

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

Кафедра технології машинобудування

«На правах рукопису»  
УДК 658.512\_\_\_\_\_

«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: Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення  
деталі «Корпус циліндричного горизонтального редуктора» \_\_\_\_\_

Виконав:  
студент 4 курсу, групи МТ-02

Дехтярук Денис Володимирович \_\_\_\_\_ (підпис)  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник Данилова Людмила Миколаївна к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ (підпис)  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент Красновид Дмитро Олександрович к.т.н., доцент каф. КМ \_\_\_\_\_ (підпис)  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

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

Студент \_\_\_\_\_ (підпис)

Київ – 2024 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-професійною програмою «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр Охріменко

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

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

\_\_\_\_\_ Дехтяруку Денису Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломного проєкту Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі " Корпус циліндричного горизонтального редуктора"  
керівник проєкту Данилова Людмила Миколаївна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом дипломного проєкту «10» червня 2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту Кресленик деталі Корпус циліндричного горизонтального редуктора, річний обсяг випуску 5000 деталей на рік, матеріал деталі СЧ 20 ГОСТ 1412-85, умови роботи деталі в складальній одиниці.

4. Зміст пояснювальної записки, перелік завдань, які потрібно розробити Зміст пояснювальної записки Обґрунтування вибору вихідної заготовки. Попереднє визначення типу виробництва. Опис маршрутного технологічного процесу. Розрахунок припусків на дві поверхні. Розрахунок режимів різання на дві операції. Силовий розрахунок верстатних пристроїв. Розрахунок точності базування деталі в пристрої.

5. Перелік графічно - ілюстративного матеріалу Кресленик і 3-D модель деталі Корпус циліндричного горизонтального редуктора - 1 аркуш формату А1, Графічне зображення виконання технологічних операцій - 2 аркуші формату А1. Складальні кресленики 2-х верстатних пристроїв - 2 аркуші формату А1. Порівняльні схеми для розрахунку припусків традиційним і альтернативним способами, порівняльні таблиці розрахунку припусків - 2-3 аркуші формату А1.

#### 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
технологічний	Данилова Л.М., доцент	20.04.24 р.	20.04.24 р
проектування пристроїв	Данилова Л.М., доцент	20.04.24 р.	20.04.24 р
економічний	Данилова Л.М., доцент	20.04.24 р.	20.04.24 р
загальних питань машинобудування	Данилова Л.М., доцент	20.04.24 р.	20.04.24 р

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2024 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз вихідних даних	20.04.2024	виконано
2	Обґрунтування вибору вихідної заготовки.	20.04.2024	виконано
3	Попереднє визначення типу виробництва. Опис маршрутного технологічного процесу.	30.04.2024	виконано
4	Розрахунок припусків на дві поверхні. Розрахунок режимів різання на дві операції.	10.05.2024	виконано
5	Вибір верстатних пристроїв.	20.05.2024	виконано
6	Силовий розрахунок верстатних пристроїв.	30.05.2024	виконано
7	Кресленик і 3-D модель деталі, зображення технологічних операцій.	30.05.2024	виконано
8	Складальні кресленики 2-х верстатних пристроїв - 2 аркуші формату А1.	10.06.2024	виконано
9	Розрахунок припуску альтернативним методом	10.06.2024	виконано

Студент

Денис ДЕХТЯРУК

Керівник проєкту

Людмила ДАНИЛОВА

## Анотація

УДК 658.512

Дипломний проект бакалавра містить у собі пояснювальну записку об'ємом 63 аркуши формату А4, 28 рисунків, 11 таблиць. При виконанні дипломного проекту було оброблено та використано 11 джерел, серед яких переважають методичні матеріали, підручники, лекційні матеріали та інтернет ресурси.

Даний диплом проект містить у собі графічну частину яка містить у собі 8 листів формату А1.

В дипломному проекті розглянуто:

- Розроблення креслення деталі;
- Визначення типу виробництва деталі;
- Визначення виду та типу отримання заготовки;
- Вибір та обґрунтування вибору загальних технологічних та ;
- Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі;
- Вибір верстатного обладнання;
- Призначення припусків на механічну обробку традиційними та альтернативними методами;
- Розрахунок режимів різання для оброки поверхонь деталі;
- Проектування верстатних пристроїв для виконання операцій 005, 010 та 020;
- Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв

Дехтярук Д.В. Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі «Корпус циліндричного горизонтального редуктора»: дипломний проект за напрямом 131. Прикладна механіка, спеціалізації

					<i>ДПБ.МТ-02.03.001</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив.</i>		Дехтярук Д.В.			<b>Пояснювальна записка</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів.</i>
<i>Перевірив</i>		Данилова Л.М.					1	2
<i>Н. Контр.</i>					<i>НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського" НН ММІ гр. МТ-02</i>			
<i>Чтв.</i>								

Технології машинобудування / Дехтярук Денис Володимирович. – Київ, 2024. - 63с.

Ключові слова: технологічний процес, припуск, альтернативний метод, корпус, розточування, режими.

						Арк
						2
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

<b>1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....</b>	<b>4</b>
1.1. Аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі .....	4
1.1.1. Аналіз технологічних вимог до робочих поверхонь .....	4
1.1.2. Аналіз вибору конструкційного матеріалу .....	5
1.2. Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва .....	6
1.3.1. Якісна оцінка технологічності деталі .....	7
1.3.2. Кількісна оцінка технологічності деталі .....	7
1.4. Проектування конструкції заготовки .....	8
1.4.1. Визначення виду та способу виготовлення заготовки .....	8
1.5. Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу виготовлення деталі .....	9
1.5.1. Обґрунтування вибору загальних технологічних баз .....	9
1.5.2. Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій .....	10
1.6. Проектування типових послідовностей оброблення поверхонь заготовки .....	12
1.7. Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі .....	14
1.8. Короткий опис вибору верстатного обладнання .....	17
1.9. Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки .....	18
1.9.1. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом .....	18
1.9.2. Визначення припусків аналоговими методами .....	26
1.10. Визначення режимів різання .....	27
1.10.1. Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом .....	27
1.10.2. Визначення режимів різання аналоговими методами .....	38
<b>2. ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ .....</b>	<b>40</b>
2.1. Розроблення і розрахунок конструкції верстатних пристроїв .....	40
2.1.1. Вихідні дані для розроблення конструкцій верстатних пристроїв .....	40
2.1.2. Послідовність розроблення конструкції пристрою .....	41
2.2. Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв .....	43
2.2.1. Розрахунок необхідної сили затиску заготовки $Q$ .....	43
2.2.2. Розрахунок силових механізмів пристроїв .....	50
<b>3. ВИРІШЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ПИТАНЬ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ .....</b>	<b>52</b>
3.1. Способи розрахунку припусків на механічну обробку. ....	52
3.2. Розрахунок припусків на механічну обробку альтернативними методами. ....	54
Список використаної літератури .....	62

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		3

# 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1. Аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі

Оскільки відсутнє складальне креслення деталі даної за завданням аналіз службового призначення та умов роботи деталі «Корпус циліндричного горизонтального редуктора» у вузлі є ускладненим. Згідно з кресленням деталі можемо зробити висновок що вона ймовірно слугує опорою для валів ступенів редуктора, які встановлюються в даний корпус разом з підшипниками тертя і які несуть на собі шківви, зубчасті колеса.

### 1.1.2. Аналіз технологічних вимог до робочих поверхонь

Потрібно при виготовленні деталі звернути увагу на такі точні розміри як  $\varnothing 30H7$  та  $\varnothing 50H7$  які виконують основну роль посадки підшипників тертя у які далі встановлюються вали, також при обробці даних розмірів необхідно попередньо збазувати саму деталь для чого доцільним буде базування на пальці, отже встановимо додатково вимогу для двох кріпильних отворів  $\varnothing 6$  підвищивши їх точність до 7 квалітету. Також необхідно приділити увагу до двох отворів M8-H7 які також виконуватимуть роль для базування деталі «Кришка» при зборі механізму.

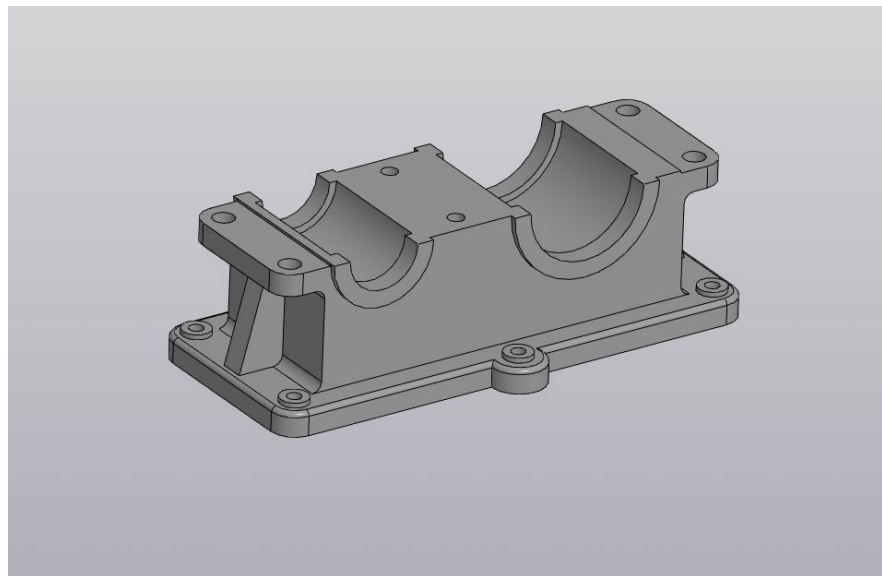


Рисунок 1.1. 3D модель деталі «Корпус горизонтального редуктора»

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		4

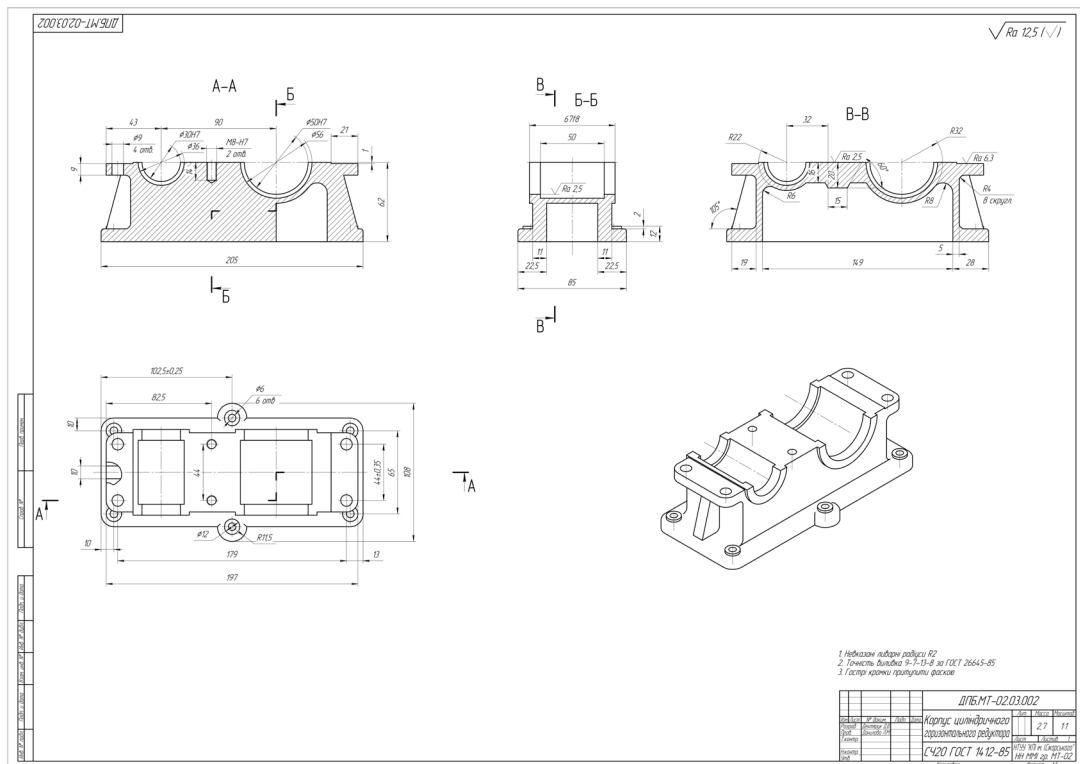


Рис.1.2. Креслення деталі «Корпус горизонтального редуктора»

### 1.1.2. Аналіз вибору конструкційного матеріалу

Для виготовлення даної деталі за кресленням обрано матеріал СЧ 20 ГОСТ 1412-85, даний матеріал чудового слугує для виливки та використовується для виготовлення середньо навантажених деталей.

Основні фізико-механічні характеристики та хімічний склад матеріалу СЧ 20 ГОСТ 1412-85 представлені в наступних таблицях 1.1 – 1.2:

Таблиця 1.1. Хімічний склад матеріалу СЧ 20 ГОСТ 1412-85.

C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %
3.3 – 3.5	1.4 – 2.4	0.7 - 1	< 0.2	< 0.15

Таблиця 1.2. Хімічний склад матеріалу СЧ 20 ГОСТ 1412-85.

Границя міцності, МПа, при				Твердість за Брінеллем НВ	Границя витривалості, МПа, при	
розтяганні	стисканні	згинанні	згинанні		крученні	
$\sigma_B$	$\sigma_B$	$\sigma_B$	крученні $\sigma_B$		$\sigma_{-13\Gamma}$	$\tau_{-1}$
210	750	400	280	171...241	100	80

Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Арк
					5

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

Тип виробництва - це класифікаційна категорія виробництва, яка залежить від рівня спеціалізації, обсягу випуску продукції, стабільності, номенклатури виробів в умовах ринкової економіки тощо. У нинішніх умовах господарювання розрізняють такі типи виробництва: одиничне, серійне, масове і змішане.

Тип виробництва можна визначити за допомогою розрахунково – аналітичного методу розрахунку з визначенням коефіцієнту серійності або коефіцієнту закріплення операцій або ж аналоговим методом. На даному етапі проектування скористаємось аналоговим методом визначення типу виробництва. Користуючись методичними матеріалами [1, ст. 9], та інформацією щодо маси деталі 2.7 кг, визначеної за допомогою системи автоматизованого проектування (САД), заданим обсягом виробництва деталей на рік 5000 штук та використовуючи таблицю 1.3. робимо висновок що тип виробництва даної деталі є середньосерійним.

*Таблиця 1.3. Залежність типу виробництва від обсягу випуску і маси деталі.*

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	одиничне	мало-серійне	середньо-серійне	великосерійне	масове
до 1,0	до 10	10...2000	2000...75000	75000...200000	>200000
>1,0...2,5	до 10	10...1000	1000...50000	50000...100000	>100000
>2,5...5,0	до 10	10...500	500...35000	35000...75000	>75000
>5,0...10,0	до 10	10...300	300...25000	25000...50000	>50000
>10,0	до 10	10...200	200...10000	10000...25000	>25000

## 1.3. Аналіз технологічності конструкції деталі

Технологічність конструкції виробу (деталі) – це сукупність властивостей конструкції виробу, які визначають її пристосованість до

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		6

досягнення оптимальних затрат при виробництві, експлуатації та ремонті виконуючи задані показники якості, обсягу і умов виконання виробництва.

Існує два способи оцінки технологічності конструкції деталі:

- Якісна оцінка технологічності деталі
- Кількісна оцінка технологічності деталі

Якісна оцінка технологічності конструкції припустима на всіх етапах проектування та характеризує технологічність деталі узагальнено, на основі досвіду виконавця.

Кількісна оцінка технологічності конструкції визначається числовими показниками значення яких характеризує ступінь задоволення вимогам до технологічності конструкції.

### 1.3.1. Якісна оцінка технологічності деталі

При виробництві даної деталі використовується матеріал – сірий чавун СЧ20 з пластинчастим графітом за ГОСТ 1412-85, даний матеріал має чудові ливарні властивості та легко піддається обробці.

Оброблювані поверхні деталі є простими, легкодоступними для обробки, що знімає необхідність використання спеціального ріжучого інструменту. Всі оброблювані поверхні є паралельними, розташовані в одній площині. Обране базування деталі забезпечує дотримання точності розмірів та надійність закріплення при обробці.

### 1.3.2. Кількісна оцінка технологічності деталі

Кількісна оцінка якості технологічності деталі включає в себе розрахунок показників таких як коефіцієнт точності обробки який характеризує середню точність розмірів оброблюваних поверхонь [11]:

$$K_{TO} = 1 - \frac{1}{K_c} = 1 - \frac{1}{12,5} = 0,92, \quad (1.1)$$

Де  $K_c = 12,5$  - середній квалітет точності обробки деталі, є сумою добутоків квалітетів точності розмірів на їх відповідну кількість поділено на загальну кількість розмірів . При  $K_{TO} \geq 0.9$ - оцінка за коефіцієнтом точності обробки деталь вважається технологічною.

За коефіцієнтом шорсткості:

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		7

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{ср}}} = \frac{1}{3.8} = 0,26, \quad (1.2)$$

$\text{Ш}_{\text{ср}} = 3.8$  - середнє значення шорсткості оброблюваних поверхонь деталі; При  $K_{\text{ш}} < 0.32$ - оцінка за коефіцієнтом точності обробки деталей вважається технологічною.

#### 1.4. Проектування конструкції заготовки

##### 1.4.1. Визначення виду та способу виготовлення заготовки

При визначенні виду та способу виготовлення заготовок необхідно враховувати декілька ключових факторів, задля забезпечення оптимальних витрат при виробництві, необхідну якість та ефективність виробничого процесу. Одним з ключових факторів є:

- **Матеріал заготовки** - його механічні, фізичні та технологічні властивості які визначають основні характеристики деталі.
- **Конструкція деталі** - що включає в себе складність форми та масу деталі, вимоги до точності обробки та шорсткості поверхонь.
- **Вид і обсяги виробництва** - тип виробництва будь то одиничне, серійне чи масове, обсяг випуску деталей за певний період
- **Економічна доцільність** - вартість обраного матеріалу, витрати на механічну та термічну обробку, складальну операцію.

Враховавши матеріал заготовки СЧ 20 ГОСТ 1412-85, розміри та форму деталі, обсяг випуску деталі, доцільно прийняти виготовлення заготовки литтям в піщано-глинясті форми з машинним формування за металевими моделями. Точність виливки визначаємо за ГОСТ 26645-85 [4] за яким маємо:

- Клас розмірної точності виливок – 9;
- Ступінь жолоблення елементів виливок – 7;
- Ступінь точності поверхні виливок – 13;
- Шорсткість поверхонь виливок відповідно до класу точності поверхні виливок Ra не більше 32 мкм.
- Клас точності маси виливок – 8;

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		8

- Ряд припусків на обробку виливків – 7;

Відповідно з прийнятим умовним позначенням викладеному в ГОСТ 26645-85 маємо : *Точність виливку 9-7-13-8 ГОСТ 26645-85*

### **1.5. Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу виготовлення деталі**

При виготовленні деталей необхідно обрати найбільш доцільну схему базування що забезпечить простоту встановлення заготовки, забезпечення точності обробки поверхонь, та зменшення кількості установок для обробки тої чи іншої поверхні.

#### **1.5.1. Обґрунтування вибору загальних технологічних баз**

Загальні технологічні бази поділяються на:

- Основні конструкторські бази (ОКБ) – визначають положення деталі (складальної одиниці) у виробі (механізмі)
- Допоміжні конструкторські бази (ДКБ) – визначають положення приєднуваного до деталі виробу
- Кріпильні поверхні (КП) – призначенні для кріплення інших деталей до виробу.
- Вільні поверхні (ВП) - поверхні, що не контактують з поверхнями інших виробів та не виконують ніякої технологічної ролі.

Для деталі «Корпус горизонтального редуктора» основними конструкторськими базами (ОКБ) будуть 2 отвори  $\varnothing 6H7$  та нижня поверхня деталі розмірами 197x108 , які будуть визначати положення даної деталі у виробі. Допоміжними конструкторськими базами (ДКБ) будуть зовнішні торцеві та внутрішні поверхні точних отворів  $\varnothing 30H7$ ,  $\varnothing 50H7$ , з радіусами зовнішніх торців R22, R32, дані поверхні беруть участь у визначенні положень в них фланцевих підшипників тертя, також поверхні під кріплення кришки. Кріпильними поверхнями (КП) будуть отвори діаметром  $\varnothing 6$ ,  $\varnothing 9$ , M8-H7.

Класифікація робочих поверхонь деталі за призначенням:

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		9

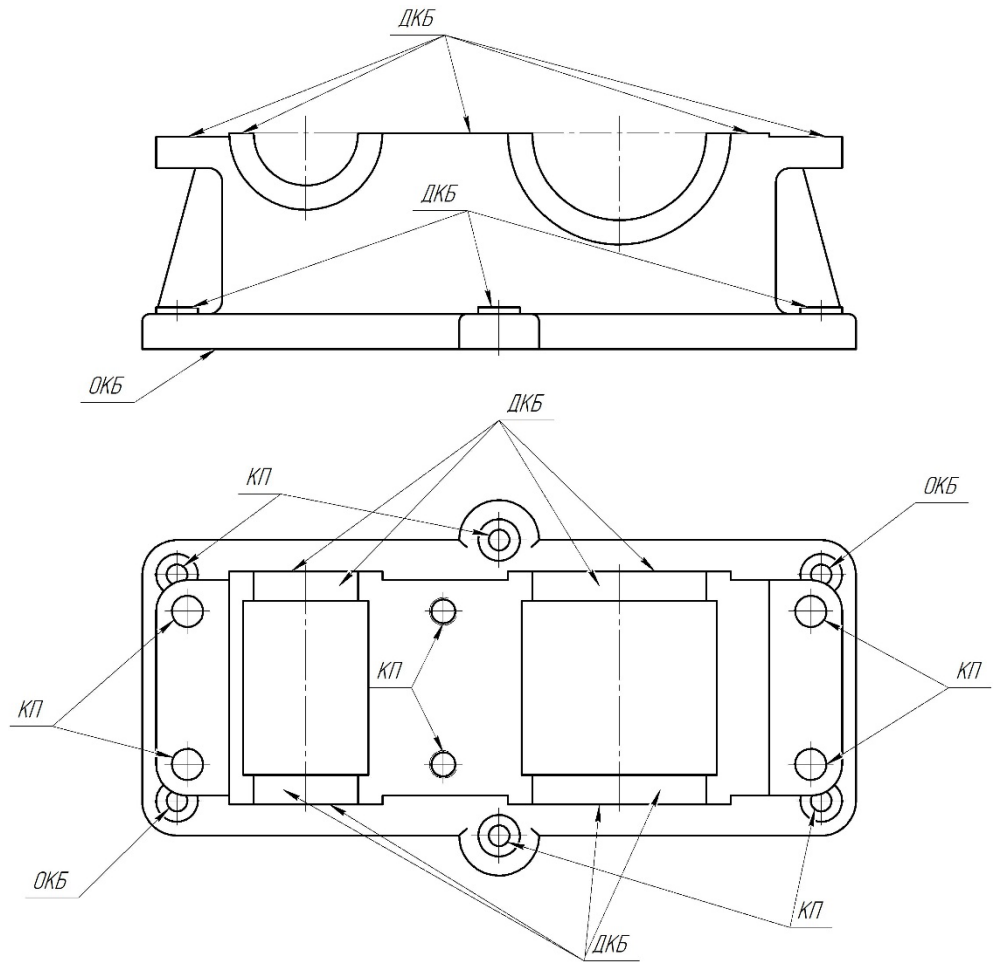


Рис.1.3. Класифікація поверхонь деталі «Корпус редуктора».

### 1.5.2. Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій

Обробка має розпочинатись з поверхні, яка буде слугувати технологічною базою для установки деталей в процесі її виготовлення, тоді для виконання першої операції доцільно обрати наступну схему базування:

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		10

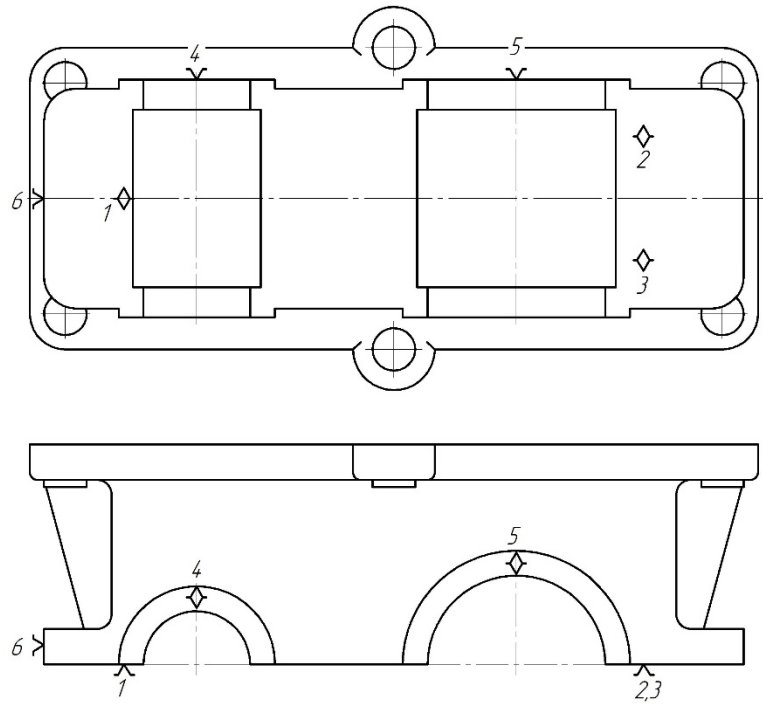


Рис.1.4. Схема загальних технологічних баз для першої операції

При подальшій обробці користуючись методичними рекомендаціями [3], найбільш надійним є база одна з площин найбільшої протяжності і два точних отвори. Попередньо площина має бути обробленою, отвори просвердлені та розгорнуті. Тоді схема базування матиме наступний вигляд:

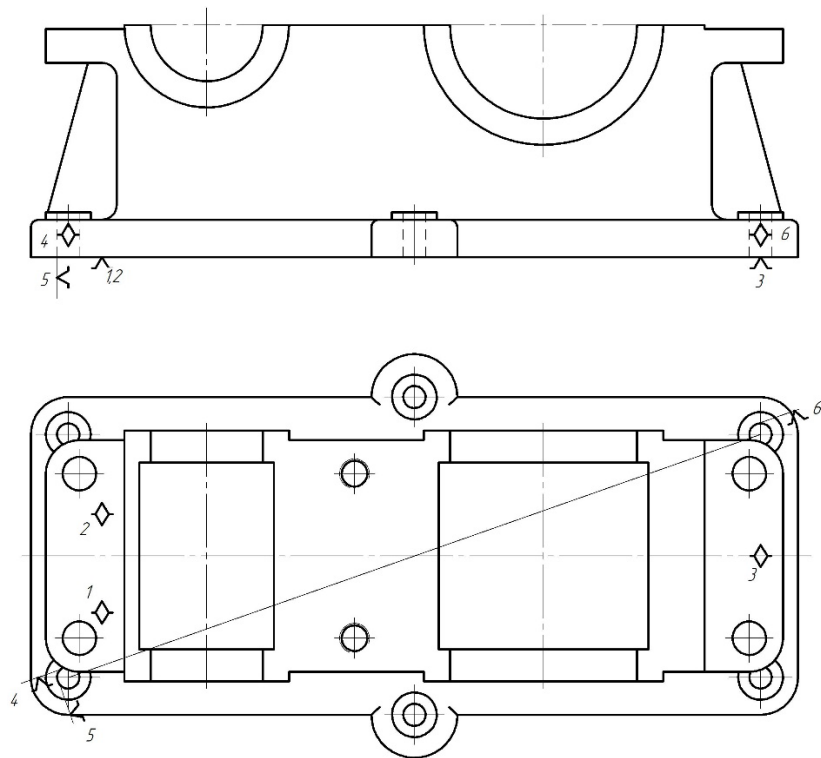


Рис.1.5. Схема загальних технологічних баз для наступної операції

## 1.6. Проектування типових послідовностей оброблення поверхонь заготовки

При проектуванні типових послідовностей оброблення поверхонь заготовки проведемо нумерацію оброблюваних поверхонь:

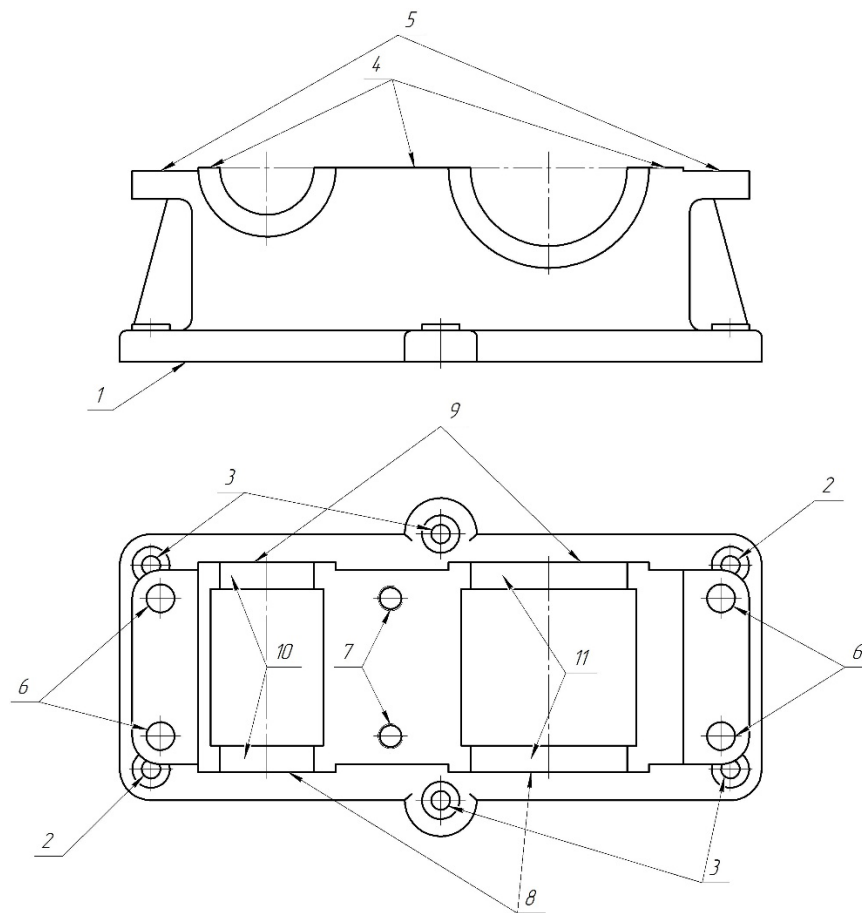


Рис.1.6. Ескіз деталі «Корпус редуктора» з пронумерованими оброблюваними поверхнями.

Проектуючи послідовність технологічних процесів обробки поверхні заготовок користуємось типовими, перевіреними на практиці, процесами виготовлення деталей і оброблення їх основних поверхонь. Це нам надає економію часу та праці, які витрачаються на технологічне підготовлення виробництва. По можливості використовуємо лише стандартний різальний інструмент.

					Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	12

Таблиця 1.3. Маршрути оброблення елементарних поверхонь деталі

«Корпус редуктора»

№ Поверхні	Характеристики якості поверхні за кресленням		Технологічна послідовність оброблення поверхонь	Характеристики якості поверхні після обробки	
	Точність розмірів IT	Параметр шорсткості поверхні Ra, мкм		Точність розмірів IT	Параметр шорсткості поверхні Ra, мкм
1	14	2,5	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове	14 12	5,0 2,5
2	7	2,5	Центрування Свердління Розгортання	- 12 7	- 5,0 2,5
3	14	5,0	Центрування Свердління	- 12	- 5,0
4	14	2,5	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове	14 12	5,0 2,5
5	14	2,5	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове	14 12	5,0 2,5
6	14	5,0	Центрування Свердління	- 12	- 5,0
7	7	5,0	Центрування Свердління Нарізання різьби	- 10 7	- 5,0 3,2
8,9	8	2,5	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове Фрезерування тонке	14 12 7	5,0 2,5 1,6
10,11	7	2,5	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове Фрезерування тонке	14 12 7	5,0 2,5 1,6

## 1.7. Проектування операційного технологічного процесу

### виготовлення деталі

#### 005. Вертикально-фрезерна з ЧПК, верстат HAAS VF-2

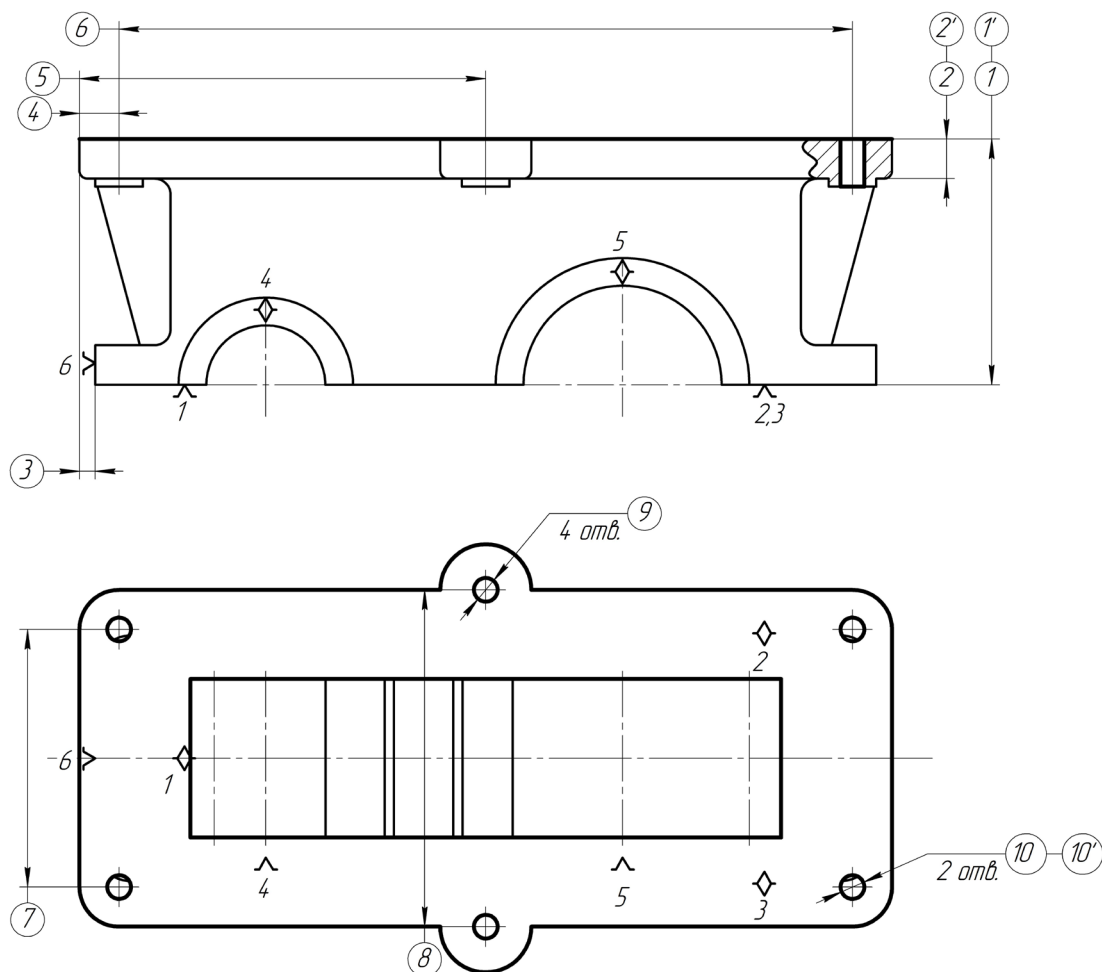


Рис.1.7. Операційний ескіз оброблення деталі для операції 005

005.01. Фрезерувати площину попередньо, витримуючи розміри 1, 2.

005.02. Фрезерувати площину остаточно, витримуючи розміри 1', 2'.

005.03. Центрувати 6 отворів послідовно, витримуючи розміри 3, 4, 5, 6, 7, 8.

005.04. Свердлити 6 отворів наскрізь послідовно, витримуючи розміри 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

005.05. Розгорнути 2 отвори послідовно, витримуючи розміри 10, 10'.

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		14

## 010. Вертикально-фрезерна з ЧПК, верстат HAAS VF-2

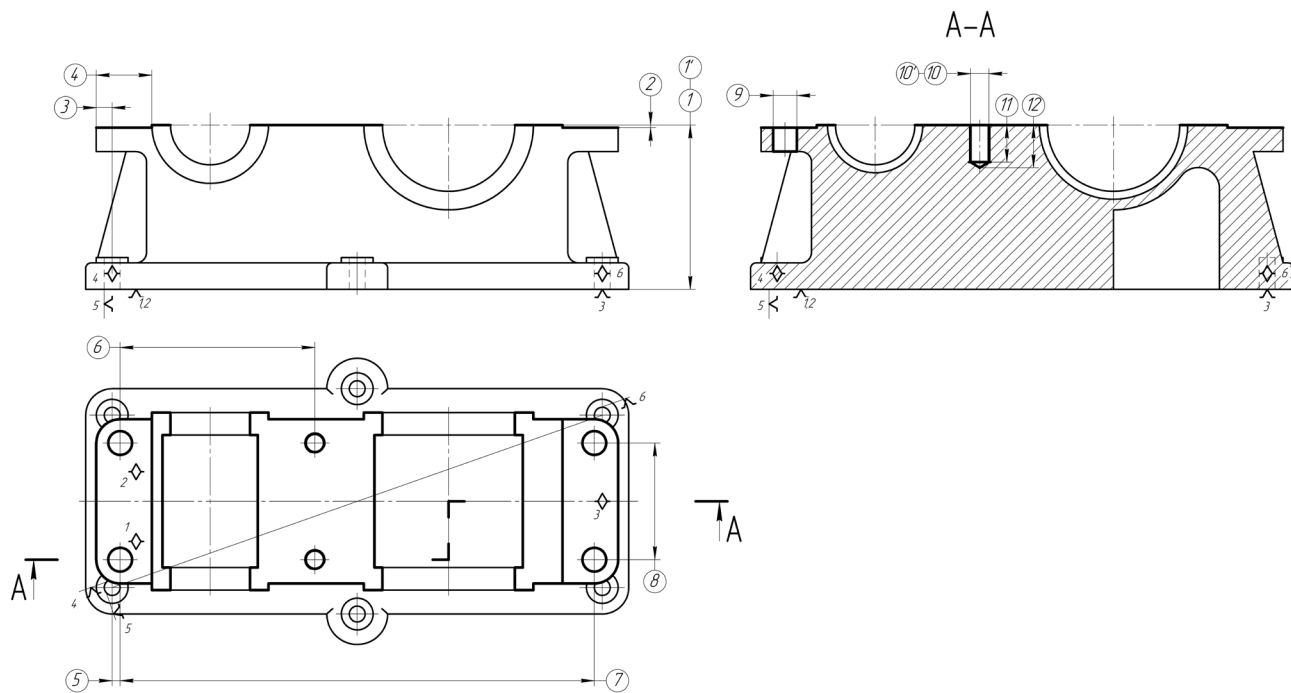


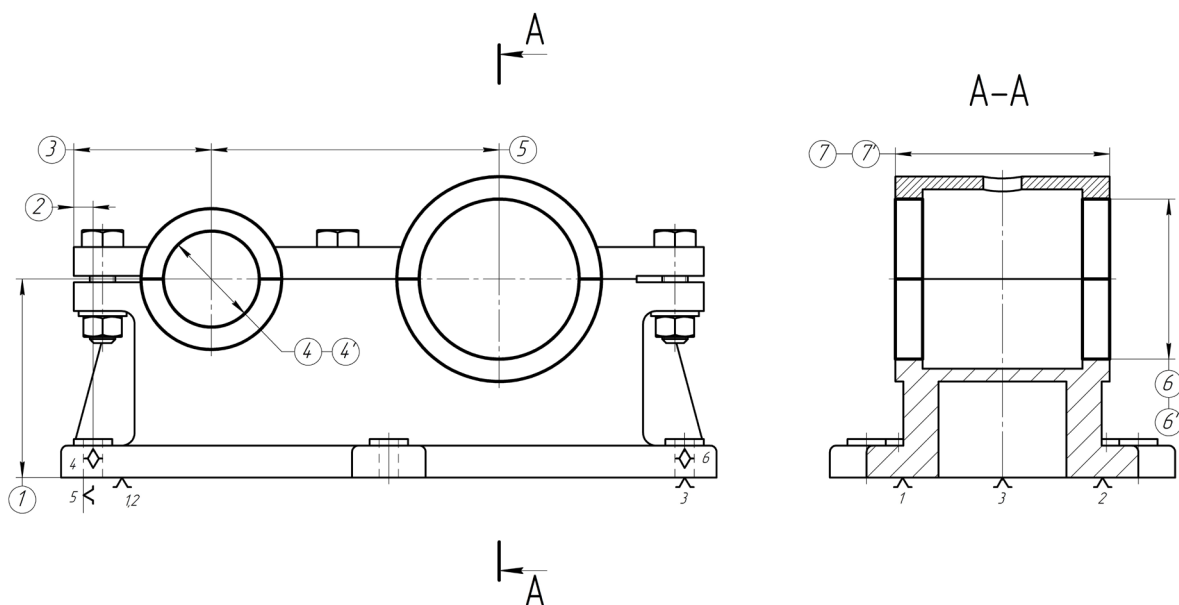
Рис.1.8. Операційний ескіз оброблення деталі для операції 010

- 010.01. Фрезерувати площини попередньо, витримуючи розміри, 1, 1', 2, 3, 4.
- 010.02. Фрезерувати площину попередньо, витримуючи розміри, 1.
- 010.03. Фрезерувати площину остаточно, витримуючи розміри 1, 1'.
- 010.04. Центрувати послідовно 6 отворів, витримуючи розміри 5, 6, 7, 8.
- 010.05. Свердли 4 отвори наскрізь послідовно, витримуючи розміри 5, 6, 7, 8, 9.
- 010.06. Свердли 2 отвори послідовно, витримуючи розміри 5, 6, 8, 10 на глибину 12.
- 010.07. Нарізати різьбу мітчиком, витримуючи розміри 8, 10, 10', 11.

## 015. Складальна

					Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	15

**020. Горизонтально-фрезерна з ЧПК, верстат HAAS EC-400**



**Рис.1.9. Операційний ескіз оброблення деталі для операції 020**

020.01. Розточувати отвір попередньо на прохід витримуючи діаметральний розмір 4 та витримуючи 1, 2, 3.

020.02. Розточувати отвір начисто на прохід витримуючи діаметральні розміри 4, 4' та витримуючи розмір 1, 2, 3.

020.03. Розточувати отвір тонко на прохід витримуючи діаметральний розмір 4, 4' та витримуючи 1, 2, 3.

020.04. Розточувати отвір попередньо на прохід витримуючи діаметральний розмір 6 та витримуючи 1, 2, 3, 5.

020.05. Розточувати отвір начисто на прохід витримуючи діаметральний розмір 6, 6' та витримуючи 1, 2, 3, 5.

020.06. Розточувати отвір тонко на прохід витримуючи діаметральний розмір 6, 6' та витримуючи 1, 2, 3, 5.

020.07. Фрезерувати попередньо площини витримуючи розмір 7 з поворотом координатного столу верстату на 180°.

020.08. Фрезерувати начисто площини витримуючи розмір 7, 7' з поворотом координатного столу верстату на 180°.

020.09. Фрезерувати тонко площини витримуючи розмір 7, 7' з поворотом координатного столу верстату на 180°.

**025. Слюсарна**

					Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	16

**030. Миюча**

**035. Контрольно-вимірювальна**

### **1.8. Короткий опис вибору верстатного обладнання**

Для обробки заготовки з метою досягнення необхідних форм та розмірів були вибрані верстати з ЧПК фірми HAAS. Дані верстати є широко розповсюдженими на території України та за її межами та цілком відповідають технічним вимогам щодо точності обробки.

Для виконання операцій 005, 010, було обрано 3-х осьовий вертикально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS VF-2.



Рис.1.10. Вертикально – фрезерний верстат з ЧПК HAAS VF-2

Для виконання операції 020, було обрано горизонтально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS EC-400 з встановленням додаткової опціональної 4-ї осі, що надає можливість зменшення трудомісткості технологічного процесу, а саме обробку деталі з двох сторін без необхідності переустановлення деталі.

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рис.1.11. Горизонтально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS EC-400

### **1.9. Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки**

Припуск на механічну обробку – це шар матеріалу, який залишається на заготовці для подальшого зняття під час механічної обробки. Припуск забезпечує можливість отримання необхідних розмірів, форми та якості обробленої поверхні деталі.

Припуск може бути призначений по відповідним довідковим таблицям, ГОСТам чи на основі розрахунково-аналітичного методу.

#### **1.9.1. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом**

*Розрахунок припусків і граничних розмірів на оброблення точного отвору  $\varnothing 50H7$ :*

Використовуючи розрахунково-аналітичну методику [1, ст. 175-193; 5, ст. 62-96], розраховуємо припуск на механічну обробку точного наскрізного отвору діаметром  $\varnothing 50H7$  з шорсткістю обробленої поверхні  $\sqrt{Ra} 1.6$  та технологічними переходами: чорнове розточування H14, чистове розточування H12, тонке розточування H7.

Першим кроком буде розрахунок мінімального припуску при обробці внутрішніх поверхонь (двосторонній припуск) за формулою:

									Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					18

$$2z_{i \min} = 2 \left[ (Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2} \right], \quad (1.3)$$

Де  $(Rz + h)_{i-1}$  – сумарне значення висоти нерівностей профілю та глибини дефектного поверхневого шару, отриманої на попередньому переході або операції яку необхідно видалити за [5, табл. 27; 1, ст. 181, табл. 6].

$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$  – векторна сума просторових відхилень, яка включає викривлення і жолоблення заготовок;

$\varepsilon_i$  – похибка установлення деталі, що включає в себе похибку базування і закріплення.

Розрахунок мінімального припуску для:

- Чорнового розточування:

$$\begin{aligned} 2z_{1 \min} &= 2 \left[ (Rz + h)_0 + \sqrt{\Delta_{\Sigma_0}^2 + \varepsilon_1^2} \right] = \\ &= 2 \left[ 400 + \sqrt{290,6^2 + 103^2} \right] = 1417 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (1.4)$$

Де  $(Rz + h)_0 = 400$  мкм - для виливок з чавуну I класу точності – литтям в форми, виготовлені машинним формуванням по металічним моделям;

$$\Delta_{\Sigma_0} = \sqrt{\Delta_{\text{кор}}^2 + \Delta_{\text{зм}}^2} = \sqrt{66,9^2 + 282,8^2} = 290,6 \text{ мкм} , \quad (1.5)$$

Де  $\Delta_{\Sigma_0}$  - сумарне значення відхилення положення та форми поверхні;

$\Delta_{\text{кор}} = \sqrt{\Delta_{\text{к}}L^2 + \Delta_{\text{к}}D^2} = \sqrt{(0,8 * 67)^2 + (0,8 * 50)^2} = 66,9$  мкм – відхилення отвору виливка (жолоблення) враховуємо як в діаметральному так і в осьовому его перетині, за [1, ст. 183, табл. 8];

$$\Delta_{\text{зм}} = \sqrt{\left(\frac{\delta_{\text{в}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\text{г}}}{2}\right)^2} = \sqrt{200^2 + 200^2} = 282,8 \text{ мкм}$$

$\Delta_{\text{зм}}$  – сумарне значення похибки просторового відхилення заготовки;

$\delta_{\text{в}} = \delta_{\text{г}} = 400$  мкм – допуск на розмір розташування отвору в вертикальній та горизонтальній площині для даної схеми базування

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		19

представленої на рис. 2.7., який відповідає класу точності виливки [5, ст. 31, табл. 7];

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} = \sqrt{0 + 100^2 + 24^2} = 103 \text{ мкм} \quad (1.6)$$

Де  $\varepsilon_3 = 100$  мкм – похибка закріплення заготовок при встановленні в затискний пристрій з гвинтовими чи ексцентриковими затискачами;

$\varepsilon_6 = 0$  – похибка базування, при суміщенні вимірювальної та технологічної бази дорівнює 0;

$$\varepsilon_{\text{пр}} = S_{\text{min}} + \delta_A + \delta_B = 4 + 12 + 8 = 24 \text{ мкм} \quad (1.7)$$

$\varepsilon_{\text{пр}}$  – похибка положення заготовки, внаслідок неточності пристосування і похибки встановлення самого пристосування на верстаті;

$S_{\text{min}} = EI - es = 0 - (-4) = 4$  мкм – мінімальний гарантований зазор, так як при обробленні даного точного отвору заготовка базується на 2 точні отвори  $\varnothing 6H7(+0.012)$  та на установочний та зрізаний пальці  $\varnothing 6g6(-0.004/-0.012)$ .

$\delta_A = 12$  мкм - допуск на розмір базового отвору;

$\delta_B = 8$  мкм - допуск на розмір установочного та зрізаного пальців;

- Чистового розточування:

$$\begin{aligned} 2z_{2 \text{ min}} &= 2 \left[ (Rz + h)_1 + \sqrt{\Delta_{\Sigma_1}^2 + \varepsilon_2^2} \right] = \\ &= 2 \left[ 100 + \sqrt{14,5^2 + 103^2} \right] = 408 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (1.8)$$

Де  $(Rz + h)_1 = 100$  мкм - значення якості поверхні отриманої після чорнового розточування [1, ст. 185, табл. 27];

$$\Delta_{\Sigma_1} = \Delta_{\Sigma_0} * K_y = 290,6 * 0.06 = 14,5 \text{ мкм} , \quad (1.9)$$

Де  $K_y = 0.06$  – коефіцієнт уточнення для виливок після чорнового розточування [1, ст. 190, табл. 29];

$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 103$  мкм – так як переустановлення не відбувалось.

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		20

- *Тонкого розточування:*

$$\begin{aligned} 2z_{3 \min} &= 2 \left[ (Rz + h)_2 + \sqrt{\Delta_{\Sigma_2}^2 + \varepsilon_3^2} \right] = \\ &= 2 \left[ 10 + \sqrt{0,58^2 + 103^2} \right] = 226 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (1.10)$$

Де  $(Rz + h)_2 = 10$  мкм - значення якості поверхні отриманої після чистового розточування [1, ст. 185, табл. 27];

$$\Delta_{\Sigma_2} = \Delta_{\Sigma_1} * K_y = 14,5 * 0,04 = 0,58 \text{ мкм} , \quad (1.11)$$

Де  $K_y = 0,04$  – коефіцієнт уточнення для виливок після чистового розточування [1, ст. 190, табл. 29];

$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 103$  мкм – так як переустановлення не відбувалось.

Проводимо остаточні розрахунки граничних розмірів, впишемо технологічні допуски:

$T_{\text{заг}} = 1000$  мкм – допуск розміру поверхні заготовки за ГОСТ 26645-85;

$T_{\text{чорн}} = 620$  мкм – допуск на чорнову обробку за 14 квалітетом;

$T_{\text{чист}} = 250$  мкм – допуск на чистову обробку за 12 квалітетом;

$T_{\text{тонк}} = 25$  мкм – допуск на остаточну обробку за 7 квалітетом;

Розраховуємо значення найбільших граничних розмірів  $D_p$ , починаючи з кінцевої обробки отвору віднімаючи послідовно розрахунково значення мінімального припуску  $2z_{\min}$  кожного технологічного переходу:

$$D_{p \text{ тонк}} = D_{\text{ном}} + ES = 50 + 0,025 = 50,025 \text{ мм};$$

$$D_{p \text{ чист}} = D_{p \text{ тонк}} - 2z_{3 \min} = 50,025 - 0,226 = 49,799 \text{ мм};$$

$$D_{p \text{ чорн}} = D_{p \text{ чист}} - 2z_{2 \min} = 49,799 - 0,408 = 49,391 \text{ мм};$$

$$D_{p \text{ заг}} = D_{p \text{ чорн}} - 2z_{1 \min} = 49,391 - 1,417 = 47,974 \text{ мм};$$

Розраховуємо значення найменших граничних розмірів  $d_{\min}$  віднімаючи значення допуску відповідних переходів від значення найбільшого граничного розмірів:

$$D_{\min \text{ тонк}} = D_{\max \text{ тонк}} - T_{\text{тонк}} = 50,025 - 0,025 = 50 \text{ мм};$$

$$D_{\min \text{ чист}} = D_{\max \text{ чист}} - T_{\text{чист}} = 49,799 - 0,250 = 49,549 \text{ мм};$$

$$D_{\min \text{ чорн}} = D_{\max \text{ чорн}} - T_{\text{чорн}} = 49,391 - 0,620 = 48,771 \text{ мм};$$

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$D_{\min \text{ заг}} = D_{\max \text{ заг}} - T_{\text{заг}} = 47.974 - 1.000 = 46.974 \text{ мм};$$

Найбільші граничні значення припусків є різницею найменших граничних розмірів виконуваного і попереднього технологічних переходів:

$$2z_{\max \text{ чорн}}^{\text{пр}} = D_{\min \text{ чорн}} - D_{\min \text{ заг}} = 48.771 - 46.974 = 1.797 \text{ мм};$$

$$2z_{\max \text{ чист}}^{\text{пр}} = D_{\min \text{ чист}} - D_{\min \text{ чорн}} = 49.549 - 48.771 = 0.778 \text{ мм};$$

$$2z_{\max \text{ тонк}}^{\text{пр}} = D_{\min \text{ тонк}} - D_{\min \text{ чист}} = 50 - 49.549 = 0.451 \text{ мм};$$

Найменші граничні значення припусків є різницею найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього технологічних переходів:

$$2z_{\min \text{ чорн}}^{\text{пр}} = D_{\max \text{ чорн}} - D_{\max \text{ заг}} = 49.391 - 47.974 = 1.417 \text{ мм};$$

$$2z_{\min \text{ чист}}^{\text{пр}} = D_{\max \text{ чист}} - D_{\max \text{ чорн}} = 49.799 - 49.391 = 0.408 \text{ мм};$$

$$2z_{\min \text{ тонк}}^{\text{пр}} = D_{\max \text{ тонк}} - D_{\max \text{ чист}} = 50.025 - 49.799 = 0.226 \text{ мм};$$

Усі отримані значення заносимо до таблиці 1.4 за прикладом представлено у методичних вказівках до розрахунку припусків» [5, ст. 84, табл. 43].

Таблиця 1.4. Розрахунок припусків та граничних розмірів по технологічним переходам на обробку отвору  $\Phi 50H7$  корпусу горизонтального редуктора.

Технологічні переходи обробки поверхні $\Phi 50H7$	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2z_{\min}^{\text{пр}}$ , мкм	Розрахунковий розмір $D_p$ , мм	Допуск $T$ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	T	$\Delta_{\Sigma}$	$\varepsilon$				$D_{\min}$	$D_{\max}$	$2z_{\min}^{\text{пр}}$	$2z_{\max}^{\text{пр}}$
Заготовка	400		290,6	-	-	47,965	1000	46,974	47,974	-	-
Розточування чорнове	50	50	14,5	103	1417	49,383	620	48,771	49,391	1417	1797
Розточування чистове	5	5	0,58	103	408	49,795	250	49,549	49,799	408	778
Розточування тонке	-	-	-	103	226	50,025	25	50	50,025	226	451
										2051	3026

Після обчислень значень припусків виконуємо перевірку розрахунків граничних значень припусків:

$$2z_{\max \text{ чорн}}^{\text{пр}} - 2z_{\min \text{ чорн}}^{\text{пр}} = 1797 - 1417 = 380 \text{ мкм}, \quad (1.12)$$

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$T_{\text{заг}} - T_{\text{чорн}} = 1000 - 620 = 380 \text{ мкм}, \quad (1.13)$$

Значення різниці допусків чорнового розточування та заготовки дорівнює різниці граничних розмірів припусків, отже робимо висновки що розрахунки проведено вірно.

*Розрахунок припусків і граничних розмірів на оброблення площини 4 :*

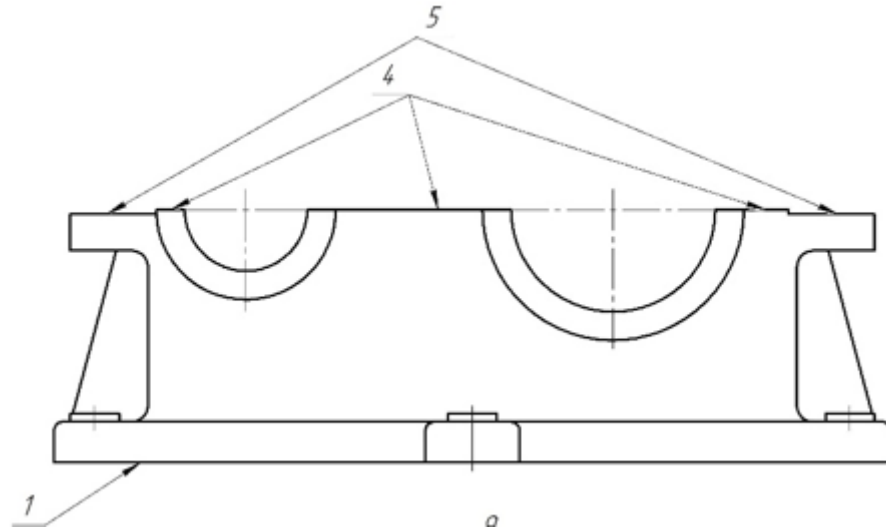


Рис 2.12. Нумерація оброблюваних поверхонь деталі «Корпус редуктора»

Розраховуємо припуск на механічну обробку площини №4 з шорсткістю обробленої поверхні  $\sqrt{Ra\ 5.0}$  та технологічними переходами: чорнове фрезерування Н14, чистове фрезерування Н12.

Для розрахунків мінімального припуску при послідовній обробці протилежних поверхонь (односторонній припуск) за формулою:

$$z_{i\ min} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i, \quad (1.14)$$

Де  $(Rz + h)_{i-1}$  – сумарне значення висоти нерівностей профілю та глибини дефектного поверхневого шару, отриманої на попередньому переході або операції яку необхідно видалити за [5, табл. 27; 1, ст. 181, табл. 6].

$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$  – векторна сума просторових відхилень, яка включає викривлення і жолоблення заготовок;

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		23

$\varepsilon_i$  – похибка установлення деталі, що включає в себе похибку базування і закріплення.

Розрахунок мінімального припуску для:

- *Чорнового фрезерування:*

$$\begin{aligned} z_{1 \min} &= (Rz + h)_0 + \Delta_{\Sigma_0} + \varepsilon_1 = \\ &= 400 + 124 + 100 = 624 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (1.15)$$

Де  $(Rz + h)_0 = 400$  мкм - для виливок з чавуну I класу точності – литтям в форми, виготовлені машинним формуванням по металічним моделям;

$$\Delta_{\Sigma_1} = \Delta_{\text{кор}} = 124 \text{ мкм}, \quad (1.16)$$

Де  $\Delta_{\Sigma_0}$  - сумарне значення відхилення положення та в деяких випадках форми поверхні;

$\Delta_{\text{кор}} = \Delta_{\kappa} L = 0.8 * 155 = 124$  мкм – відхилення площини виливка (жолоблення), для корпусних деталей базування якого протилежне оброблюваній поверхні [5, ст. 68, табл. 31];

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_6 + \varepsilon_3 = 100 + 0 = 100 \text{ мкм} \quad (1.17)$$

Де  $\varepsilon_3 = 100$  мкм – похибка закріплення заготовок при встановленні в затискний пристрій з гвинтовими чи ексцентриковими затискачами;

$\varepsilon_6 = 0$  – похибка базування, при суміщенні вимірювальної та технологічної бази дорівнює 0;

*Чистового фрезерування:*

$$\begin{aligned} 2z_{2 \min} &= (Rz + h)_1 + \Delta_{\Sigma_1} + \varepsilon_2 = \\ &= 100 + 7.44 + 100 = 207 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (1.18)$$

Де  $(Rz + h)_1 = 100$  мкм - значення якості поверхні отриманої після чорнового оброблювання зовнішніх поверхонь лезовим інструментом [1, ст. 185, табл. 27];

$$\Delta_{\Sigma_1} = \Delta_{\Sigma_0} * K_y = 124 * 0.06 = 7,44 \text{ мкм}, \quad (1.19)$$

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		24

Де  $K_y = 0.06$  – коефіцієнт уточнення для виливок після чорнового оброблення лезовим інструментом [1, ст. 190, табл. 29];

$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 100$  мкм – так як переустановлення не відбувалось.

Проводимо остаточні розрахунки граничних розмірів, впишемо технологічні допуски:

$T_{заг} = 1000$  мкм – допуск розміру поверхні заготовки за ГОСТ 26645-85;

$T_{чорн} = 740$  мкм – допуск на чорнову обробку за 14 квалітетом;

$T_{чист} = 300$  мкм – допуск на чистову обробку за 12 квалітетом;

Розраховуємо значення найменших граничних розмірів  $h_p$ , починаючи з кінцевої обробки отвору додаючи послідовно розрахункові значення мінімального припуску  $z_{min}$  кожного технологічного переходу:

$$h_{p\text{ чист}} = h_{ном} - ei = 62 - 0.300 = 61.7 \text{ мм};$$

$$h_{p\text{ чорн}} = h_{p\text{ чист}} + z_{2\text{ min}} = 61.7 + 0.207 = 61.907 \text{ мм};$$

$$h_{p\text{ заг}} = h_{p\text{ чорн}} + z_{1\text{ min}} = 61.907 + 0.624 = 62.531 \text{ мм};$$

Розраховуємо значення найбільших граничних розмірів  $h_{max}$  додаючи значення допуску відповідних переходів до значення найменшого граничного розмірів:

$$h_{max\text{ чист}} = h_{min\text{ чист}} + T_{чист} = 61.7 + 0.300 = 62 \text{ мм};$$

$$h_{max\text{ чорн}} = h_{min\text{ чорн}} + T_{чорн} = 61.907 + 0.740 = 62.647 \text{ мм};$$

$$h_{max\text{ заг}} = h_{min\text{ заг}} + T_{заг} = 62.531 + 1.000 = 63.531 \text{ мм};$$

Найбільші граничні значення припусків є різницею найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього технологічних переходів:

$$z_{max\text{ чорн}}^{пр} = h_{max\text{ заг}} - h_{max\text{ чорн}} = 63.531 - 62.647 = 0.884 \text{ мм};$$

$$z_{max\text{ чист}}^{пр} = h_{max\text{ чорн}} - h_{max\text{ чист}} = 62.647 - 62 = 0.647 \text{ мм};$$

Найменші граничні значення припусків є різницею найменших граничних розмірів виконуваного і попереднього технологічних переходів:

$$z_{min\text{ чорн}}^{пр} = h_{min\text{ заг}} - h_{min\text{ чорн}} = 62.531 - 61.907 = 0.624 \text{ мм};$$

$$z_{min\text{ чист}}^{пр} = h_{min\text{ чорн}} - h_{min\text{ чист}} = 61.907 - 61.7 = 0.207 \text{ мм};$$

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		25

Усі отримані значення заносимо до таблиці 1.5 за прикладом представлено у методичних вказівках до розрахунку припусків» [5, ст. 84, табл. 43].

Таблиця 1.5. Розрахунок припусків та граничних розмірів по технологічним переходам на обробку поверхні 4 корпусу редуктора.

Технологічні переходи обробки поверхні №4	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $Z_{min}$ , мкм	Розрахунковий розмір $r_p$ , мм	Допуск $T$ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	T	$\Delta_\Sigma$	$\varepsilon$				$h_{min}$	$h_{max}$	$Z_{min}^{пр}$	$Z_{max}^{пр}$
Заготовка	400		124	-	-	62,531	1000	62,531	63,531	-	-
Фрезерування чорнове	50	50	7,44	100	624	61,907	740	61,907	62,647	624	884
Фрезерування чистове	-	-	-	100	207	61,7	300	61,7	62	207	647
										831	1531

Після обчислень значень припусків виконуємо перевірку розрахунків граничних значень припусків:

$$Z_{max\text{ чорн}}^{пр} - Z_{min\text{ чорн}}^{пр} = 884 - 624 = 260 \text{ мкм}, \quad (1.20)$$

$$T_{заг} - T_{чорн} = 1000 - 740 = 260 \text{ мкм}, \quad (1.21)$$

Значення різниці допусків чорнового фрезерування та заготовки дорівнює різниці граничних розмірів припусків, отже робимо висновки що розрахунки проведено вірно.

### 1.9.2. Визначення припусків аналоговими методами

Одним з методів призначення припусків за допомогою рекомендацій згідно стандартів за яким створено заготовку. Заготовку для виготовлення деталі «Корпус горизонтального редуктора» отримуємо за допомогою лиття в піщано-глинясті форми з машинним формування за металевими моделями згідно стандарту ГОСТ 26645-85. Точність виливку за стандартом ГОСТ 26645-85 :

- Клас розмірної точності виливок – 9;
- Ступінь жолоблення елементів виливок – 7;
- Ступінь точності поверхні виливок – 13;

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		26

- Шорсткість поверхонь виливок відповідно до класу точності поверхні Ra не більше 32 мкм;

- Клас точності маси виливок – 8;

- Ряд припусків на обробку виливків – 7;

Керуючись рекомендаціями щодо призначення припусків на механічну обробку які вказані в ГОСТ 26645-85 [4], відповідно до точності виливку, отримані значення заносимо до таблиці 1.6.:

Таблиця 1.6. Припуски на механічну обробку поверхонь за ГОСТ 26645-85

Розмір поверхні деталі, мм	Допуск розмірів виливка, мм	Вид кінцевої мех. обробки	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки, мм
62	$\pm 2,2$	Чистова	2x3,3	$68,6 \pm 2,2$
$\varnothing 50$	$\pm 2,0$	Тонка	2x3,3	$\varnothing 43,4 \pm 2,0$
$\varnothing 30$	$\pm 1,8$	Тонка	2x3,0	$\varnothing 24 \pm 1,8$
67	$\pm 2,2$	Тонка	2x3,6	$74,2 \pm 2,2$

## 1.10. Визначення режимів різання

### 1.10.1. Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом

#### *Розрахунок режимів різання на обробку точного отвору $\varnothing 50H7$*

Обробку точного отвору  $\varnothing 50H7$  проводимо за допомогою розточувальної головки фірми Iscar VHF MB50-80x94, яка включає в себе державку IHFF 25 з твердосплавною пластиною TPGX 090204T для обробки чавуну зі сплаву ІВ90, значення коефіцієнтів та характеристик при розрахунку режимів різання обиратимемо як для сплаву ВК6, що по своїм характеристиками аналогічна ІВ90.

Параметри різальної частини змінної пластинки представлені згідно каталогу інструментів фірми Iscar [6]:  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 30^\circ$ ,  $\gamma = 7^\circ$ ;  $\alpha = 11^\circ$ ,  $\lambda = 9^\circ$ ,  $r = 0.4$  мм.

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		27

*Розрахунок режимів різання для чорнового розточування:*

Глибину різання для чорнового розточування приймають максимально допустимою по потужності обладнання, жорсткості системи, міцності ріжучої пластини та державки. Керуючись даними рекомендаціями обираємо глибину різання відповідно до розрахованих припусків на обробку даного отвору відповідно до технологічного переходу використовуючи значення з табл. 1.4 тоді матимемо:

$$t_{\text{чорн}} = z_{\text{max}1}^{\text{пр}} = 0.9 \text{ мм}, \quad (1.22)$$

Значення подачі при точінні приймають аналогічно максимально допустиме враховуючи потужність обладнання, жорсткість системи, міцність ріжучої пластини та державки за рекомендаціям [2, ст. 267, табл. 12] при чорновому розточуванні з твердосплавними пластинами для обробки чавуну подача становитиме  $S_{\text{чорн}} = 0.8 \text{ мм/об.}$

Використовуючи методику розрахунку режимів різання [2, ст. 261], визначаємо значення швидкості різання для чорнового розточування за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v, \quad (1.23)$$

де  $C_v = 243 * 0.9 = 218,7$ ,  $x = 0.15$ ,  $y = 0.4$ ,  $m = 0.2$  – значення коефіцієнтів і показників степенів при розточуванні внутрішніх поверхонь сірого чавуну прохідним різцем з поправочним коефіцієнтом 0.9 для  $C_v$  [2, ст. 270, табл. 17];

$T = 50 \text{ хв.}$  – значення періоду стійкості при одноінструментній обробці;

Значення ряду поправочних коефіцієнтів:

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{iv} K_{\phi v} = 0,882 * 0,8 * 1,0 * 0,7 = 0,494, \quad (1.24)$$

Де  $K_{mv} = \left(\frac{190}{\text{HB}}\right)^{n_v} = \left(\frac{190}{210}\right)^{1.25} = 0.882$  – поправочний коефіцієнт, що

враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання [2, табл. 1, ст. 261];

$K_{nv} = 0.8$  – поправочний коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки на швидкість різання [2, табл. 5, ст. 261];

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		28

$K_{iv} = 1.0$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання [2, табл. 6, ст. 263];

$K_{\varphi v} = 0.7$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив параметрів різця на швидкість різання [2, табл. 18, ст. 271];

Маючи всі отримані значення для розрахунку швидкості, підставляємо у формулу (1.13):

$$V_{\text{чорн}} = \frac{C_v}{T^m t^x_{\text{чорн}} S^y_{\text{чорн}}} K_v = \frac{218,7}{50^{0,15} 0,9^{0,4} 0,8^{0,2}} 0,494 = 80,5 \frac{\text{м}}{\text{хв}}, \quad (1.25)$$

Розраховуємо значення швидкості обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 80,5}{3,14 * 48} = 539 \frac{\text{об}}{\text{хв}}, \quad (1.26)$$

Де  $V = 80,5 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$  - розрахункове значення швидкості різання при чорновому розточуванні;

$D = 48$  мм - діаметр оброблюваного отвору за табл. 1.4. при чорновому розточуванні.

Значення швидкості обертання шпинделя для верстатів з ЧПК приймаються безступеневими, приймаємо швидкість обертання з

округленням до десяти, тоді дійсне значення матиме вигляд  $n_d = 540 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ .

Відповідно дійсна швидкість різання матиме значення:

$$V_d = \frac{\pi * D * n_d}{1000} = \frac{3,14 * 48 * 540}{1000} = 81,3 \frac{\text{м}}{\text{хв}}, \quad (1.27)$$

Сили різання при розточуванні, направлені по осям координат верстату такі як тангенціальна, радіальна та осьова розраховуються за наступною формулою:

$$P_{z,y,x} = 10 C_p t^x s^y v^n K_p, \quad (1.29)$$

Розраховуємо значення складових сил різання:

- Тангенціальна складова сили різання:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 * 92 * 0,9^1 * 0,8^{0,75} * 72,4^0 * 0,95 = 665,4 \text{ Н} \quad (1.30)$$

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		29

де  $K_p = K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{m p} = 0.89 * 1 * 1 * 1.076 = 0.95$  – значення поправочних коефіцієнтів для розрахунку тангенціальної складової сил різання;

- *Радіальна складова сили різання:*

$$P_y = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 * 54 * 0,9^{0,9} * 0,8^{0,75} * 72.4^0 * 0,54 = 224.3 \text{ Н} \quad (1.31)$$

де  $K_p = K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{m p} = 0.5 * 1 * 1 * 1.076 = 0.54$  – значення поправочних коефіцієнтів для розрахунку радіальної складової сил різання;

- *Осьова складова сили різання:*

$$P_x = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 * 46 * 0,9^1 * 0,8^{0,4} * 72.4^0 * 1,26 = 477.1 \text{ Н} \quad (1.32)$$

де  $K_p = K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{m p} = 1,17 * 1 * 1 * 1.076 = 1,26$  – значення поправочних коефіцієнтів для розрахунку осьової складової сил різання;

Потужність різання визначаємо за формулою:

$$N = \frac{P_z V}{1000 * 60} = \frac{467.7 * 72.4}{1000 * 60} = 0.564 \text{ кВт}, \quad (1.33)$$

*Розрахунок режимів різання для чистового розточування:*

Глибину різання для чистового розточування обираємо відповідно до розрахованих припусків на обробку даного отвору відповідно до технологічного переходу використовуючи значення з табл. 1.4 тоді матимемо:

$$t_{\text{чист}} = z_{\text{max}2}^{\text{пр}} = 0.39 \text{ мм}, \quad (1.34)$$

Значення подачі при чистовому розточуванні вибираємо за [2, ст. 268, табл. 14] враховуючи оброблюваний матеріал, матеріал пластини, значення радіусу заокруглення при вершині різця, параметру шорсткості отриманої поверхні при обробці відповідно при  $r = 0.4 \text{ мм}$ ,  $Ra = 2.5 \text{ мкм}$ , подача становитиме  $S_{\text{чист}} = 0.144 \text{ мм/об}$ .

Визначаємо значення швидкості різання для чистового розточування за формулою (1.13):

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$V_{\text{чист}} = \frac{C_v}{T^m t^x_{\text{чист}} S^y_{\text{чист}}} K_v = \frac{268,8}{50^{0,15} 0,9^{0,2} 0,5^{0,2}} 0,494 = 86,6 \frac{\text{м}}{\text{хв}}, \quad (1.35)$$

де  $C_v = 292 * 0,9 = 262,8$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,2$ ,  $m = 0,2$  – значення коефіцієнтів і показників степенів при розточуванні внутрішніх поверхонь сірого чавуну прохідним різцем з поправочним коефіцієнтом 0,9 для  $C_v$  [2, ст. 270, табл. 17];

$T = 50$  хв. – значення періоду стійкості при одноінструментній обробці;

$K_v = 0,494$  – значення ряду поправочних коефіцієнтів аналогічне як для чорнового розточування яке розраховане за формулою (1.14);

Розраховуємо значення швидкості обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 86,6}{3,14 * 49,3} = 552,4 \frac{\text{об}}{\text{хв}}, \quad (1.36)$$

Де  $V = 86,6 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$  - розрахункове значення швидкості різання при чорновому розточуванні;

$D = 49,3$  мм - діаметр оброблюваного отвору за табл. 1.4. при чистовому розточуванні.

Значення швидкості обертання шпинделя для верстатів з ЧПК приймаються безступеневими, приймаємо швидкість обертання з округленням до десяти, тоді дійсне значення матиме вигляд  $n_d = 550 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ .

Відповідно дійсна швидкість різання матиме значення:

$$V_d = \frac{\pi * D * n_d}{1000} = \frac{3,14 * 49,3 * 550}{1000} = 85,2 \frac{\text{м}}{\text{хв}}, \quad (1.37)$$

Розраховуємо значення складових сил різання використовуючи формулу для розрахунку (1.18), підставляючи значення для чистового розточування отвору:

- *Тангенціальна складова сили різання:*

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 * 92 * 0,39^1 * 0,144^{0,75} * 85,2^0 * 0,95 = 79,68 \text{ Н} \quad (1.38)$$

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		31

де  $K_p = K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{m p} = 0.89 * 1 * 1 * 1.076 = 0.95$  – значення поправочних коефіцієнтів для розрахунку тангенціальної складової сил різання;

- *Радіальна складова сили різання:*

$$P_y = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 * 54 * 0.39^{0,9} * 0,144^{0,75} * 85.2^0 * 0,54 = 29.2 \text{ Н} \quad (1.39)$$

де  $K_p = K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{m p} = 0.5 * 1 * 1 * 1.076 = 0.54$  – значення поправочних коефіцієнтів для розрахунку радіальної складової сил різання;

- *Осьова складова сили різання:*

$$P_x = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 * 46 * 0.39^1 * 0,144^{0,4} * 85.2^0 * 1,26 = 104.1 \text{ Н} \quad (1.40)$$

де  $K_p = K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{m p} = 1,17 * 1 * 1 * 1.076 = 1,26$  – значення поправочних коефіцієнтів для розрахунку осьової складової сил різання;

Потужність різання визначаємо за формулою:

$$N = \frac{P_z V}{1000 * 60} = \frac{79.68 * 85.2}{1000 * 60} = 0.114 \text{ кВт}, \quad (1.41)$$

*Розрахунок режимів різання для тонкого розточування:*

Глибину різання для чистового розточування обираємо враховуючи значення розрахованих припусків на обробку даного отвору відповідно до технологічного переходу припуск  $z_{\max 2}^{\text{пр}} = 0.23$  мм, за рекомендаціями щодо підбору глибини різання при тонкому розточуванні доцільно провести за 2 проходи де глибину проходу приймемо як половину від розрахованого припуску:

$$t_{\text{тонк}} = \frac{z_{\max 2}^{\text{пр}}}{2} = \frac{0,23}{2} \approx 0.12 \text{ мм}, \quad (1.42)$$

Значення режимів різання та подачі при тонкому розточуванні вибираємо за [2, ст. 271, табл. 19] враховуючи матеріал оброблюваної поверхні, матеріал ріжучої пластини, параметру шорсткості та отриманої

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		32

поверхні при обробці відповідно при  $Ra = 1.6$  мкм, подача становитиме

$$S_{\text{тонк}} = 0.06 \text{ мм/об}, V_{\text{тонк}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{хв}};$$

Розраховуємо значення швидкості обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 20}{3,14 * 50} = 127.3 \frac{\text{об}}{\text{хв}}, \quad (1.43)$$

Де  $V = 20 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$  - табличне значення швидкості різання при тонкому розточуванні;

$D = 50$  мм - діаметр оброблюваного отвору за табл. 1.4. при чистовому розточуванні.

Значення швидкості обертання шпинделя для верстатів з ЧПК приймаються безступеневими, приймаємо швидкість обертання з

округленням до десяти, тоді дійсне значення матиме вигляд  $n_d = 130 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ .

Відповідно дійсна швидкість різання матиме значення:

$$V_d = \frac{\pi * D * n_d}{1000} = \frac{3,14 * 50 * 130}{1000} = 20,42 \frac{\text{м}}{\text{хв}}, \quad (1.44)$$

Розраховуємо значення складових сил різання використовуючи формулу для розрахунку (1.18), підставляючи значення для тонкого розточування отвору:

- *Тангенціальна складова сили різання:*

$$P_z = 10C_p t^x s^y v^n K_p = 10 * 92 * 0.12^1 * 0,06^{0,75} * 20.24^0 * 0,95 = 12.7 \text{ Н} \quad (1.45)$$

де  $K_p = K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{m p} = 0.89 * 1 * 1 * 1.076 = 0.95$  – значення поправочних коефіцієнтів для розрахунку тангенціальної складової сил різання;

- *Радіальна складова сили різання:*

$$P_y = 10C_p t^x s^y v^n K_p = 10 * 54 * 0.12^{0,9} * 0,06^{0,75} * 20.24^0 * 0,54 = 5.2 \text{ Н} \quad (1.46)$$

де  $K_p = K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{m p} = 0.5 * 1 * 1 * 1.076 = 0.54$  – значення поправочних коефіцієнтів для розрахунку радіальної складової сил різання;

- *Осьова складова сили різання:*

					Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	33

$$P_x = 10C_p t^x s^y v^n K_p = 10 * 46 * 0.12^1 * 0,06^{0,4} * 20.24^0 * 1,26 = 22.6 \text{ Н} \quad (1.47)$$

де  $K_p = K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{m p} = 1,17 * 1 * 1 * 1.076 = 1,26$  – значення поправочних коефіцієнтів для розрахунку осьової складової сил різання;

Потужність різання визначаємо за формулою:

$$N = \frac{P_z V}{1000 * 60} = \frac{12.7 * 20}{1000 * 60} = 0.005 \text{ кВт}, \quad (1.48)$$

### ***Розрахунок режимів різання на обробку площини №1:***

Обробку поверхні 1 проводимо фрезерування торцевою фрезою Coromill 490-044Q16-08M зі змінними твердосплавними пластинами 490R-08T316M-KH3330. Для розрахунку режимів різання приймаємо матеріал ріжучої пластини ВК6 так як даний матеріал аналогічний по своїм властивостям матеріалу твердосплавної пластини.

#### *Розрахунок режимів різання для чорнового фрезерування:*

Для чорнкової обробки площини ОКБ1 глибину фрезерування призначаємо враховуючи значення розрахованого значення припуску на обробку даної площини за табл. 1.5, приймаємо:

$$t_{\text{чорн}} = z_{\text{max}1}^{\text{пр}} = 0,9 \text{ мм}, \quad (1.49)$$

Значення подачі вибираємо згідно рекомендацій [2], враховуючи матеріал ріжучої пластини – ВК6, потужність верстату – 22.4 кВт матеріал оброблюваної поверхні – сірий чавун СЧ20, та типу інструменту – фреза торцева, матимемо значення рекомендованої подачі на зуб:  $S_z = 0.28 \text{ мм/зуб}$ .

Швидкість різання при фрезерування визначається за формулою:

$$V_{\text{чорн}} = \frac{C_p D^q}{T^m t_{\text{чорн}}^x S_z^y B^u z^p} K_v, \quad (1.50)$$

де  $C_p = 445, q = 0.2, x = 0.15, y = 0.35, u = 0.2, p = 0, m = 0.32$  – значення коефіцієнтів і показників степенів при фрезеруванні площини сірого чавуну торцевою фрезою [2, ст. 288, табл. 39];

$T = 120 \text{ хв.}$  – значення періоду стійкості при діаметру фрези  $\varnothing 44$ ;

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		34

$B = 32.5$  мм – ширина фрезерування при обробці площини шириною 65 мм за два проходи.

$z = 5$  – кількість ріжучих зубів фрези.

$K_v = K_{mv}K_{nv}K_{iv} = 0,882 * 0,8 * 1,0 = 0,7$ - значення поправочних коефіцієнтів, що враховують якість оброблюваної поверхні  $K_{mv}$ , стан оброблюваної поверхні заготовки  $K_{nv}$ , матеріал інструменту  $K_{iv}$ ;

$D = 44$  мм – діаметр торцевої фрези.

Отримані значення вносимо до формули (1.40) і отримаємо значення швидкості різання при чорновому фрезеруванні торцевою фрезою:

$$V_{\text{чорн}} = \frac{C_p D^q}{T^m t_{\text{чорн}}^x S_z^y B^u z^p} K_v =$$

$$= \frac{445 * 44^{0.2}}{120^{0.32} * 0.9^{0.2} * 0.28^{0.35} * 32.5^{0.2} * 5^0} * 0.7 = 98.8 \frac{\text{м}}{\text{хв}}, \quad (1.51)$$

Розраховуємо швидкість обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 98.8}{3.14 * 44} = 714.75 \frac{\text{об}}{\text{хв}}, \quad (1.52)$$

Значення швидкості обертання шпинделя для верстатів з ЧПК приймаються безступеневими, приймаємо швидкість обертання шпинделя з округленням до десяти, тоді дійсне значення матиме вигляд  $n_d = 710 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ .

Відповідно дійсна швидкість різання матиме значення:

$$V_d = \frac{\pi * D * n_d}{1000} = \frac{3.14 * 44 * 710}{1000} = 98.14 \frac{\text{м}}{\text{хв}}, \quad (1.53)$$

Хвилинну подачу розраховуємо за формулою:

$$S_{\text{хв}} = S_z z n = 0.28 * 5 * 710 = 994 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}, \quad (1.54)$$

де  $S_z = 0.28$  мм/зуб – значення подачі на зуб;

$z = 5$  – число зубців фрези;

$n = 710 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$  - частота обертання фрези.

Проводимо розрахунок тангенціальної складової сили різання:

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$P_z = \frac{10C_p t^x_{\text{чорн}} S_z^y_{\text{чорн}} B^u_z}{D^q n^w} K_{mp} =$$

$$= \frac{10 * 54.5 * 0.9^{0.9} * 0.28^{0.78} * 32.5^1 * 5}{44^1 * 710^{0.1}} * 1.076 = 378,5 \text{ Н}, \quad (1.55)$$

Де  $z = 5$  – число зубців фрези;

$n = 710 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$  - частота обертання фрези.

$C_p = 54,5, q = 1.0, x = 0.9, y = 0.78, u = 1.0, w = 0.1$  – значення коефіцієнтів та показників степенів при розрахунку складової сили різання  $P_z$  при фрезеруванні сірого чавуну торцевою фрезою з ріжучою пластиною з твердого сплаву.

$K_{mp} = 1.076$  – значення поправочного коефіцієнту для чавуну, що враховує вплив якості обробленої поверхні матеріалу на силові залежності.

Відносне значення радіальної та осьової складових сил різання при фрезеруванні [2, ст. 292, табл. 42]:

$$\frac{P_y}{P_z} = 0.4, \frac{P_x}{P_z} = 0.55, \quad (1.56)$$

Крутний момент який виникає на шпинделі при фрезеруванні:

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 * 100} = \frac{351 * 44}{2 * 100} = 77.2 \text{ Н * м}, \quad (1.57)$$

*Розрахунок режимів різання для чистового фрезерування:*

Для чистової обробки площини ОКБ1 глибину фрезерування призначаємо враховуючи значення розрахованого значення припуску на обробку даної площини за табл. 1.5, приймаємо:

$$t_{\text{чист}} = z_{\text{max}2}^{\text{пр}} = 0,65 \text{ мм}, \quad (1.58)$$

Значення подачі вибираємо згідно рекомендацій [2], враховуючи матеріал ріжучої пластини – ВК6, потужність верстату – 22.4 кВт матеріал оброблюваної поверхні – сірий чавун СЧ20, та типу інструменту – фреза торцева, шорсткість поверхні яку необхідно отримати  $Ra = 2.5$  мкм, матимемо значення рекомендованої подачі на оберт фрези  $S = 0.6$  мм/об.

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		36

Значення подачі на зуб:

$$S_z = \frac{S}{z} = \frac{0.6}{5} = 0.12 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}, \quad (1.59)$$

$z = 5$  – число зубців торцевої фрези;

$S = 0,6 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$  – значення подачі на оберт фрези.

Користуючись формулою (1.40) розраховуємо значення швидкості різання при чистовому фрезеруванні торцевою фрезою:

$$V_{\text{чист}} = \frac{C_p D^q}{T^m t^x_{\text{чист}} S_z^y_{\text{чист}} B^u z^p} K_v =$$

$$= \frac{445 * 44^{0.2}}{120^{0.32} * 0.65^{0.2} * 0.12^{0.35} * 32.5^{0.2} * 5^0} * 0.7 = 141.83 \frac{\text{м}}{\text{хв}}, \quad (1.60)$$

де  $C_p = 445, q = 0.2, x = 0.15, y = 0.35, u = 0.2, p = 0, m = 0.32$  – значення коефіцієнтів і показників степенів при фрезеруванні площини сірого чавуну торцевою фрезою [2, ст. 288, табл. 39];

$T = 120$  хв. – значення періоду стійкості при діаметру фрези  $\varnothing 44$ ;

$B = 32.5$  мм – ширина фрезерування при обробці площини шириною 65 мм за два проходи.

$z = 5$  – кількість ріжучих зубів фрези.

$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{iv} = 0,882 * 0,8 * 1,0 = 0,7$ - значення поправочних коефіцієнтів, що враховують якість оброблюваної поверхні  $K_{mv}$ , стан оброблюваної поверхні заготовки  $K_{nv}$ , матеріал інструменту  $K_{iv}$ ;

$D = 44$  мм – діаметр торцевої фрези.

Розраховуємо швидкість обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 141.3}{3,14 * 44} = 1022 \frac{\text{об}}{\text{хв}}, \quad (1.61)$$

Значення швидкості обертання шпинделя для верстатів з ЧПК приймаються безступеневими, приймаємо швидкість обертання шпинделя з округленням до десяти, тоді дійсне значення матиме вигляд  $n_d = 1020 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ .

Відповідно дійсна швидкість різання матиме значення:

$$V_d = \frac{\pi * D * n_d}{1000} = \frac{3,14 * 44 * 1020}{1000} = 141 \frac{\text{м}}{\text{хв}}, \quad (1.62)$$

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		37

Хвилинну подачу розраховуємо за формулою:

$$S_{\text{хв}} = S_z z n = 0.12 * 5 * 1020 = 612 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}, \quad (1.63)$$

де  $S_z = 0.12$  мм/зуб – значення подачі на зуб для чистового фрезерування;

$z = 5$  – число зубців фрези;

$n = 1020 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$  - частота обертання фрези при чистовому фрезеруванні.

Проводимо розрахунок тангенціальної складової сили різання:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x_{\text{чист}} S_z^y_{\text{чист}} B^u_z}{D^q n^w} K_{mp} =$$

$$= \frac{10 * 54.5 * 0.65^{0.9} * 0.12^{0.78} * 32.5^1 * 5}{44^1 * 1020^{0.1}} = 130.7 \text{ Н}, \quad (1.64)$$

Де  $z = 5$  – число зубців фрези;

$n = 710 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$  - частота обертання фрези.

$C_p = 54,5, q = 1.0, x = 0.9, y = 0.78, u = 1.0, w = 0.1$  – значення коефіцієнтів та показників степенів при розрахунку складової сили різання  $P_z$  при фрезеруванні сірого чавуну торцевою фрезою з ріжучою пластиною з твердого сплаву.

$K_{mp} = 1.076$  – значення поправочного коефіцієнту для чавуну, що враховує вплив якості обробленої поверхні матеріалу на силові залежності.

Відносне значення радіальної та осьової складових сил різання при фрезеруванні [2, ст. 292, табл. 42]:

$$\frac{P_y}{P_z} = 0.4, \frac{P_x}{P_z} = 0.55, \quad (1.65)$$

Крутний момент який виникає на шпинделі при фрезеруванні:

$$M_{\text{кр}} = \frac{P_z D}{2 * 100} = \frac{130.7 * 44}{2 * 100} = 28.7 \text{ Н * м}, \quad (1.66)$$

### 1.10.2. Визначення режимів різання аналоговими методами

Окрім розрахунково-аналітичного методу розрахунку режимів різання користуються рекомендаціями виробників різального інструменту значення

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		38

яких встановлені для кожного інструменту індивідуально залежно від матеріалу різальної частини, оброблюваного матеріалу, геометрії різальної частини інструменту, виду обробки. Розраховуємо значення режимів різання для кожної операції згідно рекомендацій виробників. Розраховані значення режимів різання згідно рекомендацій виробників заносимо до таблиці 1.6-1.8.:

Таблиця 1.6. Режими різання для технологічних переходів операції 005

№	Вид обробки	Позначення інструменту	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T <sub>0</sub> , хв
1	Фрезерування чорнове	CoroMill 490-044Q16-08M	229	0.9	1.41	1670	0.19
2	Фрезерування чистове	490R-08T316M-KH 3330	250	0.69	1.138	1810	0.218
3	Центрування отворів	HSS A3.5*8*49	30	3	0.07	2730	0.08
4	Свердління отворів	CoroDrill 460.1-0600-018A1-XM GC34	111	3	0.2	5890	0.15
5	Розгортання отворів	CoroReamer 435.B-0600-A1-XF H10F	33.6	0.03	0.191	3850	0.1

Таблиця 1.7. Режими різання для технологічних переходів операції 010

№	Вид обробки	Позначення інструменту	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T <sub>0</sub> , хв
1,2	Фрезерування чорнове	CoroMill 490-044Q16-08M	229	3	1.41	1670	0.17
3	Фрезерування чистове	490R-08T316M-KH 3330	250	0.5	1.138	1810	0.2
4	Центрування отворів	HSS A3.5*8*49	30	3	0.07	2730	0.07
5	Свердління отворів	CoroDrill 460.1-0900-027A1-Xm GC34	109	4.5	0.26	3850	0.3
6	Свердління отворів	CoroDrill 460.1-0780-023A1-Xm GC34	124	3.9	0.212	5080	0.1
7	Нарізання різьби мітчиком	CoroTap T100-KM105DB-M8X100 A110	57.1	1.3	1	2270	0.22

Таблиця 1.8. Режими різання для технологічних переходів операції 020

№	Вид обробки	Позначення інструменту	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T <sub>0</sub> , хв
1	Розточування чорнове	ВНFI MB50-80x94 ВВН30x70 IHRF25 TRGX090204T	80	1	0.14	850	0.1
2	Розточування Чистове		80	0.4	0.08	850	0.051
3	Розточування тонке		80	0.1	0.05	850	0.03
4	Розточування чорнове	ВНFI MB50-80x94 ВВН30x70 IHRF25 TRGX090204T	80	0.9	0.14	510	0.14
5	Розточування Чистове		80	0.39	0.08	510	0.091
6	Розточування тонке		80	0.12	0.05	510	0.72
7	Фрезерування чорнове	CoroMill Plura HD 2F342-1000-200-PD P2BM	375	2.8	0.256	11900	0.12
8	Фрезерування чистове		375	0.5	0.301	12000	0.9
9	Фрезерування тонке		292	0.2	0.452	12000	0.6

## 2. ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

### 2.1. Розроблення і розрахунок конструкції верстатних пристроїв

Після розроблення технологічного процесу виготовлення даної деталі «Корпус горизонтального редуктора», розрахунку режимів та складових сил різання приступаємо до проектування верстатних пристроїв. Згідно рекомендацій [7] при проектуванні верстатних пристроїв слідє намагатись використовувати універсальні переналагоджувані пристрої (УЗП), використовувати уніфіковані та стандартні елементи, що в свою чергу скоротить строки підготовки виробництва.

#### 2.1.1. Вихідні дані для розроблення конструкцій верстатних пристроїв

Для розроблення конструкцій верстатних пристроїв вихідними даними є:

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		40

- Креслення деталі «Корпус горизонтального редуктора»;
- Схеми базування, зміст технологічних операцій, інструментальне забезпечення, режими різання, норми штучного часу;
- Заданий обсяг випуску деталей;
- Операційні ескізи механічного оброблення поверхонь деталі;
- Технічні характеристики обраних верстатів;

### 2.1.2. Послідовність розроблення конструкції пристрою

Згідно вище вказаних рекомендацій, та для обраних схем базування для виконання операції 005 доцільно закріпити заготовку в лещатах фірми Gedema MC2-125:



Рис.2.1. Лещата прецизійні фірми Gedema.

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		41

Дані лещата встановлюються на стіл верстату Haas VF-2, за допомогою прихватів наступним чином:

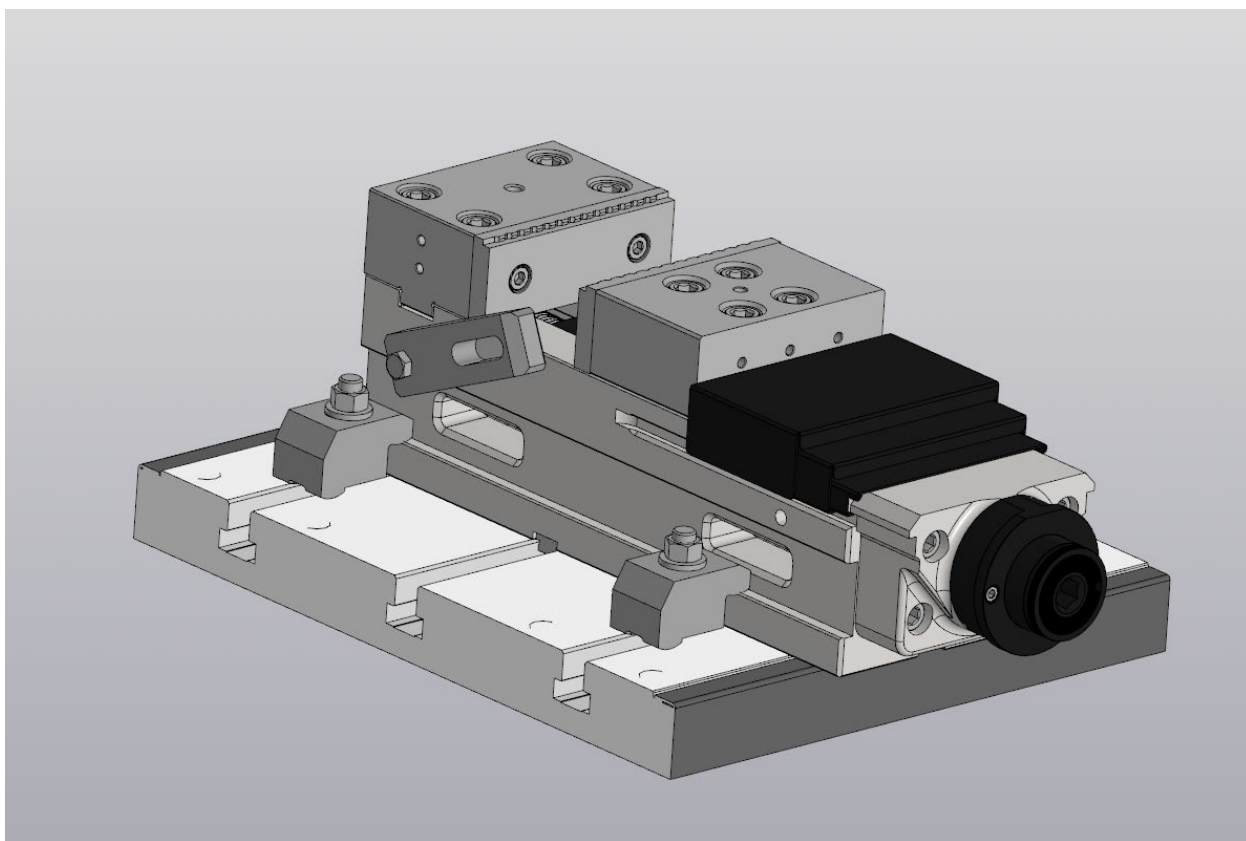


Рис.2.2. 3D моделювання складання пристрою для операції 005.

Для операцій 010 та 020 обрано верстатне пристосування що складається з УЗП, спеціальної плити яка встановлюється на УЗП за допомогою Т-образних сухарів для верстатних пазів та болтів під шестигранний ключ, головки самих болтів сховані в самій плиті. Сама плита УЗП кріпиться до столу верстату Haas EC-400 за допомогою кріпильних болтів М12х1.75. Деталь встановлюється в даний пристрій на установочний та зрізаний пальці в точні отвори які були просвердлені на попередній

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		42

операції 005:

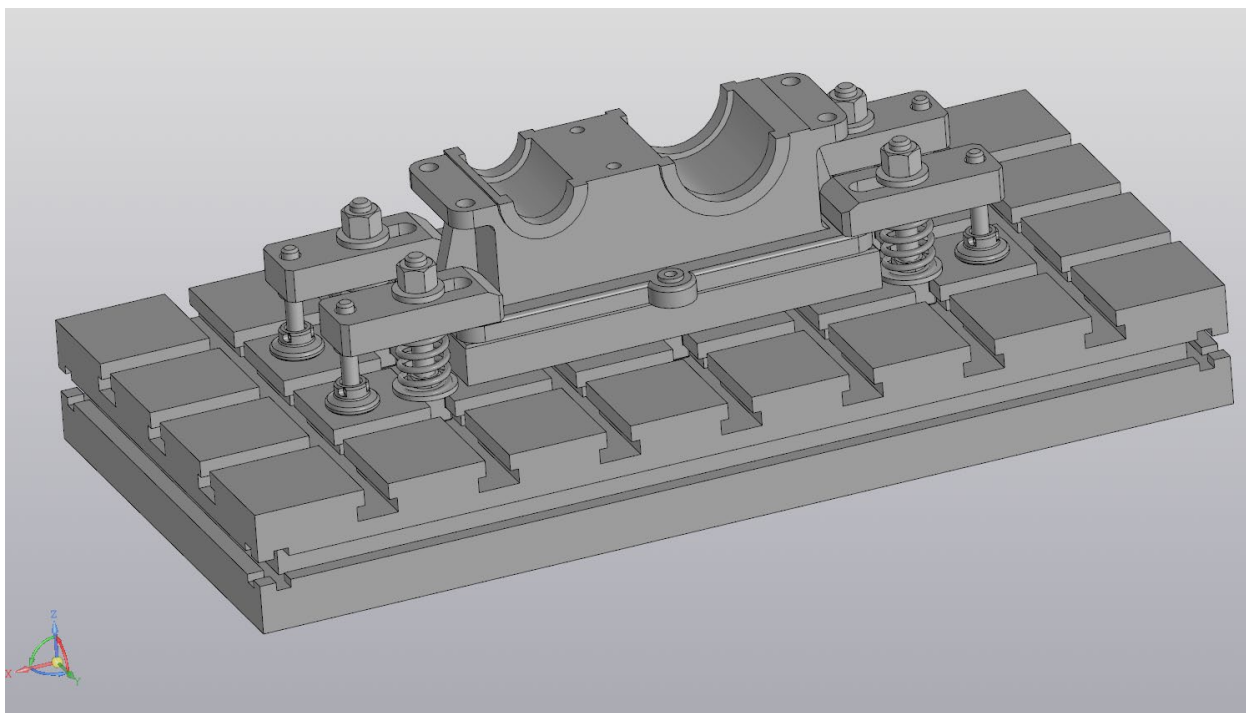


Рис.2.3. 3D моделювання складання пристрою для операції 010 та 020.

Дана конструкція верстатного пристрою дає можливість звільнитись від додаткового переналагоджування на іншу операцію адже елементи УЗП не заважатимуть при обробці точних отворів, поверхонь деталі та забезпечує надійне закріплення деталі. Пружини надають додаткову зручність при заміні деталі при розкручуванні затискних гвинтів, прихвати підніматимуться, також є можливість здвинути прихвати в межах їх пазів що надає можливість встановити деталь на пристосування.

## 2.2. Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв

### 2.2.1. Розрахунок необхідної сили затиску заготовки Q

*Розрахунок необхідної сили затиску для операції 005:*

Розрахунок необхідних сил затиску проводиться при обробці поверхні при самих несприятливих умовах різання. Самими несприятливими умовами являється чорнова обробка площини ОКБ 1 на операції 005, яка проводиться фрезеруванням торцевою фрезою діаметром  $\varnothing 44$  з 5 ріжучими пластинами, режими різання та складові сил різання отримані розрахунково-аналітичним методом:

- Швидкість різання:  $V_{\text{чорн}} = 98.14 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$ ;

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		43

- Хвилинна подача:  $S_{XB} = 994 \frac{M}{XB}$ ;
- Швидкість обертання шпинделя:  $n = 710 \frac{об}{XB}$ ;
- Тангенціальна складова сил різання:  $P_z = 378.5 \text{ Н}$ ;
- Осьова складова сил різання:  $P_x = P_z * 0.55 = 208.2 \text{ Н}$ ;
- Радіальна складова сил різання:  $P_y = P_z * 0.4 = 151.4 \text{ Н}$ ;

Схему розташування сил які діють при затиску заготовки в лещатах при обробці площини ОКБ 1 наведено на рис.2.4:

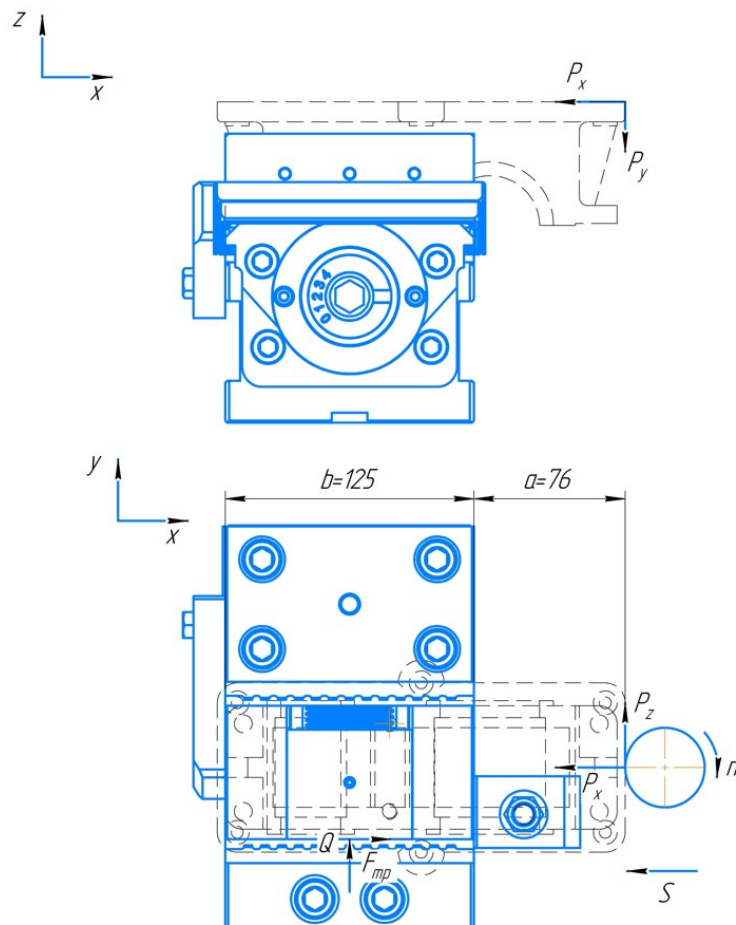


Рис. 2.4. Схема розташування складових сил різання при фрезеруванні.

Складові сил різання намагаються зрушити заготовку. Тангенціальна складова сил різання  $P_z$  намагається зрушити заготовку вздовж осі  $Oy$  та повернути заготовку навколо ребра нерухої губки, осьова складова сил  $P_x$  намагається зрушити заготовку вздовж осі  $Ox$ , а радіальна складова сила  $P_y$  намагається повернути заготовку навколо осі  $Oy$ , даним силам протидіють сили закріплення та сили тертя які виникають при затиску заготовки в лещатах.

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		44

В даному випадку формула розрахунку сил закріплення  $Q$  буде складатись з 3 складових [8]:

$$Q = K \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2 + Q_3^2}, \quad (2.1)$$

Складаючи рівняння рівноваги знаходимо значення складових сил закріплення враховуючи сили які діють на заготовку. Для сил які намагаються повернути заготовку навколо ребра нерухомої губки:

$$Q_1 b - P_z a = 0, \quad (2.2)$$

$$Q_1 = \frac{P_z a}{b} = \frac{378.5 * 76}{125} = 230 \text{ Н}, \quad (2.3)$$

Для сил які намагаються змістити заготовку вздовж осі  $Ox$ :

$$2F_{\text{тр}} - P_x = 0, \quad (2.4)$$

Сила тертя що виникає між поверхнями заготовки та губками лещат внаслідок затиску має наступний вигляд:

$$F_{\text{тр}} = Qf, \quad (2.5)$$

Де  $Q$  – сила закріплення;

$f = 0.55$  – коефіцієнт тертя між контактуючими поверхнями заготовки та елементів пристосування;

Тоді рівняння (2.4) матиме наступний вигляд:

$$2Q_2 f - P_x = 0, \quad (2.6)$$

$$Q_2 = \frac{P_x}{2f} = \frac{208.2}{2 * 0.55} = 189.3 \text{ Н}, \quad (2.7)$$

Розрахунок для сил закріплення, що намагаються повернути заготовку навколо опорної частини лещат:

$$2Q_3 f b - P_y a = 0, \quad (2.8)$$

$$Q_3 = \frac{P_y a}{2fb} = \frac{151.4 * 76}{2 * 0.55 * 125} = 83.7 \text{ Н}, \quad (2.9)$$

Розрахувавши всі необхідні складові, знаходимо значення коефіцієнту запасу користуючись табличними значеннями [8]:

$$\begin{aligned} K &= K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 = \\ &= 1,5 * 1,5 * 1,6 * 1,2 * 1,3 * 1,0 * 1,5 = 8.4, \end{aligned} \quad (2.10)$$

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		45

Де  $K_0 = 1.5$  – гарантований коефіцієнт запасу;

$K_1 = 1.5$  – коефіцієнт, що враховує зміну сили різання, обумовлене нерівномірністю припуску, що знімається при обробці;

$K_2 = 1.6$  – коефіцієнт, що враховує зростання сил різання при затупленні інструментів;

$K_3 = 1.2, K_4 = 1.3, K_5 = 1.0, K_6 = 1.5$ , – коефіцієнти, що враховують специфіку умов закріплення та обробки заготовки;

Всі отримані значення підставляємо у формулу (2.1):

$$Q = K \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2 + Q_3^2} = 8.4 \sqrt{230^2 + 189.3^2 + 83.7^2} = 2599 \text{ Н}, \quad (2.11)$$

*Розрахунок необхідної сили затиску для операції 020:*

При обробці поверхонь деталі «корпус горизонтального редуктора» на операції 020 самими несприятливими умовами виникають при чорновому розточуванні точного отвору діаметром  $\varnothing 50H7$ . Розточування отвору відбувається за допомогою розточувальної головки, режими та складові сил різання розраховані на попередніх етапах за допомогою розрахунково-аналітичного методу:

- Швидкість різання:  $V_{\text{чорн}} = 81.3 \frac{\text{М}}{\text{ХВ}}$ ;
- Подача на оберт:  $S = 0.8 \frac{\text{ММ}}{\text{об}}$ ;
- Швидкість обертання шпинделя:  $n = 540 \frac{\text{об}}{\text{ХВ}}$ ;
- Тангенціальна складова сил різання:  $P_z = 665.4 \text{ Н}$ ;
- Осьова складова сил різання:  $P_x = 477,1 \text{ Н}$ ;
- Радіальна складова сил різання:  $P_y = 224,3 \text{ Н}$ ;

Користуючись методикою представленою в методичних вказівках [7], щодо розрахунку затискних систем пристрою проводимо розрахунок. При обраній схемі базування на операції 020 рис. 2.5., виникають сили які намагаються зрушити заготовку вздовж осі  $Ox$ , повернути заготовку навколо осі  $Oy$ , зрушити заготовку вздовж осі  $Oz$ . Даним силам протидіють сили тертя які виникають при затиску деталі прижимами в 4 точках  $W$ .

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		46

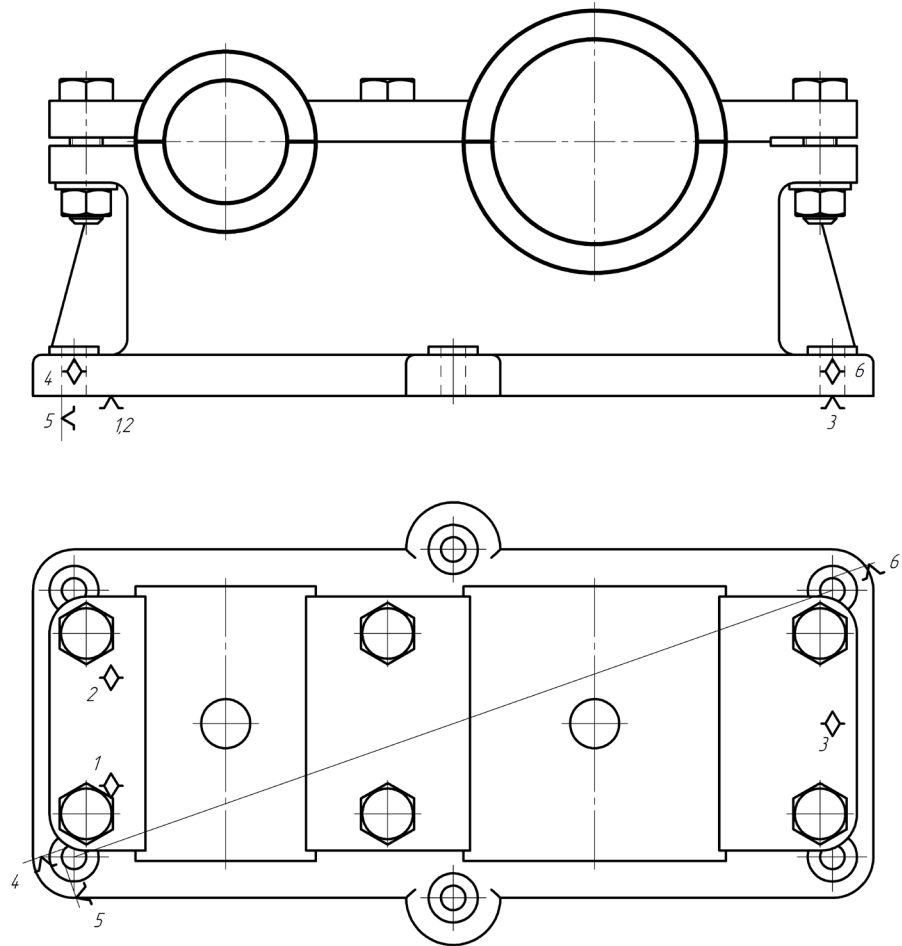


Рис.2.5. Схема базування на операції 020

Для кожного з випадків сил які намагаються зрушити заготовку складаємо рівняння рівноваги в найбільш несприятливих положення різця розточувальної головки. Для сил які намагаються зрушити заготовку вздовж осі  $Ox$  рівняння рівноваги матиме вигляд:

$$F_{\text{тр}} - P_z = 0, \quad (2.12)$$

$$F_{\text{тр}} = 4W_1 f \quad (2.13)$$

Де  $4W_1 = W_1 + W'_1 + W''_1 + W'''_1$  – сила затиску, оскільки сила яка розвивається кожним прихватом є однакова;

$$\begin{aligned} K &= K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 = \\ &= 1,5 * 1,5 * 1,3 * 1,0 * 1,3 * 1,0 * 1,0 = 3,8, \end{aligned} \quad (2.10)$$

Де  $K_0 = 1.5$  – гарантований коефіцієнт запасу;

$K_1 = 1.5$  – коефіцієнт, що враховує зміну сили різання, обумовлене нерівномірністю припуску, що знімається при обробці;

					Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	47

$K_2 = 1.3$  – коефіцієнт, що враховує зростання сил різання при затупленні інструментів;

$K_3 = 1.0, K_4 = 1.3, K_5 = 1.0, K_6 = 1.0$ , – коефіцієнти, що враховують специфіку умов закріплення та обробки заготовки;

$f = 0,16$  – значення коефіцієнту тертя між контактуючими обробленою поверхнею заготовки та поверхнею елемента верстатного пристосування.

Зробивши заміну у формулі (2.12) підставивши (2.13) матимемо формулу:

$$4W_1f - P_zK = 0, \quad (2.14)$$

$$W_1 = \frac{P_zK}{4f} = \frac{665.4 * 3,8}{4 * 0.16} = 3950 \text{ Н}, \quad (2.15)$$

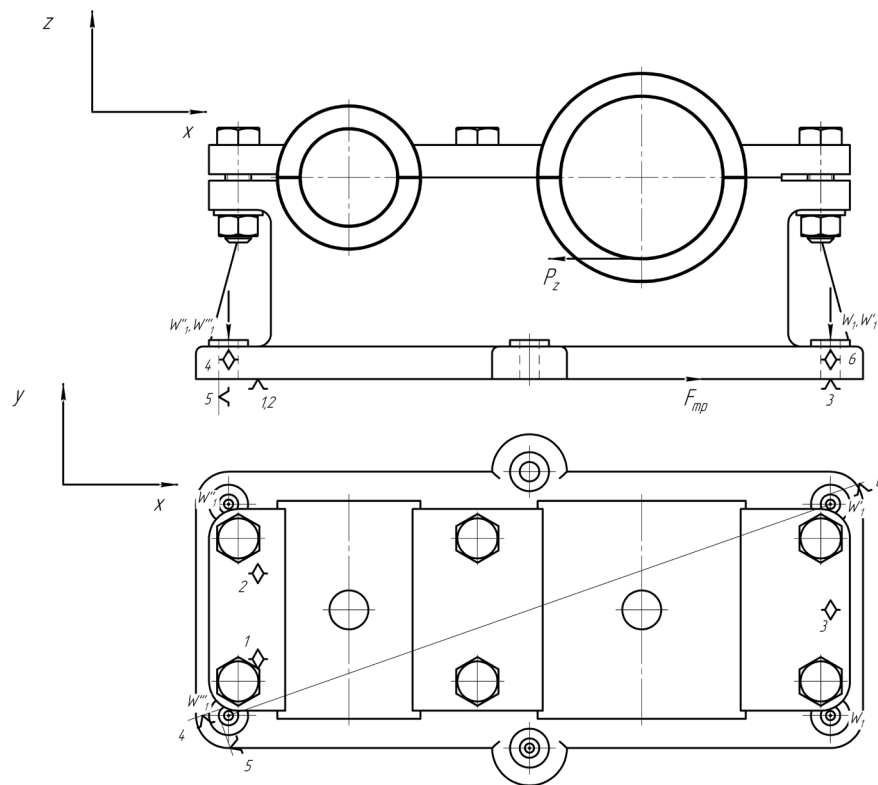


Рис.2.6. Схема сил які діють при зміщенні заготовки вздовж осі  $Ox$

Розраховуємо сили затиску для сил які намагаються повернути заготовку навколо осі  $Oy$  склавши рівняння рівноваги моментів використовуючи схему на рис. 2.7., формула матиме вигляд:

$$b(W_2 + W'_2) + c(W''_2 + W'''_2) - P_z aK = 0 \quad (2.16)$$

$$b * 2W_2 + c * 2W_2 - P_z aK = 0 \quad (2.17)$$

$$2W_2(b + c) - P_z aK = 0 \quad (2.18)$$

					Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	48

$$W_2 = \frac{P_z a K}{2(b + c)} = \frac{665.4 * 117.02 * 3.8}{2(195 + 10)} = 721 \text{ Н} \quad (2.19)$$

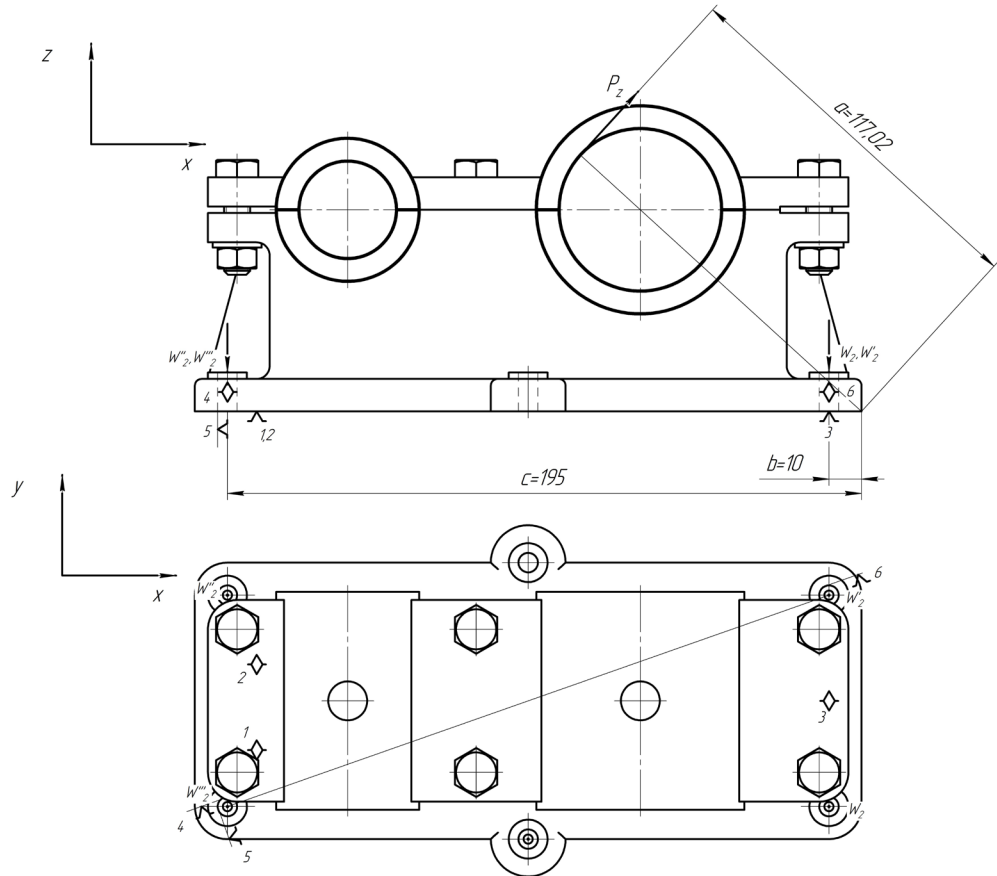


Рис. 2.7. Схема сил які діють при провертанні заготовки навколо осі Оу  
 Розраховуємо сили затиску для сил які намагаються зрушити заготовку  
 вздовж осі Oz склавши рівняння рівноваги використовуючи схему на рис.

2.8., формула матиме вигляд:

$$P_z K - W_3 - W'_3 - W''_3 - W'''_3 = 0, \quad (2.20)$$

$$P_z K - 4W_3 = 0, \quad (2.21)$$

$$W_3 = \frac{P_z K}{4} = \frac{665.4 * 3.8}{4} = 632.13 \text{ Н} \quad (2.21)$$

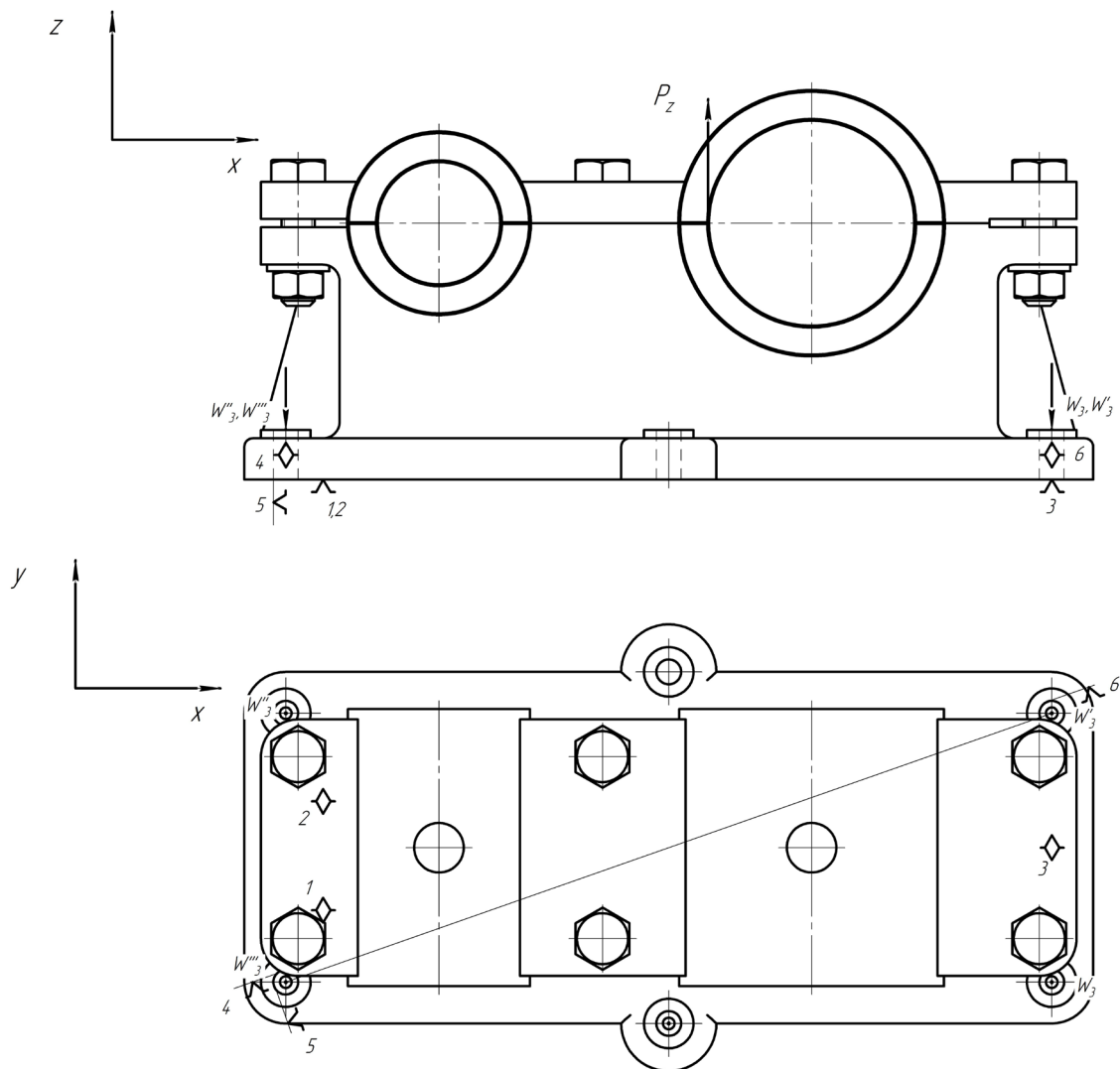


Рис.2.8. Схема сил які діють при зміщенні заготовки вздовж осі  $Ox$

Після знаходження значення сил закріплення для кожного з 3-х випадків положення різця розточувальної головки, для подальшого розрахунку силових механізмів пристроїв обираємо випадок коли сили намагаються змістити заготовку вздовж осі  $Ox$ , в даному випадку для компенсації цих сил необхідно мати найбільшу силу затиску яку розвиває кожен прихват  $W_1 = 3950 \text{ Н}$

### 2.2.2. Розрахунок силових механізмів пристроїв

При попередньому розрахунку сил закріплення  $W$ , які необхідні щоб досягти надійне закріплення деталі в пристосування, дана сила досягається за рахунок обертання затискної гайки прихватів за допомогою гайкового ключа. Відповідно для даного випадку будемо схему сил:

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		50

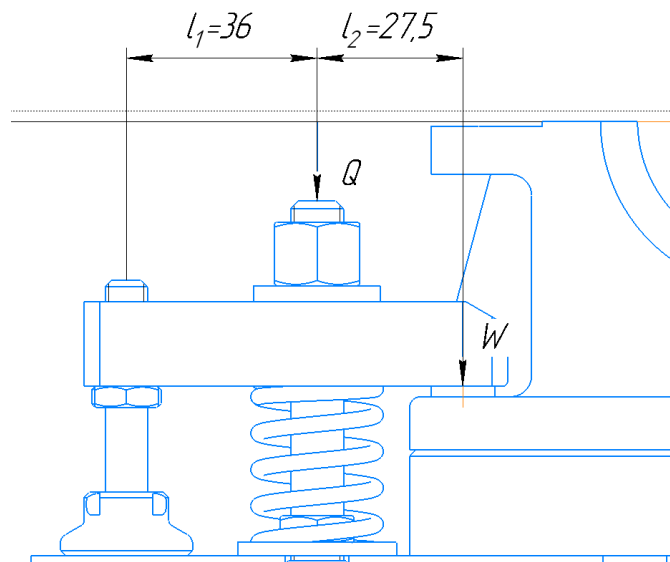


Рис.2.9. Схематичне зображення сил при затиску деталі прихватом.

Для даної схеми передавального механізму розрахуємо силу  $Q$  яку необхідно досягнути робітникові при загвинчуванні гайки знаючи значення  $W = 3950$  Н, яке необхідно досягнути на прихваті. Відповідно маємо формулу розрахунку:

$$W(l_1 + l_2) = Ql_1\eta, \quad (2.22)$$

$$Q = \frac{W(l_1 + l_2)}{l_1\eta} = \frac{3950 * (36 + 27,5)}{36 * 1} = 6967 \text{ Н}, \quad (2.23)$$

Де  $\eta = 1$  - коефіцієнт корисної дії між прихватом та її опорою

Для розрахунку сили яку необхідно прикласти робітнику для затиску заготовки використовуємо значення яке необхідно досягти прихватом для надійного закріплення заготовки у верстатному пристосуванні. Формула для розрахунку сил затиску матиме вигляд [7]:

$$F_{\text{роб}} = Q \frac{1}{l} \left[ \frac{d_{\text{ср}}}{2} \tan(\alpha + \varphi_{\text{пр}}) + \frac{1}{3} * \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} f \right], \quad (2.24)$$

Де  $l = 200$  мм - довжина рукоятки гайкового ключа;

$d_{\text{ср}} = 9,18$  мм – середній діаметр різьби М10;

$\alpha = 2^\circ$  - кут підйому різьби;

$\varphi_{\text{пр}} = \text{atan} \left( \frac{0.15}{\cos(60^\circ)} \right) = 16.7^\circ$  - приведений кут тертя в різьбовій парі;

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		51

$D = 15,2$  ,  $d = 10$  – зовнішній і внутрішній діаметр опорного торця гайки;

$W = 6967$  Н – сила затиску прихвату.

Всі необхідні значення заносимо до формули (2.22):

$$F_{\text{роб}} = 6967 \frac{1}{200} \left[ \frac{9,18}{2} \tan(2^\circ + 16,7^\circ) + \frac{1}{3} * \frac{15,2^3 - 10^3}{15,2^2 - 10^2} 0,15 \right] = 116.7 \text{ Н}, (2.25)$$

Сила яку необхідно прикласти робітникові при затягуванні гайковим ключем гайки прихвату не перевищує допустиме значення 200 Н.

### 3. ВИРІШЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ПИТАНЬ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

#### 3.1. Способи розрахунку припусків на механічну обробку.

Якість продукції машинобудування закладається і забезпечується на етапах дослідження, розроблення (проектування) і саме виробництва.

Точність деталі дає зрозуміння відповідності її вимогам кресленника за розмірами, геометричною формою, правильністю розташування оброблених поверхонь а також за вимогами шорсткості. В умовах автоматизованого виробництва, наприклад, при використанні верстатів з ЧПК, задану точність отримують (забезпечують) шляхом автоматичного отримання розмірів на попередньо налаштованому обладнанні.

Технологічний процес (ТП) виготовлення деталі частіше багатоопераційний і для впровадження автоматичного нанесення розмірів необхідно попередньо на етапі проектування ТП розрахувати проміжні (лінійні та діаметральні) розміри і припуски на поверхні деталі, що оброблюється.

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		52

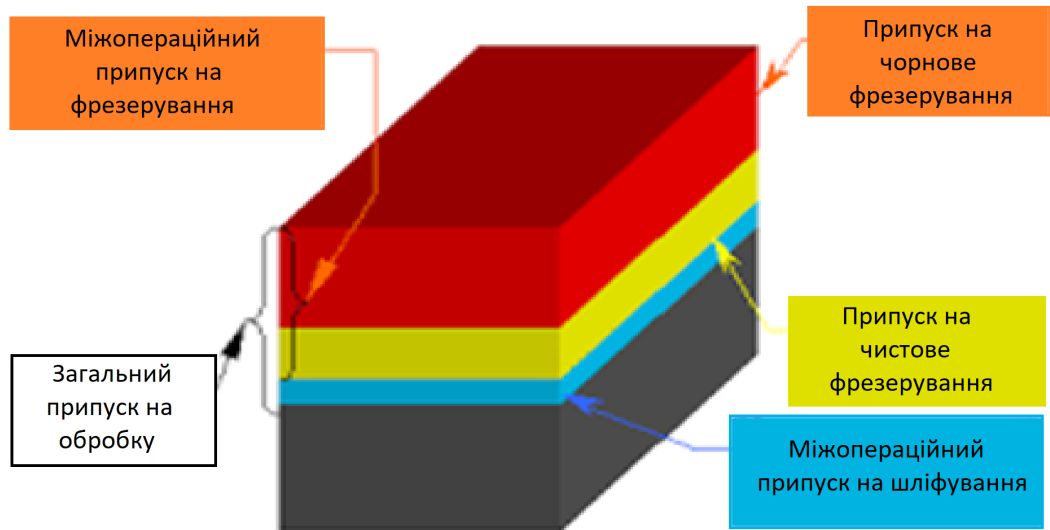


Рис.3.1. Графічне зображення елементів припуску на механічну обробку

Припуском на механічну обробку є шар матеріалу який лишають на оброблюваній поверхні заготовки який знімається на технологічних операціях будь то фрезерування, точіння чи шліфування призначений для досягнення розмірів, форми, шорсткості які задані за кресленням чи технічними вимогами.

Підвищені припуски призводять до перевитрат матеріалу заготовки, додаткових технологічних переходів, витрати різального інструменту і як результат підвищення собівартості деталі. Занижені припуски не гарантують видалення дефектних шарів матеріалу і заданої шорсткості оброблених поверхонь. Таким чином збільшується брак і собівартість продукції.

Експериментально-статистичний метод встановлення припусків за таблицями має недоліком те, що припуски в багатьох випадках завищені, щоб уникнути браку бо не аналізуються умови виконання операцій.

Розрахунково-аналітичний метод визначає мінімальне значення проміжного припуску, достатнього для усунення дефектів і неточності, що отримані на попередніх технологічних переходах і виникли на виконуваному переході. Це методика розрахунку припусків, розроблена проф. В. М. Кованом і враховує конкретні умови виконання ТП обробки.

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		53

### 3.2. Розрахунок припусків на механічну обробку альтернативними методами.

Основою обох методів є розрахунок мінімальної величини припуску ( $Z_{i \min}$ ). Згідно з загальноприйнятою методикою величина мінімального припуску має бути достатньою для усунення дефектів поверхневого шару ( $Rz_{i-1}$  і  $h_{i-1}$ ) і похибок оброблення, таких як просторові відхилення ( $\Delta_{\Sigma i-1}$ ), отриманих на попередніх технологічних переходах і компенсації похибки установлення заготовки ( $\epsilon_i$ ), що виникає на переході, що виконується. Всі компоненти є довідковими.

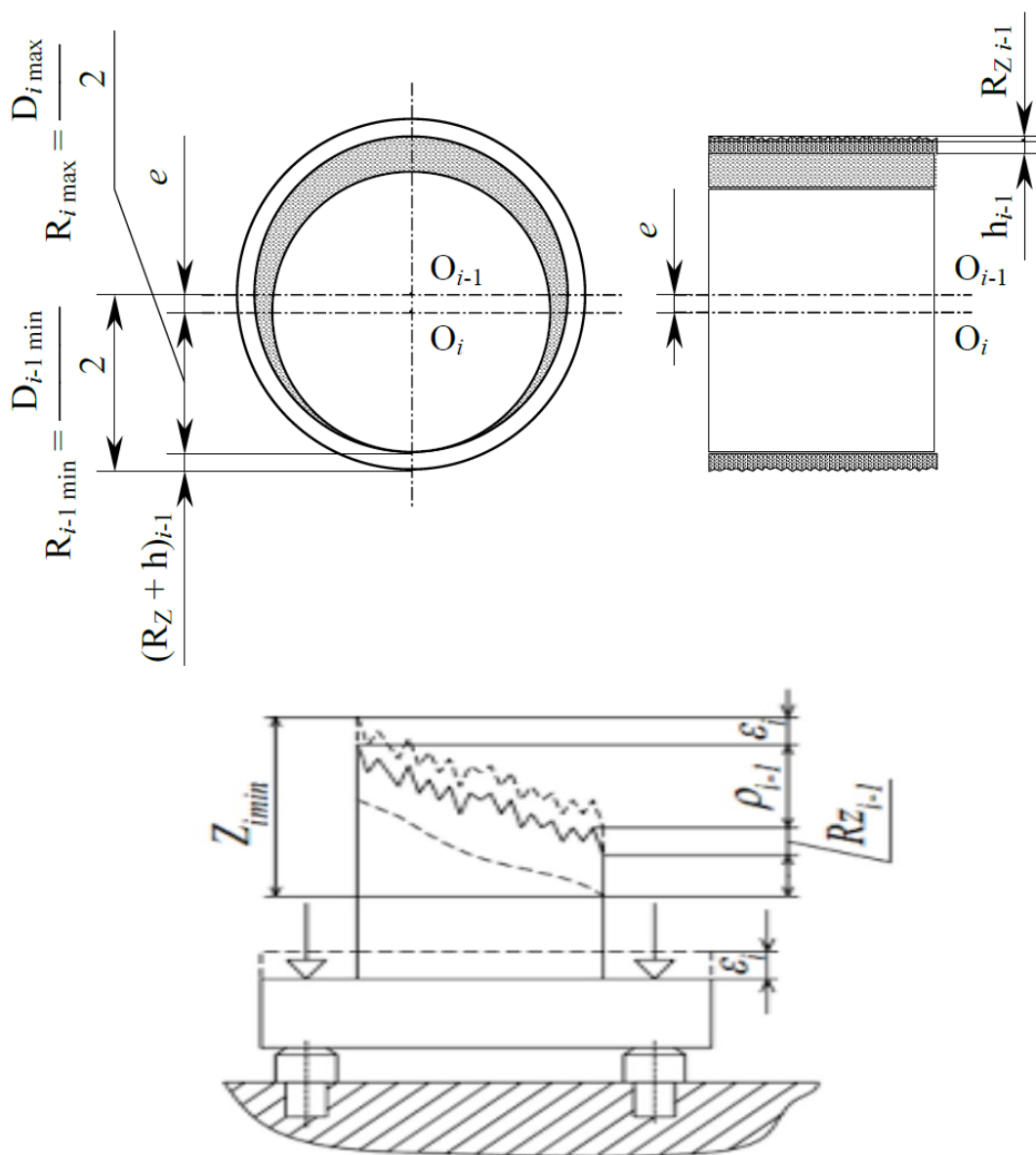


Рис.3.2. Схематичне представлення складових необхідних для розрахунку припусків

Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

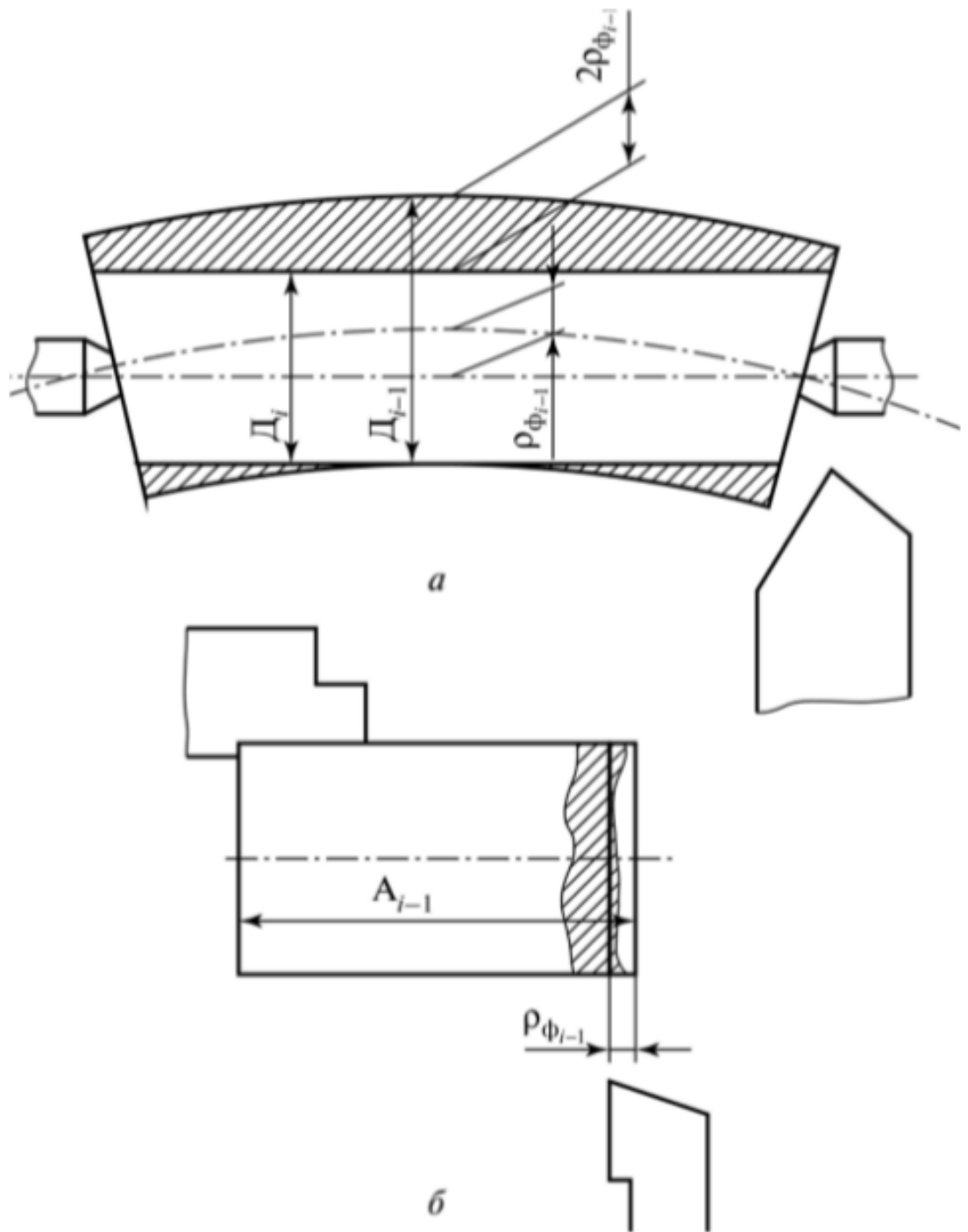


Рис.3.3. Графічне представлення відхилення форми припуску при обробці

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		55

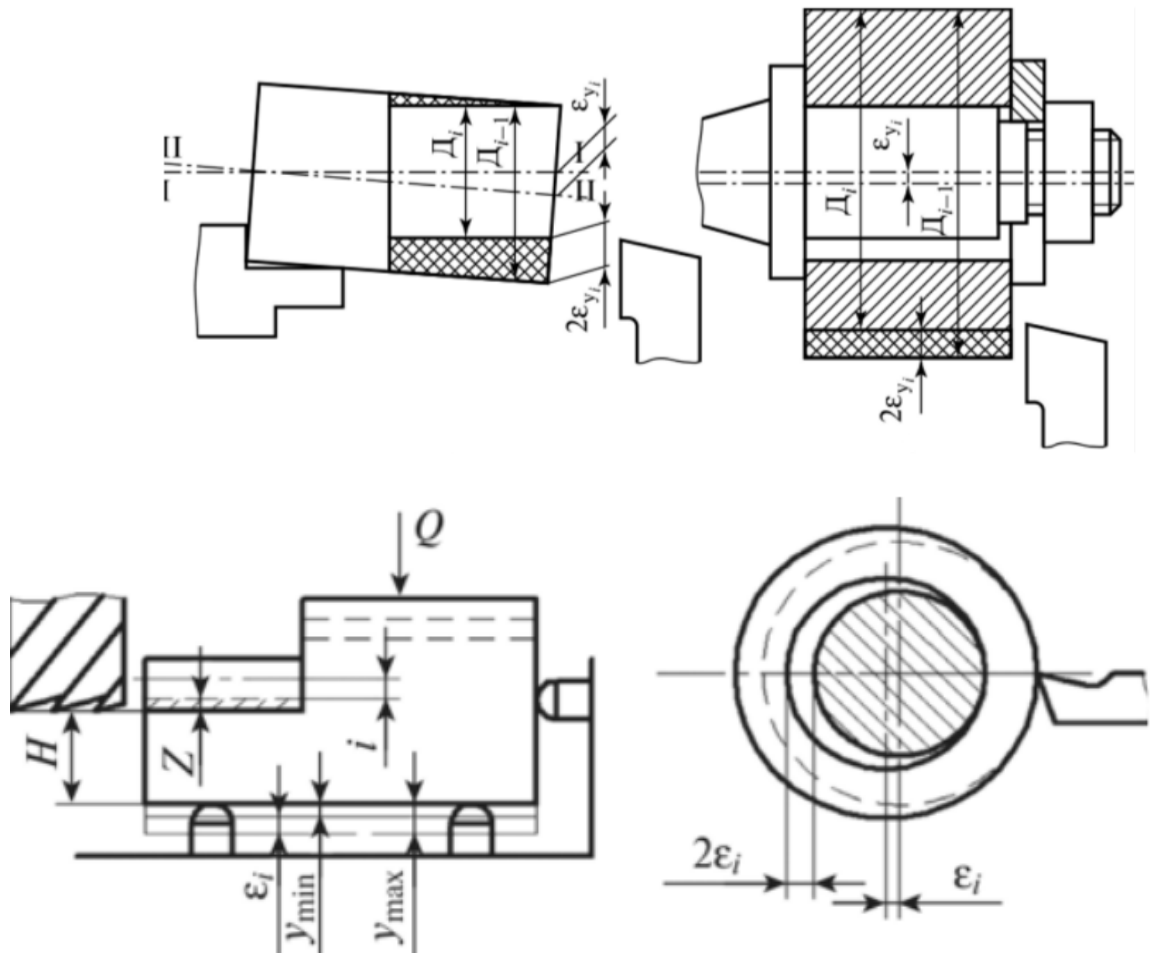


Рис.3.4. Графічне представлення похибок які виникають при встановленні деталі.

За альтернативним методом мінімальну величину припуску на сторону розраховують з урахуванням дефектів поверхневого шару ( $Rz_{i-1}$  і  $h_{i-1}$ ) і векторну суму ( $\Delta_{\Sigma i-1}$  і  $\epsilon_i$ ) замінюють нерівномірності припуску, ( $e_{max}$ ). Нерівномірність припуску - це сумарне векторне значення просторових відхилень, що виникають на попередній операції (переході), включає похибку установлення та неконтрольовані похибки форми або обробки. Вони визначаються на основі розрахунку биття, що виникає при виготовленні та обробці поверхонь обертання заготовки по всьому ТП виготовлення осесиметричної деталі. Таким чином, нерівномірність припуску ( $e_{max}$ ) є розрахунковим параметром. Згідно з загальноприйнятою методикою з урахуванням двостороннього припуску величина мінімального діаметру валу на попередньому етапі оброблення ( $D_{min i-1}$ ) і максимального

діаметрального отвору на попередньому етапі оброблення ( $D_{max i-1}$ )

розраховуються за такими формулами:

$$D_{min i-1} = D_{min i} + 2z_{min i}, \quad (3.1)$$

$$D_{max i-1} = D_{max i} - 2z_{min i}, \quad (3.2)$$

Де  $D_{min i}$  та  $D_{max i}$  відповідно мінімальний і максимальний діаметри на переході, що виконується.

Із формул (3.1) та (3.2) мінімальний припуск через діаметральні розміри, може бути записаний для валу і отвору:

$$z_{min i} = \frac{(D_{min i-1} - D_{min i})}{2}, \quad (3.3)$$

$$z_{min i} = \frac{(D_{max i} - D_{max i-1})}{2}, \quad (3.4)$$

Формули (3) і (4) з точки зору теорії розмірних ланцюгів це розмірні ланцюги, в яких замикаючою ланкою є мінімальний припуск, а складовими ланками є два діаметральних розміри попереднього і виконуваного переходів. При визначенні мінімуму замикаючої ланки необхідно від мінімального значення розміру відняти максимальне значення розміру. Тоді формули (3.3) і (3.4) відповідно повинні мати такий вигляд:

$$z_{min i} = \frac{(D_{min i-1} - D_{max i})}{2} = z_{min i}^f, \quad (3.5)$$

$$z_{min i} = \frac{(D_{min i} - D_{max i-1})}{2} = z_{min i}^f, \quad (3.6)$$

Ці формули (3.5) і (3.6) і використовуються в альтернативному методі розрахунку мінімального припуску ( $z_{min i}^f$ ) для обробки валів і отворів відповідно.

В альтернативному методі ми й користуємось при визначенні значень припусків формулою (3.3). Різницю між формулами їх значеннями представимо графічно, порівнюючи розрахунково-аналітичний метод професора Кована та альтернативний метод представлений в [8,10]:

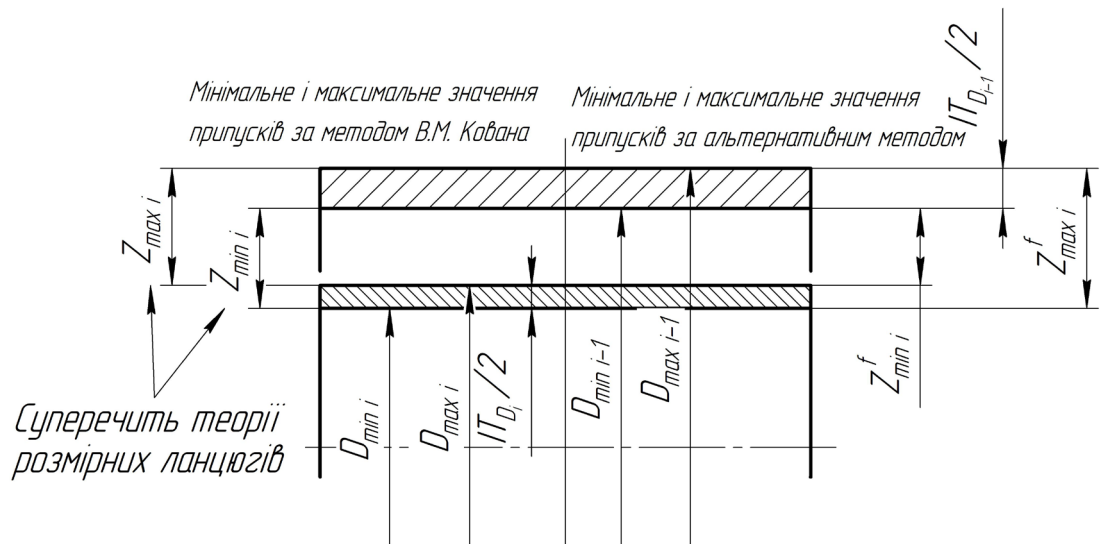


Рис.3.5. Графічне представлення припусків на обробку зовнішньої поверхні за методом В.М. Кована і відповідно за альтернативним методом їх визначення.

Розрахункова карта для розрахунку припусків на обробку та граничних розмірів по технологічним переходам для елементарної поверхні йде в напрямку від її кінцевого стану оброблення до початкову заготовки. Напрямок розрахунку протилежний послідовності формування масиву даних, а дані для розрахунку величини мінімального припуску знаходяться в різних рядках. Це незручно і ускладнює роботу відповідних алгоритмів і програм. Також карта даних, які не використовуються в розрахунку

Технологічні переходи обробки поверхні №4	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $z_{min}$ , мкм	Розрахунковий розмір $h_p$ , мм	Допуск $T$ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	T	$\Delta_\Sigma$	$\epsilon$				$h_{min}$	$h_{max}$	$z_{min}^{np}$	$z_{max}^{np}$
Заготовка	(400 + 124)		-	-	62,531	1000	62,531	63,531	-	-	
Фрезерування чорнове	50	50	7,44	(100)	= 624	61,907	740	61,907	62,647	624	884
Фрезерування чистове	-	-	-	100	207	61,7	300	61,7	62	207	647
										831	1531

Значення які не беруть участі у розрахунку

Результат записаний в інший рядок

Рис.3.6. Розрахункова карта припусків на обробку граничних розмірів технологічних переходів для елементарної поверхні.

При розрахунку величини мінімальних припусків на діаметральні розміри по методу проф. Кована, але способом максимуму-мінімуму можна отримати припуски рівними нулю.

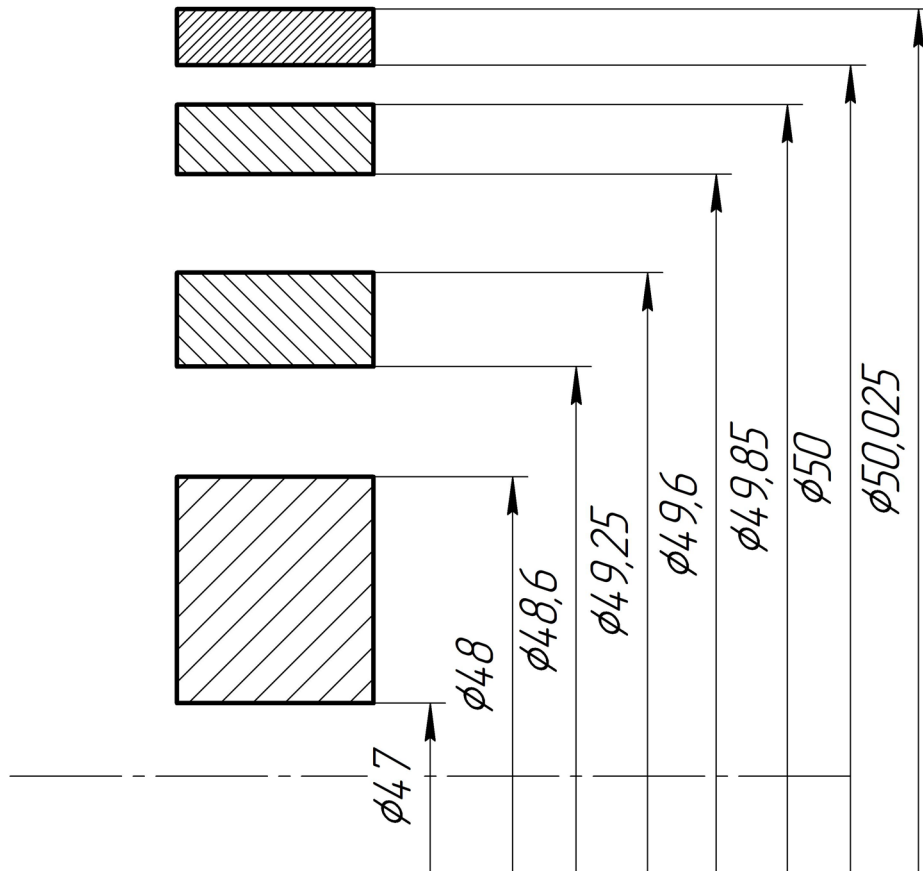


Рис.3.7. Графічне зображення результатів розрахунку граничних розмірів технологічних переходів для елементарної поверхні за альтернативним методом.

Використовуючи методику [10] проведемо розрахунок припусків альтернативним методом для точного отвору  $\varnothing 50H7$  та отримані значення заносимо до таблиці 3.1.

Значення розрахункове значення мінімального припуску:

$$z_{\min 1} = Rz_0 + h_0 + e_{\max 1} = 400 + 104 = 504 \text{ мкм}, \quad (3.7)$$

$$z_{\min 2} = Rz_1 + h_1 + e_{\max 2} = 50 + 50 + 104 = 204 \text{ мкм}, \quad (3.8)$$

$$z_{\min 3} = Rz_2 + h_2 + e_{\max 3} = 5 + 5 + 104 = 114 \text{ мкм}, \quad (3.9)$$

$e_{\max 1} = e_{\max 2} = e_{\max 3} = 104$  мкм, - значення нерівномірності припуску, дане значення є векторною сумою просторових відхилень та

похибок установок та базування деталі, яке розраховане на попередніх етапах за формулами (1.3-1.7).

Розрахунок значення діаметру отвору на попередній обробці за формулою:

$$D_0 = D_1 - 2z_{\min 1} - ES_0 = 48.6 - 2 * 0.504 - 1 = 46.942, \quad (3.9)$$

$$D_1 = D_2 - 2z_{\min 2} - ES_1 = 49.6 - 2 * 0.204 - 0.65 = 48.542, \quad (3.10)$$

$$D_2 = D_3 - 2z_{\min 3} - ES_2 = 50 - 2 * 0.114 - 0.25 = 49.522, \quad (3.11)$$

Проводимо округлення даних значень діаметрів з точністю до десятих міліметра та з врахуванням даних округлень приймаємо значення мінімального припуску.

Прийняте значення максимальних значень припуску:

$$z_{\max 1}^f = \frac{(D_{\max 1} - D_{\min 0})}{2} = \frac{(48,6 - 46)}{2} = 1,3, \quad (3.12)$$

$$z_{\max 2}^f = \frac{(D_{\max 2} - D_{\min 1})}{2} = \frac{(49,6 - 47,95)}{2} = 0,825, \quad (3.13)$$

$$z_{\max 3}^f = \frac{(D_{\max 3} - D_{\min 2})}{2} = \frac{(50.025 - 49.35)}{2} = 0.3375, \quad (3.14)$$

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таблиця 3.1. Результати розрахунку припусків альтернативним

методом

Технологічні переходи обробки отвору $\varnothing 50H7$	Номер технологічної операції	Розміри $D_i$ , мм		Граничні відхилення, мм	
		Розраховані	Прийняті		
1	2	3	4	5	
Заготовка	-	46,942	47	+1.0	
Розточування чорнове	020	48,542	48,6	+0.65	
Розточування чистове	020	49,522	49,6	+0.25	
Розточування тонке	020	50	50	+0.025	
Елементи припуску, мм			Значення припуску $Z_{\min i}$ , мм	Прийняті значення припусків	
$RZ_{i-1}$	$h_{i-1}$	$e_{\max}$		$Z_{\min i}^f$	$Z_{\max i}^f$
6	7	8	9	10	11
-	-	-	-	-	-
400		104	0,504	0,533	1,3
50	50	104	0,204	0,233	0,825
5	5	104	0,114	0,153	0,3375

Таким чином методика проф. В.М. Кована має наступні особливості:

1. Розрахунок мінімальних припусків протирічить теорії розмірних ланцюгів.
2. При розрахунку величини мінімальних припусків на діаметральні розміри по методу проф. Кована, але способом максимуму-мінімуму можна отримати припуски рівними нулю.
3. Зайва інформація, яка не використовується в розрахунку.
4. Напрямок розрахунку протилежний напрямку створення масиву даних, що ускладнює розробку алгоритмів і програм.
5. Дані для розрахунку величини мінімального припуску знаходяться в різних рядках. Це незручно і ускладнює роботу відповідних алгоритмів і програм.

Розрахунок проміжних припусків на діаметральні розміри альтернативним методом базується на використанні методу максимуму-мінімуму, що забезпечити повну взаємозамінність, і відсутність браку при обробленні осесиметричних деталей

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		61

## Список використаної літератури

1. Справочник технолога-машиностроителя: Том 1 / Под ред. кандидатов технических наук А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова.
2. Справочник технолога-машиностроителя: Том 2 / Под ред. кандидатов технических наук А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова.
3. Данилова Л.М., Фролов В.К., Задерій О.М., Бецко Ю.М - Методичні рекомендації до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Технології машинобудування» для студентів спеціальності 133 «галузеве машинобудування» / Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2017.
4. ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку.
5. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Под ред. А. Ф. Горбацевича. – Минск: Вышейш. Шк., 1975. - 287 с.
6. Каталог інструментальної продукції для фрезерування та точіння фірми Iscar. URL:  
<https://www.iscar.com.ua/newarticles.aspx/countryid/46/newarticleid/2393>
7. Приходько В.П. – Розроблення та розрахунок конструкцій верстатних пристроїв. Методичні матеріали для виконання курсового і дипломного проектів / Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2022
8. Скібін В.В., Медведєв В.С. – Лекційний матеріал. Загальні принципи розрахунку силового розрахунку/ Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»
9. Валетов В. А., Помпеев К. П. – Технология приборостроения. Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013 г. – 234 с.
10. Khalimonenko A D , Pompeev K. P., Timofeev D. Y. Method of Calculating Intermediate Diametral Sizes and Allowances for Designing Technology of Manufacture of Details AER-Advances in Engineering Research. 2017. №133. pp. 312-317. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/aime-17/25885183>
11. Технологічні основи машинобудування. Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів спеціальностей 131

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		62

Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування всіх форм навчання. / С.П.Сапон. – Чернігів: НУЧП, 2020. – 39с.

12. Навчальний посібник [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 данні (1 файл 12,92 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 147 с.

						Арк
Изм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		63