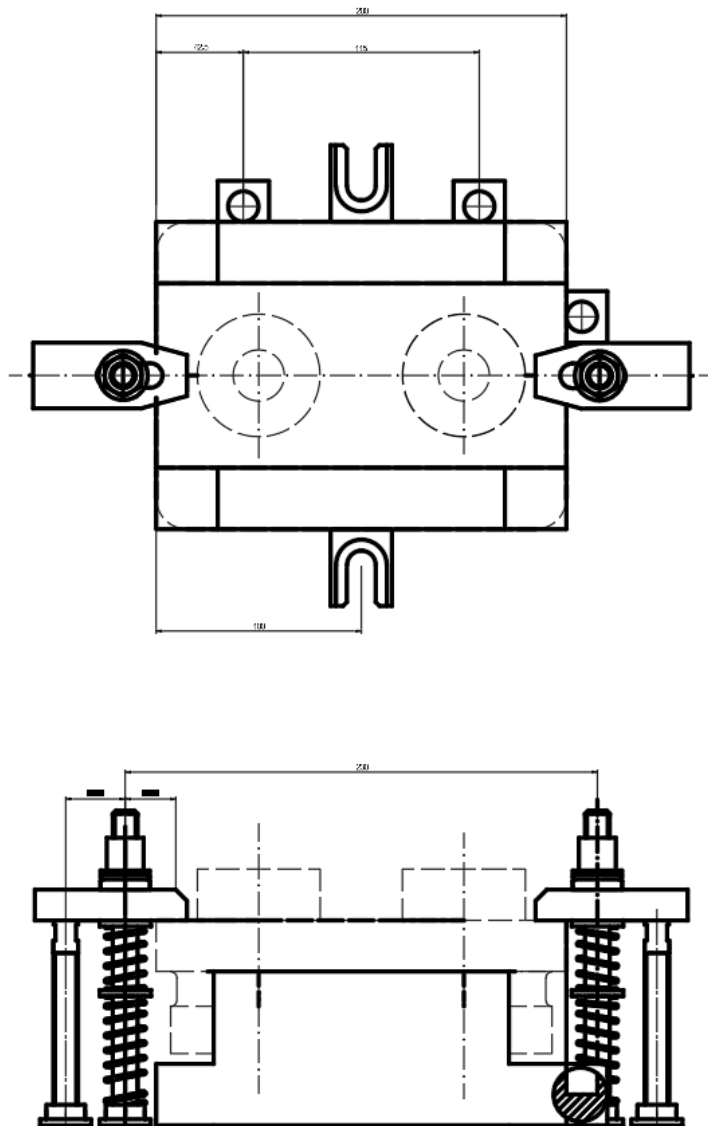


Рис.9 Схема пристрою для операції 010

Пристрій використовується для базування і закріплення деталі під час вертикально-фрезерної 010 операції.

Деталь опирається на борти основи (установча ТБ), направляюча ТБ реалізується за допомогою 2-х упорів, опорна – за допомогою одного упору. Закріплення деталі реалізовано 2 прихватами .

Хоч схеми пристроїв на операціях 010 і 015 схожі, але основи в них істотно різні, через що, для виробництва потрібно як мінімум 2 основи та 2 прихвати. Для виробництва, в умовах коли паралельно використовується 2 верстати, один з яких виконує операцію 010, а інший - 015, тоді потрібно 2 основи і 4 прихвати.

## 2.2. Розрахунок затискної системи верстатного пристрою

Згідно алгоритму розрахунку затискної системи верстатного пристрою [5,11] передбачено послідовне виконання декількох етапів, які включають: представлення розрахункової схеми пристрою; розрахунок необхідної сили затиску заготовки; визначення типу, геометричних і конструктивних параметрів затискного механізму та розрахунок сили, яку необхідно подати на його вхід, щоб створити потрібну силу затиску заготовки; розрахунок ручного приводу – гвинтового механізму та визначення сили, яку робітник повинен прикласти при закріпленні заготовки.

Згідно із приведеним алгоритмом представлено розрахункову схему пристрою на якій показано схему сил (рис.3.1).

Спочатку потрібно розрахувати необхідну силу затиску заготовки. Для цього застосуємо умову граничної рівноваги заготовки під дією сил різання та крутних моментів, що діють на заготовку і проведемо аналіз можливих зміщень заготовки під дією різних складових сили різання.

Під час розрахунку не враховуємо:

- силу ваги заготовки (G);
- пружні властивості затискного механізму і опор ;

Вважаємо, що найбільші сили при виконанні оброблення заготовки виникатимуть при торцевому фрезеруванні площини. Для цього виду оброблення визначимо сили різання, що діятимуть на заготовку.

Розрахуємо силу різання у процесі фрезерування площини за наступною формулою:

$$P_z = \frac{10 * C_p * t^x * F_z^y * B^u * z}{D^q * n^w} * \text{Кмр}$$

де,  $C_p$  – коефіцієнт для оброблення торцевою фрезою з твердосплавними пластинами-70;

$x = 0,9$ ;  $y = 0,72$ ;  $u = 1,14$ ;  $q = 1,14$ ;  $w = 0$  – степені для оброблення торцевою фрезою з твердого сплаву групи ВК.

$z$  – число різальних пластин фрези = 4,

$n$  – частота обертання шпинделя = 1480 об/хв,

$F_z$  – подача на зуб = 0,35 мм;

$$P_z = \frac{10 * 70 * 1,2^{0,9} * 0,35^{0,72} * 26,5^{1,14} * 4}{30^{1,14} * 1480^0} * 1 = 969 \text{ Н}$$

Знайдемо силу подачі:  $P_x = P_z * 0,55 = 969 * 0,55 = 532,95 \text{ Н}$ ;

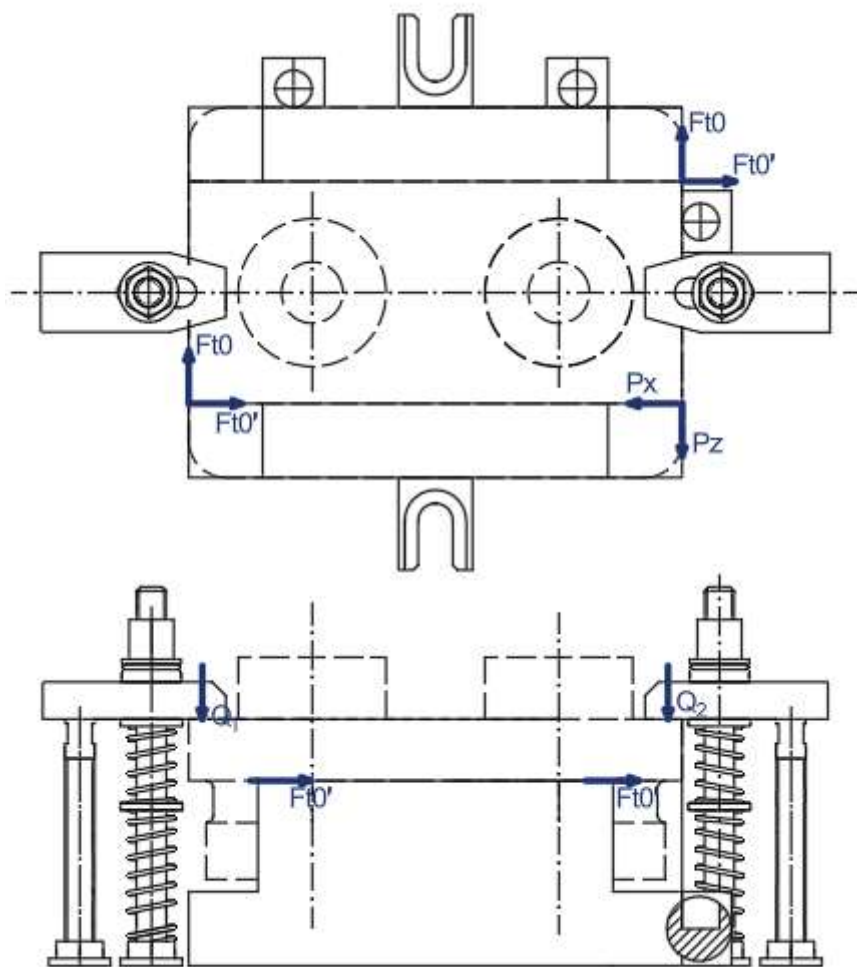


Рис. 2.1. Розрахункова схема пристрою зі схемою сил, що діють на заготовку

При фрезеруванні площини сили різання викликатимуть зсув заготовки у напрямку дії складової сили різання. Від зсуву заготовку утримують сили тертя між заготовкою і гладкою опорною площиною, що виникають від 2-х нормальних сил затиску  $Q$ , які створюють прихвати. При цьому, через низьку жорсткість важільних механізмів, внаслідок високих опорних елементів, сили тертя між прихватами і заготовкою не враховуються [5,11].

Рівняння рівноваги заготовки, яка перебуває під дією найбільшої, за величиною, складової сили різання  $P_z$ , згідно схеми сил (рис.3.1):

$$K * P_z = F_{t1} + F_{t2} = 2Ft = 2Q * f_{оп}$$

Звідси величина необхідної сили затиску заготовки буде:

$$Q = \frac{K * P_z}{2f_{оп}}$$

де  $f_{оп}$  – коефіцієнт тертя опори із заготовкою = 0,16

Коефіцієнт запасу:

$$K = K_0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6$$

де  $K_0$  – гарантований коефіцієнт запасу, приймаємо 1,5.

$K_1$  – коефіцієнт, який враховує збільшення сили різання через нерівномірність припуску на оброблюваних поверхнях, приймаємо 1,2.

$K_2$  – коефіцієнт, який враховує збільшення сили різання через затуплення різального інструмента, приймаємо 1,2.

$K_3$  – коефіцієнт, який враховує збільшення сили різання через переривчасте різання, приймаємо 1,2.

$K_4$  – коефіцієнт, який враховує вид приводу пристрою (ручний затиск), приймаємо 1,3.

$K_5$  – коефіцієнт, який характеризує зручність розташування руків'я у ручних затискачах, приймаємо 1,0.

$K_6$  – коефіцієнт, який враховує наявність моментів, що прагнуть повернути заготовку на опорах, приймаємо 1,0.

$$K = 1.5 * 1.2 * 1.2 * 1.2 * 1.3 * 1 * 1 = 3.4$$

Тоді сила затиску, яку повинен забезпечити затискач буде:

$$Q_1 = \frac{3,4 * 969}{0,32} = 10296 \text{ Н.}$$

Зсув у напрямку сили  $P_x$ .

Умова рівноваги:

$$Q_2 = \frac{K * P_x}{2f} = \frac{3,4 * 532,95}{2 * 0,16} = 5663 \text{ Н.}$$

Надалі, для забезпечення гарантованого закріплення приймаємо більшу величину сили закріплення.

Для забезпечення надійного закріплення та безпеки працівників, надалі в розрахунках приймаємо більшу силу закріплення  $Q = 10300 \text{ Н}$ ;

### 2.3. Розрахунок силових механізмів пристрою

Силовий механізм конструкції пристрою являє собою важільний механізм. Приймаємо, що обидва затискачі створюють однакові сили закріплення, отже сила затиску  $Q = Q_1 = Q_2$ , оскільки прихвати та їх плечі однакові.

Знайдемо силу  $W$ , яку необхідно прикласти до затискача, щоб створити необхідну силу затиску  $Q$ .

Умова рівноваги важеля:

$$W * l * \eta = Q * L$$

Тоді:

$$W = \frac{Q * L}{l * \eta}$$

де  $\eta$  – ККД, який враховує тертя в шарнірі важільного механізму,  $=0,95$ ;

$L = 55\text{мм.}; l = 25\text{мм.}$  Тоді:

$$W = \frac{10300 * 55}{25 * 0,95} = 23850 \text{ Н}$$

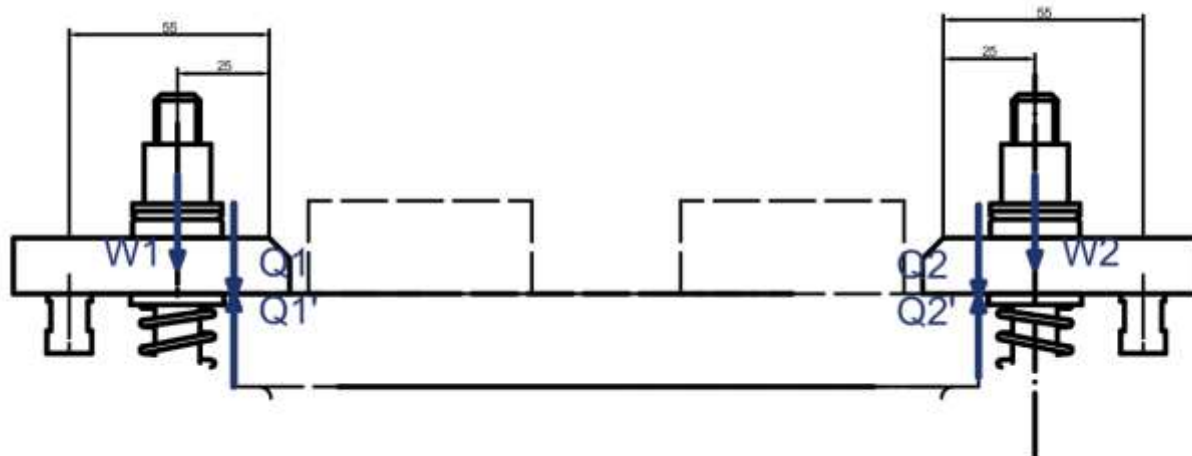


Рис. 2.2. Схема сил, що діють на важіль

## 2.4. Розрахунок сили, яку необхідно прикласти до руків'я ключа, для створення необхідної сили затиску заготовки

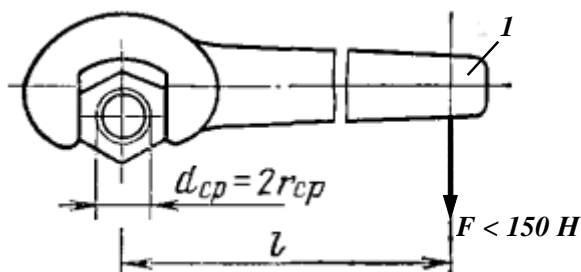


Рис. 2.3. Схема для розрахунку сили  $F$ , яка прикладається на рукоятці

Для розрахунку зусилля  $F_p$ , яке потрібно прикласти до ключа, використаємо наступну формулу [5]:

$$F_p = \frac{W[r_{cp} * \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + 0,33f * \frac{D_H^3 - D_B^3}{D_H^2 - D_B^2}]}{l}$$

де  $d$  – номінальний зовнішній діаметр різьби, приймаємо  $d = 12$  мм;

$r_{cp}$  – середній радіус різьби  $= 0,45d = 5,4$  мм;

$\alpha$  – кут підйому гвинта різьби,  $\alpha \approx 2^\circ 30'$ ;

$\varphi_{пр}$  – приведений кут тертя,  $\varphi_{пр} \approx 6^\circ 30'$ ;

$f$  – коефіцієнт тертя  $= 0,16$ ;

$D_H$  – зовнішній діаметр опорного торця гайки  $= 18$  мм;

$D_B$  – внутрішній діаметр опорного торця гайки  $= d = 12$  мм;

$l$  – довжина ключа  $= 200$  мм.

$$F_p = \frac{23850[5,4 * \operatorname{tg}(9^\circ) + 0,33 * 0,16 * 22,8]}{250} = 146 \text{ Н}$$

Максимальне зусилля яке може прикласти робітник, аби не перевищувати максимальне допустиме дорівнює 150Н., отже зусилля закріплення знаходиться в допустимих межах.

## 2.5. Розрахунок різьби болта на міцність

Розрахуємо різьбу на міцність при розтягуванні.

Внутрішній діаметр різьби М12:  $d=10,160$  мм;

Розтягуюча сила :  $W = 23841$  Н.

Використовуємо наступну формулу для визначення напружень при такому виді навантаження:

$$\sigma = \frac{W}{S} = \frac{4W}{\pi d^2} \leq [\sigma]$$

Отримаємо:

$$\sigma = \frac{4 * 23841}{\pi 10,160^2} = 294 \text{ МПа} < [\sigma] = 690 \text{ МПа}$$

Отже, болт має достатню міцність на розтягування.

Перевірку на зріз, проводиться з використанням формули для тангенційного напруження:

$$\tau = \frac{W}{S_{зр}} \leq [\tau] = 0.5[\sigma] = 345 \text{ МПа}$$

де  $S_{зр}$  – площа зрізу.

Висота контактної поверхні (висота гайки):

$$h = 18 \text{ мм}$$

Площа зрізу дорівнює:

$$S_{зр} = h * \pi * d = 18 * \pi * 10,16 = 574,6 \text{ мм}^2$$

$$\tau = \frac{23841}{574,7} = 41,5 \text{ МПа} < [\tau] = 345 \text{ МПа}$$

Отже міцність різьби на зріз є достатньою.

## 2.6. Опис пристрою для операції 015 та принципу його дії

Для операції 015 використовується схожий, але дещо інакший пристрій. В ньому базування відбувається за допомогою використання наступної схеми базування: установка ТБ реалізується, як і в попередньому пристрої,

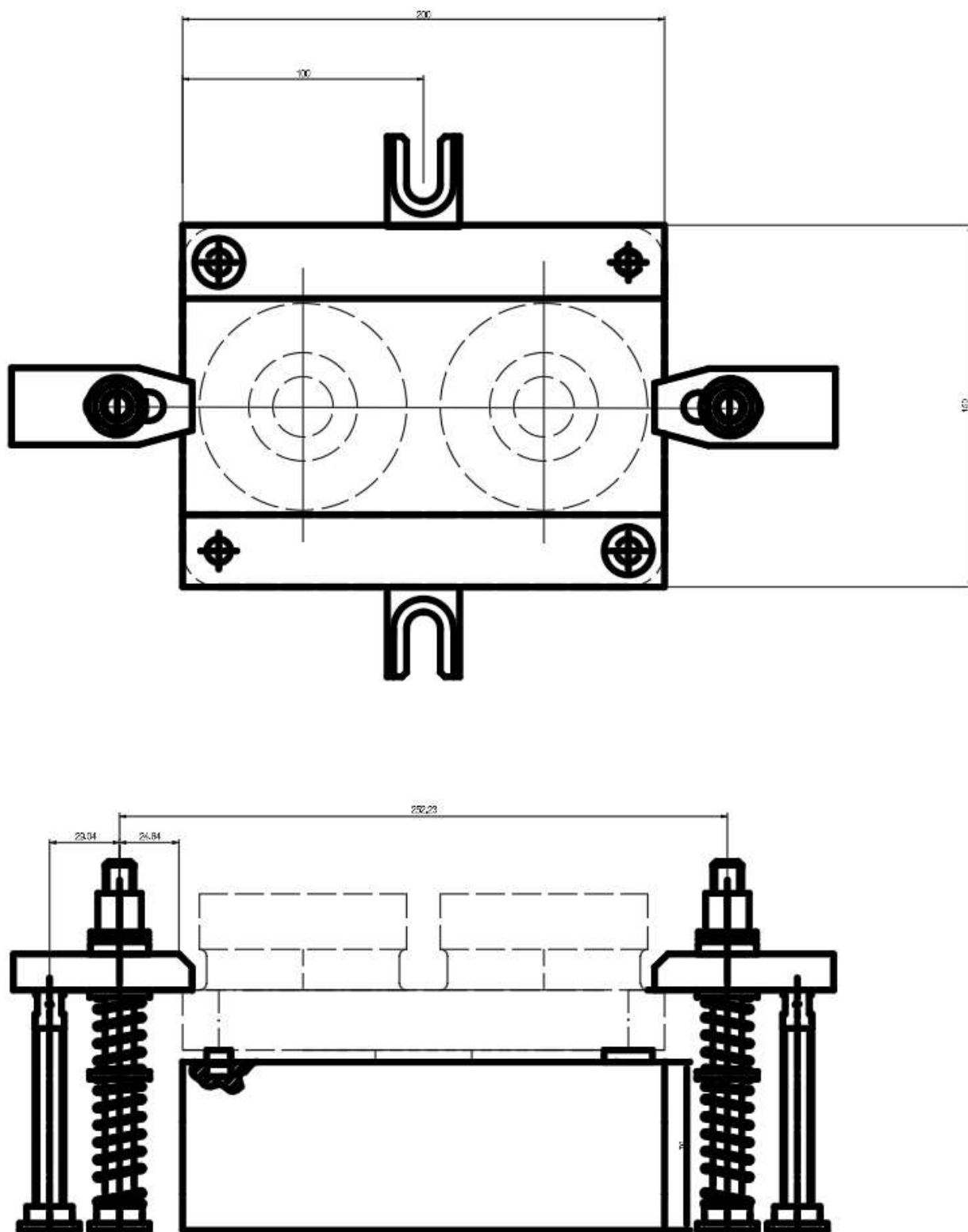


Рис.2.4. Схема пристрою для операції 015

установленням заготовки на 3 основні і одну додаткову підвідну опору для підвищення стійкості заготовки; подвійна опорна база, що реалізується встановленням заготовки на циліндричний палець; опорна ТБ, що реалізується встановленням заготовки на зрізаний палець.

Закріплення заготовки проходить за допомогою прихватів, аналогічних попередньому пристрою.

З урахуванням того, що при розрахунку затискної системи, зокрема при визначенні необхідної сили затиску заготовки пальці вважаються такими, що не сприймають навантаження, а слугують тільки для базування заготовки[5,11] розрахункова схема такого пристрою буде аналогічна попередньому. Крім того, для закріплення заготовки в даному пристрої використовуються ті самі прихвати, а методи обробки суттєво не відрізняються, то попередні розрахунки затискної системи і відповідні перевірки її елементів на міцність будуть справедливими і для даного пристрою.

### 3. Дослідницька частина

#### Оцінка точності отвору, що забезпечується при чистовому розточуванні на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК, на основі статистичного аналізу

**Мета дослідження** – забезпечити обґрунтований вибір маршруту оброблення точних отворів деталі «Корпус основи направляючої стійки» на основі актуальних даних щодо досяжної точності оброблення розточуванням отворів на багатоцільових верстатах з ЧПУ, отриманих на основі статистичного аналізу точності обробки подібних за розмірами отворів в умовах виробництва

#### 3.1. Постановка задачі та етапи її виконання

Для обґрунтованого вибору варіанту маршруту оброблення розточуванням отвору діаметром  $\varnothing 45H8$ , передбачено проведення статистичного аналізу точності в умовах виробництва та використання отриманих результатів при розробленні ТП оброблення деталі «Корпус основи направляючої стійки».

Загальна послідовність дій :

1. Вибір на підприємстві ТП оброблення деталі, який реалізується на багатоцільовому верстаті з ЧПУ фрезерної групи та включає чистове розточування отвору діаметром близьким до 45мм.

2. Проведення вимірювання оброблених отворів для отримання вибірки розмірів обсягом 50-70 вимірювань (деталей).

3. З використанням відповідного алгоритму проведення статистичного аналізу точності розміру на основі отриманих результатів вимірювань.

4. Визначення величини поля розсіювання та оцінка отриманого результату щодо досягнутої точності при чистовому розточуванні та відповідності вимогам точності (для заводської деталі).

На основі результатів вимірювання розмірів отворів в партії заготовок після чистового розточування, в умовах виробництва, та їх статистичного аналізу необхідно: а) оцінити можливість забезпечення таким обробленням, заданої кресленням точності отвору, на основі розрахунку і аналізу коефіцієнту запасу точності та запропонувати варіант оброблення, що забезпечить необхідну точність конструкторського розміру  $A_i$ ; б) на основі аналізу розташування

емпіричної кривої розсіювання розмірів відносно поля допуску отвору оцінити якість налаштування верстату та, при необхідності, надати рекомендації щодо поліпшення налаштування

5. Формулювання висновків і рекомендацій щодо маршруту оброблення отвору Ø45H8 в деталі «Корпус основи направляючої стійки». Використання отриманих рекомендацій при розробленні ТП

### **3.2. Оцінка точності отвору, що забезпечується чистовим розточуванням в умовах виробництва**

#### **3.2.1. Вихідні дані:**

*Розмірні параметри конструкторського розміру  $A_i$*  (діаметр отвору - внутрішньої циліндричної поверхні - Ø50H9 ), точність якої необхідно забезпечити при обробленні (заводська деталь – «Кронштейн», матеріал чавун СЧ18):

$A_i = 50,0 \text{ мм.}$  - номінальний розмір;

$TA_i = 0.062 \text{ мм.}$  - величина допуску, що відповідає посадці H9;

$ESA_i = 0.062 \text{ мм}$  - верхнє відхилення;

$EIA_i = 0 \text{ мм.}$  - нижнє відхилення;

Таким чином, підібраний варіант заводського отвору за своїми розмірними параметрами близький до параметрів отвору в деталі «Корпус основи направляючої стійки» – діаметр Ø 45H8 (45+0,039мм.), що дозволить застосувати отримані рекомендації для заводської деталі при проєктуванні ТП оброблення деталі в дипломному проєкті.

#### **3.2..2. Завдання, що необхідно вирішити**

На основі значень технологічних розмірів  $F_i$  , кількість деталей в партії  $N=70$ шт. (Таблиця ), одержаних в результаті вимірювань отворів після чистового розточування партії заготовок в умовах виробництва, **необхідно:**

- Виконати статистичну оцінку точності розміру отвору, що отриманий при розточуванні зазначеної вибірки заготовок та оцінити

забезпечення заданих параметрів конструкторського розміру ( $A_i, T A_i, E S A_i, E I A_i$ ).

- При незадовільній точності розміру запропонувати шляхи її підвищення для забезпечення заданої точності або зменшення частки (кількості) розмірів («бракованих» деталей), що вийшли за поле допуску. Для чого розглянути варіанти коригування налагоджуваного розміру, на основі розрахунку величини коригування  $\Delta_{кор.}$ , або уведення додаткового оброблення (тонкого розточування) для підвищення точності отвору.

- На основі отриманих результатів сформулювати висновки та надати пропозиції щодо маршруту оброблення отвору 45H8 в деталі «Корпус основи направляючої стійки».

### ***3.2.3. Послідовність виконання статистичного аналізу та оцінки точності розмірів отворів, що забезпечується при розточуванні***

*Визначення закону розподілу розмірів та розрахунок його основних параметрів*

- Побудова емпіричної кривої розподілу.
- Висування гіпотези щодо закону розподілу випадкових величин (розмірів).
- Розрахунок параметрів емпіричного розподілу ( $\bar{X}_i, S^2$ ).
- Вирівнювання емпіричної кривої розподілу по прийнятому теоретичному закону.
- Перевірка гіпотези щодо закону розподілу.

*Оцінка можливості забезпечення заданої точності конструкторського розміру ( $A_i$ ) при обробленні*

- Розрахунок коефіцієнту запасу точності -  $\psi A_i$ .
- У випадку незадовільної точності ( $\psi A_i < 1,2$ ) визначення шляхів її підвищення.

- Якщо точність забезпечується ( $\psi A_i \geq 1,2$ ), формулюються висновки та рекомендації відносно маршруту оброблення отвору в деталі «Корпус основи направляючої стійки».

### 3.2.4. Представлення результатів вимірювань та їх оцінка

Вимірювання проводились в умовах виробництва (заводська деталь – «Кронштейн», матеріал чавун СЧ18):

$\varnothing A_i = 50,0\text{мм}$ . - номінальний розмір;

$TA_i = 0.062\text{мм}$ . - величина допуску, що відповідає посадці Н9;

$ESA_i = 0.062\text{мм}$  - верхнє відхилення;

$EIA_i = 0\text{ мм}$  . - нижнє відхилення;

Результати вимірювань Таблиця 3.1.

№	Розмір, мм	Відхилення. мм	Відхилення. мкм
1	50,018	0,018	18,000
2	50,025	0,025	25,000
3	50,005	0,005	5,000
4	50,028	0,028	28,000
5	50,034	0,034	34,000
6	50,012	0,012	12,000
7	50,028	0,028	28,000
8	50,026	0,026	26,000
9	50,013	0,013	13,000
10	50,021	0,021	21,000
11	50,022	0,022	22,000
12	50,004	0,004	4,000
13	50,012	0,012	12,000
14	50,022	0,022	22,000

15	50,015	0,015	15,000
16	50,027	0,027	27,000
17	50,015	0,015	15,000
18	50,018	0,018	18,000
19	50,017	0,017	17,000
20	50,021	0,021	21,000
21	50,032	0,032	32,000
22	50,018	0,018	18,000
23	50,023	0,023	23,000
24	50,021	0,021	21,000
25	50,012	0,012	12,000
26	50,008	0,008	8,000
27	50,021	0,021	21,000
28	50,024	0,024	24,000
29	50,030	0,030	30,000
30	50,021	0,021	21,000
31	50,024	0,024	24,000
32	50,017	0,017	17,000
33	50,016	0,016	16,000
34	50,028	0,028	28,000
35	50,027	0,027	27,000
36	50,031	0,031	31,000
37	50,012	0,012	12,000
38	50,019	0,019	19,000
39	50,021	0,021	21,000
40	50,009	0,009	9,000
41	50,026	0,026	26,000
42	50,006	0,006	6,000

43	50,030	0,030	30,000
44	50,026	0,026	26,000
45	50,000	0,000	0,000
46	50,016	0,016	16,000
47	50,019	0,019	19,000
48	50,020	0,020	20,000
49	50,036	0,036	36,000
50	50,018	0,018	18,000
51	50,026	0,026	26,000
52	50,001	0,001	1,000
53	50,009	0,009	9,000
54	50,014	0,014	14,000
55	50,021	0,021	21,000
56	50,022	0,022	22,000
57	50,038	0,038	38,000
58	50,013	0,013	13,000
59	50,015	0,015	15,000
60	50,030	0,030	30,000
61	50,029	0,029	29,000
62	50,009	0,009	9,000
63	50,018	0,018	18,000
64	50,013	0,013	13,000
65	50,014	0,014	14,000
66	50,008	0,008	8,000
67	50,022	0,022	22,000
68	50,007	0,007	7,000
69	50,024	0,024	24,000
70	50,006	0,006	6,000

Розрахунок розмаху відхилень

Xmax	38
Xmin	0

$$R = x_{\max} - x_{\min} = 38 - 0 = 38 \text{ мкм}$$

Визначимо кількість інтервалів  $k$  для об'єму виборки  $N < 100$ :

$$k = 1 + 1.44 \ln N = 1 + 1.44 \ln 70 = 7.12 \approx 8$$

Визначимо ширину інтервала:

$$h = R / k = 38 / 8 = 4,75 \approx 5 \text{ мкм}$$

Перевіряємо виконання умови компенсування похибки вимірювань:

$$h \geq bc \geq 2$$

де  $c = 1 \text{ мкм}$ , ціна поділки вимірювального пристрою;  $b = 1 \dots 2$  - поправочний коефіцієнт.

За результатами розрахунків визначаються величини інтервалів та значення середини кожного інтервалу, а також розраховується кількість розмірів, що входять  $i$ -й інтервал, тобто частоту  $m_i$  або відношення цього числа до загальної кількості елементів виборки  $N$  - частку  $p_i = m_i / N$  (таблиця 3.2).

Розподілення розмірів по інтервалах

Таблиця 3.2.

№	Інтервал, мкм		Середина інтервала $x_i$ , мкм	Частота $m_i$	Частка $p_i$
	Від	до			
1	0	5	2,500	4,000	0,057
2	5	10	7,500	8,000	0,114
3	10	15	12,500	12,000	0,171
4	15	20	17,500	12,000	0,171
5	20	25	22,500	15,000	0,214
6	25	30	27,500	14,000	0,2
7	30	35	32,500	3,000	0,043
8	35	40	37,500	2,000	0,029
Сума				70,00	0,999 ≈ 1

Розраховуємо оцінки параметрів розподілення отриманих відхилень:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k x_i m_i / N = 18.929 \text{ мкм}$$

$$s^2 = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 m_i / N = 72,959 \text{ мкм}^2$$

$$S = \sqrt{s^2} = 8,5 \text{ мкм} \quad (6S = 51,2 \text{ мкм})$$

Де  $\bar{x}$  - середнє арифметичне значення досліджуваного масиву даних випадкових величин  $x_i$  ;

$s^2$  - експериментальна (емпірична) дисперсія випадкової величини (оцінка дисперсії) вихідного нормального закону;

$N$  - об'єм вибірки або кількість вимірювань (70 шт);

$S$  - експериментальне (емпіричне) середньоквадратичне відхилення випадкової величини (оцінка середньоквадратичного відхилення) вихідного нормального закону.

Таблиця 1.5 Розрахунок статистичних характеристик розподілення

Номер інтервала $i$	Середина інтервала $x_i$ , мкм	Частота $m_i$	$x_i m_i$	$ x_i - \bar{x} $	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^2 m_i$
1	2,5	4	10	1,5	2,25	9
2	7,5	8	60	6,5	42,25	338
3	12,5	12	150	11,5	132,25	1587
4	17,5	12	210	16,5	272,25	3267
5	22,5	15	337,5	21,5	462,25	6933,75
6	27,5	14	385	26,5	702,25	9831,5
7	32,5	3	97,5	31,5	992,25	2976,75
8	37,5	2	75	36,5	1332,25	2664,5

7. За результатами розрахунків (таблиця 1.5) будуємо графіки емпіричного розподілення рис.3.1, рис. 3.2.

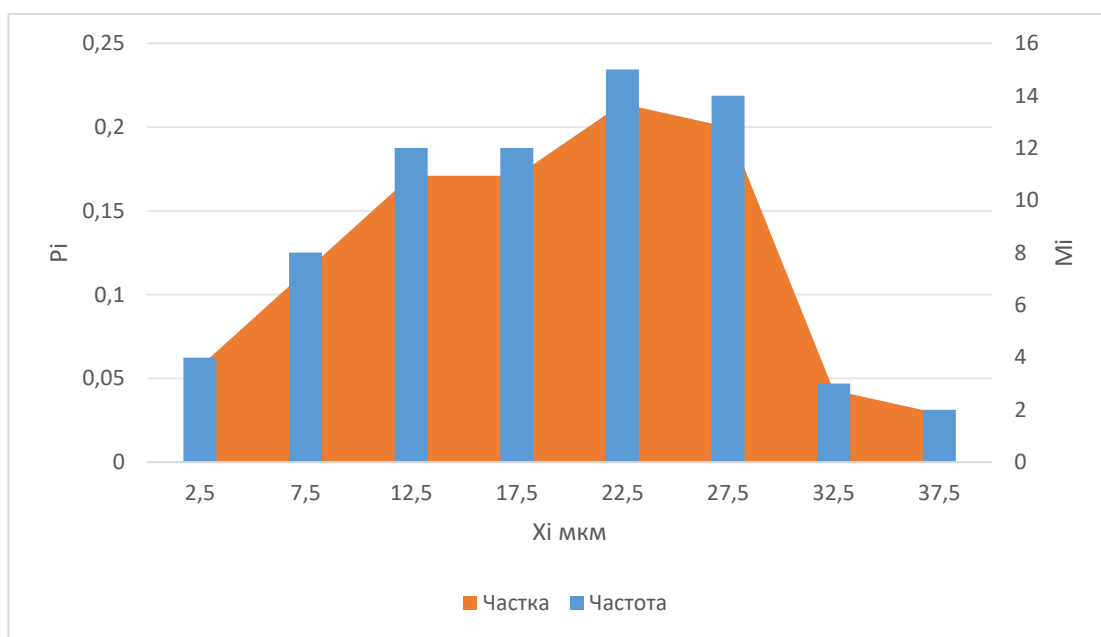


Рисунок 3.1. Графічне зображення емпіричного розподілення (гістограма розподілу)

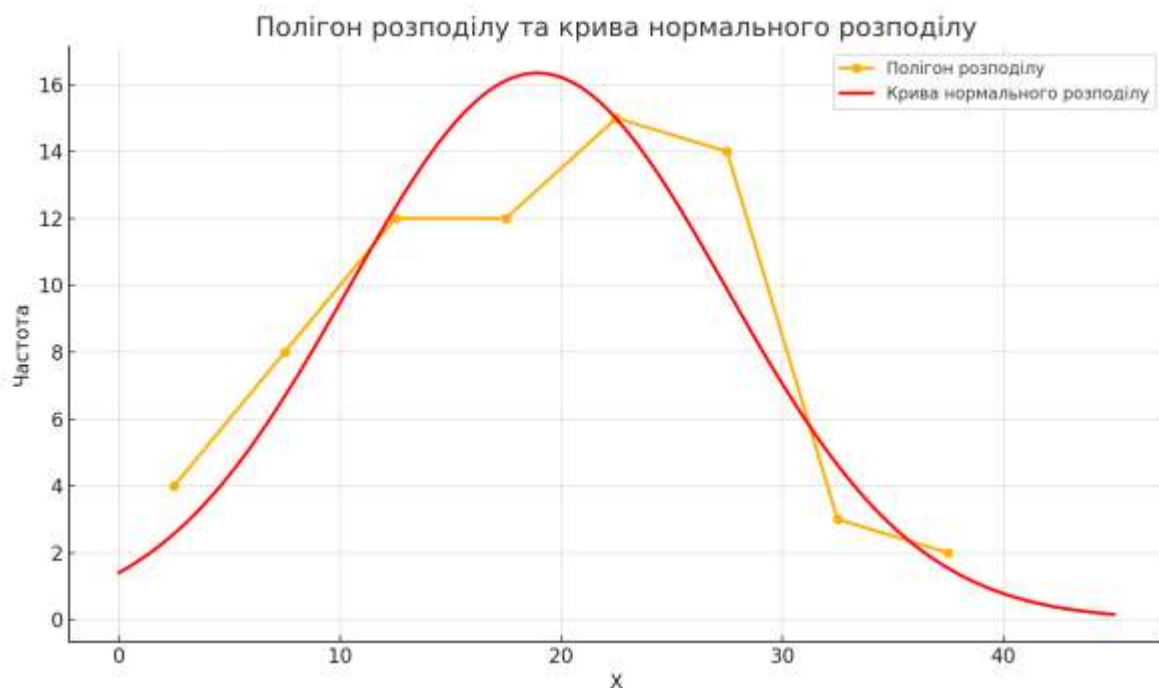


Рисунок 3.2. Графічне зображення емпіричного розподілення (полігон розподілення і вирівняна крива розподілення)

З урахуванням закону розподілу похибок розрахуємо величину поля розсіювання  $\omega_{x_i}$ . Для нормального закону розподілення Гауса  $\omega_{x_i}$  розраховується по формулі:

$$\omega_{x_i} = 6S = 6 \cdot 8,5 = 51,2 \text{ мкм}$$

Отримана величина поля розсіювання є оцінкою точності розміру, отриманої при чистовому розточуванні отвору.

### 3.2.5. Оцінка можливості забезпечення заданої точності конструкторського розміру ( $A_i$ )

Така оцінка виконується на основі розрахунку коефіцієнту запасу точності [12], який є відношенням величини допуску розміру (62 мкм), заданого конструктором, до фактичної величини поля розсіювання, отриманої при статистичному аналізі (51 мкм.)

**Розрахунок коефіцієнту запасу точності** та перевірка виконання нерівності:

$$\psi_{Ai} = \frac{TA_i}{\omega Fi} \geq 1,2$$

де  $TA_i$  – допуск розміру отвору діаметром  $\varnothing 50H9 - 62\text{мкм}$ . [12,13];

$$\psi_{Ai} = \frac{TA_i}{\omega Fi} = \frac{62\text{мкм}}{51,2\text{мкм}} = 1,21 \geq 1,2$$

### ***Висновки та рекомендації.***

1. Проаналізувавши значення  $\psi_{Ai}$  можна зробити висновок, що задана точність конструкторського розміру  $A_i$  для заводського ТП оброблення отвору чистовим розточуванням забезпечується за умови правильного налагодження технологічної системи (ТС).

2. Результати аналізу точності при чистовому розточуванні отвору свідчать про те, що вона відповідає IT9, а отже при обробленні отвору  $\varnothing 45H8$  в деталі «Корпус основи направляючої стійки» такий маршрут оброблення необхідно доповнити уведенням тонкого розточування .

**Тобто маршрут оброблення отвору  $\varnothing 45H8$  в деталі «Корпус основи направляючої стійки» повинен бути таким: *Розточування чорнове + Розточування чистове + Розточування тонке***

## Список використаної літератури

1. Біланенко, В. Г. Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування» та «Технології виготовлення літальних апаратів» / В. Г. Біланенко, В. П. Приходько, О. О. Мельник ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 232 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27740>
2. Горбатюк Є.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування: Навчальний посібник – Львів: «Новий світ – 2000», 2009 – 358 с.
3. Добрянський, С. С. Проектування і виробництво заготовок [Електронний ресурс] : підручник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М., Пуховський Є. С. ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 24,61 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 353 с. – Назва з екрана.URI <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/46090>
4. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю.В. Технологія машинобудування: Підручник. – Житомир:ЖДТУ, 2005.-882с.
5. Приходько В.П. Проектування оснащення верстатів, роботів і машин [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізацією «Комп'ютерне проектування верстатів, роботів і машин» / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ; уклад. В. П. Приходько, О. В. Литвин. – Електронні текстові дані (1 файл: 22,0 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 211 с. . – Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/22775>

6. Теорія різання [Електронний ресурс] : Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с  
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48280>
7. Данилова Л.М., Задерей О.М. – Розрахунок припусків. Методичні вказівки з дисципліни "Технологія машинобудування" / Київ: Політехніка, 2014
8. Коваленко В.В., Біланенко В.Г., Кислюк А.М. – Методичні вказівки та контрольні завдання з дисципліни "Теорія різання". Розрахунок режимів різання при точінні / Київ: КПІ, 1993.
9. Калькулятор інструменту та режимів різання Sandvik Coromant. URL:  
<http://surl.li/hdldg/>
10. Різальний інструмент. [Електронний ресурс] : Навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Технологія машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. М. Данилова, С. В. Лапковський, В. П. Приходько. – Електронні текстові дані (1 файл 12,92 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 147 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/55701>
11. Приходько В.П. РОЗРОБЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЙ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ. Методичні матеріали до виконання курсового і дипломного проєктів [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» – Електронні текстові дані (1 файл: pdf.- 4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 89 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47783>
12. Приходько В.П. РОЗМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» – Електронні текстові дані (1 файл: pdf.- 15.2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38826>

13. Адаменко О.І., Герасимчук О.М., Майданюк С.В. – Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 / Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016.
14. Конспект лекцій з дисципліни «Технологічна Оснастка - 1» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування»/ В.В. Медведєв; КПІ ім.І.Сікорського. Київ, 2020 – 68с.
15. <https://www.haascnc.com/ps.html>
16. <https://www.haascnc.com/ps/machines/horizontal-mills/40-taper/models/ec-400.html>
17. <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb>