

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

«На правах рукопису»
УДК 621.9

«До захисту допущено»

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

“ ” 2023 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою

«Технології машинобудування»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Технологічно-конструкторське забезпечення виготовлення деталі
«Кришка пневмоциліндра»

Виконав:
студент 4 курсу, групи МТ-91

Процюк Андрій Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник:

Доцент кафедри, к. т. н., доцент Фролов В.К.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Доцент кафедри КМ НН ММІ, к. т. н., доцент Верба І.І.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2023 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП.ННММІ.МТ9104.00.ПЗ	Пояснювальна записка	82	
3	A1	ДП.ННММІ.МТ9104.01.Д		1	
4	A1	ДП.ННММІ.МТ9104.02.Т		1	
5	A2	ДП.ННММІ.МТ9104.03.Т		1	
6	A1	ДП.ННММІ.МТ9104.04.Т		1	
7	A1	ДП.ННММІ.МТ9104.05.Т		1	
8	A1	ДП.ННММІ.МТ9104.06.Т		1	
9	A1	ДП.ННММІ.МТ9104.07.К		1	

				ДП МТ9104 00.000.00	
	ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн	Процюк А. В.			Лист	Листів
Керівн.	Фролов В. К.			1	1
Консульт.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ТМ Гр. МТ-91	
Н/контр.					
Зав.каф	Охріменко О.А.				

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

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту

Процюк Андрій Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломного проєкту Технологічно-конструкторське забезпечення виготовлення деталі «Кришка пневмоциліндра» _____

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

затверджені наказом по університету від «25» травня 2023р. № 1951-с

2. Термін подання студентом дипломного проєкту «15» червня 2023р.

3. Вихідні дані до проєкту

1. Кресленик деталі «Кришка пневмоциліндра»

2. Величина замовлення – 1000 штук.

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

1. Розроблення креслеників деталі та заготовки.
2. Проектування маршрутного й операційного процесу виготовлення деталі.
3. Проектування складальних креслеників верстатних пристроїв.
4. Випробування деталі на допустимі напруження, зміщення і деформацію
5. Перелік графічно - ілюстративного матеріалу:
 1. Кресленики деталі та заготовки – 1-2 аркуші.
 2. Схеми технологічних переходів операцій – 2-3 аркуші.
 3. Візуалізація технологічних переходів за допомогою САМ-системи – 1 аркуш.
 4. Кресленики пристроїв – 1-2 аркуші
 5. Випробування деталі на допустимі напруження, зміщення і деформацію – 1-2 аркуші
6. Консультанти розділів проєкту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів дипломного проєкту	Примітка
1	Розроблення креслеників деталі та заготовки	21.04.2023 р.	виконано
2	Проектування маршрутного та операційного процесів виготовлення деталі	12.05.2023 р.	виконано
3	Проектування складальних креслеників верстатних пристроїв	29.05.2023 р.	виконано
4	Випробування деталі на допустимі напруження, зміщення і деформацію	10.06.2023 р.	виконано

Студент

Андрій ПРОЦЮК

Керівник проєкту

Володимир ФРОЛОВ

Анотація

Пояснювальна записка до дипломного проєкту на тему: «Технологічно-конструкторське забезпечення виготовлення деталі «Кришка пневмоциліндра»» складається з 79 сторінок формату А4: в котрій відбувається випробування деталі та пропонується новий спосіб дослідження деталі в програмі SolidWork Simulation; містить в собі 48 ілюстрацію і 17 таблиць; розроблений технологічний процес деталі типу: «Корпус»; розрахунок сил затиску в конструкторській частині; додаток який містить характеристики верстатів.

Графічна частина проєкту складається з 7 листів формату А1 та 1 листа формату А2: корпус деталі з 3D-зображенням; корпус заготовки з 3D-зображенням; схеми технологічних переходів на операціях 015, 020; фрагмент G-коду і параметри вхідних даних для обробки деталей на операції 015 за допомогою САМ-систем; кресленик верстатного пристрою для операції 020; випробування деталі на допустимі напруження, зміщення і деформацію.

В даному дипломному проєкті буде запропонований сучасний метод випробування за допомогою програми SolidWorks Simulation , який дозволить детальніше вивчити властивості матеріалів, провести аналіз напружень та деформацій, оцінити надійність конструкції

Ключові слова: випробування, SolidWorks Simulation, напруження і деформація.

Процюк А. В. Технологічно-конструкторське забезпечення виготовлення деталі «Кришка пневмоциліндра»: дипломний проєкт за напрямом 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / Процюк Андрій Валерійович. – Київ, 2023. – 79 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ У ВУЗЛІ	9
1.1. Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація.....	9
1.2. Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі	11
1.3. Аналіз вибору конструкційного матеріалу	11
2. ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА ТА АНАЛІЗ ЙОГО ВПЛИВУ НА ЗАВДАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПІДГОТОВЛЕННЯ ВИРОБНИЦТВА	12
3. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ НА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ.....	15
4. ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗАГОТОВКИ.....	16
4.1. Визначення виду та способу виготовлення заготовки	16
4.2. Призначення площини рознімання форми та розробка кресленника виливка	18
5. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ БАЗ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	20
6. ПРОЕКТУВАННЯ МАРШРУТІВ ОБРОБЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ПОВЕРХОНЬ	25
7. ПРОЕКТУВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО ТЕХ. ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «КРИШКА ПНЕВМОЦИЛІНДРА».....	27
8. ВИБІР ВЕРСТАТІВ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ	31
9. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИПУСКІВ ДЛЯ ТЕХ. ПЕРЕХОДІВ ОБРОБЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ.....	32
9.1. Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах на оброблення поверхні Ø65H8	34
9.2. Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах на оброблення площини 210H14.....	37
10. ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ	
10.1. Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом	39
10.2. Визначення режимів різання аналоговим методом.....	46

11. НОРМУВАННЯ ТЕХ. ОПЕРАЦІЙ	50
11.1. Розрахунок поштучного часу для операції	50
12. ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ	52
12.1. Розроблення та розрахунок верстатного пристрою	52
12.2. Розрахунок похибки установки.....	54
12.3. Розрахунок точності пристрою за допомогою прикладної програми	56
12.4. Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв.....	57
12.5. Розрахунок силових механізмів пристроїв	61
13. ВИПРОБУВАННЯ ДЕТАЛІ НА ДОПУСТИМІ НАПРУЖЕННЯ, ЗМІЩЕННЯ І ДЕФОРМАЦІЮ	64
13.1. Вступ	64
13.2. Аналіз існуючих способів випробування на допустимі напруження, зміщення і деформації.....	65
13.3. Вирішення проблеми	66
13.4. Висновки	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77
Додатки	79

ВСТУП

Машинобудівна галузь промисловості має велике значення для розвитку держави, оскільки її здатність виробляти продукцію для внутрішнього та зовнішнього ринків сприяє збору коштів до державного бюджету. Розвиток цієї галузі є надзвичайно важливим і буде таким і надалі.

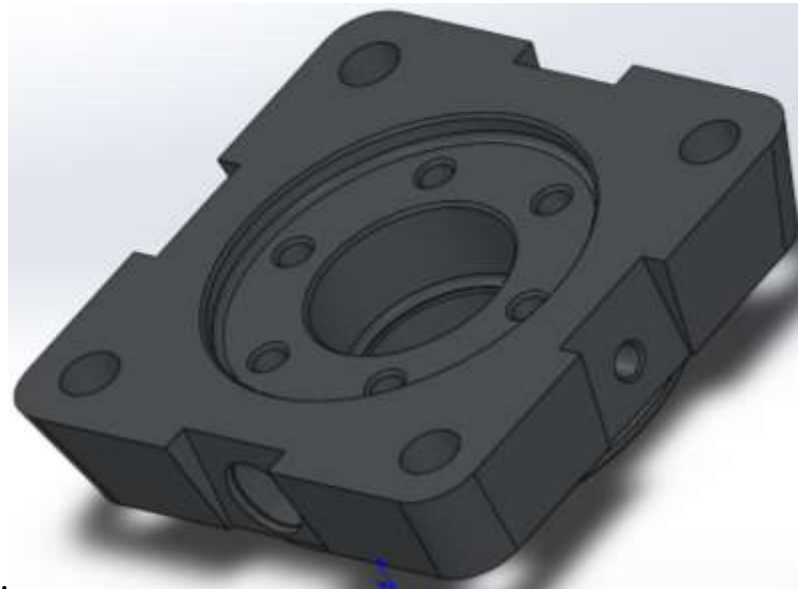
У машинобудуванні завдання технологій полягає у виготовленні деталей, що задовольняють високі стандарти якості з мінімальними витратами та в найкоротший термін. Крім правильної геометрії, необхідно також забезпечити потрібну точність, що стає все більш доступним завдяки сучасним верстатам, верстатним пристроям та інструментальному обладнанню, що йдуть у ногу з науково-технічним прогресом.

Результатом поліпшення технологій є зростання продуктивності виробництва. Важливим фактором є використання сучасних верстатів з ЧПК, розробка нових методів базування та вимірювання заготовок, які істотно підвищують продуктивність виробництва, а також наявність відповідного програмного забезпечення, що сприяє автоматизації виробництва в цілому.

1. АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ У ВУЗЛІ

1.1. Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація

Деталь була розроблена у 3D-системі проектування програмі SolidWorks 2018. В рамках цієї програми є функціонал, що дозволяє обчислювати вагу деталі. Це корисна можливість при визначенні типу



виробництва.

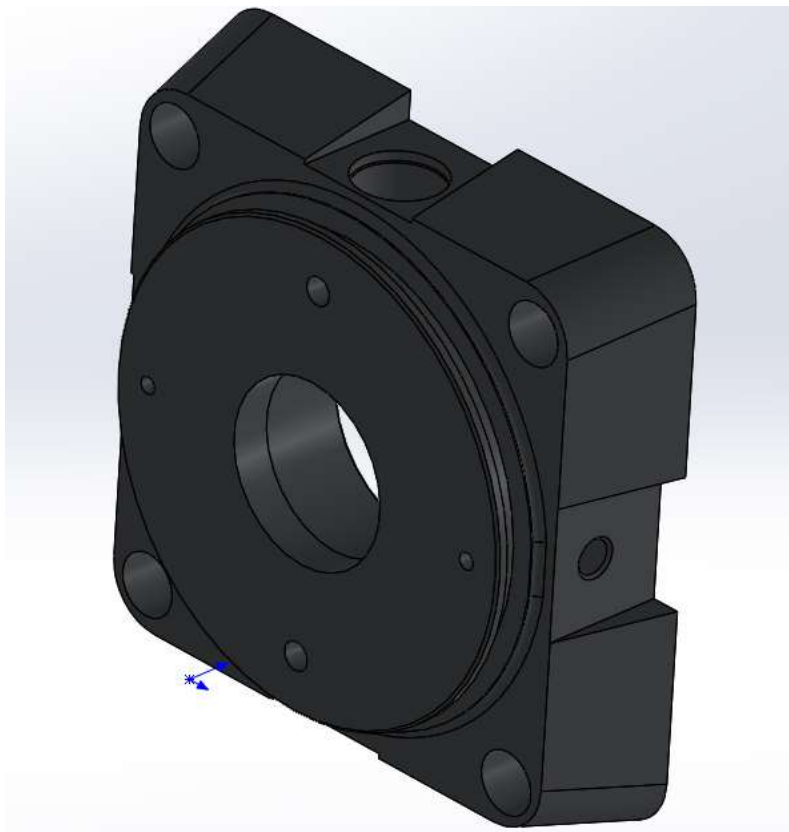


Рис. 1.1. 3D-модель деталі «Кришка пневмоциліндра»

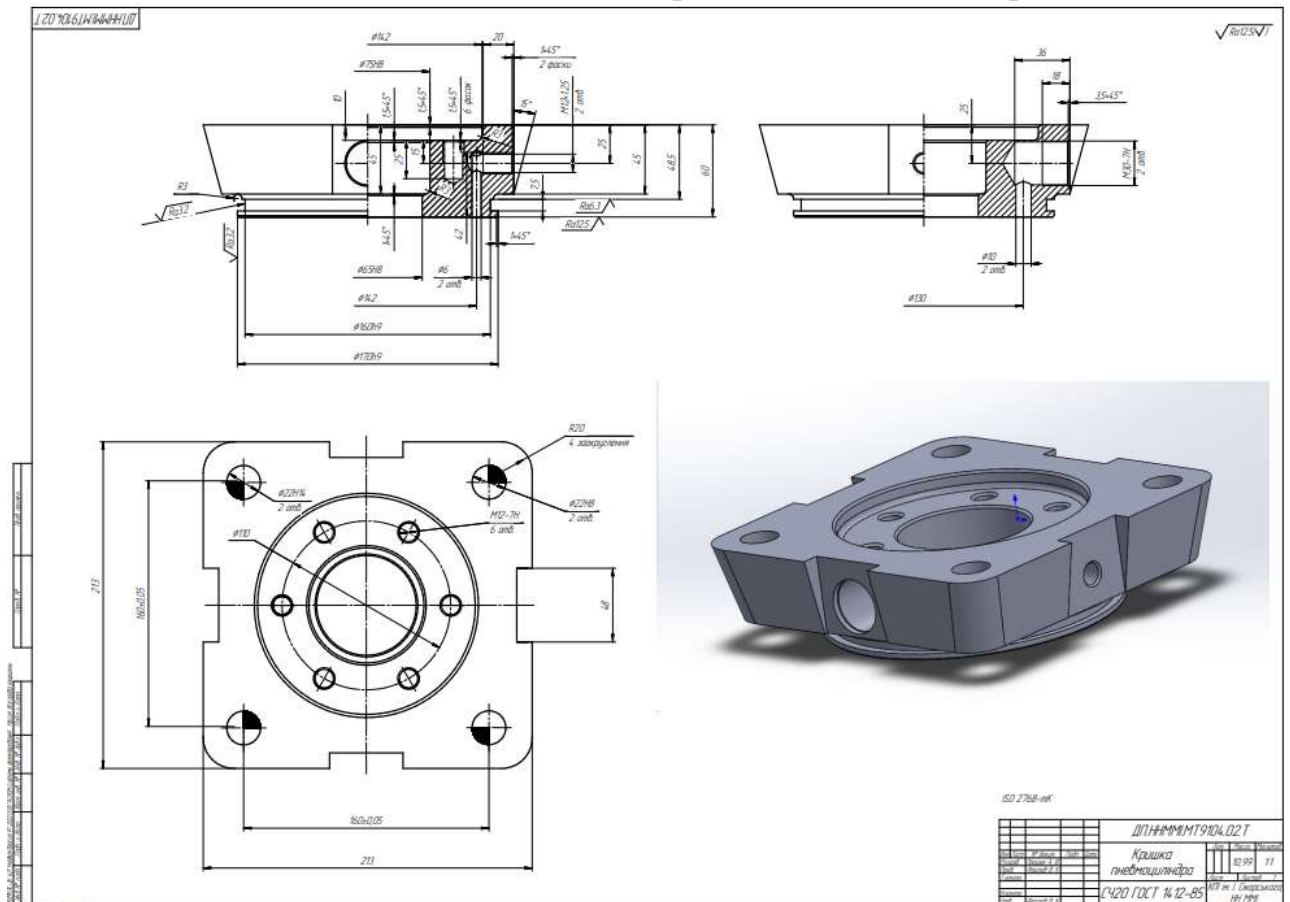


Рис. 1.2. Кресленик деталі «Кришка пневмоциліндра»

Креслення збірки, що містить дану компоненту, відсутні. Однак, враховуючи конфігурацію та розміри, корпус є середнім за розмірами інженерним компонентом. Креслення містять достатню кількість проекцій, розрізів та креслень для повної оцінки конструктивних особливостей компонента. За конструктивними особливостями компоненту "кришка пневмоциліндра" відноситься до групи 3 корпусних компонентів.

Розміри цієї кришки становлять 210 x 210 мм. Даний компонент монтується на корпусі. Кришка має отвори для виведення або кріплення зовнішніх елементів пневмоциліндра. Кришка призначена для використання в закритих приміщеннях, тобто всередині приміщень.

Даний компонент має плоску поверхню достатньої площі, яка може використовуватися як монтажна основа. У цій площині присутні отвори, які разом утворюють повну базову схему, необхідну для компонентів корпусу під час механічної обробки.

1.2. Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі

Складальне креслення «кришки пневмоциліндра» відсутнє, але по даному кресленні деталі можна зробити деякі висновки. На площині Ø160 мм знаходиться кільцеве ущільнення, через отвори Ø22 мм встановлюють 4 шпильки, які стягують гайками, вони слугують для закріплення кришок пневмоциліндра. Конічні нарізи слугують для регулювання тиску. Через отвір Ø65 мм виходить шток, а в Ø75 мм знаходиться ущільнювач, який заривається кришкою яка прикручується до M12-7H.

1.3. Аналіз вибору конструкційного матеріалу

Корпус компонента повинен задовольняти ряд вимог.

Хімічний та фізичний склад повинні відповідати встановленим експлуатаційним характеристикам компонента. Властивості матеріалу повинні бути стабільними протягом всіх циклів навантаження. Крім того, матеріал повинен мати добрі ливарні властивості, такі як висока текучість, мінімальна усадка під час лиття і низький рівень шкідливих домішок.

При литті заготовок, метал повинен відповідати вимогам щодо таких властивостей, як плинність, усадка, легкість розплавлення сплаву, уникнення утворення гарячих тріщин, зменшення газових поглинань та пористості. Також слід приділити увагу процесу заливки металу в форму, забезпечуючи максимально ламінарний потік рідини та уникнення швидкого охолодження форми.

Загалом, важливо забезпечити відповідність матеріалу та процесу лиття вимогам, що дозволить отримати якісний та надійний корпус компонента.

Заготовка деталі «Кришка пневмоциліндра» виготовляється з сірого чавуну марки СЧ20 ГОСТ 1412-85 [1].

Чавун СЧ20 застосовується для виготовлення:

- корпусів;
- блоків циліндрів;
- колеса передач;

- дисків зчеплення;
- гальмівних барабанів тощо.

Фізико-механічні та хімічні властивості СЧ20 ГОСТ 1412-85 [1]:

Химический состав в % материала СЧ20 ГОСТ 1412-85																								
C	Si	Mn	S	P																				
3.3-3.5	1.4-2.4	0.7-1	до 0.15	до 0.2																				
Литейно-технологические свойства материала СЧ20																								
Линейная усадка:				1.2 %																				
Механические свойства при T=20°C материала СЧ20																								
Сортамент	Размер	Напр.	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	KCU	Термообр.																
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж/м ²	-																
Отливки ГОСТ 1412-85			200																					
Твердость СЧ20 ГОСТ 1412-85				HB 10 ⁻³ = 145-205 МПа																				
Физические свойства материала СЧ20																								
T	E 10 ⁻³	α 10 ⁻⁶	λ	ρ	C	Я 10 ⁻⁸																		
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м																		
20	1		54	7100																				
100		9.5			485																			
Зарубежные аналоги материала СЧ20 Видимый / эквивалент / точный / в ГОСТовские аналоги																								
США	Германия	Япония	Франция	Англия	Евросоюз	Италия	Бельгия	Испания	Китай	Швейцария	Болгария	Венгрия	Польша	Румыния	Чехия	Австрия	Австралия	Нидерланды	Индия	Тайвань	Тайвань	Люксембург	CORANT	
-	DFI/WH	JIS	AFNOR	BS	EN	UNI	NBN	UNE	GB	SS	BOB	MSZ	PN	STAS	CSN	ONORM	AS	ISO	IS	MEN	-	-	-	CORANT
A48-30B Class30B No 30	GG20	FC20	FGL200 F20 F1200	200 220	EN-GJL- 200 EN- JL1030 FG20	G20	FGG20	FG20	HT200 0120- 00 0120	Vch20	СЧ20	СЧ20	Z120 Z1200	FC200	422420	GG20 GG200	T220	200	FG200	GG20	FC200	FGG20	FG200	

Рис. 1.3 Фізико-механічні та хімічні характеристики СЧ20 ГОСТ 1412

2. ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА ТА АНАЛІЗ ЙОГО ВПЛИВУ НА ЗАВДАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПІДГОТОВЛЕННЯ ВИРОБНИЦТВА

Згідно з ГОСТ 3.1108-74 [2] ЄСТД та ДСТУ 2974-95 [3] ЄСТПВ, тип виробництва – це класифікаційна категорія виробництва, що відрізняється широтою, кількістю та регулярністю номенклатури продукції, яка випускається.

Основною характеристикою типу виробництва є коефіцієнт агрегування робіт K_{30} , який є відношенням кількості всіх технічних операцій, що виконуються або підлягають виконанню за певний період часу, до загальної кількості робіт.

Коефіцієнт закріплення операції визначається як співвідношення між кількістю виконаних або запланованих технічних завдань протягом місяця та загальною кількістю робочих місць.

Технічна операція є самостійною частиною технологічного процесу, яка виконується на одному робочому місці.

Робоче місце працівника представляє собою базову одиницю виробничої структури і включає в себе простір, необхідний для виконання трудових операцій, а також необхідні матеріально-технічні засоби, які використовуються в процесі праці.

Загалом, коефіцієнт організації праці розраховується за наступною формулою:

$$K_{30} = \frac{\sum_{i=1}^n TO}{\sum_{j=1}^m PM}, \quad (2.1)$$

де K_{30} – коефіцієнт закріплення операцій, розрахований на місяць;

$\sum_{i=1}^n TO$ – кількість технологічних операцій, які були виконані за плановий період;

$\sum_{j=1}^m PM$ – число робочих місць з різними операціями.

Очевидно, що визначення K_{30} за формулою (1.1) є можливим тільки для конкретної ділянки.

В ескізному проекті бажано визначити спосіб виробництва, використовуючи аналоговий підхід. Для цього необхідно знати масу компонентів і річний обсяг виробництва.

Маса деталі визначається в програмі Solidworks 2018 за допомогою функції «Масовые характеристики» (рис. 2.1).

Обсяг випуску приймаємо $N_p = 1000$ шт. на рік.

Тип виробництва визначаємо за рис. 2.2 (див. с.7 [6]).

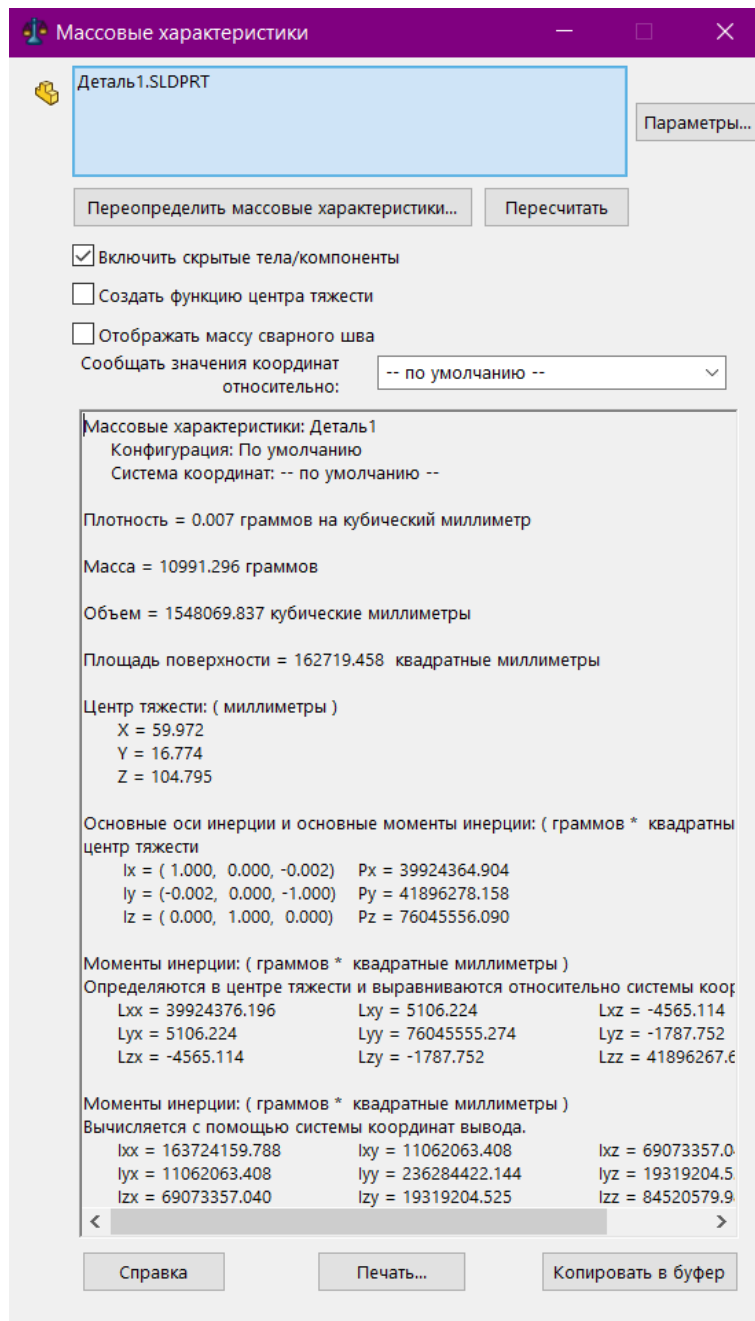


Рис. 2.1. Вікно «Масовые характеристики» у програмі Solidworks 2018

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	одичне	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

Рис. 2.2. Таблиця залежності типу виробництва від обсягу випуску та маси деталі

Для деталі масою 10,99 кг і річного обсягу випуску 1000 шт. тип виробництва приймаємо середньосерійний.

Середньосерійне виробництво – форма виробництва, що характеризується одночасним виготовленням обмеженого асортименту однорідної продукції на підприємстві, випуск якої циклічно повторюється протягом тривалого періоду часу. [5].

У середньосерійному виробництві спеціалізація полягає у виробництві обмеженого асортименту продукції, а виробничі лінії та цехи мають виражену візуальну та технічну спеціалізацію.

Робочі місця в середньосерійному виробництві характеризуються обмеженою кількістю операцій, оскільки партії продукції виробляються повторно із певною регулярністю.

Устаткування має порівняно високий рівень спеціалізації: $10 < K_{30} \leq 20$.

3. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ НА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ

Випробування компонентів на технологічність – це процес, що включає ряд заходів з метою перевірки та забезпечення необхідного рівня технологічності конструкції за заданими показниками, з урахуванням збереження високої якості виробу. Ці заходи спрямовані на те, щоб:

- підвищення продуктивності праці;
- зниження витрат;
- скорочення часу на виготовлення виробу.

Сучасні верстати з ЧПК, разом з їхніми технічними можливостями та системами керування, вирішують проблеми технологічності конструкції виробу в більшості випадків. Це пояснюється тим, що такі верстати мають невеликі обмеження на конструктивні особливості оброблюваних деталей.

Заготовка "Кришка пневмоциліндра" є оброблюваною деталлю, і більшість її поверхонь не вимагають складних та спеціалізованих ріжучих інструментів. Ріжучі та вимірювальні інструменти можуть бути використані

вільно. Крім того, заготовка достатньо жорстка, що дозволяє досягти високої швидкості різання.

Технічні можливості верстатів з ЧПК та їхні інструменти здатні обробити майже всі структурні елементи компонента. Умови технологічності деталі:

- допускається оброблення поверхонь деталі на прохід;
- для оброблення використовуються стандартні різальні та вимірювальні інструменти;
- оброблення всіх поверхонь забезпечує зручний підвод стандартного різального інструменту.

Висновок. Процес виготовлення деталі «Кришка пневмоциліндра» буде розроблений таким чином, щоб забезпечити багатоваріантність виробництва на верстатах з ЧПУ.

4 ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІ ЗАГОТОВКИ

4.1 Визначення виду та способу виготовлення заготовки

В машинобудівному виробництві для виготовлення заготовок використовують такі методи:

- лиття;
- пластичне деформування;
- відділення (відрізання або вирізання) від стандартного сортового прокату (прутків, плит, листів, складних профілів);
- методи порошкової металургії;
- комбіновані методи, коли окремі частини заготовки виготовляються литтям, або пластичним деформуванням, а їх з'єднання виконується зварюванням.

При цьому слід враховувати, що на сьогоднішній день більшість заготовок для машинобудування отримують литтям або пластичним деформуванням.

Для визначення типу виготовлення заготовки необхідно враховувати фізико-механічні властивості матеріалів, конструктивні особливості деталі і умови її експлуатації.

У виробництві деталей машин використовуються дві основні групи матеріалів: конструкційна сталь і чавун.

Основним документом для проектування заготовки є креслення деталі, яке містить вказівки щодо матеріалів і стандартів, що визначають фізико-механічні властивості, масу деталі, а також обсяг виробництва.

Після аналізу складності деталі прийнято рішення виготовляти кришку пневмоциліндра методом лиття.

Найбільш відповідним способом виготовлення корпусів є лиття в одноразові піщані форми за металевою моделлю. Цей простий і економічний спосіб забезпечує високу точність і легко піддається механізації та автоматизації.

Маса деталі 10,991 кг. Маса виливки такої конфігурації орієнтовно буде на 20-30% більшою від маси деталі. Тоді приймаємо масу виливка рівною 13,1892 кг.

Визначаємо за Прейскурантом № 25-01, 1991 р. групу складності виливка – 3.

Для кінечно прийнятного способу виготовлення виливка литтям у піщаній формі з машинним формуванням за металевими моделями згідно з ГОСТ 26645-85 [6] призначаємо:

1. Технологічний процес лиття – лиття у піщано-глинисті сирі форми з високовологих (більше 4,5%) низькоміцних (до 60 кПа) сумішей з низьким рівнем ущільнення до твердості нижчої 70 одиниць; клас розмірної точності виливка – 9;
2. Ступінь жолоблення елементів виливка – 4;
3. Ступінь точності поверхонь виливків приймаємо рівним 13;
4. Шорсткість поверхонь виливків для 14-го ступеня точності поверхонь дорівнює $Ra = 40$ мкм;

5. Клас точності маси виливків для прийнятих умов лиття та маси виливка 13,1892 кг приймаємо рівним 9т;
6. Для виливка кришки з 13 ступенем точності поверхонь приймаємо ряд припусків на обробку виливка рівним 6;
7. Згідно з розділом 5 ГОСТ 26645-85 точність виливка позначається: Точність виливка 9-4-13-14 ГОСТ 26645-85.

4.2 Призначення площини рознімання форми то розроблення креслення виливка

Аналіз креслення деталі та врахування вимог до площини розділу форми підтверджує, що найбільш прийнятною площиною розділу є горизонтальна площина. Це сприяє зменшенню складності виготовлення виливків і покращенню якості виробу.

Відповідно до вимог, зазначених на кресленні, і наявності конструктивних елементів, які підлягають литтю, обирається метод лиття під тиском.

Лиття під тиском - це процес, в якому матеріал, наприклад, пластик або кольоровий метал, розплавляється під тиском і впорскується у форму, яка потім охолоджується.

Форми для лиття під тиском, як правило, називають прес-формами. Формувальна порожнина форми адаптується до зовнішньої поверхні виробу з урахуванням факторів, що впливають на точність розмірів. Крім того, форма включає рухомий металевий стрижень, який формує внутрішню порожнину виробу, а також виштовхувач.

Усі інші отвори корпусу доцільно виготовити на верстатах з ЧПК, які забезпечать необхідну точність та якість обробки.

Допуски на розміри виливка визначаємо за табл.1 ГОСТ 26645-85.

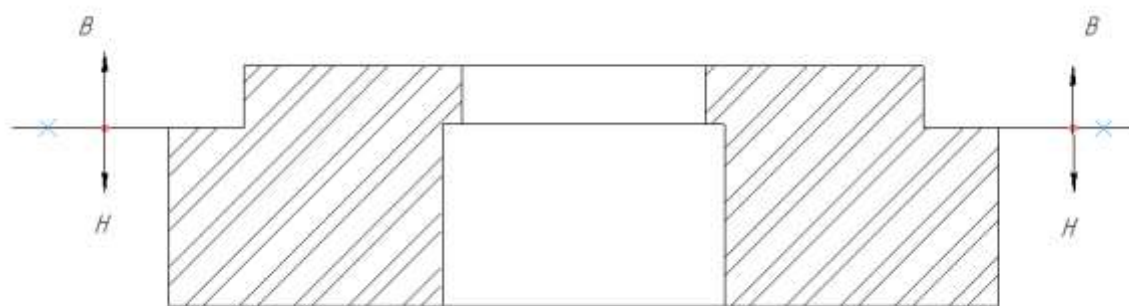


Рис. 4.1. Ескіз заготовки деталі «Кришка пневмоциліндра»

Визначаємо допуски, припуски та технологічні напуски для основних оброблюваних поверхонь.

Таблиця 4.1 Припуски і допуски для виливка

Параметри	Ø170 h14 Ra 3,2 зовн.	Ø75 H8 внутр.	60 Ra 12,5	48,5 Ra 6,3	Ø65 H8 внутр.	213 h14 зовн.
Допуск на розмір виливка	2,8 (±1,4)	2,2 (±1,1)	2,0 (±1,0)	2,0 (±1,0)	2,2 (±1,1)	2,8 (±1,4)
Вид остаточної механічної обробки, необхідної для забезпечення точності розмірів деталі	Чорнова Напівчист.	Чорнова Напівчист. Чистова	Чорнова	Чорнова Напівчист.	Чорнова Напівчист. Чистова	Чорнова
Вид остаточної механічної обробки для забезпечення заданої шорсткості поверхні	Чорнова Напівчист.	Чорнова Напівчист. Чистова	Чорнова	Чорнова Напівчист.	Чорнова Напівчист. Чистова	Чорнова
Прийнята остаточно обробка для забезпечення заданої якості деталі	Чорнова Напівчист.	Чорнова Напівчист. Чистова	Чорнова	Чорнова Напівчист.	Чорнова Напівчист. Чистова	Чорнова
Загальний припуск на сторону	2,2	2,0	1,4	1,6	2,0	2,5
Технологічні	-	-	-	-	-	-

й напуск на сторону, внаслідок формувальних уклонів						
Остаточний розмір виливки	Ø172,2(±1,4)	Ø73(±1,1)	61,4(±1,0)	50,1(±1,0)	Ø63(±1,1)	215,5(±1,4)

Висновок. Заготовку доцільно отримувати литтям у кокіль. Матеріал кокіля – чавун СЧ 20. Розрахунок маси заготовки показав, що попередню масу, необхідну для розрахунку параметрів заготовки за ГОСТ 26645-85, обрано правильно, і перерахунок точності виливка не потрібний.

5. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ БАЗ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Алгоритм обґрунтування вибору технологічної бази складається з наступних кроків:

- обґрунтування вибору загальних технологічних баз;
- обґрунтування вибору технологічних баз для перших операцій.

5.1. Обґрунтування вибору загальних технологічних баз

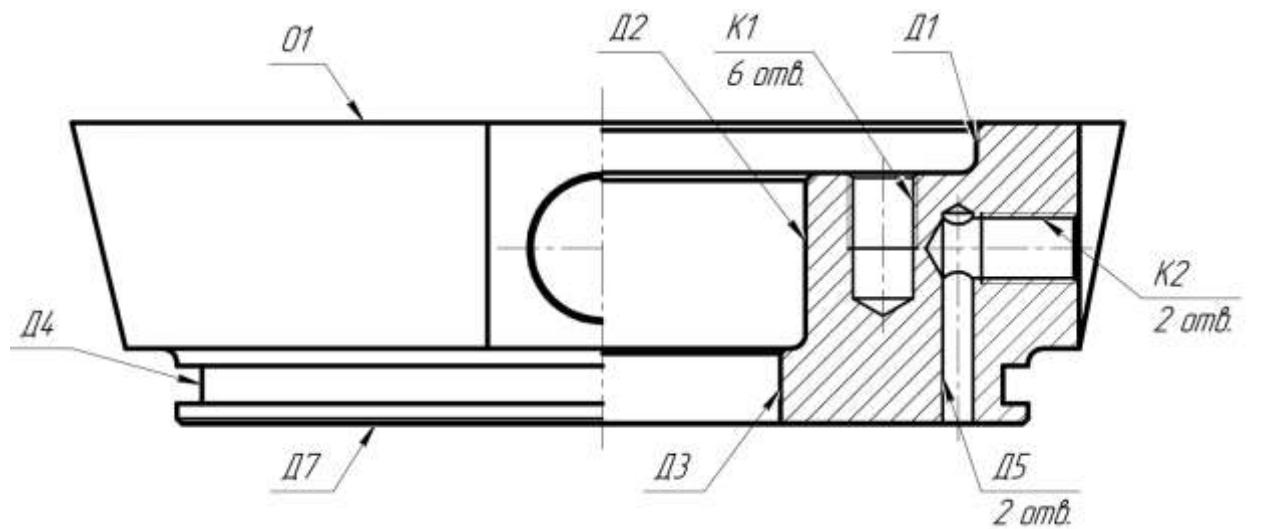
Вихідними даними для вибору спільної технічної бази є креслення деталі та, за можливості, креслення вузла, до якого належить деталь.

Спочатку поверхні деталі класифікуються відповідно до їх призначення. Конструкція деталі може бути представлена набором таких поверхонь

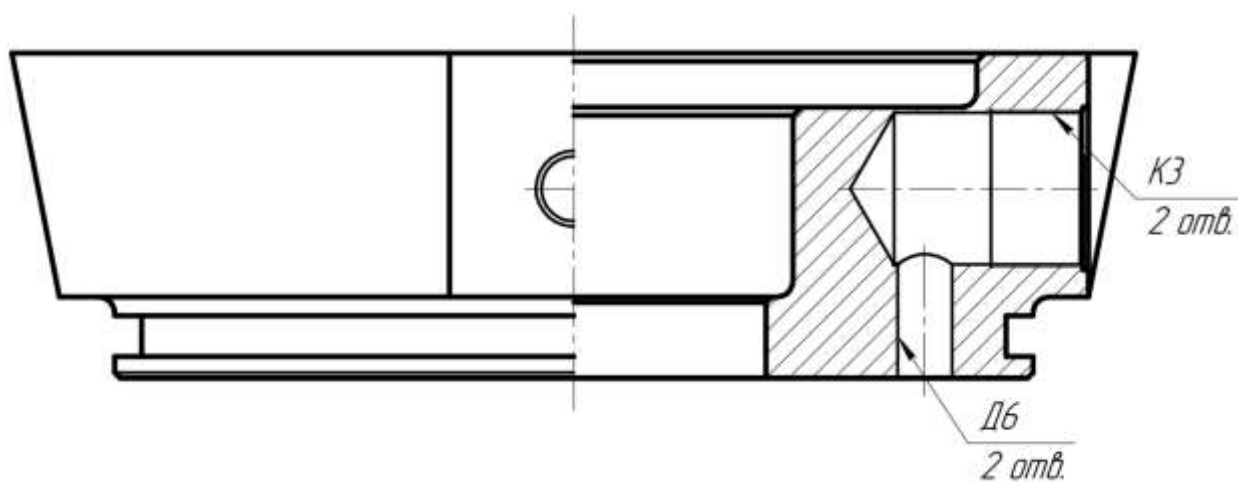
- основні конструкторські бази – визначають положення деталі у вузлі;
- допоміжні конструкторські бази – визначають положення інших деталей відносно даної;
- кріпильні поверхні – забезпечують фіксацію положення деталей, що приєднуються.;
- вільні поверхні – додаткові поверхні деталі, які створюють її єдиний геометричний образ.

З аналізу робочого креслення виходить, що усі оброблювані поверхні відносяться до перших трьох видів. Таким чином, необроблювані поверхні є вільними.

Поверхні деталі можна класифікувати за призначенням, як показано на рисунку 6.1.



а)



б)

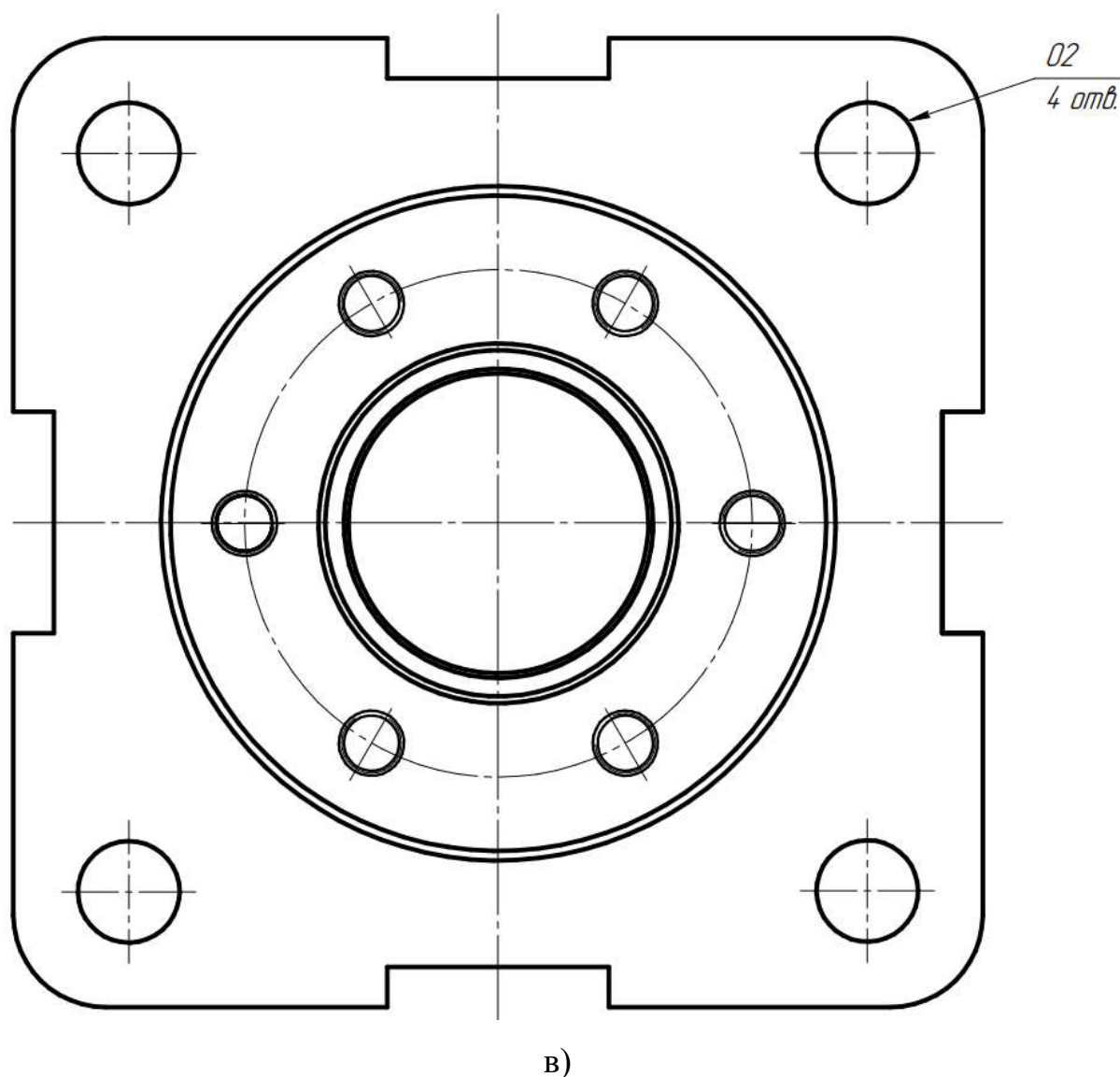


Рис. 5.1. Класифікація поверхонь деталі за службовим призначенням

Аналіз тех. процесів виготовлення корпусних компонентів групи 3 показує, що не всі конструкції використовують основну базову поверхню конструкції як загальну технологічну базу. Для компонента "кришка пневмоциліндра" приймаємо дві схеми базування (рис. 5.2, рис. 5.3) прийняті загальними для всього технологічного процесу. Їх структурна формула виглядає наступним чином:

$$СБ_{ЗТБ} \rightarrow У(3) + ПО(2) + О(1) \quad (5.1)$$

Конструктивна схема базування реалізується площиною (установча база), циліндричним пальцем (подвійна опорна база) та зрізанм (ромбічним) пальцем (опорна база).

Обрані схеми базування забезпечують оброблення більшості оброблюваних поверхонь:

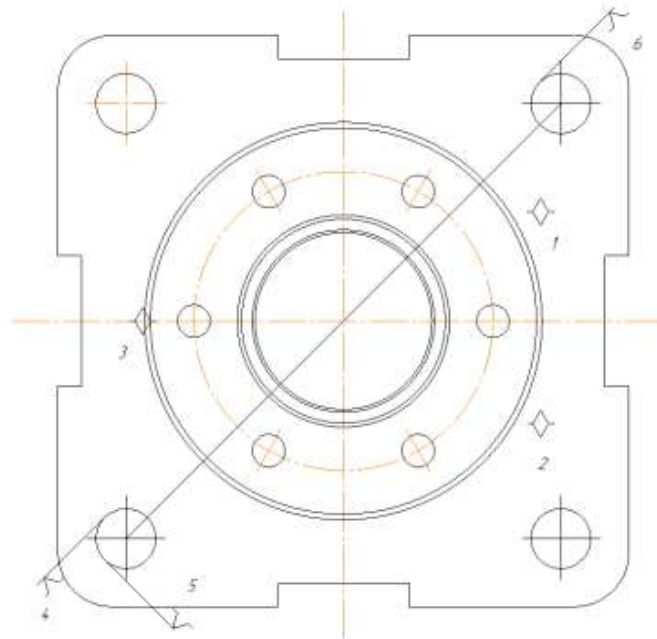


Рис. 5.2. Загальна схема базування деталі

5.2. Обґрунтування вибору технологічних баз для перших операцій

На другому етапі вибору технічної бази необхідно визначити схему бази для першої технічної операції. Вимога полягає в тому, що поверхні загальної технічної бази повинні мати можливість оброблятися.

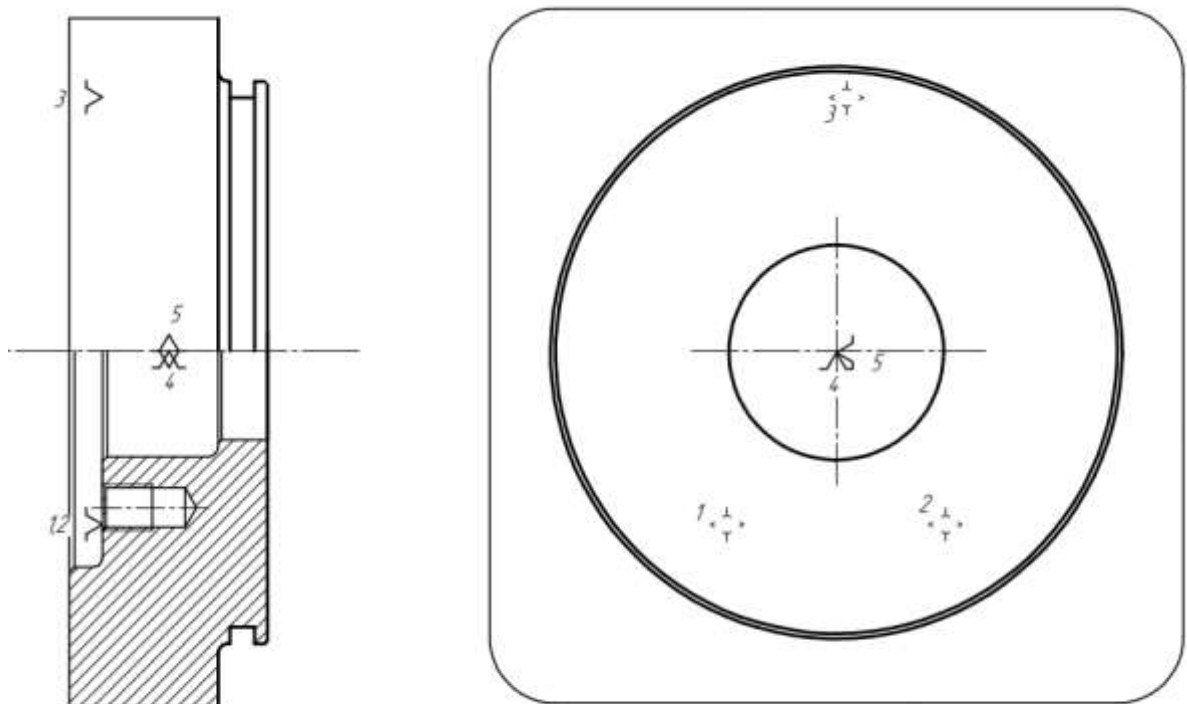


Рис. 5.3. Схема базування на першу (токарну) операцію

Структурна формула:

$$СБ_{ЗТБ} \rightarrow У(3) + ПО(2) \quad (5.2)$$

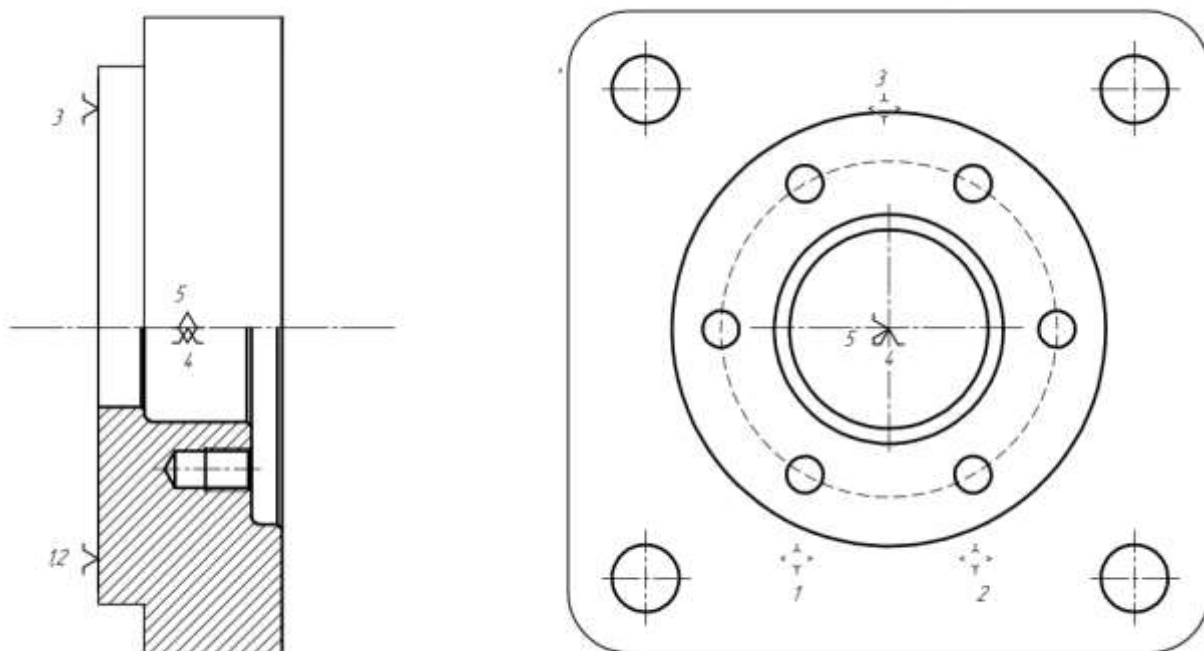


Рис. 5.4. Схема базування на другу операцію

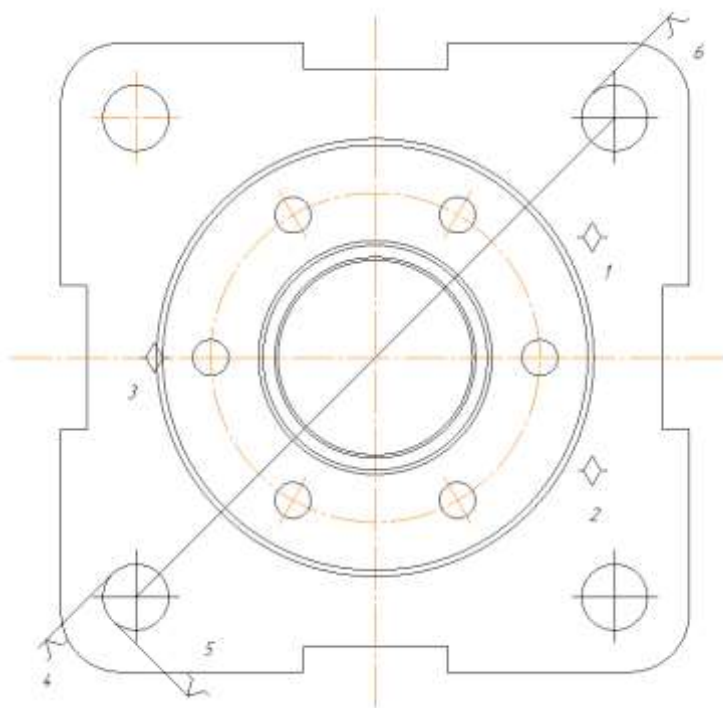


Рис. 5.5. Схеми базування на подальших операцій

6. ПРОЕКТУВАННЯ МАРШРУТІВ ОБРОБЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛІ

Конструкцію деталі можна розділити на сукупність типових геометричних фігур, до поверхонь яких, згідно робочого креслення, висунуто певні вимоги щодо параметрів точності та якості. Практикою машинобудівного виробництва накопичено виробничий досвід технологічних маршрутів (послідовностей) економічного оброблення типових поверхонь для забезпечення заданої точності розмірів та параметрів шорсткості робочих поверхонь. Практично всі технологічні довідники приводять такі послідовності. Типові технологічні маршрути оброблення поверхонь є рекомендаціями, які необхідно додатково аналізувати та уточнювати при технологічному проектуванні. Маршрути оброблення поверхонь, економічна точність та шорсткість робочих поверхонь, що при цьому буде забезпечена наведено в табл.1. Поверхні, що обробляються деталі «Кришка пневмоциліндра» вказані на рис. 6.1.

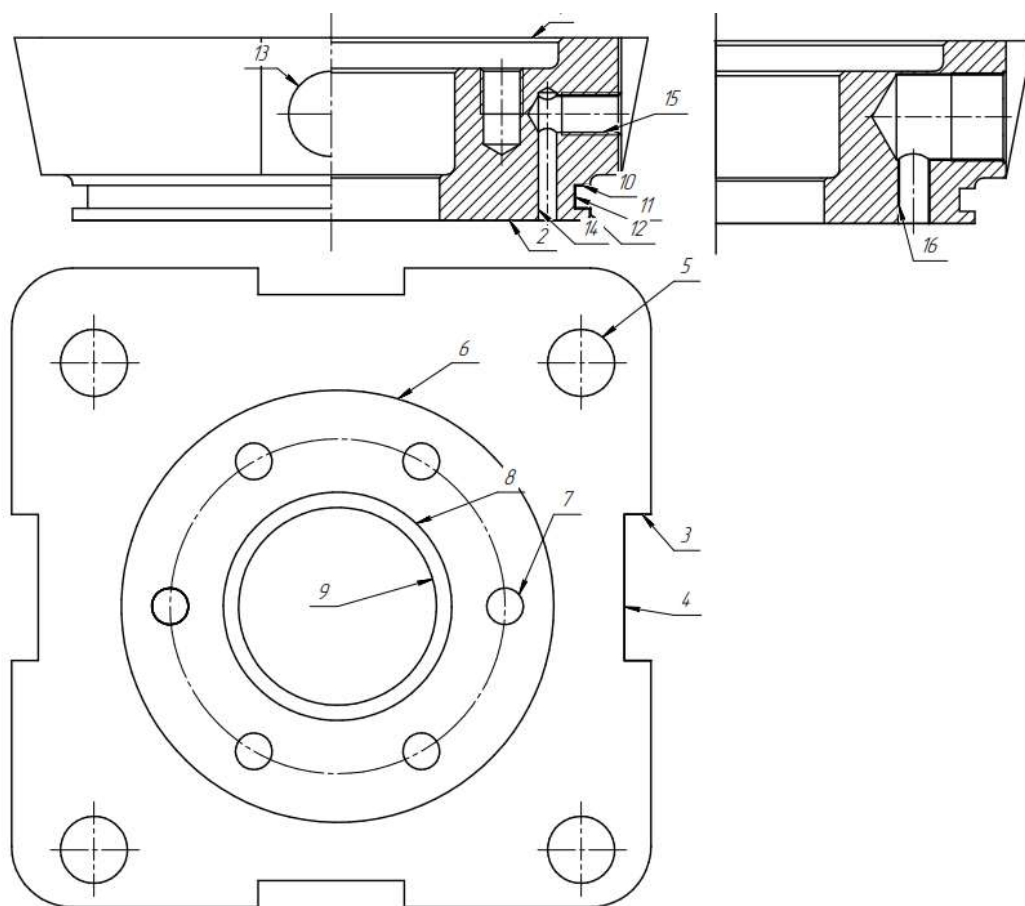


Рис. 6.1. Ескіз кришки із зазначеними поверхнями під обробку

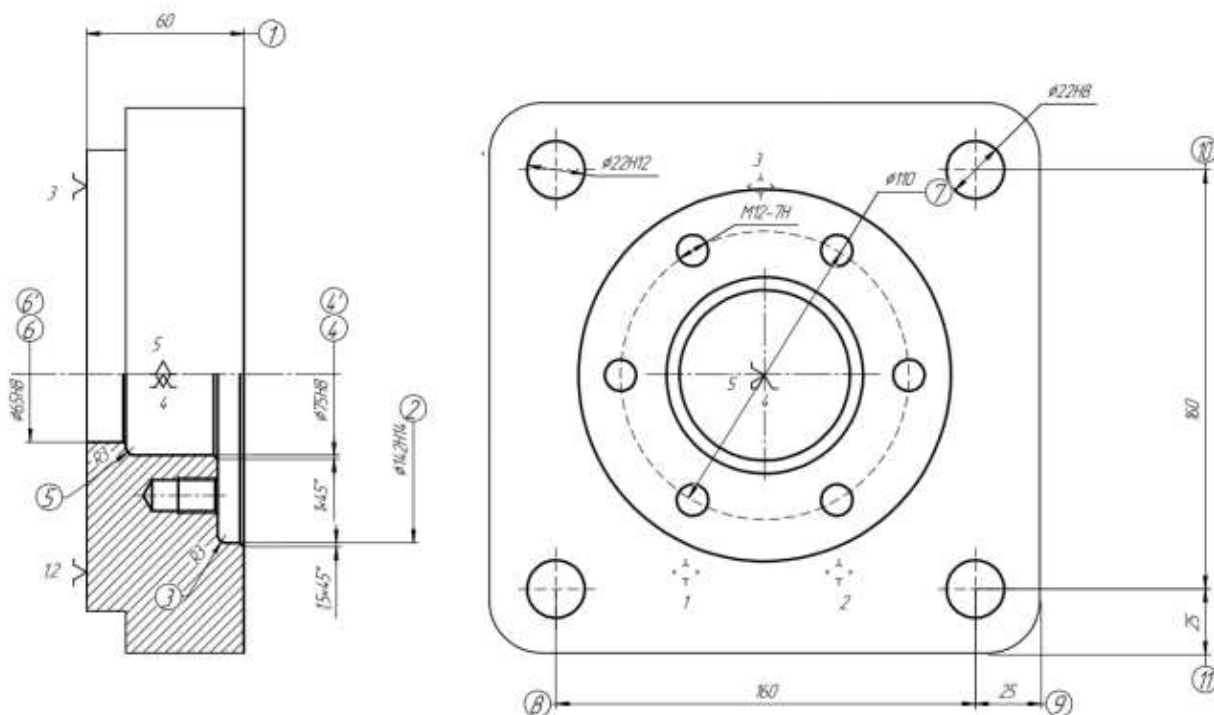
Таблиця 6.1. Маршрути оброблення елементарних поверхонь деталі
«Кришка пневмоциліндра»

Поверхні	IT _i	Ra	Маршрут оброблення	IT _i	Ra
	За кресленням			Після оброблення	
1	14	12,5	Точіння чорнове	14	12,5
2	14	12,5	Точіння чорнове	14	12,5
3	14	12,5	Фрезерування чорнове	14	12,5
4	14	12,5	Фрезерування чорнове	14	12,5
5	H8	3,2	Центрування	-	-
			Свердління остаточне	12	12,5
			Зенкерування (розверт.чн)	10	6,3
			Розвертання	8	3,2
6	14	12,5	Точіння чорнове	14	12,5
7	7 ступ. точності різьби	6,3	Центрування	-	-
			Свердління остаточне	12	12,5
			Нарізання різьби	7	6,3
8	8	3,2	Точіння чорнове	12	10
			Точіння чистове	8	3,2
9	8	3,2	Точіння чорнове	12	10
			Точіння чистове	8	3,2
10	10	6,3	Розточування чорнове	14	12,5
			Розточування напівчистове	10	6,3
11	9	3,2	Розточування чорнове	14	10
			Розточування чистове	9	3,2
12	9	3,2	Розточування чорнове	14	10
			Розточування чистове	9	3,2
13	7 ступ. точності різьби	6,3	Центрування	-	-
			Свердління остаточне	12	12,5

			Нарізання різьби	7	6,3
14	H12	12,5	Центрування Свердління остаточне	- 12	- 12,5
15	7 ступ. точності різьби	6,3	Центрування Свердління остаточне Нарізання різьби	- 12 7	- 12,5 6,3
16	H12	12,5	Центрування Свердління остаточне	- 12	- 12,5

7. ПРОЕКТУВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ "КРИШКА ПНЕВМОЦИЛІНДРА"

005. Токарна з ЧПК (HAAS ST-10Y)



005.01. Точити торець начорно, витримуючи розмір 1.

005.02. Обточити начорно площину витримавши розмір 2.

005.03. Обробити фаску площини, витримуючи розмір 2.

005.04. Точити начорно площину витримавши розміри 3.

005.05. Обточити начорно площину витримавши розмір 4' (Ø75H14).

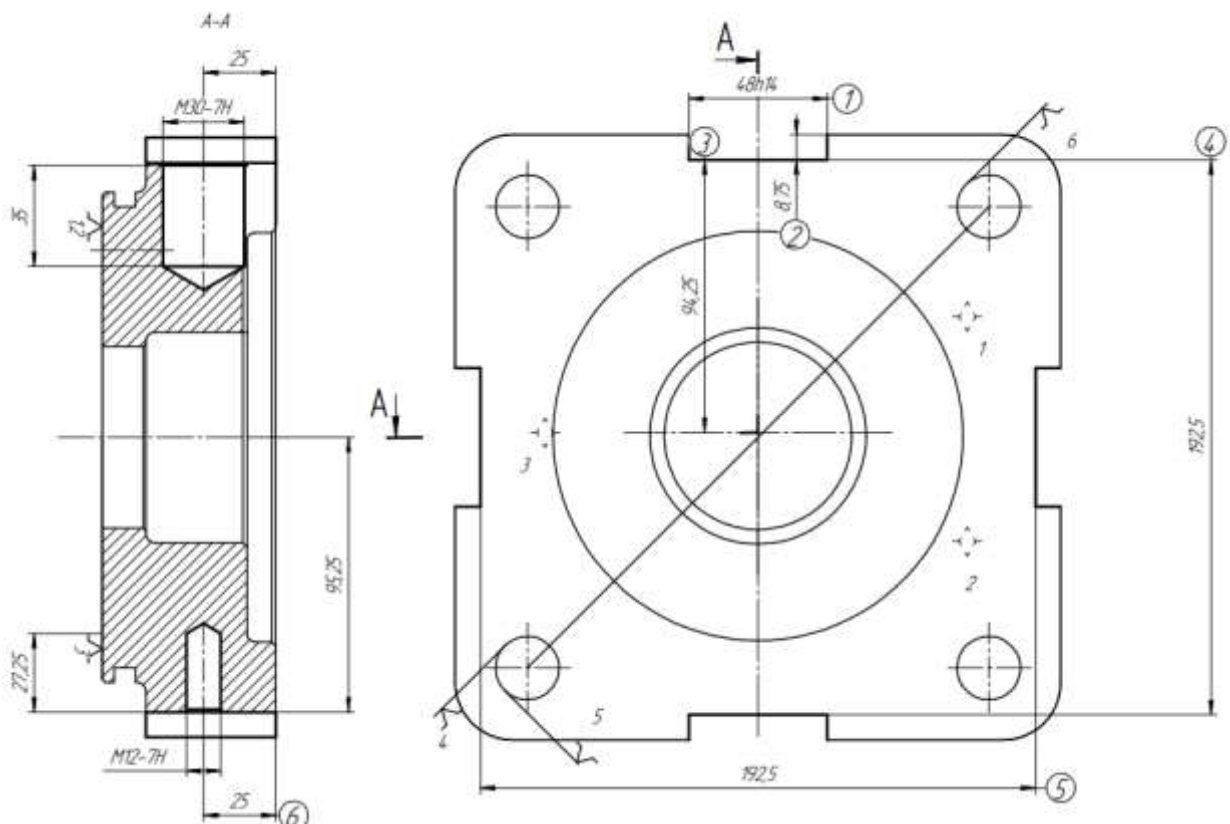
005.06. Обточити начисто площину витримавши розмір 4.

- ## 010. Токарна з ЧПК (HAAS ST-10Y)



- 010.01. Точити торець начорно, витримуючи розмір 1.
- 010.02. Обточити начорно площину витримавши розмір 2' ($\varnothing 171,5$).
- 010.03. Обточити начисто площину витримавши розмір 2.
- 010.04. Обробити фаску площини, витримуючи розмір 2.
- 010.05. Розточити начорно площину витримавши розмір 3 ($\varnothing 162$)
- 010.06. Точити начисто площину витримавши розміри 3, 4.
- 010.07. Точити начорно площину витримавши розміри 3.
- 010.08. Точити торець площину витримавши розміри 6.

015. Багатоцільова з ЧПК (HAAS VF-3)

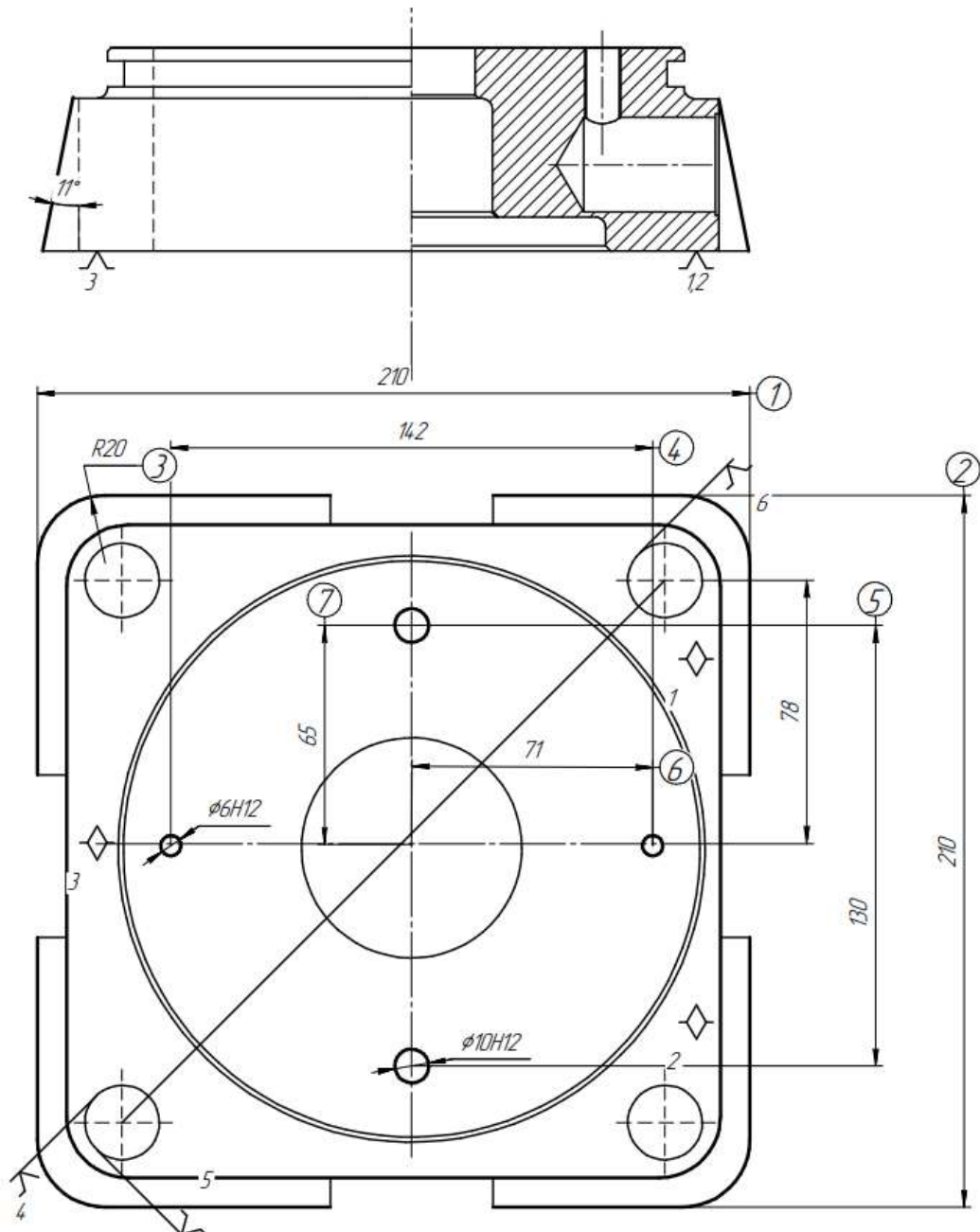


- 015.01. Фрезерувати остаточно площину повертаючи деталь після обробки на 90° , витримавши розміри 1, 2, 3.
- 015.02. Центрувати послідовно 4 отвори витримавши міжосьові розміри 4, 5, 6, повертаючи стіл на 90° .
- 015.03. Свердли 2 отвори на глибину 36 мм $\varnothing 30$ в розмір остаточно.
- 015.04. Нарізати послідовно різьбу M30-7H на глибину 18 мм.
- 015.05. Свердли 2 отвори на глибину 27,25 мм M12-7H в розмір остаточно.

015.06. Нарізати послідовно різьбу M12-7H на глибину 20 мм.

015.07. Обробити фаску 1x45° отвору, витримуючи розмір M12-7H.

020. Багатоцільова з ЧПК (HAAS VF-3)



020.01. Фрезерувати остаточно площини повертаючи деталь після обробки на 90°, витримавши розміри 1, 2, 3 та 11°.

020.02. Центрувати послідовно 4 отвори витримавши міжосьові розміри 4, 5, 6, 7.

020.03. Свердли 2 отвори на глибину 24 мм Ø10H12 в розмір остаточно.

020.04. Свердли 2 отвори на глибину 42 мм Ø6H12 в розмір остаточно.

025. Мийочна.

030. Контрольна.

035. Маркувальна.

8. ВИБІР ВЕРСТАТІВ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Верстати обирались такі, що забезпечувалися встановлення заготовки та послідовне виконання всіх технологічних переходів.

Характеристики верстат. подано в таблицях 8.1 – 8.2.



Рис. 8.1. Токарно-револьверний верстат з ЧПК Haas ST-10Y



Рис. 8.2. Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК Haas VF-3YT

9. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИПУСКІВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЕРЕХОДІВ ОБРОБЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ЗАГОТОВКИ

Вирішення завдання перевірки припусків на оброблювану поверхню заготовки має на меті встановлення необхідних припусків для успішної реалізації технічного процесу та досягнення цілей, що ставляться при проектуванні заготовки. Це важливо з метою розробки відповідного обладнання, такого як верстати, ріжучий і вимірювальний інструмент, виробниче обладнання. Крім того, це необхідно для правильного розрахунку режимів різання та норм часу, необхідних для виконання технічних операцій.

Припуск – це шар матеріалу, який видаляють з поверхні заготовки для досягнення заданих властивостей оброблюваної поверхні [4].

Необхідно точно встановити припуски для кожної оброблюваної поверхні, а також у технічному процесі використовувати операційні і

проміжні допуски з метою послідовної реалізації конкретних технічних переходів.

Операційний припуск – це припуск, який видаляють під час виконання однієї технологічної операції [4].

Проміжний припуск – припуск, який видаляють під час виконання одного технологічного переходу [4].

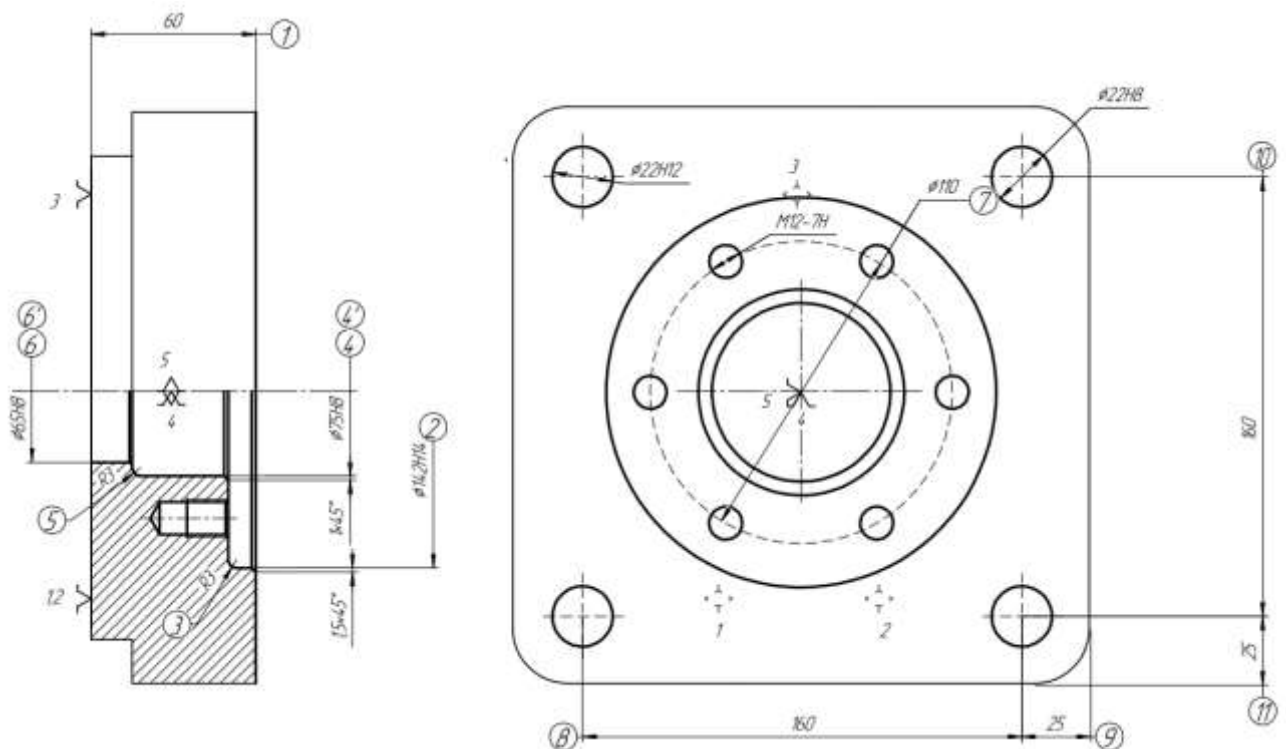
Існують два підходи до розрахунку припусків - розрахунково-аналітичний і аналоговий методи.

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків базується на аналізі факторів, що впливають на їх розмір у попередніх і поточних перехідних періодах. Застосовуються диференціальні розрахунки для кожного з факторів, які враховують припуски. Цей метод дозволяє розраховувати всі проміжні припуски для послідовних технологічних переходів поверхні, а їх сума утворює загальний припуск для обробки поверхні. Також розраховуються проміжні розміри шляхом вилучення відповідних проміжних допусків.

Цей алгоритм враховує мінімальний допуск, який необхідний для усунення похибок обробки та компенсації похибок, що виникли на попередньому і поточному кроці. Тому проміжні розміри визначаються з урахуванням мінімальних допусків.

В машинобудуванні для досягнення вимаганої точності обробки поверхні використовуються два методи: метод індивідуального проставлення розмірів (MIOR) і метод автоматичного проставлення розмірів (MAOR). Останній є більш продуктивним і широко застосовується в машинобудуванні, включаючи роботу з верстатами з числовим програмуванням. В наступному розглянемо порядок визначення припусків за допомогою цього методу.

9.1. Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах на оброблення поверхні Ø65H8



005.09. Обточити начорно площину витримавши розмір 6' (Ø65H14).

005.10. Обточити начисто площину витримавши розмір 6.

В сутності, маршрут оброблення складається з точіння:

- чорнового по H14;
- чистового по H8.

Розрахунок мінімальних припусків проводимо за формулою [6, 13]:

$$2Z_{mini} = 2 \left(R_{z(i-1)} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \quad (9.1)$$

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

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

ρ_{i-1} – сумарне відхилення розташування поверхні на попередньому переході;

ε_i – похибка встановлення заготовки.

Мінімальні розрахункові припуски.

1. Обточування чорнове:

$$2Z_{min1} = 2 \left(R_{z0} + h_0 + \sqrt{\rho_0^2 + \varepsilon_0^2} \right) \quad (9.2)$$

- $R_{z0} + h_0 = 600$ мкм (для виливків у піщано-глинясту суміш, табл. 27 [12]);
- $\rho_0 = \Delta_k l = 0.8 * 15 = 12$ мкм (для виливків корпусу, табл. 32 [12]);
- $\varepsilon_0 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}$ – однопозиційне оброблення;
- $\varepsilon_6 = 0$ – суміщення технологічної та вимірювальної баз;
- $\varepsilon_3 = 200$ мкм (виливок піщано-глинясту суміш Ø190...260 мм притискання гвинтовим або ексцентриковим зажимом, табл. 40 [12]).

$$2Z_{min1} = 2 \left(600 + \sqrt{15^2 + 200^2} \right) = 2 * 800,56 = 1601,12 \text{ мкм}$$

2. Обточування чистове:

$$2Z_{min2} = 2 \left(R_{z1} + h_1 + \sqrt{\rho_1^2 + \varepsilon_1^2} \right) \quad (9.3)$$

- $R_{z1} + h_1 = 50 + 50 = 100$ мкм – після чорнового обточування (табл. 30 [12]);
- $\rho_1 = \rho_0 * k_y = 12 * 0.06 = 0,72$ мкм – після чорнового обточування штампованих і литих заготовок (с. 74 [12]);
- $\varepsilon_1 = \varepsilon_0 = 200$ мкм – без зміни оснастки.

$$2Z_{min2} = 2 \left(100 + \sqrt{0,72^2 + 200^2} \right) = 2 * 300 = 600 \text{ мкм}$$

Технологічні допуски (ДСТУ 2500-94) [14]:

$T_{заг} = 0$ мм (по кресленню заготовки),

$T_{чорн} = 0,740$ мм (14 квал.),

$T_{чист} = 0,046$ мм (8 квал.),

- Найбільші граничні розміри :

$$D_{макс чист} = D_{ном} + ES = 65 + 0 = 65 \text{ мм},$$

$$D_{макс чорн} = D_{макс чист} - 2Z_{min2} = 65 - 0,600 = 64,4 \text{ мм},$$

$$D_{макс заг} = D_{макс чорн} - 2Z_{min1} = 64,4 - 0, = 62,799 \text{ мм}.$$

- Найменші значення міжопераційних розмірів:

$$D_{\min \text{ чист}} = D_{\max \text{ чист}} - T_{\text{чист}} = 65 - 0,046 = 64,954 \text{ мм},$$

$$D_{\min \text{ чорн}} = D_{\max \text{ чорн}} - T_{\text{чорн}} = 64,954 - 0,740 = 64,214 \text{ мм},$$

$$D_{\min \text{ заг}} = D_{\max \text{ заг}} - T_{\text{заг}} = 64,214 - 0 = 64,214 \text{ мм}.$$

- Максимальні розміри припусків:

$$2Z_{\max \text{ чорн}} = D_{\min \text{ чорн}} - D_{\min \text{ заг}} = 64,214 - 64,214 = 0 \text{ мм},$$

$$2Z_{\max \text{ чис}} = D_{\min \text{ чист}} - D_{\min \text{ чорн}} = 64,954 - 64,214 = 0,740 \text{ мм},$$

- Мінімальні розміри припусків:

$$2Z_{\min \text{ чорн}} = D_{\max \text{ чорн}} - D_{\max \text{ заг}} = 64,4 - 62,799 = 1,601 \text{ мм},$$

$$2Z_{\min \text{ чис}} = D_{\max \text{ чис}} - D_{\max \text{ чорн}} = 65 - 64,4 = 0,600 \text{ мм},$$

- Сумарні розміри припусків:

$$2Z_{\min \Sigma} = 1,601 + 0,6 = 2,201 \text{ мм},$$

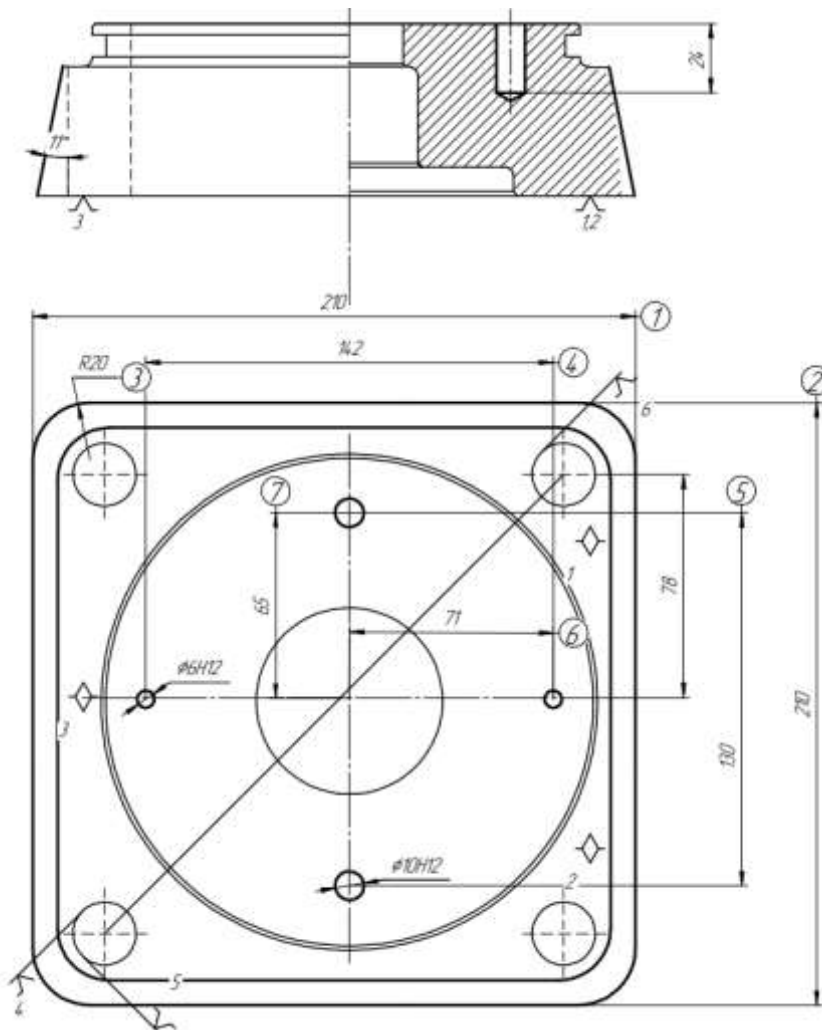
$$2Z_{\max \Sigma} = 0 + 0,740 = 0,740 \text{ мм}.$$

Результати розрахунків зводяться до таблиці 9.1.

Таблиця 9.1. Розрахунок припусків і граничних розмірів за технологічними переходами оброблення поверхні Ø65H8

Технол. перех.	Елементи припуску, мкм				Розр.		Т, мкм	Прийняті розміри, мм		Значення припусків, мм	
	Rz	h	ρ	ε	2Z _{min}	D _{max}		D _{min}	D _{max}	2Z _{min}	2Z _{max}
Загот.	600		12	-	-	62,799	-	64,214	62,799	-	-
Обточ. чорнове	50	50	0,72	200	1,601	64,4	740	64,214	64,4	1,601	0
Обточ. чистове	-	-	-	200	0,600	65	46	64,954	65	0,600	0,740
Σ										2,201	0,740

9.2. Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах на оброблення площини 210h14



020.01. Фрезерувати остаточно площини повертаючи деталь після обробки на 90° , витримавши розміри 1, 2, 3 та 11° .

В сутності, маршрут оброблення складається з фрезерування:

- чорнового по h14;

Розрахунок мінімальних припусків проводимо за формулою [12]:

$$Z_{mini} = R_{z(i-1)} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i \quad (9.4)$$

Мінімальні розрахункові припуски.

1. Фрезерування чорнове:

$$Z_{min1} = R_{z0} + h_0 + \rho_0 + \varepsilon_1 \quad (9.5)$$

- $R_{z0} + h_0 = 600$ мкм (для виливків у піщано-глинясту суміш, табл. 27 [12]);

- $\rho_0 = \Delta_k l = 0,7 * 190 = 133$ мкм (для виливків корпуса, табл. 32 [12]);

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

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

- $\varepsilon_3 = 200$ мкм (виливок піщано-глинясту суміш Ø190...260 мм притискання гвинтовим або ексцентриковим зажимом, табл. 40 [12])

$$Z_{min1} = 600 + 133 + 200 = 933 \text{ мкм}$$

Технологічні допуски (ДСТУ 2500-94) [14]:

- $T_{фр.чор} = 1,15$ мм (14 квал.);

Найменші граничні розміри:

- $H_{мін.фр.чор} = H_{мін.фр.дет.} - Z_{мін1} = 210 - 0,933 = 209,067$ мм

Враховуючи допуски оброблення та геометрію поверхні, приймаємо таке значення розміру:

- $H_{макс.фр.чор} = 209,8$ мм

Перераховуємо найбільший граничний розмір:

- $H_{мін.фр.чор} = H_{макс.фр.чор} - T_{фр.чор} = 209,8 - 1,15 = 208,65$ мм

Перераховуємо мінімальний розмір припуску:

- $Z_{мін1} = H_{мін.загот.} - H_{мін.фр.чор} = 211,1 - 208,65 = 2,45$ мм

Перераховуємо максимальний розмір припуску:

- $Z_{макс1} = H_{макс.загот.} - H_{макс.фр.чор} = 213,9 - 209,8 = 4,1$ мм

Результати розрахунків зводяться до таблиці 9.2.

Таблиця 9.2. Розрахунок припусків і граничних розмірів за технологічними переходами оброблення площини 210h14

Технол. перех.	Елементи припуску, мкм				Розр.		Т, мкм	Прийняті розміри, мм		Значення припусків, мм	
	R _Z	h	ρ	ε	Z _{min}	H _{min}		H _{min}	H _{max}	Z _{min}	Z _{max}
Заготовка	600		133	-	-	211.1	-	211.1	213.9	-	-

Фрез. чорнове	-	-	-	200	0.933	208.6 5	1.15	208.65	209.8	2.45	4.1
										Σ	4.1

10. ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

10.1. Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом

Розрахунок режимів різання для обточування отвору Ø65H8 (чорнове, чистове), переходи 005.08, 005.09

10.1.1. Вхідні дані

Таблиця 10.1. Вхідні дані до розрахунку режимів різання

Метод отримання заготовки	ЛІТВО
Матеріал заготовки	СЧ20
Припуски на оброблення поверхонь по переходах, мм:	
- чорнове	2,2
- чистове	0,74
Інструмент	різець
Матеріал пластини	ВК6 (аналог)
Товщина різальної пластини с, мм	4
Геометричні параметри різальної частини різця:	
- головний кут в плані φ	90°
- допоміжний кут в плані φ ₁	35°
- передній кут γ	10°

10.1.2. Чорнове обточування

1. Вибір глибини різання.

На основі розрахунку припусків приймаємо (табл. 10.1) $2z_{max} = 2,2$ мм. На сторону: $h = 1,1$ мм.

2. Розрахунок найбільшої допустимої подачі.

Для визначення максимально допустимої подачі необхідно знайти дві граничні величини: максимальну подачу, яка обмежується допустимою

силою різання, і найбільшу подачу, що допускається враховуючи шорсткість обробленої поверхні.

2.1. Розрахунок найбільшої допустимої подачі, що обмежується допустимою силою різання.

2.1.1. Сила різання $[P_z]_{\text{мп}}$, що допускається механізмом подач верстата:

$$[P_z]_{\text{мп}} = 2 * [P_{\text{axial}}]_z = 2 * 24465 = 48930 \text{ Н}$$

де $[P_{\text{axial}}]_z$ – максимальне зусилля вздовж осі X (див. табл. 8.1).

2.1.2. Сила різання $[P_z]_{\text{пл}}$, що допускається міцністю різальної пластини:

$$[P_z]_{\text{пл}} = 340 * h^{0,77} * c^{1,35} * \left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi} \right)^{0,8} = 340 * 1,1^{0,77} * 4^{1,35} * (0,87)^{0,8} \\ = 2129 \text{ Н}$$

де c – товщина ріжучої пластини, мм (див. табл. 10.1).

З двох знайдених значень обирається найменше. Остаточно маємо:

$$P_z = 2129 \text{ Н}$$

2.1.3. Подача, що обмежується допустимою силою різання:

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

де $C_{P_z} = 427$ – коефіцієнт пропорційності (табл. 9 [15]);

$V = 150$ м/хв – попередньо прийнята швидкість різання;

$x_{P_z} = 1$; $y_{P_z} = 0,8$; $n_{P_z} = 0$ – показники степенів (табл. 9 [15]).

Загальний поправочний коефіцієнт K_{P_z} :

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

де $K_{MP_z} = \left(\frac{210}{190} \right)^{1,08} = \left(\frac{210}{190} \right)^{1,08} = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалу заготовки та ріжучого інструменту, табл. 11 [15];

$K_{\lambda P_z} = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу різальної кромки на силу різання, с. 25 [15];

$K_{\varphi P_z} = 0,89$ – коефіцієнт, що враховує вплив головного кута в плані, табл. 12 [15];

$K_{\gamma P_z} = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив переднього кута, табл. 12 [15];

$K_{r P_z} = 0,91$ – коефіцієнт, що враховує вплив радіусу ($\sim 0,8$ мм) вершини різальної кромки, табл. 12 [3].

$$K_{P_z} = 1,1 * 0,89 * 1 * 1 * 0,91 = 0,89$$

$$[S]_P = \left(\frac{2129}{427 \cdot 1,1 \cdot 0,89} \right)^{\frac{1}{0,8}} = 7,6 \text{ мм/об}$$

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

За табл. 4 [15] для різця з радіусом вершини $> 0,5$ мм, що оброблю чавун, забезпечуючи шорсткість обробленої поверхні $Ra = 10$ мкм, обираємо $[S]_{ш} = 0,7$ мм/об.

З двох знайдених у пп. 2.1, 2.2 подач обираємо меншу. Остаточню маємо:

$$S = 0,7 \text{ мм/об}$$

3. Розрахунок допустимої швидкості різання.

3.1. Швидкість різання, що допускається потужністю верстата (с. 28 [15]).

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

де $N = 29,8$ кВт – максимальна потужність двигуна з урахуванням ККД (див. табл. 8.1);

$K_{\Pi} = 1,25$ – коефіцієнт допустимого перевантаження двигуна при обробленні твердосплавним різцем (с. 28 [15]).

$$[V]_B = \frac{60 * 1000 * 29,8 * 1,25}{2129} = 1050 \text{ м/хв}$$

3.2. Швидкість різання, що допускається стійкістю різця (с. 28-29 [3]).

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

де $C_v = 293$ – коефіцієнт пропорційності при обробленні чавуну твердосплавним різцем на подачі понад 0,4 мм/об (табл. 13 [15]);

$x_v = 0,15$; $y_v = 0,4$; $m = 0,2$ – показники степенів при обробленні чавуну твердосплавним різцем на подачі до 0,40 мм/об (табл. 13 [15]);

$T = 60$ хв – нормативний період стійкості різця. Оскільки оброблення здійснюється на верстаті з ЧПК, і період стійкості різця становить $T = 15$ хв, це враховуватиметься коефіцієнтом, що враховує вплив періоду стійкості $K_{Tv} = 1,25$. Цей коефіцієнт є одним з множників поправочного коефіцієнта K_v :

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

де $K_{Mv} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{1,25} = \left(\frac{190}{210}\right)^{1,25} = 0,89$ – для чавуна;

$K_{Cv} = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує стан сталі при обробленні (табл. 18 [15]);

$K_{Pv} = 1$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки (табл. 19 [15]);

$K_{iv} = 2,7$ – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу (ВК6) на швидкість різання (табл. 20 [15]);

$K_{\varphi v} = 0,7$; $K_{\varphi 1v} = 0,9$; $K_{rv} = 0,93$; $K_{qv} = 0,93$ – коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів різця на швидкість різання (табл. 21 [15]);

$K_{dv} = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив виду оброблення (поздовжнє обточування) на швидкість різання (табл. 22 [3]).

$$K_v = 1,25 \cdot 0,89 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 2,7 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 0,93 \cdot 0,93 \cdot 1 = 1,31$$

$$[V]_i = \frac{293 * 1,31}{15^{0,15} * 1,1^{0,4} * 0,7^{0,2}} = 248 \text{ м/хв}$$

З двох розрахованих швидкостей остаточно приймається менша. Маємо:

$$V = 248 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 \cdot 248}{3,14 \cdot 65} = 1215 \text{ об/хв}$$

В силу того, що чорнова оброблення здійснюється за один робочий хід, основний час чорнового оброблення становить:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{15}{0,7 \cdot 1215} = 0,02 \text{ хв} = 1,2 \text{ с}$$

10.1.3. Чистове обточування

1. Вибір глибини різання

На основі розрахунку припусків приймається (табл. 10.1) $2z_{max} = 0,74 \text{ мм}$. На сторону: $h = 0,37 \text{ мм}$.

2. Розрахунок найбільшої допустимої подачі

Оскільки різання буде виконуватися за допомогою різця з однаковими геометричними параметрами, є потреба в перерахунку лише тих величин, які залежать від глибини різання.

2.1. Сила різання, що допускається міцністю різальної пластини:

$$[P_z]_{пл} = 340 * h^{0,77} * c^{1,35} * \left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi} \right)^{0,8} = 340 * 0,37^{0,77} * 4^{1,35} * (0,87)^{0,8} \\ = 910 \text{ Н}$$

Подача, що обмежується допустимою силою різання:

$$[S]_P = \left(\frac{910}{427 \cdot 0,37 \cdot 0,89} \right)^{\frac{1}{0,8}} = 10,56 \text{ мм/об}$$

За табл. 4 [15] для різця з радіусом вершини $> 0,5 \text{ мм}$, що оброблює чавун, забезпечуючи шорсткість обробленої поверхні $Ra = 5 \text{ мкм}$, обираємо $[S]_{ш} = 0,35 \text{ мм/об}$.

З двох знайдених у пп. 2.1, 2.2 подач обираємо меншу. Остаточного маємо:

$$S = 0,35 \text{ мм/об}$$

3. Розрахунок допустимої швидкості різання

Швидкість різання, що допускається стійкістю різця:

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

де $C_v = 292$ – коефіцієнт пропорційності при обробленні чавуна твердосплавним різцем на подачі до 0,40 мм/об (табл. 13 [15]);

$x_v = 0,15$; $y_v = 0,2$; $m = 0,2$ – показники степенів при обробленні сірого чавуна твердосплавним різцем на до 0,40 мм/об (табл. 13 [15]);

$T = 15$ хв – нормативний період стійкості різця.

$K_v = 1,31$.

$$[V]_i = \frac{292 \cdot 1,31}{15^{0,15} * 0,37^{0,2} * 0,35^{0,2}} = 394 \text{ м/хв}$$

З двох розрахованих швидкостей остаточно приймається менша.
Маємо:

$$V = 394 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 \cdot 394}{3,14 \cdot 65} = 1930 \text{ об/хв}$$

В силу того, що чистове оброблення здійснюється за один робочий хід, основний час чорнового оброблення становить:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{15}{0,35 \cdot 1930} = 0,02 \text{ хв} = 1,2 \text{ с}$$

Розрахунок режимів різання для фрезерування площини 210h14 (чорнове), переходи 020.01

10.1.5. Вхідні дані

Таблиця 10.2. Вхідні дані до розрахунку режимів різання

Метод отримання заготовки	литво
Матеріал заготовки	СЧ20
Припуски на оброблення поверхонь по переходах, мм: - чорнове	4,1
Інструмент	Торцева фреза
Матеріал інструмента	Р6М5 (аналог)
Діаметр d, мм	20
Геометричні параметри різальної частини різця: - кут нахилу головної різальної кромки ω	30°

10.1.6. Чорнове фрезерування

1. Вибір ширини фрезерування.

Оптимальне емпіричне значення ширини фрезерування при обробленні торцевою фрезою – п'ята частина діаметра фрези. Приймаємо: $B = 4$ мм.

2. Розрахунок сили різання.

2.1. Сила різання $[P_z]_{\text{мп}}$, що допускається механізмом подач верстата:

$$[P_z]_{\text{мп}} = 2 * [P_{\text{axial}}]_z = 2 * 15035 = 30070 \text{ Н}$$

де $[P_{\text{axial}}]_z$ – максимальне зусилля вздовж осі Z (див. табл. 8.2).

2.2. Сила різання $[P_z]_{\text{ін}}$, що допускається інструментом:

$$[P_z]_{\text{ін}} = \frac{10 * C_p * t^x * S_z^y * B^u * z}{d^q * n_{\text{ш}}^v} * K_{\text{мр}}$$

де $C_p = 50$; $x = 0,9$; $y = 0,72$; $u = 1,14$; $q = 1,14$; $v = 0$ – параметри для оброблення торцевою фрезою з швидкорізальної сталі [16];

$z = 4$ – число зубів фрези;

$n_{\text{ш}} = 2600$ об/хв – попередньо прийнята частота обертання шпинделя;

$S_z = 0.03$ мм – подача на зуб;

$K_{\text{мр}} = 1,2$ для чавуна.

$$[P_z]_{\text{ін}} = \frac{10 * 50 * 4,1^{0,9} * 0,3^{0,72} * 4^{1,14} * 4}{20^{1,14} * 2600^0} * 1,2 = 477 \text{ Н}$$

З двох знайдених значень обирається найменше. Остаточного маємо:

$$P_z = 477 \text{ Н}$$

3. Розрахунок допустимої швидкості різання

Швидкість різання при фрезеруванні визначається за формулою [16]:

$$V = \frac{C_v d^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p}$$

де $C_v = 42$; $m = 0,15$; $p = 0,1$ – параметри для оброблення торцевою фрезою з швидкорізальної сталі [16];

$T = 15$ хв – нормативний період стійкості фрези.

$$K_v = K_{Tv} * K_{Mv} * K_{iv} * K_{Пv}$$

де $K_{Mv} = \left(\frac{150}{HB}\right)^{n_v} = \left(\frac{150}{210}\right)^{0,95} = 0,72$ – для ливарного сплаву (табл. 2.1 [16]);

$K_{Tv} = 1,25$ – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента;

$K_{Пv} = 0,85$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки (табл. 2.5 [16]);

$K_{iv} = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу (швидкорізальна сталь) на швидкість різання (табл. 2.6 [16]).

$$K_v = 0,72 * 1,25 * 0,85 * 1 = 0,765$$

$$V = \frac{42 * 20^{0,2}}{15^{0,15} * 4,1^{0,1} * 0,3^{0,4} * 4^{0,1} * 4^{0,1}} = 54,26 \text{ м/хв}$$

Швидкість різання за класичною формулою:

$$V = \frac{\pi * d * n}{1000} = \frac{3,14 * 10 * 2600}{1000} = 81,68 \approx 82 \text{ м/хв}$$

З двох знайдених значень обирається найменше. Остаточного маємо:

$$V = 54,26 \text{ м/хв}$$

В силу того, що чорнове оброблення здійснюється за один робочий хід, основний час чорнового оброблення становить:

$$T_o = \frac{L}{S * z * n} = \frac{2520}{0,3 * 4 * 2600} = 0,808 \text{ хв} = 48,48 \text{ с}$$

де $L = 2520$ мм – довжина робочої траєкторії фрези.

10.2. Визначення режимів різання аналоговим методом

При встановленні режимів різання за допомогою аналогового методу будемо користуватися калькулятором Sandvik Coromant та каталогом Saratools для токарних, фрезерних, свердлильних і різьбонарізних операцій.

Отримані дані зведено в таблиці 10.3 – 10.6

Таблиця 10.3. Параметри режимів різання на операції 005

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	п, об/хв	T _о , хв
01	Підрізання торця	інструмент DSSNR 2020K 12 пластина SNMA 12 04 16-KR 3210	274	0,7	0,778	4600	0,166

02	Точіння чорнове	інструмент A32T-SSKCR 12 пластина SCMT 12 04 12- KR 3210	279	5,7	0,373	1100	0,621
03	Точіння фаски	інструмент A20S-SDXCR 11-R пластина DCMT 11 T3 08- KR 3210	312	0,75	0,282	692	0,015
04	Обточування чорнове	інструмент RF123F10- 2020B пластина N123F2-0318- RM 3115	134	0,55	0,37	251	0,08
05	Точіння чорнове	інструмент DSDNN 2020K 12 пластина 7 SNMA 12 04 16-KR 3210	304	0,25	0,607	570	0,022
06	Точіння начисто	інструмент DSDNN 2020K 12 пластина 7 SNMA 12 04 16-KR 3210	304	0,15	0,408	570	0,055
07	Точіння фаски	інструмент A20S-SDXCR 11-R пластина DCMT 11 T3 08- KR 3210	312	0,75	0,282	692	0,015
08	Обточування чорнове	інструмент RF123F10- 2020B пластина N123F2-0318- RM 3115	134	0,55	0,37	251	0,08
09	Точіння чорнове	інструмент DSDNN 2020K 12 пластина 7 SNMA 12 04 16-KR 3210	304	0,25	0,607	570	0,05
10	Точіння начисто	інструмент DSDNN 2020K 12 пластина 7 SNMA 12 04 16-KR 3210	304	0,15	0,408	570	0,15

11	Точіння фаски	інструмент A20S-SDXCR 11-R пластина DCMT 11 T3 08-KR 3210	312	0,75	0,282	692	0,015
12	Центрування	свердло 460.1-0400-012A0-XM GC34	83,9	0,7	0,162	4520	0,01
13	Свердління	інструмент 870-1000-6L16-3 пластина 870-1000-6-KM 3334	130	5	0,188	3450	0,228
14	Нарізання різьби	інструмент R217.14-120150AC22N 1630	47,6	6	1,75	1260	0,085
11	Точіння фаски	інструмент A20S-SDXCR 11-R пластина DCMT 11 T3 08-KR 3210	312	0,5	0,282	692	0,015
15	Центрування	свердло 460.1-0400-012A0-XM GC34	83,9	0,7	0,162	6680	0,001
16	Свердління	інструмент 870-2200-22L25-3 пластина 870-2200-22-KM 3334	130	45	0,435	1880	0,1
17	Зенкерування	інструмент 870-2200-22L25-3 пластина 870-2200-22-KM 3334	130	45	0,15	1880	0,3
18	Розсвердл.	свердло спіральне арт. 101080 2400	130	45	200	1000	0,39

Таблиця 10.4. Параметри режимів різання на операції 010

01	Підрізання торця	інструмент DSSNR 2020K 12 пластина SNMA 12 04 16-KR 3210	274	0,7	0,778	6000	0,113
02	Обточування чорнове	інструмент DSSNR 2525M 15 пластина SNMG 15 06 16-KR 3210	225	1,1	0,863	422	0,04
03	Обточування чистове		225	0,5	0,40	422	0,09
04	Точіння фаски	інструмент A20S-SDXCR 11-R пластина DCMT 11 T3 08-KR 3210	312	0,75	0,282	692	0,015
05	Розточування чорнове	інструмент C5-PSRNR-27060-19 пластина SNMG 19 06 16-KR 3210	200	5	0,632	398	0,04
06	Розточування чистове		200	1,3	0,35	398	0,07
07	Обточування чорнове	інструмент RF123F10-2020B пластина N123F2-0318-RM 3115	134	0,55	0,37	251	0,08
08	Підрізання торця	інструмент DSSNR 2020K 12 пластина SNMA 12 04 16-KR 3210	274	0,7	0,778	6000	0,113

Таблиця 10.5. Параметри режимів різання на операції 015

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T _о , хв
01	Фрезерування чорнове	інструмент R390-030A25L-11L пластина R390-11 T3 16M-KM 3330	303	4,375	0,35	3210	0,138
02	Центрування	свердло Article no./ATORN no. 1005801000/10916108	130	5	0,16	1230	0,02
03	Свердління	інструмент 870-2600-26LX125-3 пластина 870-2200-22-KM 3334	151	13,25	0,47	1380	0,05

04	Нарізання різьби	інструмент T300- XM101DA-M30 B110	12,6	15	3,5	133	0,189
05	Свердління	інструмент 460.1-1020- 031A0-XM GC34	130	5,1	0,29	3450	0,031
06	Нарізання різьби	інструмент T100- KM107AA-M12 D210	66	6	1,75	126	0,133
07	Фрезерувати фаску	інструмент 495-012A16- 3009L пластина 495-09T3M- MM 1040	175	0,5	0,282	692	0,02

Таблиця 10.6. Параметри режимів різання на операції 020

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	п, об/хв	T _о , хв
01	Фрезерування чорнове	інструмент Article по./ATORN по. 2625311975/11113005 пластина APKT 1003-PDS- R PH7930	200	1,25	0,26	2770	1,85
02	Центрування	свердло 460.1-0400- 012A0-XM GC34	93	2	0,162	2130	0,01
03	Свердління	інструмент 460.1-1000- 030A0-XM GC34	130	5	0,35	2640	0,7
04	Свердління	інструмент 860.1-0600- 049A1-GM X1BM	104	3	0,3	1530	0,8

11. НОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

11.1. Розрахунок штучного часу для операції 005

Користуватимемо методику, викладену в [17].

Норма часу виконання операції на верстаті з числовим програмуванням (ЧПК) при роботі на одному конкретному верстаті $T_{шт.к}$ складається з норми підготовчо-заклучного часу $T_{пз}$ та норми штучного часу $T_{шт}$:

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} \quad (11.1)$$

де n – розмір партії деталей, що визначається за формулою:

$$n = \frac{N * t}{F} \quad (11.2)$$

де $N = 1000$ шт – загальний обсяг випуску;

t – кількість днів, на які треба забезпечити запас деталей (нехай на 17 днів);

$F = 250$ – середня кількість робочих днів у році.

$$n = \frac{1000 * 17}{250} = 68 \text{ шт}$$

Формула норми штучного часу має вигляд (с. 278 [17]):

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_v + T_{\text{обс}} + T_{\text{потр}} \quad (11.3)$$

де T_o – основний час оброблення однієї деталі на даній операції, хв.

Являє собою сумарний час оброблення на даній операції:

$$T_o = \sum T_{oi} = 1,622 \text{ хв}$$

Норма допоміжного часу T_v є нормою часу на здійснення дій, які дають можливість виконати основну роботу, наприклад: установлення та зняття заготовки/деталі, вмикання та вимикання верстата, неробочі рухи інструменту, зміна інструменту на інший або зміна позиції поточного інструменту. На цій операції T_v визначимо за формулою:

$$T_v = T_{\text{мв}} + T_{\text{ву}} \quad (11.4)$$

де $T_{\text{мв}}$ – допоміжний час, пов'язаний з виконанням холостих і допоміжних ходів і переміщень при обробленні поверхонь, для операції 005 $T_{\text{мв}} = 2,25$ хв.

$T_{\text{ву}}$ – час на установлення та зняття заготовки, вмикання-вимикання верстата приймаємо $T_{\text{ву}} = 2$ хв.

Маємо:

$$T_v = 2,25 + 2 = 4,25 \text{ хв}$$

В одиничному та серійному виробництвах час на обслуговування робочого місця сумується з часом на відпочинок і особисті потреби робітника (оператора верстата) та розраховується у відсотках від штучного

часу, таким чином формула норми штучного часу остаточно приймає вигляд (с. 278 [17]):

$$T_{\text{шт}} = (T_o + T_v) \left(1 + \frac{K}{100}\right) \quad (11.5)$$

де згідно з [8] приймаємо $K = 5$

Маємо:

$$T_{\text{шт}} = 1.05 * (1,622 + 4,25) = 5,872 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час $T_{\text{пз}}$ нормується на партію деталей. Його частина, що припадає на одну деталь, включається до норми штучно-калькуляційного часу.

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{пз.орг}} + T_{\text{пз.настр}} + T_{\text{пз.обр}} \quad (11.5)$$

де $T_{\text{пз.орг}} = 15 \text{ хв}$ – час на організаційну підготовку;

$T_{\text{пз.настр}} = 5 \text{ хв}$ – час на налагодження програм верстата, ріжучого інструменту, пристроя подачі прутків;

$T_{\text{пз.обр}}$ – час на оброблення пробної деталі; приймемо норму часу в півтора раза більшу:

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{пз.орг}} + T_{\text{пз.настр}} + 1.5T_{\text{шт}} = 20 + 1,5 * 5,872 = 28,808 \text{ хв}$$

Остаточно маємо:

$$T_{\text{шт.к}} = 5,872 + \frac{28,808}{68} = 6,295 \text{ хв}$$

Для всіх інших операції розраховуються аналогічним методом. Дані занесені в таблицю 11.1:

Таблиця 11.1. Нормування операцій

№	T_o	T_v		K	$T_{\text{шт}}$	$T_{\text{пз}}$			$T_{\text{шт.к}}$
		$T_{\text{мв}}$	$T_{\text{ву}}$			$T_{\text{пз.орг}}$	$T_{\text{пз.настр}}$	$T_{\text{пз.обр}}$	
005	1,622	2,25	2	5	5,872	15	5	28,808	6,295
010	2,497	2,8	5	4	10,71	10	8	34,065	11,211
015	2,077	3,2	5	4	11,11	10	5	31,665	11,575

12. ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ

12.1. Розроблення та розрахунок верстатного пристрою

12.1.1. Вихідні дані для розроблення конструкції верстатного пристрою

Основними вихідними даними є:

- робочі кресленики деталі та заготовки;
- технологічна документація на поточну операцію (для якої розробляється пристрій) і на попередню;
- річна програма виробництва;
- типові конструкції пристроїв для аналогічної деталі або групи деталей;
- паспортні дані верстата, на якому передбачається виконання технологічної операції.

12.1.2. Вихідні дані для розроблення конструкції верстатного пристрою для операції 015

Пристрій застосовується на багатоцільовій операції 020. Ця операція виконується на верстаті Haas VF-3YT. Пристрій встановлюється на верстатний стіл з Т-подібними пазами. На цій операції використовуються пальці спеціальної конструкції (власного виробництва) (один циліндричний і один ромбічний), встановлені на дві планки які прижимаються болтом і прямокутним пазом. Закріплюється заготовка одним прихватом посередині деталі. 3D-модель зображена на рисунку 12.1.

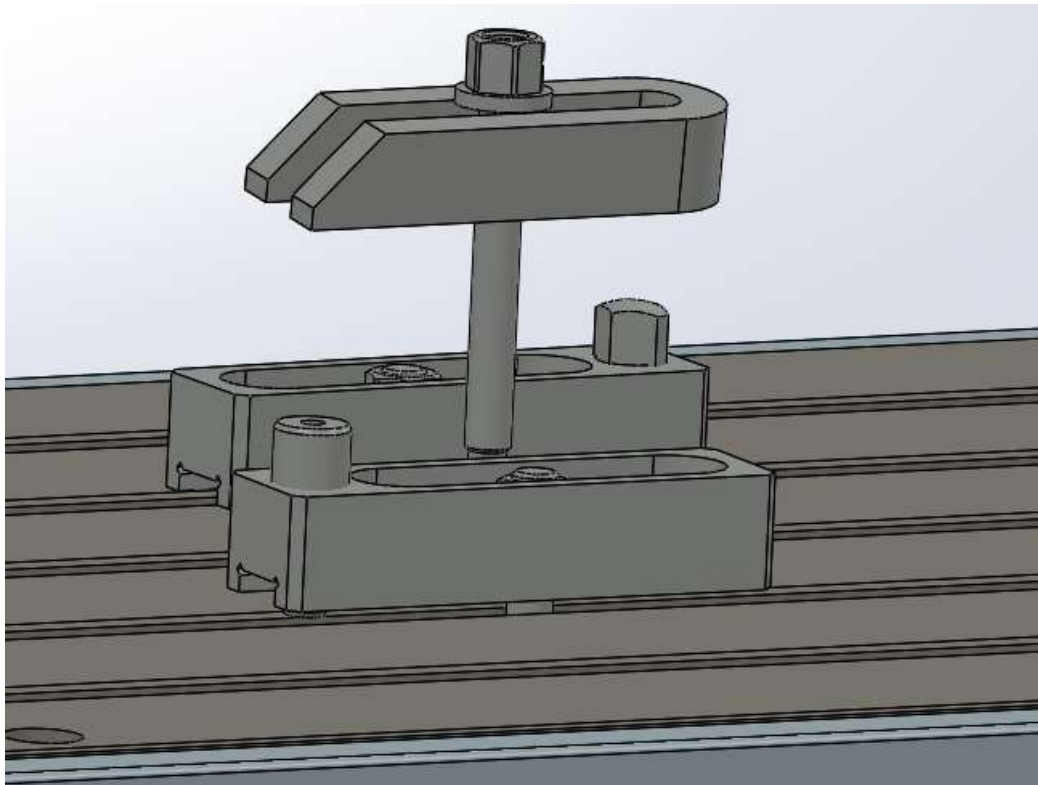


Рис. 12.1. 3д-модель стандартної оснастки для операції 015

12.1.3. Послідовність розроблення конструкцій верстатних пристроїв

Для розроблення конструкції пристроїв необхідно провести аналіз різних можливих способів установки деталі в пристрій та обрати найбільш підходящий. Далі необхідно здійснити розрахунок сили закріплення, розробити схему затискного механізму, створити ескіз загального виду та провести розрахунки пристрою на точність і міцність.

12.2. Розрахунок похибки установки

Встановлення заготовки на пальці здійснюється з зазором, що може призводити до похибки базування. Для визначення цієї похибки необхідно обчислити значення граничного зсуву та граничного повороту. Ці величини дозволяють встановити максимально припустиму величину відхилення заготовки від бажаної позиції на пальцях.

12.2.1. Похибка базування. Граничний зсув

Похибка базування:

$$\varepsilon_{\text{б}} = S_{\text{min}} + T_{\text{пал}} + T_{\text{отв}} \quad (12.1)$$

де $S_{min} = 20$ мкм – мінімальний зазор посадки $H8/f8$ для номінальних розмірів 18...30 мм (табл. Г.7 [19]), $T_{пал} = 33$ мкм – допуск на розмір пальця, $T_{отв} = 33$ мкм – допуск на розмір базового отвору.

$$\varepsilon_6 = 20 + 33 + 33 = 86 \text{ мкм}$$

12.2.2. Похибка базування. Граничний поворот

В [20] наведено загальну формулу тангенса кута граничного повороту. Спростимо її:

$$\tan \alpha = \frac{S_{max1}}{2L_1} = \frac{S_{max2}}{2L_2} \quad (12.2)$$

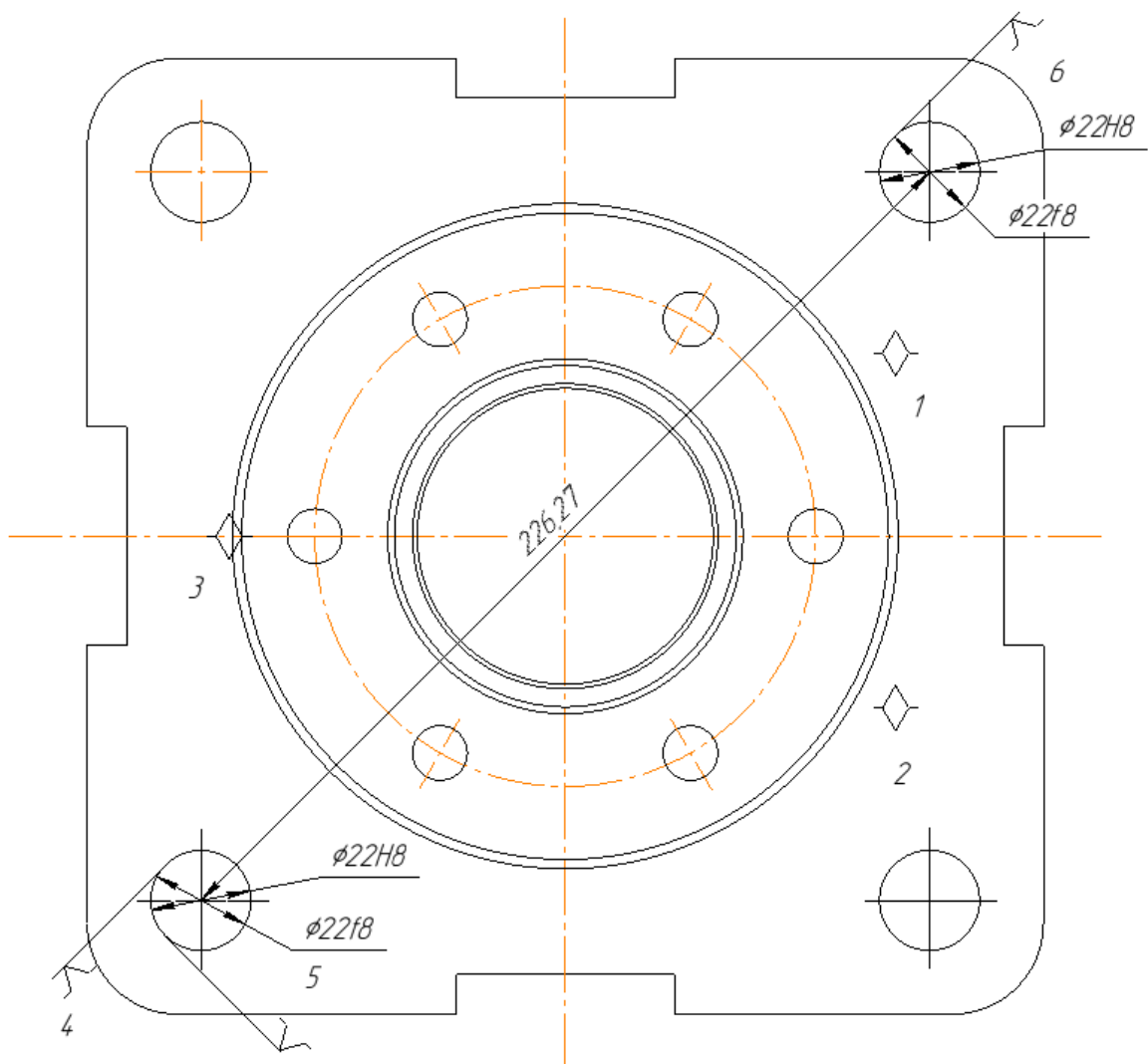


Рис. 12.2. Схема до визначення граничного повороту

Спростимо формулу (12.2):

$$L_1 = L - L_2$$

$$\tan \alpha = \frac{S_{max1}}{2 * (L - L_2)} = \frac{S_{max2}}{2L_2}$$

$$S_{max2} * (L - L_2) = S_{max1} * L_2$$

$$L_2 * (S_{max1} + S_{max2}) = L * S_{max2}$$

$$L_2 = \frac{L * S_{max2}}{(S_{max1} + S_{max2})}$$

$$\tan \alpha = \frac{S_{max2} * (S_{max1} + S_{max2})}{2 * L * S_{max2}} = \frac{S_{max1} + S_{max2}}{2 * L}$$

З табл. Г.7 [19]: $S_{max1} = S_{max2} = 0,086$ мм.

$$\tan \alpha = \frac{0,086 + 0,086}{2 * 226,27} = 0,00038$$

$$\alpha = 0^{\circ}1'18''$$

12.2.3. Похибка закріплення заготовки в пристрої внаслідок дії сил різання

З таблиці П20 [21], для заготовки з поперечним розміром 180...260 мм і остаточно обробленою базовою поверхнею, $\varepsilon_3 = 250$ мкм.

12.2.4. Похибка установки

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\Pi}^2} \quad (12.3)$$

Оскільки використовується один пристрій, похибка пристрою $\varepsilon_{\Pi} = 0$.

$$\varepsilon_y = \sqrt{86^2 + 250^2} \approx 266 \text{ мкм}$$

12.3. Розрахунок точності пристрою за допомогою прикладної програми

Для проведення розрахунків будемо використовувати програму "Параметри верстатного пристрою при базуванні деталі на отвори". Основне вікно програми можна побачити на рисунку 12.3. На цьому етапі виберемо вкладку "кількість базових отворів більше одного". Для обчислень візьмемо еквівалентну деталь - квадратну плиту зі стороною 213 мм і товщиною 45 мм. У нас є два базових отвори, розташовані точно так само, як на вихідній деталі. Після введення необхідних параметрів для розрахунків у таблицю, натиснемо кнопку "визначити отвори для базування". Результати будуть представлені на рисунку 12.4.

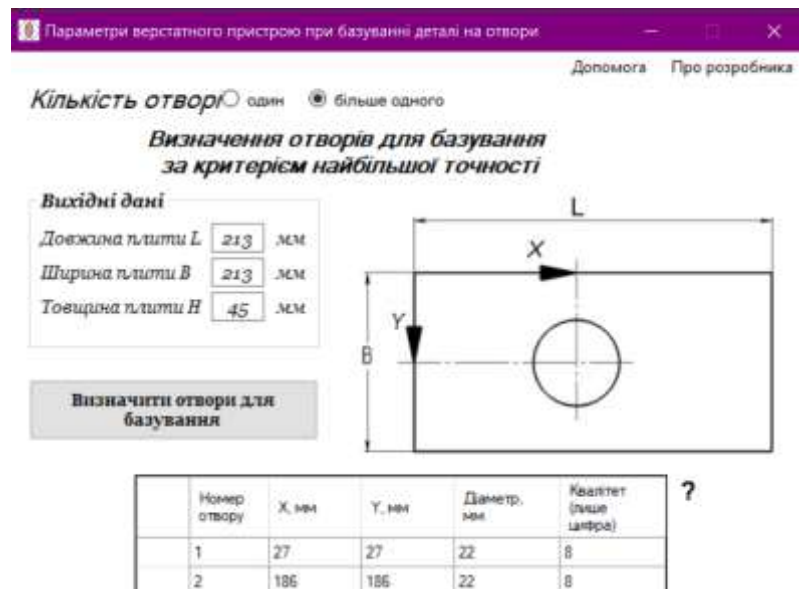


Рис. 12.3. Інтерфейс головного вікна програми

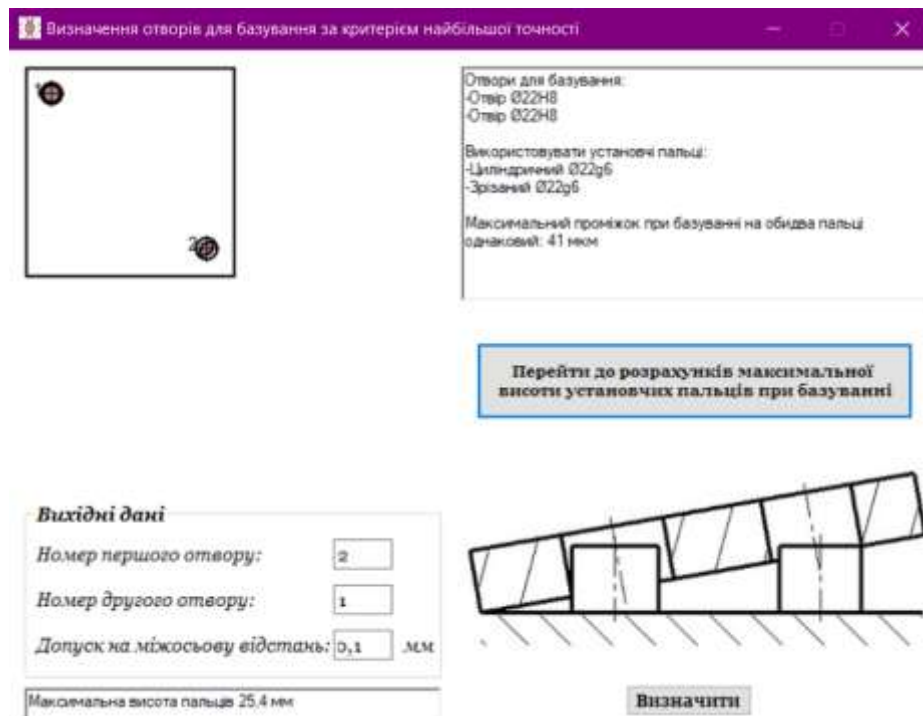


Рис. 12.4. Визначення отворів для базування за критерієм найбільшої точності

У програмі були обрані діаметри пальців, які відрізняються від прийнятих у пункті 12.2. Посадки H8/g6 є більш точними, оскільки мають менший допуск, а мінімальне та максимальне відхилення ближчі до номінального значення. Тепер перейдемо до розрахунків максимальної висоти установчих пальців при базуванні. Максимальна висота пальців

становить 25,4 мм. Зрештою, ми приймаємо посадки базових отворів з пальцями H8/f8. За формулами (12.1), (12.2), (12.3) отримуємо:

$$\begin{aligned}\varepsilon_6 &= 7 + 33 + 15 = 55 \text{ мкм} \\ \tan \alpha &= \frac{0,055 + 0,055}{2 * 226,27} = 0,00024 \\ \alpha &= 0^{\circ}0'49'' \\ \varepsilon_y &= \sqrt{55^2 + 250^2} \approx 256 \text{ мкм}\end{aligned}$$

12.4. Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв

Найбільші сили різання виникатимуть при фрезерування торцевою фрезою, тому розрахунки проводитимуться з умови рівноваги саме при цьому переході.

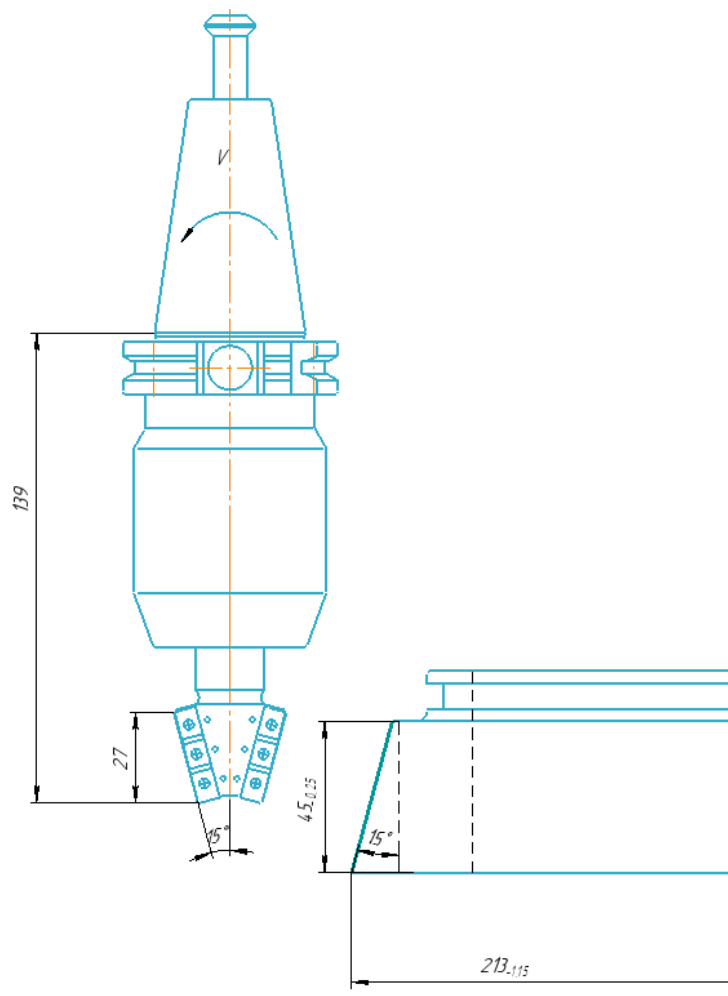


Рис. 12.5. Схема оброблення технологічного переходу 01.

Для визначення сили затиску під час торцевого фрезерування потрібно врахувати сили, які впливають на заготовку під час оброблення, як показано на рисунку 12.5. На заготовку діють сили різання, позначені як P , які можуть бути розкладені на три осі: P_x , P_y і P_z . Сила тертя між заготовкою і поверхнею планки протидіє силі різання.

Сила закріплення Q заготовки:

$$Q = K \cdot Q_1, \quad (12.4)$$

де K – коефіцієнт запасу, Q_1 – протидія збуджуючим силам.

Для розрахунку сили закріплення складемо рівняння рівноваги:

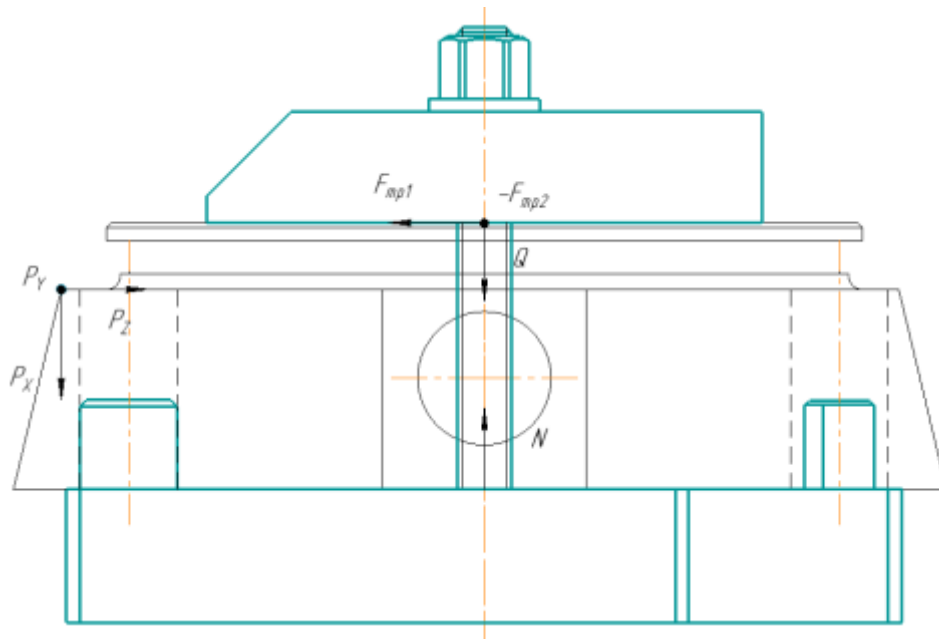


Рис. 12.6. Сили, котрі діють на заготовку

$$\sum F_x = 0 = P_x + N - Q_1 \quad (12.5)$$

$$\sum F_y = 0 = -F_{тр2} + P_y \quad (12.6)$$

$$\sum F_z = 0 = -F_{тр1} + P_z \quad (12.7)$$

$$\sqrt{F_{тр1}^2 + F_{тр2}^2} = f \cdot N \quad (12.8)$$

Де $F_{тр1}$, $F_{тр2}$ – сили тертя; N – реакція опори поверхні; f – коефіцієнт тертя $f=0,16$, оскільки базові поверхні оброблені.

Обчислимо наближене значення головної складової сили різання при фрезеруванні [16]:

$$P_z = \frac{10 * 50 * 4,375^{0,9} * 0,162^{0,72} * 6^{1,14} * 2}{30^{1,14} * 3210^{-0,1}} * 1,2 = 437 \text{ Н}$$

де $C_p = 50$; $x = 0,9$; $y = 0,72$; $u = 1,14$; $q = 1,14$; $v = -0,1$ – параметри для оброблення торцевою фрезою з швидкорізальної сталі [16];

$z = 2$ – число зубів фрези;

$n_{ш} = 3210$ об/хв – попередньо прийнята частота обертання шпинделя;

$S_z = 0,162$ мм – подача на зуб, визначена за каталогом Sandvik для оброблення сірого чавуна торцевою фрезою з швидкорізальної сталі.

Встановлюємо інші складові сили різання P_x, P_y як: $P_x = 0,3P_z = 0,3 \cdot 437 = 131,1$ Н, $P_y = 0,4P_z = 0,4 \cdot 437 = 174,8$ Н.

Під час оброблення виникає сила різання, якій протидіє сила тертя.

Коефіцієнт запасу:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (12.9)$$

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

$K_1 = 1$ – складова, що враховує збільшення сили різання через нерівномірність припуску на оброблюваних поверхнях заготовки;

$K_2 = 1,6$ – складова, що враховує збільшення сили різання через затуплення різального інструмента (табл. 2 [22]);

$K_3 = 1,2$ – складова, що враховує збільшення сили різання через переривчасте різання (табл. 3 [22]);

$K_4 = 1$ – складова, що враховує постійність сил, реалізованих ручними механізмами закріплення (табл. 3 [22]);

$K_5 = 1$ – складова, що характеризує зручність ручного регулювання механізмів закріплення (табл. 3 [22]);

$K_6 = 1$ – складова, що враховує наявність моментів, які прагнуть повернути заготовку на опорах (табл. 3 [22]);

Остаточно:

$$K = 1,5 * 1 * 1,6 * 1,2 * 1 * 1 * 1 = 2,88$$

Отже результати розрахунків такі:

$$Q_1 = 2941 + 131,1 = 3072,1$$

$$F_{\text{тр}2} = 174,8 \text{ Н}$$

$$F_{\text{тр}1} = 437 \text{ Н}$$

$$N = \frac{\sqrt{437^2 + 174,8^2}}{0,16} = 2941 \text{ Н}$$

$$Q = 2,88 \cdot 3072,1 = 8847,65 \text{ Н}$$

12.5. Розрахунок силових механізмів пристроїв

12.5.1. Розрахунок сили, що розвивається гвинтовим механізмом

Схему сил закріплення наведено на рис. 12.6.

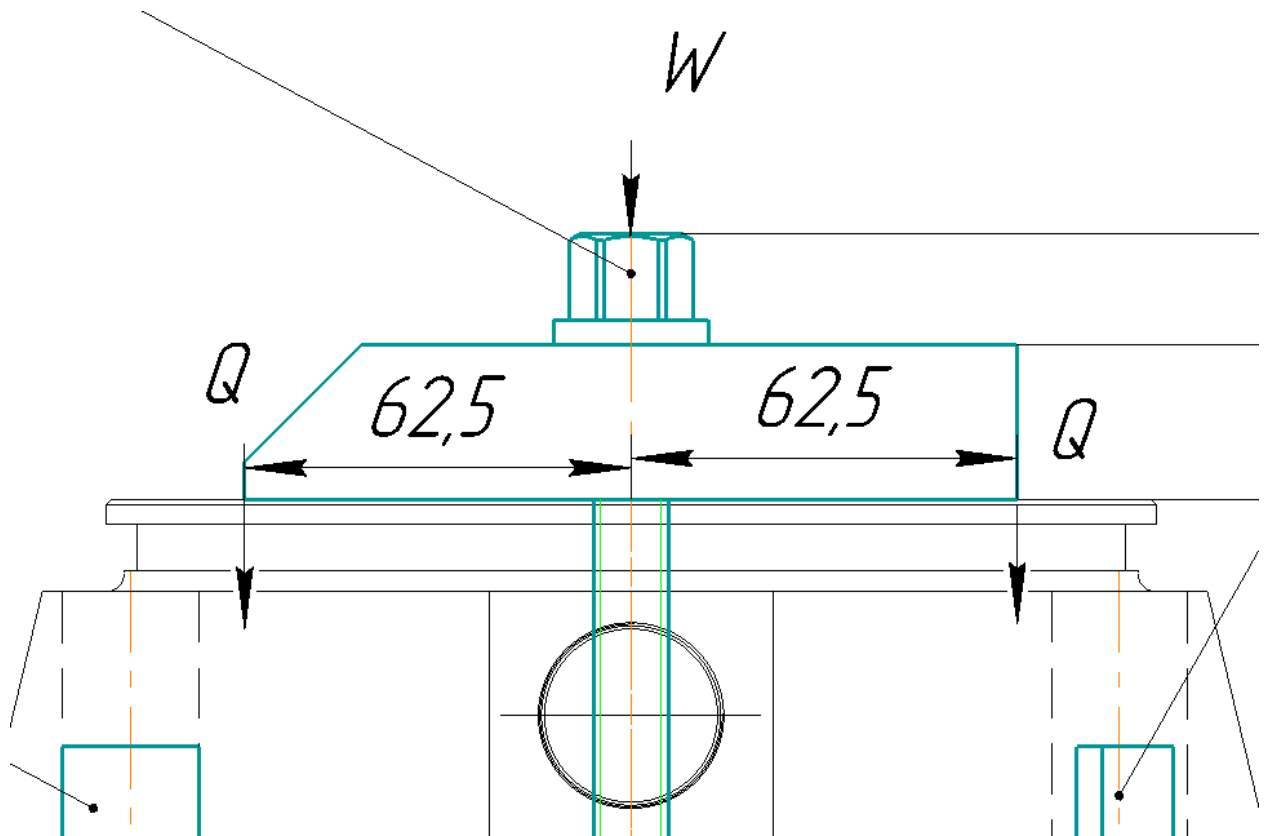


Рис. 12.7. Схема сил закріплення

Спрощено цю схему можна представити так, як показано в табл. 4.2.1 [23].

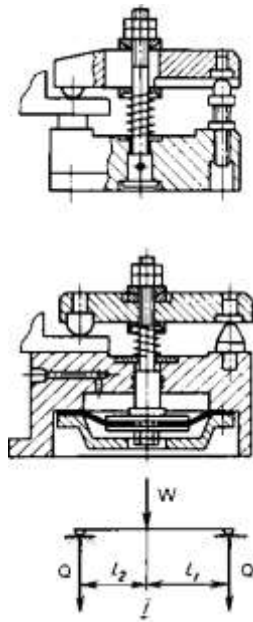


Рис. 12.8. Спрощена схема сил закріплення

Формули для розрахунку:

$$W = \frac{Q}{i} \quad (12.10)$$

$$i = \frac{l_1 + l_2}{l_2} * \eta \quad (12.11)$$

В затискних механізмів втрати на тертя в опорах і точках контакту з заготовкою та блоком складають близько 5%. Для врахування втрат у формулу передавального числа (12.7) вводиться коефіцієнт корисної дії $\eta = 0.95$.

$$i = \frac{62,5 + 62,5}{62,5} \cdot 0,95 = 1,9$$

$$W = \frac{8847,65}{1,9} = 4656,7 \text{ Н}$$

12.5.2. Розрахунок різьби на міцність

Схема задачі показана на рис. 13.4.

Вхідні дані:

- тип навантаження: розтягування;
- діаметр болта – внутрішній діаметр різьби M12: $D = 10,863 \text{ мм}$;
- сила розтягу: $W = 11310 \text{ Н}$.

Класична формула визначення напружень для такого навантаження:

$$\sigma = \frac{W'}{S} = \frac{4W'}{\pi d^2} \leq [\sigma] \quad (12.12)$$

Маємо:

$$\sigma = \frac{4 \cdot 4657,5}{3,14 \cdot 118} = 50,28 \text{ МПа} < [\sigma] = 690 \text{ МПа}$$

Отже, міцність болта забезпечується.

Також необхідно розрахувати різьбу на зріз. Формула дотичного напруження:

$$\tau = \frac{W'}{S_{зр}} \leq [\tau] = 0,5[\sigma] = 345 \text{ МПа}$$

$S_{зр}$ – площа зрізу. Контакт болта по різьбі відбувається з гайкою.

Висота контакту:

$$h = 11,57 \text{ мм}$$

Площа зрізу дорівнює:

$$S_{зр} = h \cdot \pi D = 11,57 \cdot 3,14 \cdot 10,863 = 394,65 \text{ мм}^2$$

$$\tau = \frac{4657,5}{394,65} = 11,8 \text{ МПа} < [\tau] = 345 \text{ МПа}$$

Міцність різьби на зріз також забезпечується.

12.5.3. Розрахунок сили, яку необхідно прикласти на ключ для затиску заготовки

Сила затягування гайки визначається за формулою:

$$F = \frac{M_3}{l} \quad (12.13)$$

де l – плече, що залежить від довжини гайкового ключа, мм; M_3 – момент затягування, Н*мм.

Момент затягування:

$$M_3 = k \cdot W' \cdot d_2 \quad (12.14)$$

де $k = 0,18$ – коефіцієнт тертя;

$d_2 = 10,863$ мм – середній діаметр різьби М12.

$$M_3 = 0,18 \cdot 4657,5 \cdot 10,863 = 9106,996 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Максимальне допустиме зусилля, яке може прикласти робітник до ключа, обмежується значенням 150 Н.

Довжина ріжкового накидного ключа на 18 приблизно складає 200 мм. Відповідно, довжина плеча, при якій робітник може взятися за ключ, є трохи меншою. Приймаємо $l = 160$ мм.

$$F = \frac{9106,996}{160} = 57 \text{ Н}$$

13. ВИПРОБУВАННЯ ДЕТАЛІ НА ДОПУСТИМІ НАПРУЖЕННЯ, ЗМІЩЕННЯ І ДЕФОРМАЦІЮ

13.1. Вступ

У сучасному інженерному проєктуванні дуже важливо проводити випробування компонентів на допустимі напруження, зсуви та деформації для забезпечення їхньої надійності та довговічності. Однак традиційні методи випробувань можуть бути складними, тривалими та ресурсозатратними. На цьому тлі використання комп'ютерного програмного забезпечення стало важливим інструментом для моделювання поведінки компонентів за різних навантажень та умов.

Даний дослідницький проєкт присвячений розробці та застосуванню методів тестування допустимих напружень, зсувів і деформацій компонентів з використанням SolidWorks Simulation. Основною метою є оцінка меж допуску параметрів компонента і забезпечення безпечної та ефективної роботи.

Для досягнення цієї мети вивчають теоретичні засади методів чисельного моделювання та випробувань компонентів: за допомогою програмного забезпечення SolidWorks розробляють 3D-модель компонента, задають граничні умови та навантаження.

Цей дослідницький проєкт відіграє важливу роль у вдосконаленні процесів проєктування та випробування компонентів для забезпечення високої якості та ефективної роботи. Результати цього дослідження будуть

корисні інженерам і конструкторам, які працюють у галузях, де важливі точність і надійність компонентів.

13.2. Аналіз існуючих способів випробування на допустимі напруження, зміщення і деформації

Для визначення допустимих параметрів деталі і забезпечення безпеки та надійності виробу існують різні методи і техніки випробування. Давайте розглянемо деякі з них:

1. Фізичні випробування: Цей метод включає проведення реальних випробувань деталі на фізичних випробувальних машинах. Наприклад, можуть використовуватись ударні, статичні або динамічні навантаження для вимірювання напружень, зміщення і деформацій у деталі.

- Великі затрати: Фізичні випробування вимагають значних матеріальних ресурсів, часу та коштів на проведення експериментів.
- Обмежений діапазон випробувань: Фізичні випробування не завжди можуть відтворити всі можливі умови навантаження, особливо у випадках екстремальних навантажень або високих швидкостей.
- Деструктивний характер: Фізичні випробування зазвичай знищують тестові зразки, що ускладнює отримання повторних даних та вимагає додаткових затрат на виготовлення нових зразків.

2. Аналітичні методи: Деякі деталі можуть бути аналізовані за допомогою аналітичних методів, які використовують математичні рівняння та формули для визначення напружень, зміщення і деформацій.

- Обмежена застосовність: Аналітичні методи зазвичай застосовуються до простих геометричних форм або деталей з вивченою поведінкою. Вони можуть бути непридатними для складних або нестандартних структур.
- Припущення та спрощення: Аналітичні методи ґрунтуються на ряді припущень, які можуть призвести до неточностей у розрахунках,

особливо у складних ситуаціях зі значними навантаженнями чи неоднорідним матеріалом.

13.3. Вирішення проблеми

Випробування на допустимі напруження, зміщення і деформації буде відбуватися в програмі SolidWorks 2018 в підпрограмі Simulation яка має такі переваги:

- Економія часу та коштів
- Розширений діапазон випробувань
- Можливість повторних випробувань
- Висока точність
- Широкий спектр можливостей
- Швидкість та ефективність
- Врахування складних геометрій
- Візуалізація результатів

Для початку дослідження в програмі SolidWorks Simulation необхідно мати 3D модель деталі яку можна скачати, якщо ви на підприємстві, або створити необхідну модель з нуля, як в нашому випадку. Зробивши необхідну деталь для досліду, обов'язково потрібно визначить відповідний матеріал, після чого можна переходить до вибору потрібного випробування.



а)

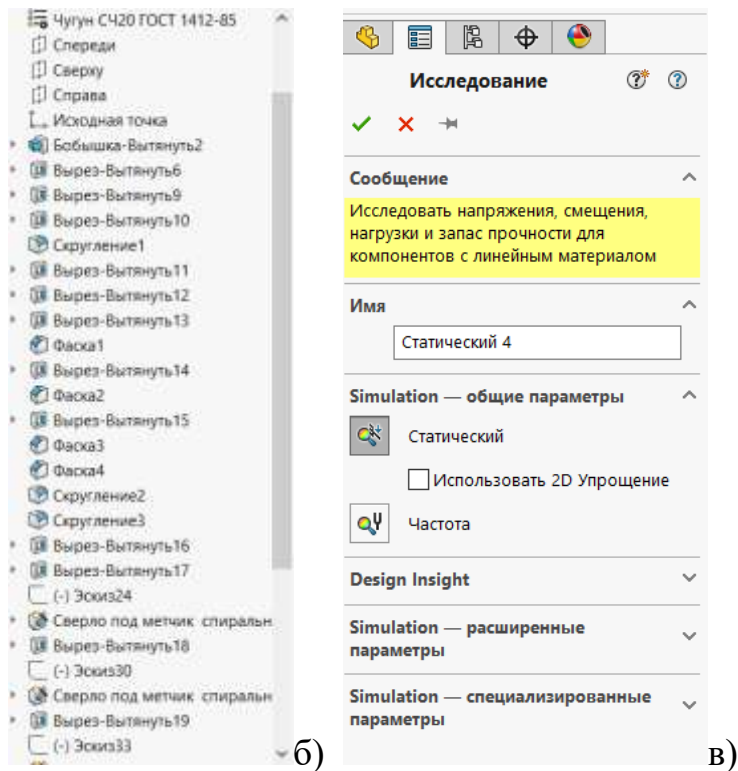


Рис. 13.1. а) дерево конструирования (FeatureManager); б) меню підпрограми Simulation; в) меню вибору випробувань (PropertyManager).

В меню дослідження виставляєм всі можливі кріплення і сили які будуть діяти на деталь і тд.

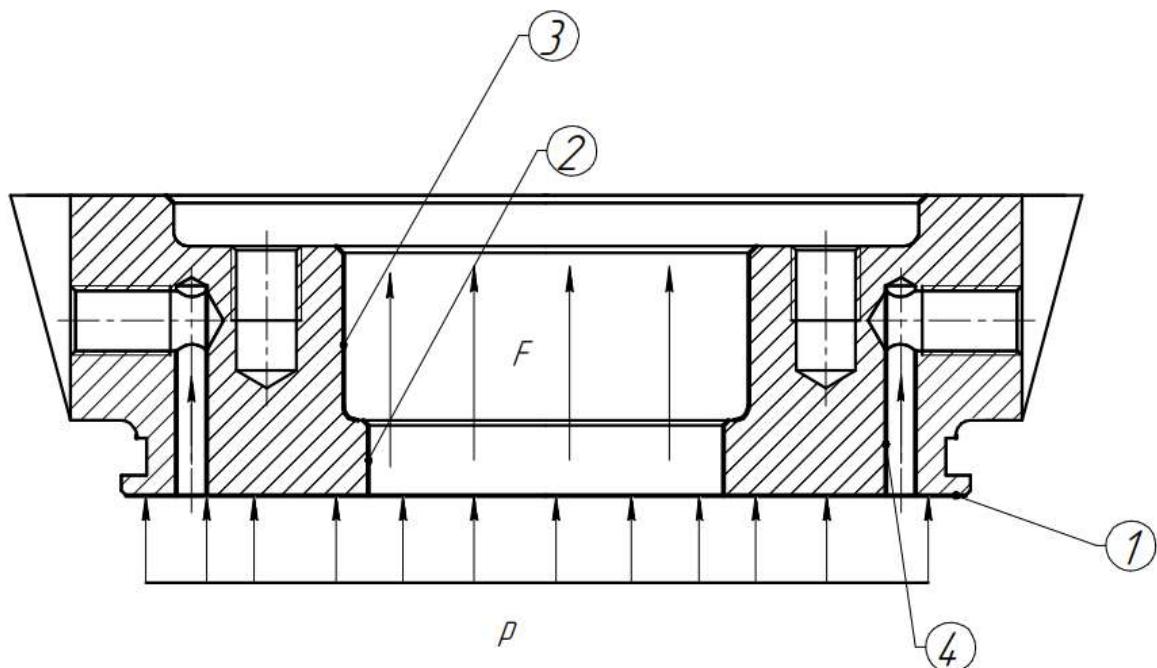
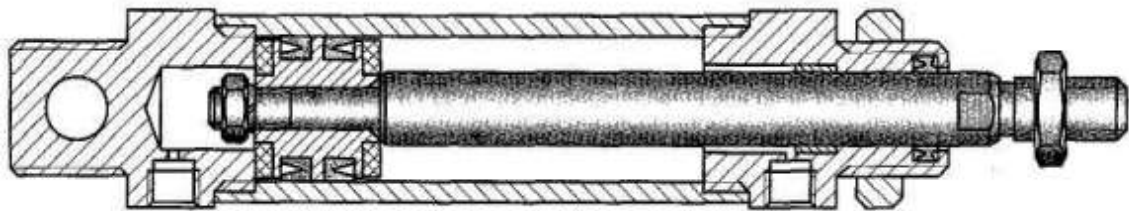
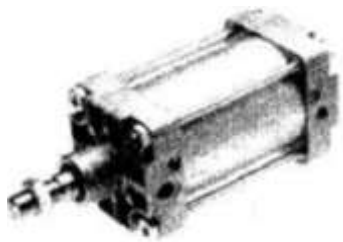


Рис. 13.2. Схема дій сил на кришку пневмоциліндра

Отже, дивлячись на рисунок 13.2., на площину 1 і отвори 4 діє тиск повітря створений в пневмоциліндрі, а на отвори 2 і 3 буде діяти зусилля від штока. Приблизна схема пневмоциліндра двосторонньої дії зображений на рис. 1.4.



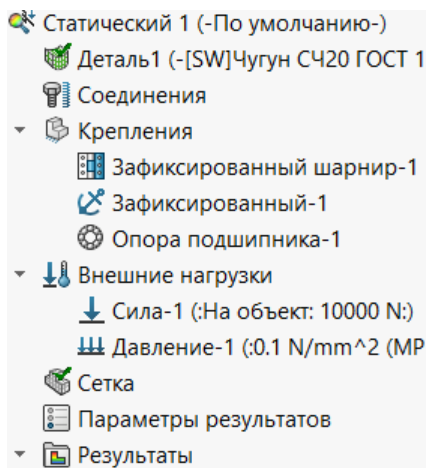
а)



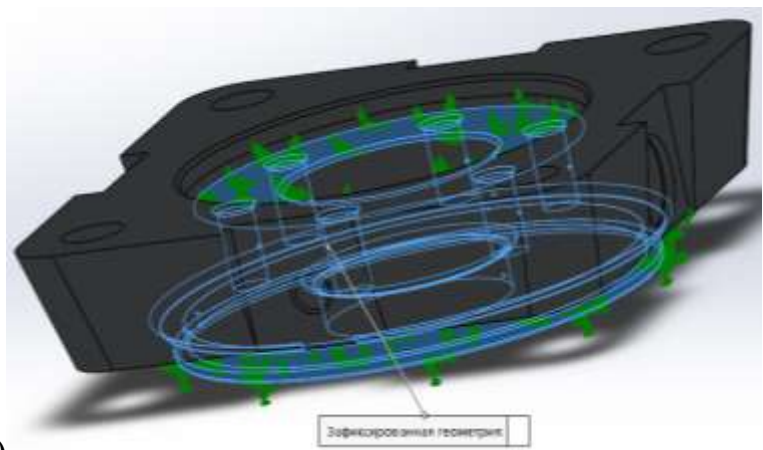
б)

Рис. 13.3. Пневмоциліндр двосторонньої дії а) в розрізі; б) реальний вид.
[23]

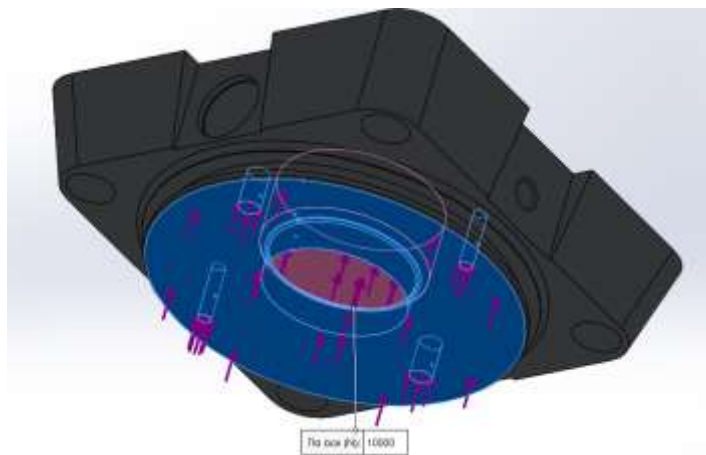
Кріплення кришки дещо відрізняється від прикладу пневмоциліндра на рисунку 13.3. Про конструкцію і кріплення буде розписуватись в інших пунктах які будуть далі.



а)



б)



в)

Рис. 13.4. а) меню дослідження; б) визначення місця фіксації деталі; в) визначення місця дії сил.

Згадуючи аналітичний метод, для більш точного випробування будемо брати дані з літератури і сайтів.

Рівні тиску (надлишкового), що застосовуються в пневматичній техніці:

- 1) високий - (0,2 - 1,6) МПа;
- 2) середній – (0,1 – 0,25) МПа;
- 3) низький – (0,01 – 0,1) МПа. [23]

Зусилля, яке розвивається виконавчим механізмом, пропорційна тиску в ньому, а швидкість руху вихідної ланки визначається витратою стисненого повітря. [24]

Під час визначення теоретичного зусилля розглядають осьове зусилля на нерухомому штоку, а силами тертя нехтують. Теоретичне зусилля на штоку F дорівнює добутку площі поршня S і робочого тиску p : [24]

$$F = Sp \quad (13.1)$$

Для циліндра двосторонньої дії зусилля на штоку визначається за формулами при прямому ході штока: [24]

$$F_D = h \left(\frac{\pi}{4} \right) D^2 p \quad (13.2)$$

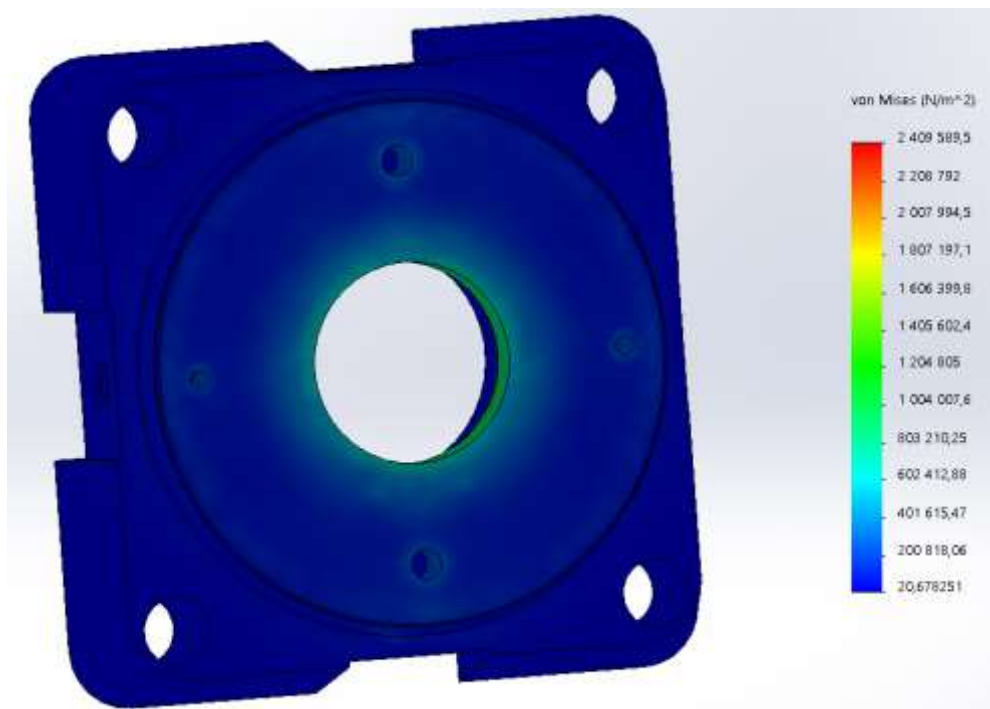
а при зворотному ході: [24]

$$F_R = h \left(\frac{\pi}{4} \right) (D^2 - d^2) p \quad (13.3)$$

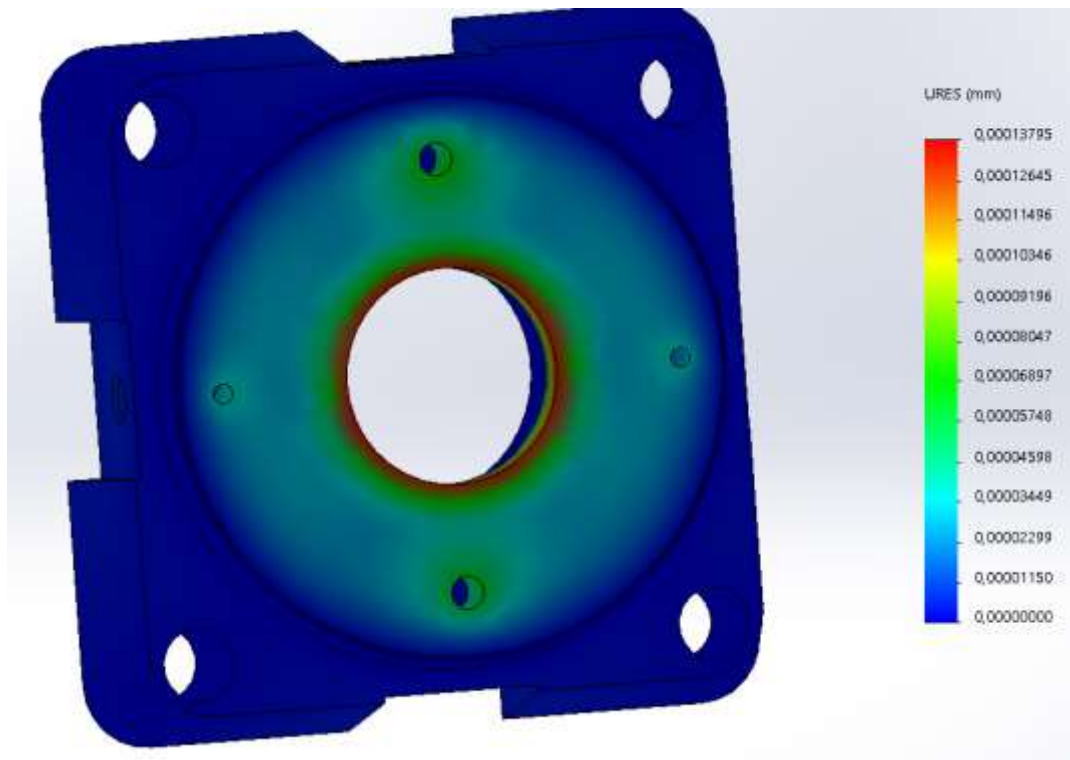
де h – коефіцієнт навантаження ($h = 0,7$ при постійному навантаженні, при знакозмінному динамічному навантаженні, $h = 1$ при роботі з горизонтально переміщуваному навантаженні з тертям), D – діаметр поршня, d – діаметр штока, p – робочий тиск.

З відсутнім складальним креслеником даний дослід відносно складний, але враховуючи ці формули можна більш точно зробити випробування. Отже приймаємо тиск в системі рівним 0,1 МПа і розраховуємо зусилля при прямому ході штока, яке вийшло 1076 Н, і при зворотному ході – 845 Н.

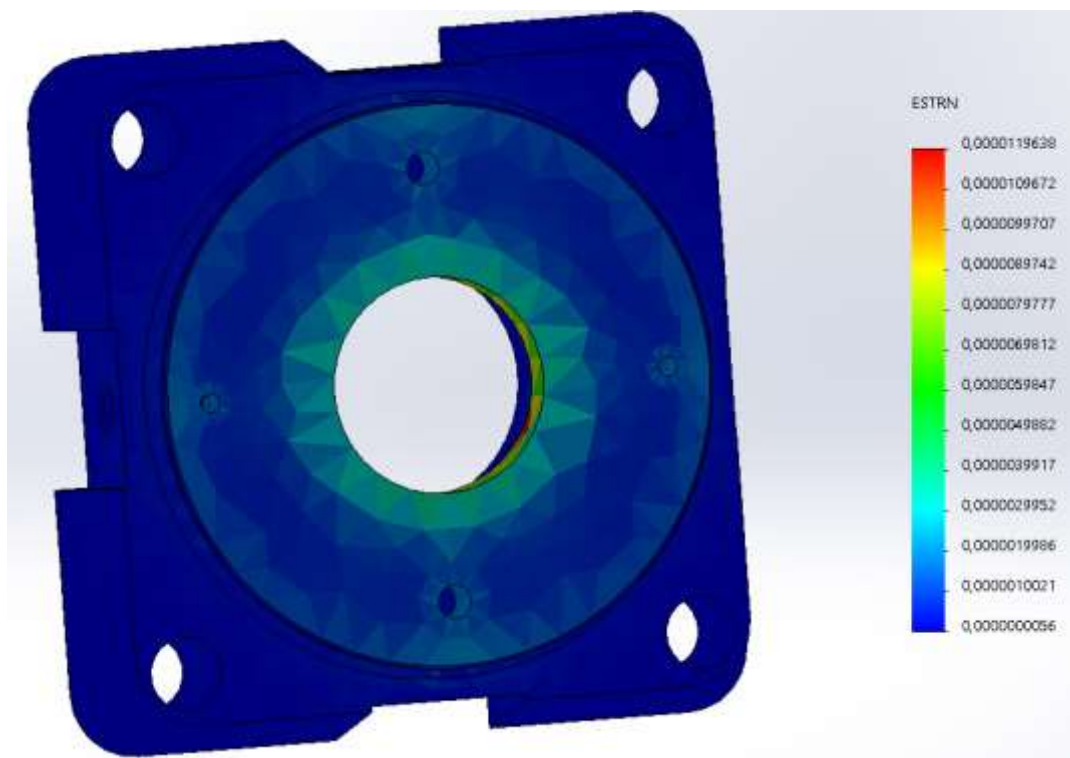
Результати дослідження зображенні на деталі з точним напруженням, зміщенням і деформацією з відповідним графіком і зонами на деталі які відповідають графіку.



a)

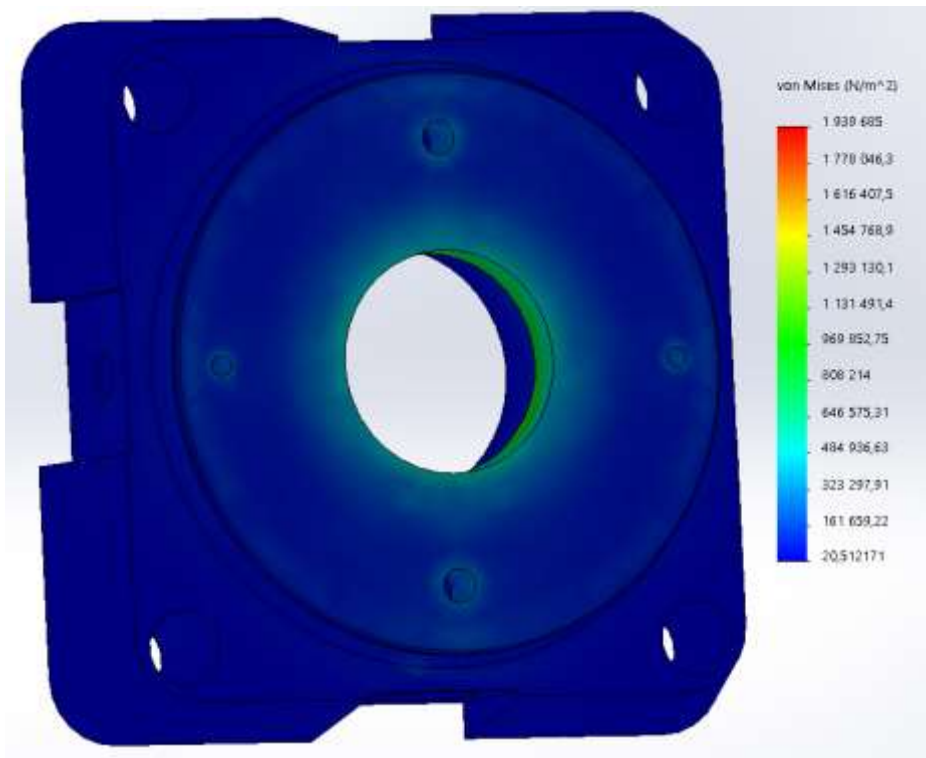


б)

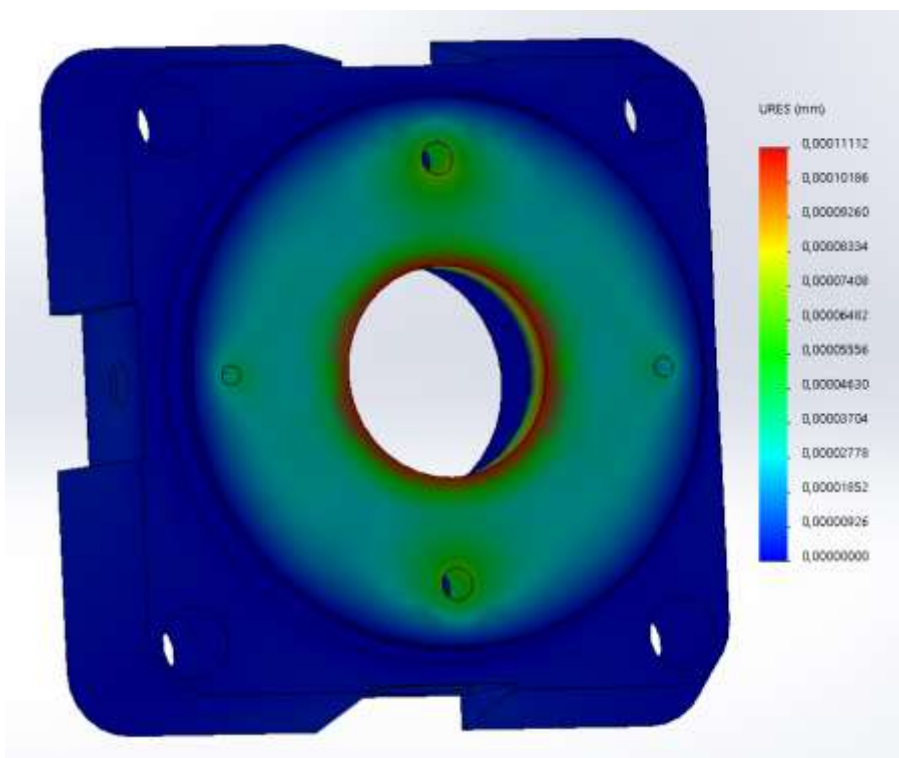


в)

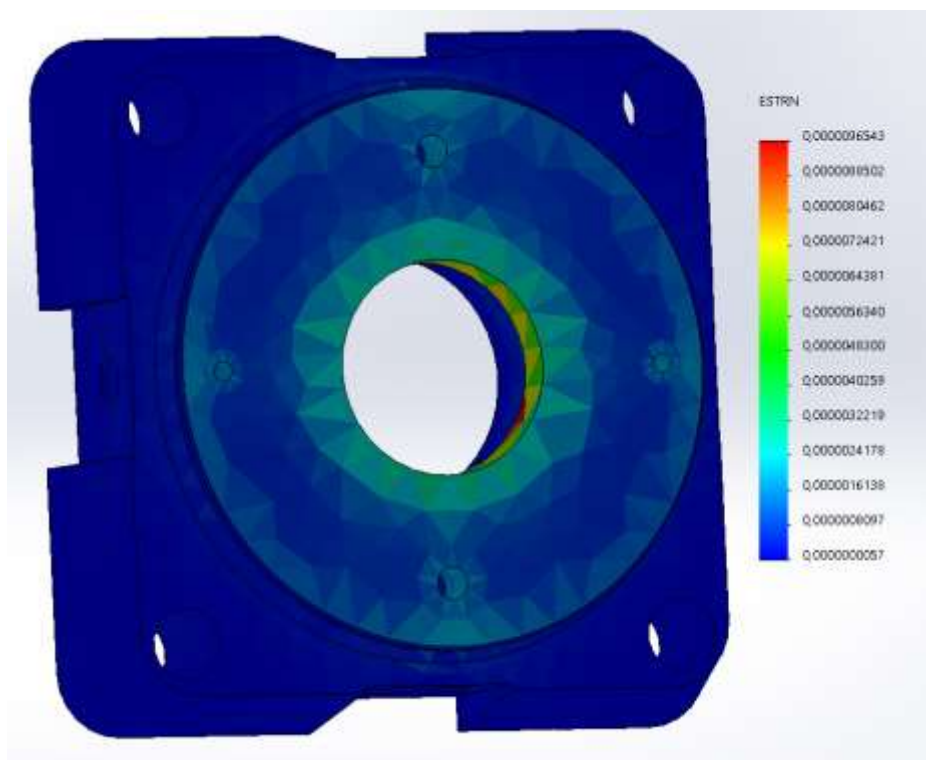
Рис. 13.5. Результати дослідження при прямому ході штока з вихідними даними: $p = 0,1$ МПа, $F_D = 1076$ Н, $h = 0,7$ (при постійному навантаженні). а) Напруження; б) зміщення; в) деформація.



a)



b)



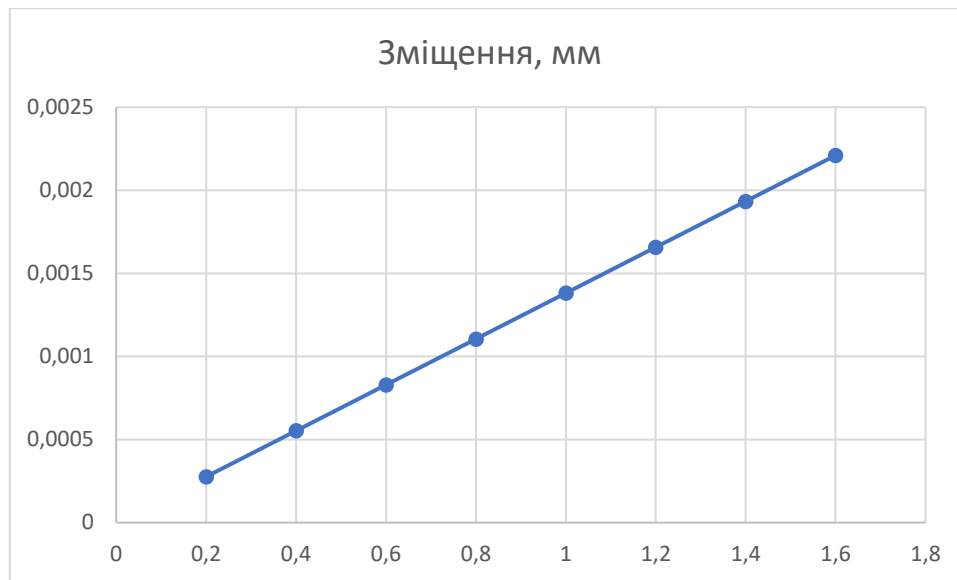
в)

Рис. 13.6. Результати дослідження при зворотному ході штока з вихідними даними: $p = 0,1$ МПа, $F_R = 845$ Н, $h = 0,7$ (при постійному навантаженні). а) Напруження; б) зміщення; в) деформація.

Більше уваги звертаємо на зміщення і саме це значення будемо заносити до таблиці. Розраховуємо починаючи з тиску 0,2 МПа і до 1,6 МПа і відслідкуємо як зміниться значення максимального зміщення (мм).

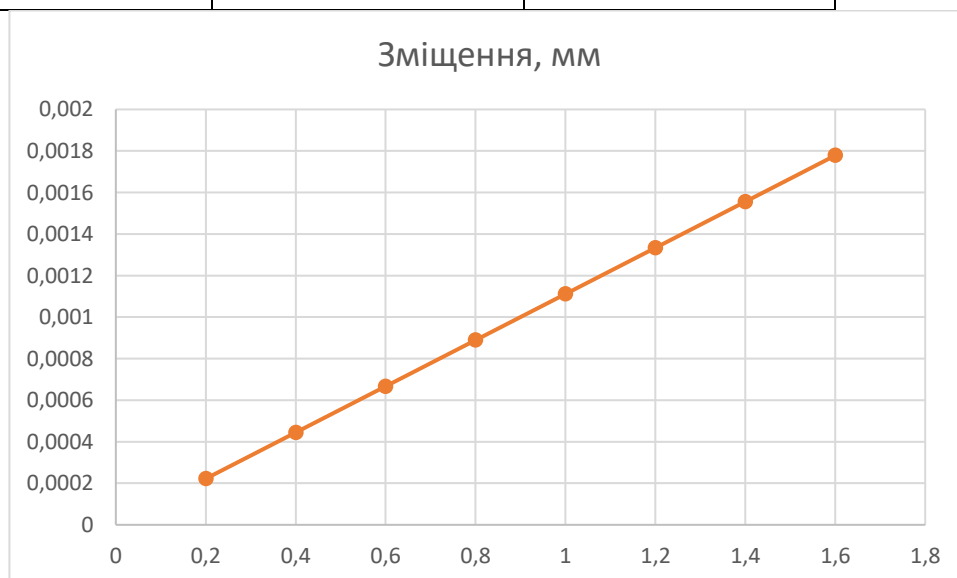
Таблиця 13.1. Результати випробування при прямому ході штока

р, МПа	F_D , Н	Зміщення, мм
0,2	2155	0,00027624
0,4	4310	0,00055248
0,6	6465	0,00082873
0,8	8620	0,00110497
1,0	10775	0,00138121
1,2	12930	0,00165745
1,4	15085	0,00193370
1,6	17241	0,00221005



Таблиця 13.2. Результати випробування при зворотному ході штока

р, МПа	F _R , Н	Зміщення, мм
0,2	1690	0,00022224
0,4	3381	0,00044459
0,6	5071	0,00066683
0,8	6762	0,00088918
1,0	8452	0,00111142
1,2	10143	0,00133377
1,4	11833	0,00155601
1,6	13524	0,00177836



13.4. Висновки

Проведене дослідження в програмі SolidWorks 2018, використовуючи підпрограму Simulation, дозволило отримати важливі дані про напруження, переміщення і деформації в досліджуваній деталі. Програма SolidWorks Simulation має кілька переваг, таких як економія часу та коштів, розширений діапазон випробувань, можливість повторних випробувань, високу точність, широкий спектр можливостей, швидкість та ефективність, врахування складної геометрії та візуалізацію результатів, але з'єднуючи з аналітичним методом ми отримуємо ще більш точні значення.

В результаті дослідження були отримані графіки напружень, переміщень і деформацій при прямому та зворотному ході штока з різними значеннями тиску в системі. Аналізуючи отримані результати, можна зробити наступні висновки:

- При збільшенні тиску в системі спостерігається зростання значень максимальних переміщень, напружень і деформацій в деталі.
- При прямому ході штока значення максимального переміщення збільшується пропорційно зростанню тиску в системі. При зворотному ході штока також спостерігається зростання переміщення, але з меншою швидкістю порівняно з прямим ходом.
- Згідно з графіками напружень і деформацій, деталь зазнає пластичної деформації при високих значеннях тиску в системі. В цій області проявляється явище повзучості, коли зміни розмірів деталі відбуваються з часом при незмінній силі розтягу.
- Результати дослідження дозволяють визначити оптимальні значення тиску в системі для досягнення необхідних переміщень і напружень в деталі.

Отже, проведені дослідження у програмі SolidWorks Simulation дозволило зрозуміти поведінку деталі під дією тиску в системі, виявити максимальні значення переміщень, напружень і деформацій, а також підібрати оптимальні параметри для заданих умов. Ці дані можуть бути

використані для подальшого вдосконалення та оптимізації конструкції деталі з метою покращення її ефективності та надійності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 1412. Сплавы чугуны.
2. ГОСТ 3.1108-74 Единая система технологической документации. Комплектность документов в зависимости от типа и характера производства.
3. ДСТУ 2974-95. Технологічне підготування виробництва. Основні терміни та визначення.
4. ДСТУ 2391:2010. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять.
5. ДСТУ 2960-94. Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення.
6. Добрянський С.С, Фролов В.К, Малафєєв Ю.М. – Технологія машинобудування. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи / Київ: НТУУ "КПІ", 2012.
7. ДСТУ 8833.2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови.
8. Прейскурант №25-01. Оптовые цены на отливки, поковки и горячие штамповки / М.: Прейскурантиздат, 1991.
9. ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку.
10. ГОСТ 25346-89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.
11. ГОСТ 3212-92. Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров.
12. Горбачевич А.Ф. – Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Минск: Вышэйшая школа, 1975.
13. Данилова Л.М., Задерей О.М. – Розрахунок припусків. Методичні вказівки з дисципліни "Технологія машинобудування" / Київ: Політехніка, 2014.

14. ДСТУ 2500-94. Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми.
15. Коваленко В.В., Біланенко В.Г., Кислик А.М. – Методичні вказівки та контрольні завдання з дисципліни "Теорія різання". Розрахунок режимів різання при точінні / Київ: КПІ, 1993.
16. Безъязычный В.Ф., Аверьянов И.Н., Кордюков А.В. – Расчет режимов резания. Учебное пособие / Рыбинск, 2009.
17. Маталин А.А. – Технология машиностроения / Ленинград: Машиностроение, 1985.
18. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство / М.: Машиностроение, 1974.
19. Адаменко О.І., Герасимчук О.М., Майданюк С.В. – Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 / Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016.
20. Медведєв В.В., Павліченко П.О. – Технологічна оснастка. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт / Київ: НТУУ "КПІ", 2020.
21. Дмитриев В.А., Немыткин С.А. – Расчет приспособлений на прочность / Самара, 2009.
22. Скибин В.В., Медведев В.В. – Силовой расчет и механизмы станочных приспособлений / Краматорск, 2007.
23. Конструкции элементов пневмоагрегатов : учебное пособие / М. Г. Прокопов, С. М. Ванеев, В. Н. Козин. – Сумы : Сумский государственный университет, 2015. – 148 с. ISBN 978-966-657-583-1.
24. [Выбор пневмоцилиндра \(pneumoprivod.ru\)](http://pneumoprivod.ru)

Додатки



Рис. 1. Токарно-револьверний верстат з ЧПК Haas ST-10Y

Таблиця 1. Основні технічні характеристики верстата Haas ST-10Y

Максимальна потужність:	11.2 кВт
Максимальна частота обертання шпинделя	6000 об/хв
Максимальний крутний момент	102 Нм при 1300 об/хв
Максимальний діаметр: - прутка - заготовки	44 мм 419 мм
Ходи: - по осі X - по осі Y - по осі Z	200 мм ± 51 мм 406 мм
Максимальне зусилля: - вздовж осі X - вздовж осі Y - вздовж осі Z	10676 Н 10231 Н 16458 Н
Револьверна головка: BOT, 12-позиційна	
Діаметр отвору шпинделя	58.7 мм
Об'єм ЗОР	114 л
Маса	3585 кг



Рис. 2. Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК Haas VF-3YT

Таблиця 2. Основні технічні характеристики верстата Haas VF-3YT

Максимальна потужність:	22.4 кВт
Максимальна частота обертання шпинделя	8100 об/хв
Максимальний крутний момент	122 Нм при 2000 об/хв
Розміри стола:	
- довжина	1219 мм
- ширина	457 мм
Ходи:	
- по осі X	1016 мм
- по осі Y	508 мм
- по осі Z	635 мм
Максимальне зусилля:	
- вздовж осі X	11343
- вздовж осі Y	11343
- вздовж осі Z	18238
Інструментальна карусель: 20-позиційна	
Максимальна маса на столі	1588 кг
Об'єм ЗОР	208 л
Маса	5316 кг