

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології машинобудування**

«На правах рукопису»

УДК-621.9

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедрою

Олександр ОХРИМЕНКО

«__»_____2022 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Технології
машинобудування»**

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

**на тему: «Конструкторсько-технологічне забезпечення
виготовлення деталі «Корпус валоповоротного пристрою»**

Виконав :

студент IV курсу, групи МТ-82

Коцюба Богдан Геннадійович_____

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник:

Доцент кафедри, к.т.н., доцент Фролов Володимир

Костянтинович_____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, піб)

(підпис)

Рецензент:

Доцент кафедри, к.т.н., доцент Красновид Дмитро

Олександрович_____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, піб)

(підпис)

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

Студент _____

Київ – 2022 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДПБ.ННММІ.МТ-8209.00 ПЗ	Пояснювальна записка	120	
3	A1	ДПБ.ННММІ.МТ-8209.01. Д		1	
4	A1	ДПБ.ННММІ.МТ-8209.02. Т		1	
5	A1	ДПБ.ННММІ.МТ-8209.03. Т		1	
6	A1	ДПБ.ННММІ.МТ-8209.04. Т		1	
7	A1	ДПБ.ННММІ.МТ-8209.05. Т		1	
8	A1	ДПБ.ННММІ.МТ-8209.06. Т		1	
9	A1	ДПБ.ННММІ.МТ-8209.07. К		1	
10	A1	ДПБ.ННММІ.МТ-8209.08. К		1	

				ДПБ.ННММІ.МТ-8209.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Коцюба Б.Г			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Фролов В.К.				1	1
Н/контр.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ННММІ, каф. ТМ, гр. МТ-82	
Зав.каф.	Охріменко О.А					

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедрою

_____Олександр ОХРИМЕНКО

«___» _____2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Коцюбі Богдану Геннадійовичу

1. Тема проекту «Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі «Корпус валоповоротного пристрою»

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

затверджені наказом по університету від «15» травня 2022 р. №1122-с

2. Термін подання студентом проекту «15» червня 2022 р.

3. Вихідні дані до проекту

1. Кресленик деталі «Корпус валоповоротного пристрою»

2. Величина замовлення – 50 штук.

3. Техніко-економічні характеристики використовуваного обладнання.

4. Зміст пояснювальної записки

1. Віртуальне базування заготовок за еталоном на верстатах з ЧПК.

2. Розроблення креслеників деталі та заготовки.

3. Проектування маршрутного й операційного процесу виготовлення деталі.

4. Проектування складальних креслеників верстатних пристроїв.

5. Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу, розрахунок собівартості деталі.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

1. Віртуальне базування заготовок за еталоном на верстатах з ЧПК – 1-2 аркуші.

2. Кресленики деталі та заготовки – 1-2 аркуші.

3. Схеми технологічних переходів операцій – 2-3 аркуші.

4. Візуалізація технологічних переходів за допомогою САМ-системи – 1 аркуш.

5. Кресленики пристроїв – 2 аркуші.

6. Дата видачі завдання 11.04.2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Віртуальне базування заготовок за еталоном на верстатах з ЧПК	15.04.2022 р.	
2	Розроблення креслеників деталі та заготовки	01.05.2022 р.	
3	Проектування маршрутного та операційного процесів виготовлення деталі	15.05.2022 р.	
4	Проектування складальних креслеників верстатних пристроїв	01.06.2022 р.	
5	Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу, розрахунок собівартості деталі	15.06.2022 р.	

Студент

Богдан КОЦЮБА

Керівник

Володимир ФРОЛОВ

Анотація

Пояснювальна записка на тему: «Корпус валоповоротного пристрою» складається з 85 сторінок формату А4: в якій вирішується питання базування та пропонується новий спосіб базування заготовок на верстатах з ЧПК; розроблений технологічний процес деталі типу: «Корпус»; розрахунок сил затиску в конструкторській частині.

Три додатки, які містять в собі: технічні характеристики верстатів, які використовуються для оброблення деталі; маршрутні карти; операційні карти; карти ескізів; наукова діяльність та публікація.

Графічна частина дипломного проекту складається з 8-ми листів формату А1: спосіб віртуального базування для верстатів з ЧПК; корпус деталі; корпус заготовки; схеми технологічних переходів; фрагмент G-коду обробки деталі та параметри вхідних даних для обробки деталі за допомогою САМ-системи; кресленики верстатних пристроїв.

В дипломному проекті буде запропонований новий метод базування, за допомогою цифрового розпізнавання заготовок складної форми, із закритими конструктивними елементами типу пазів, наскрізних та глухих отворів, лисок для верстатів з ЧПК, що полегшить технологічний процес.

Ключові слова: базування, цифрове фотографування, верстати з ЧПК.

Коцюба Б.Г. Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Корпус валоповоротного пристрою» : дипломний проект за напрямом 131.Прикладна механіка, спеціалізації Технологія машинобудування / Коцюба Богдан Геннадійович. – Київ, 2022. – 85 с.

Зміст

Вступ.....	8
1 Віртуальне базування заготовок із закритими конструктивними елементами .	7
1.1 Вступ.....	7
1.2 Аналіз існуючих методів базування заготовки на верстатах.	8
1.3 Вирішення проблеми.	9
1.4 Висновки	15
2. Технологічний розділ.....	16
2.1 Аналіз службового призначення	16
2.1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація.	16
2.1.2. Аналіз умов роботи в складальній одиниці або в вузлі	17
2.1.3 Аналіз виробу конструкційного матеріалу.....	18
2.2. Визначення типу виробництва.....	19
2.3 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	22
2.4.2. Розрахунок та проектування конструкції заготовки	22
2.5 Обґрунтування баз для технологічного процесу виготовлення деталі.	24
2.5.1. Обґрунтування вибору загальних технологічних баз.....	24
2.6. Проектування маршрутів оброблення елементарних поверхонь деталі.	27
2.7 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі.	31
2.8. Вибір верстатів для оброблення деталі.....	40
2.9. Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки	43
2.9.1. Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах.....	43
2.9.2. Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах.....	47
2.10. Визначення режимів різання.....	50
2.10.1. Визначення режимів різання аналоговим методом	54
2.11. Нормування технологічних операцій.....	63
3 Конструкторський розділ.	66
3.1. Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв	66
3.1.1. Вихідні дані для розроблення конструкції верстатного пристрою	66
3.1.2. Вихідні дані для розроблення конструкції верстатного пристрою для операції 040.....	67

					<i>ДПБ.МТ8209.00.ПЗ</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		<i>Кацюба Б.Г.</i>			<i>Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі «Корпус вадоповоротного пристрою»</i>		
Провер.		<i>Фролов В.К.</i>					
Реценз							
Н. Контр.							
Утверд.		<i>Фролов В.К.</i>					
						Літ.	Арк.
							6
						КПІ ім. Ігоря Сікорського	

3.2 Розрахунок похибки базування	67
3.2.1 Граничний зсув.....	68
3.2.2. Похибка базування. Граничний поворот	68
3.2.3. Похибка закріплення заготовки в пристрої внаслідок дії сил різання	70
3.2.4. Похибка установки	70
2.3. Розрахунок точності пристрою за допомогою прикладної програми	70
3.4 Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв	72
3.5. Розрахунок силових механізмів пристроїв.....	74
3.5.1. Розрахунок сили, що розвивається гвинтовим механізмом	74
3.5.2. Розрахунок сили, що розвивається гвинтовим механізмом	76
3.6. Розрахунок різьби на міцність	79
Список використаної літератури	81
Додатки.....	81
Технічні характеристики обладнання	82
Технологічна документація.....	85
Публікації.....	118

					<i>ДПБ.МТ8209.00.ПЗ</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі «Корпус вадоповоротного пристрою»</i>		
Разраб.	<i>Кацюба Б.Г.</i>						
Провер.	<i>Фролов В.К.</i>						
Реценз							
Н. Контр.							
Утверд.	<i>Фролов В.К.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>		

Вступ

Базування деталей є однією із найскладніших питань у виробництві. При надходженні нової партії деталей, треба проаналізувати оптимальний час виготовлення, для збільшення прибутку підприємства. Якщо процес виготовлення виробу вимагає високої точності, то багато часу витрачається на контрольні заміри поверхонь. При партії стандартних виробів, використовують метод базування в пристроях за допомогою орієнтуючих елементів, цей метод більш поширений, але займає час на налагодження та додаткові заміри.

Тому в дипломній роботі буде запропонований оптимальний варіант базування на верстатах з ЧПК.

					<i>ДПБ.МТ8209.00.ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Віртуальне базування заготовок із закритими конструктивними елементами

1.1 Вступ

В наш час інтенсивно розвивається галузь штучного інтелекту в багатьох сферах діяльності. Витоки походження це веб-аналіз для визначення потреб користувачів та диференціювання потреб для більш влучної реклами. Щоб спрогнозувати що саме користувач хоче придбати, треба знати його смаки, тому система штучного інтелекту на базі запитів користувача за проміжок певного часу, період доби, коли користувач максимально активний, аналізує та видає певні рекомендації щодо вибору продукції. Спочатку ця система працює погано, але чим більше є запитів в пошуковій системі, тим більша в неї база даних для аналізу, тим влучніше, з проміжком часу, вона буде вносити корективи в результати пошуку та видавати саме той результат, на який розраховував покупець.

Цей метод вирішили розповсюдити і в інші галузі, так наприклад, життєво-необхідне застосування знайшли і в медицині. Відскакувавши великий пакет даних із захворюванням людей, знімки пухлин, легень та багато інших рентгеноскопичних та графічних зображень, штучний інтелект може знаходити, розпізнавати та вказувати області ураження та видавати області, які з високою вірогідністю уражені або не такі як у інших генерованих знімках. Такий метод рятує багато життів, прибравши людський фактор на помилки.

З плином часу для підвищення ефективності підприємств, для збільшення прибутків штучний інтелект почали використовувати і в промисловій сфері.

Високий рівень конкуренції між підприємствами, змушує модернізувати підходи та стратегії виробничих етапів. [1] Саме верстатні пристрої впливають на продуктивність випуску продукції у машинобудуванні, про що свідчать такі дані: валовий продукт (далі ВП) складає 70...80 % загального обсягу технологічної оснастки машинобудівних виробництв [2]; частка ВП складає 10...20 % загальної вартості виробничої системи [3]; 80...90 % витрат часу на технологічну

підготовку виробництва припадає на проектування та виготовлення ВП [2]; 40 % бракованих деталей після механічної обробки утворюється через недосконалість ВП [4]; 70 % нових компонувань ВП є модифікацією наявних [5].

Відомо, що при базуванні заготовок витрачається багато допоміжного часу на орієнтацію деталі у просторі, використовуються спеціальні базуючі пристрої або вимірювальний інструмент, тим самим зростає собівартість одиниці виробу. Також досить складно базувати деталі при досить точних та претензійних деталях машин. Тому для сучасних автоматизованих виробництв треба певними методами підвищувати ефективність підприємств.

1.2 Аналіз існуючих методів базування заготовки на верстатах.

Одним із найпоширеніших методів базування заготовки в пристроях є орієнтуючі елементи. Для того щоб встановити заготовку для подальшого оброблення, для цього нам потрібно позиціонувати деталь та верстаті так, щоб усі інші деталі в партії мали таке саме розташування. Для абсолютно нових деталей, які робляться із заготовок типу куб, циліндр, призма і тд., точне позиціонування не так важливе, як для деталей типу корпус, в якому попередньо вже є геометрія тіла, припуски на обробку. В такому випадку треба забезпечити точне розташування отворів, для подальшого складання виробу, забезпечити геометричні допуски деталі, щоб в подальшому виріб відповідав кресленнику деталі.

До найпоширеніших орієнтуючих елементів відносяться пальці (різних) типів, призми, самоцентрівні лещата. Також для нестандартних виробів роблять спеціальну оснастку.

Такий метод має ряд недоліків:

- велика кількість підготовчого часу;
- зниження точності базування при виготовленні партії;
- контроль якості поверхонь після обробки;
- важко досягти високої точності виробу.

Другим поширеним методом являється також позиціонування заготовки за допомогою керуючої програми на станку з ЧПК та щупом.

Деталі досить високої точності можна отримати при орієнтуванні заготовки за допомогою щупа або лазера, які проводять контрольні заміри та видає числові значення для корекції подальшої обробки.

Недоліки:

- висока вартість щупа;
- досить крихкий в експлуатації;
- витрачання великого проміжку часу для контролю основних поверхонь;

1.3 Вирішення проблеми.

Аналізуючи перераховані вище методи базування, які використовуються багато років, було винайдено новий метод базування за допомогою цифрового фотографування.

Поставлена задача має виконувати ряд вимог:

- низька ціна приладу для цифрового базування;
- проста в експлуатації;
- оптимізація часу при базуванні;
- висока точність при обробці.

Принциповий алгоритм цифрового базування вимагає мати широкоформатну камеру з високою роздільною здатністю, блок контролю заготованок, програмне забезпечення обробки вхідних даних, інтерфейс для вводу даних, вхідний інтерфейс для САМ систему, вихідний інтерфейс для САМ систему, декодери для зворотного виводу даних для корекції осей координат у верстат з ЧПК.

Даний спосіб цифрового базування підходить під оброблення заготованок із складної форми на верстатах з ЧПК.

Визначення фактичного розташування заготовки при її віртуальному базуванні може реалізуватись або скануванням зони з заготовкою лазерною

системою, або обмашуванням щупами контрольно-вимірювальної системи [6], або цифровим фотографуванням зони із заготовкою [7] з подальшим аналізом інформації і відправленням її в керуючу програму верстата з ЧПК.

Але базування заготовок складної форми, із закритими конструктивними елементами (наскрізними та глухими отворами, наскрізними, напіввідкритими та закритими пазами, лисками), розташованими в площинках, перпендикулярних до базової площини, значно ускладнюється та сповільнюється через необхідність визначати положення заготовки в трьох взаємно перпендикулярних площинках.

Для підвищення продуктивності процесу базування авторами запропонований інноваційний спосіб визначення реального положення таких заготовок. Спосіб реалізують наступним чином.

Перед встановленням на столі 1 верстата кожен із заготовок партії позначають міткою 2, яка визначає місце розташування закритого конструктивного елемента 3 відносно базових поверхонь заготовки (рис. 1.3.1). Мітку 2 наносять будь-яким способом – фарбуванням, кернуванням, механічним або лазерним гравіюванням, за допомогою маркера, наліпки тощо.

На стіл верстата 1 встановлюють першу заготовку з партії, яка є еталонною заготовкою 4, орієнтуючи її за допомогою вимірювальних інструментів за міткою 2 та базовими поверхнями 5 і 6 таким чином, щоб осі її системи координат $X_{e.з.}Y_{e.з.}$ були паралельні осям системи координат верстата XU . При цьому положення осей системи координат $X_{e.з.}Y_{e.з.}$ еталонної заготовки визначається положенням її базових поверхонь 5 і 6, а положення точки $O_{e.з.}$ початку системи координат – положенням мітки 2 відносно базових поверхонь 5 і 6 (рис. 1.3.2). Розташування точки $O_{e.з.}$ початку системи координат $X_{e.з.}Y_{e.з.}$ еталонної заготовки відносно точки 0 початку системи координат XU верстата визначається координатами $XO_{e.з.}YO_{e.з.}$. Координати точки $O_{e.з.}$ відповідають координатам «нуля» заготовки в керуючій програмі.

Виконують цифрове фотографування еталонної заготовки 4 в площині XU . Цифрову фотографію 7 еталонної заготовки передають до комп'ютерної програми.

Еталонну заготовку 4 оброблюють за допомогою керуючої програми та знімають зі стола верстата.

На стіл верстата 1 встановлюють оброблювану заготовку 8 довільним чином (рис. 1.3.3). При цьому положення осей системи координат $X_{o.з.}Y_{o.з.}$ оброблюваної заготовки визначається положенням її базових поверхонь 9 і 10, а положення точки $O_{o.з.}$ початку системи координат – положенням мітки 2 відносно базових поверхонь 9 і 10.

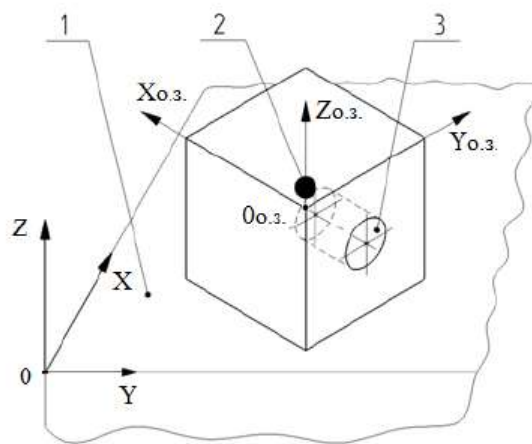


Рис. 1.3.1. Схема координат XYZ верстата та схема координат $X_{o.з.}Y_{o.з.}Z_{o.з.}$ довільним чином встановленої заготовки із закритим конструктивним елементом (глухим отвором)

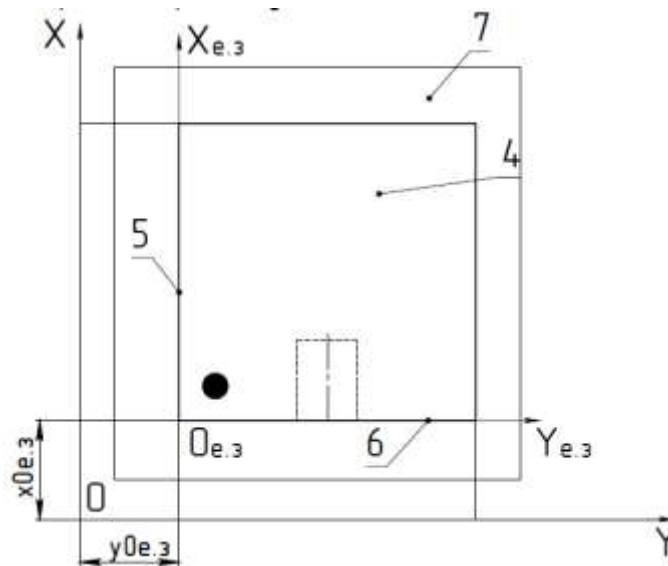


Рис. 1.3.2. Зображення положення еталонної заготовки відносно осей системи координат верстата в площині XU , отримане цифровим фотографуванням

Виконують цифрове фотографування оброблюваної заготовки 8 в площині XU . Фотографування еталонної та оброблюваної заготовки здійснюють з однієї й тієї ж позиції, в результаті отримуючи фотографії однакової роздільної здатності. Цифрову фотографію 11 оброблюваної заготовки передають до комп'ютерної програми.

В комп'ютерній програмі створюють шаблон зображення еталонної заготовки, використовуючи контраст між об'єктом (заготовкою) та фоном (столом верстата). Точку $O_{o.з.}$ початку системи координат $X_{e.з.}Y_{e.з.}$ еталонної заготовки ідентифікують на шаблоні, використовуючи контраст між об'єктом (міткою) та фоном (еталонною заготовкою). Накладають фотографію 7 еталонної заготовки на фотографію 11 оброблюваної і, використовуючи зображення еталонної заготовки в якості шаблону, сканують фотографію оброблюваної заготовки. Після суміщення зображення еталонної заготовки 4 із зображенням оброблюваної заготовки 8 програмно визначають величину кута повороту φ системи координат $X_{o.з.}Y_{o.з.}$ оброблюваної заготовки відносно системи координат $X_{e.з.}Y_{e.з.}$ еталонної заготовки та координати $x_{o.з.}y_{o.з.}$ розташування точки $O_{o.з.}$ початку системи координат $X_{o.з.}Y_{o.з.}$ оброблюваної заготовки відносно точки $O_{e.з.}$ початку системи координат $X_{e.з.}Y_{e.з.}$ еталонної заготовки (рис. 1.3.4). Кутову поправку $\Delta\varphi=\varphi$ та

лінійні $\Delta_x = x_{0.3}$, $\Delta_y = y_{0.3}$ поправки вводять в керуючу програму верстата з урахуванням їхнього знаку [8].

Виконують оброблення заготовки за допомогою корегованої керуючої програми.

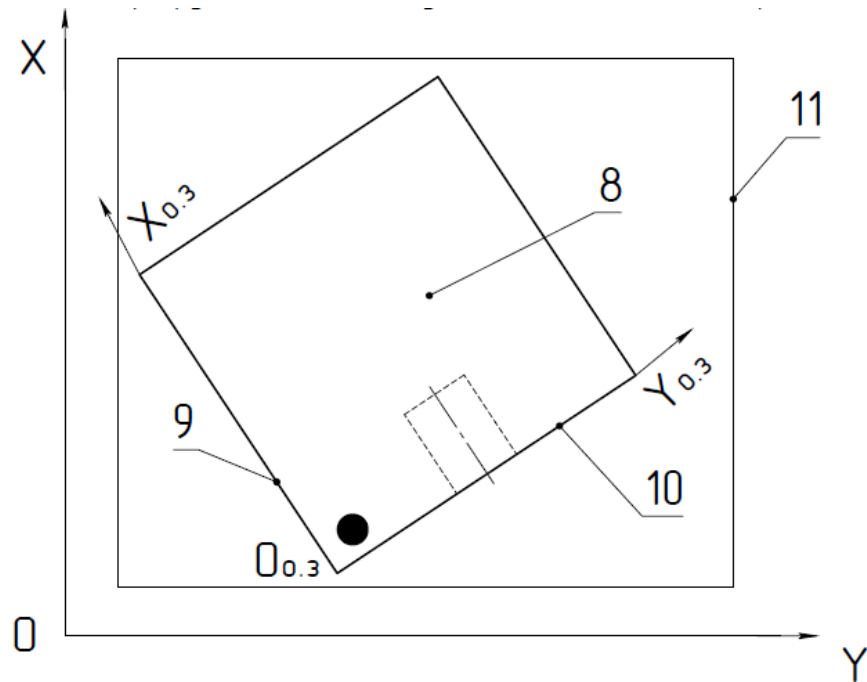


Рис. 1.3.3. Зображення положення оброблюваної заготовки відносно осей системи координат верстата в площині XY, отримане цифровим фотографуванням

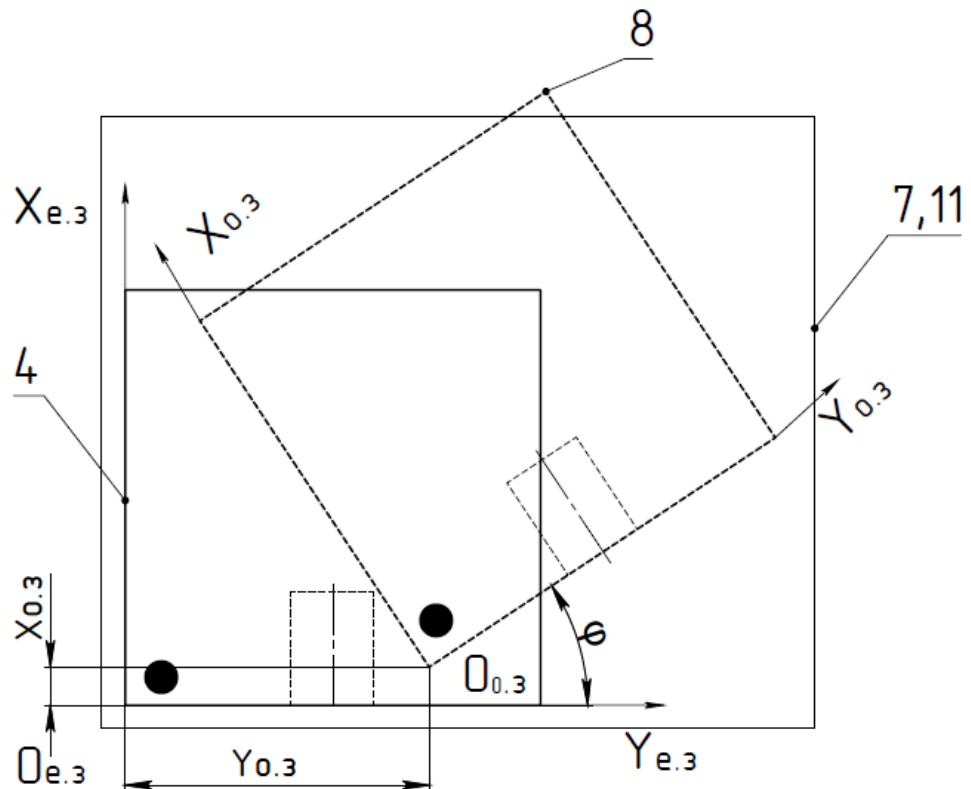


Рис. 1.3.4. Зображення оброблюваної заготовки, на яке накладено зображення еталонної заготовки

При обробленні наступних заготовок партії виконують цифрове фотографування кожної оброблюваної заготовки, порівнюють їх цифрову фотографію із цифровою фотографією еталонної заготовки, програмно визначають величини кутової та лінійної поправок на розташування заготовки, вносять корекцію в керуючу програму верстата та виконують оброблення.

Запропонований спосіб підвищить швидкість визначення положення оброблюваної заготовки на столі верстата та збільшить загальну продуктивність оброблення. [9]

Структурна схема системи представлена на рис. 1.3.5, схема механічних та електричних підключень – на рис. 1.3.6.

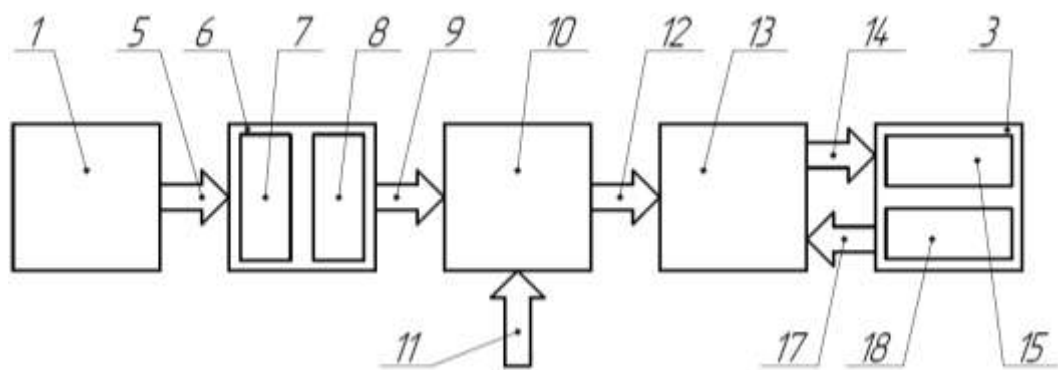


Рис. 1.3.5. Структурна схема системи

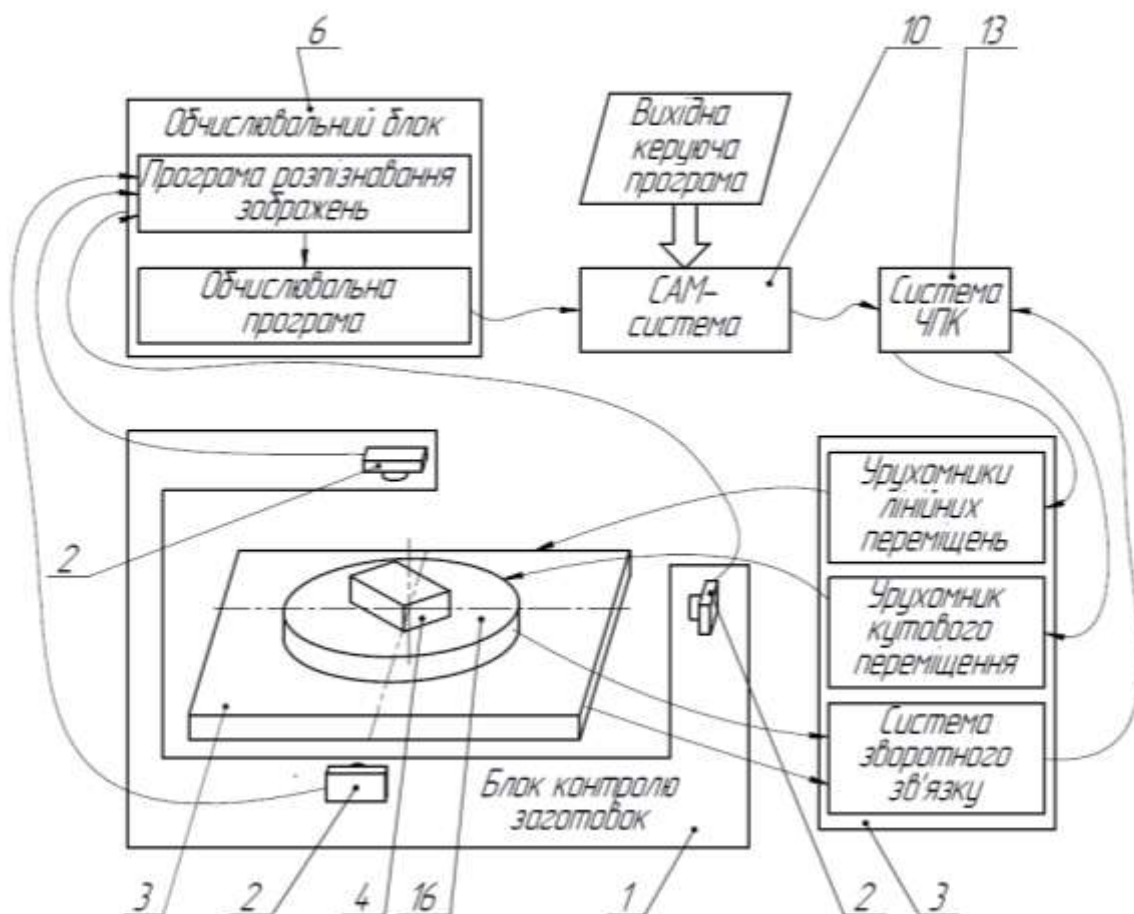


Рис. 1.3.6. Схема механічних та електричних підключень системи

Схема розташування контролю верстатного стола, еталонної деталі та заготовки описана на рис 1.3.5. та рис. 1.3.6.

1.4 Висновки

Використання прикладної програми для базування заготовок, яка розпізнає темні лінії, як контури деталі, світлий фон, як стіл верстатата з ЧПК, збільшить продуктивність виробничого процесу та з більшою кількістю фотографій процес

виготовлення буде реалізовуватись точніше, завдяки апроксимації фотографій, які вже знаходяться в базі даних.

2. Технологічний розділ

2.1 Аналіз службового призначення

2.1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація.

Для аналізу виробу в подальшому, визичивши низку масово-габаритних параметрів для заготовки, обробки, та оптимізації технологічного процесу була створена 3-Д модель в програмному продукті SolidWorks 2021. Аналізуючи корпус валоповоротного пристрою, можемо поділити його на декілька фрагментів: напівцилідрична поверхня, в якій буде розташовуватися вал-шестерня зі стаканом з напівотворами $\varnothing 72$ мм. Для кілець підшипників нарізується різьба M16 та розвертаються 4 отвори $\varnothing 10$. Фрезерується фланець корпусу та свердляться 16 отворів $\varnothing 14$ мм через які встановлюються болти для закріплення відповідної частини корпусу. Для правильного суміщення корпусів свердляться та розвертаються два штифтові отвори $\varnothing 13$. В корпус також буде встановлюватися вал черв'ячного колеса та кріпитися кришками в отвори M8. На другому про фрезерованому фланці буде встановлюватись двигун АИР90L4 на 4 отвори M12.

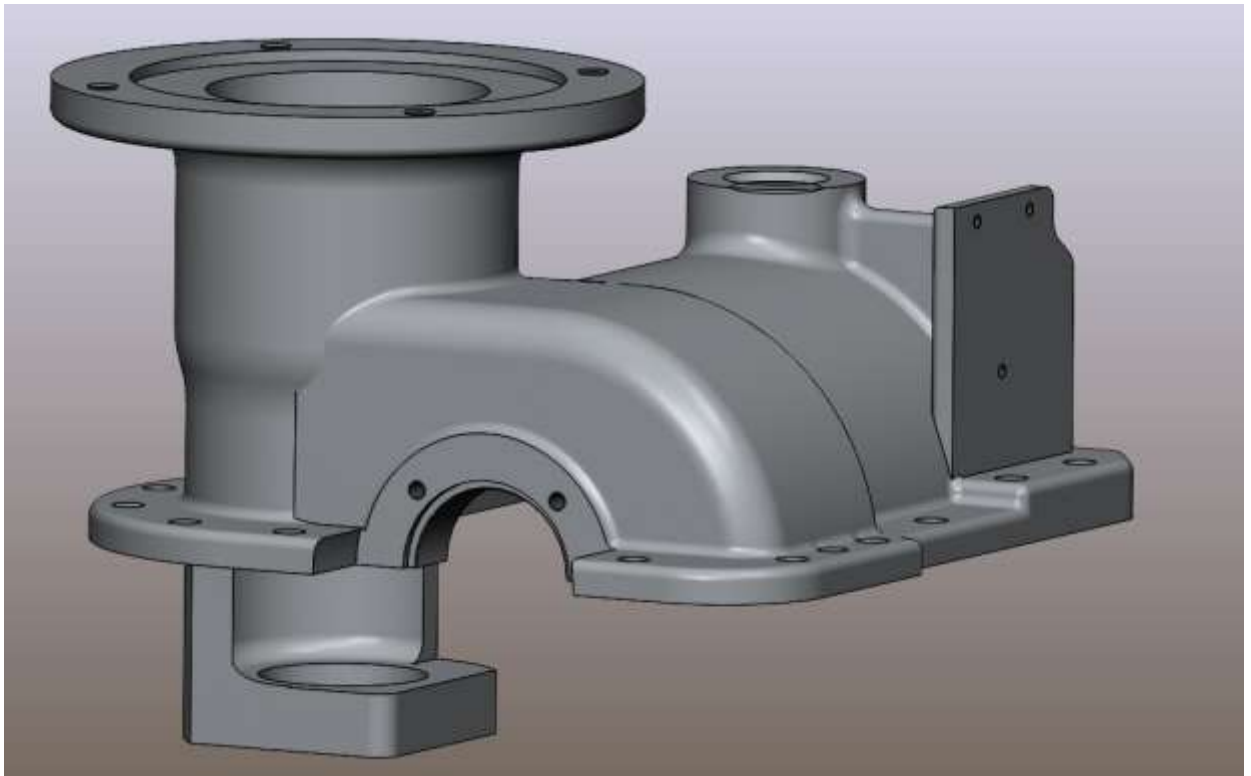


Рис 2.1 – 3D-модель деталі «Корпус валоповоротного пристрою»

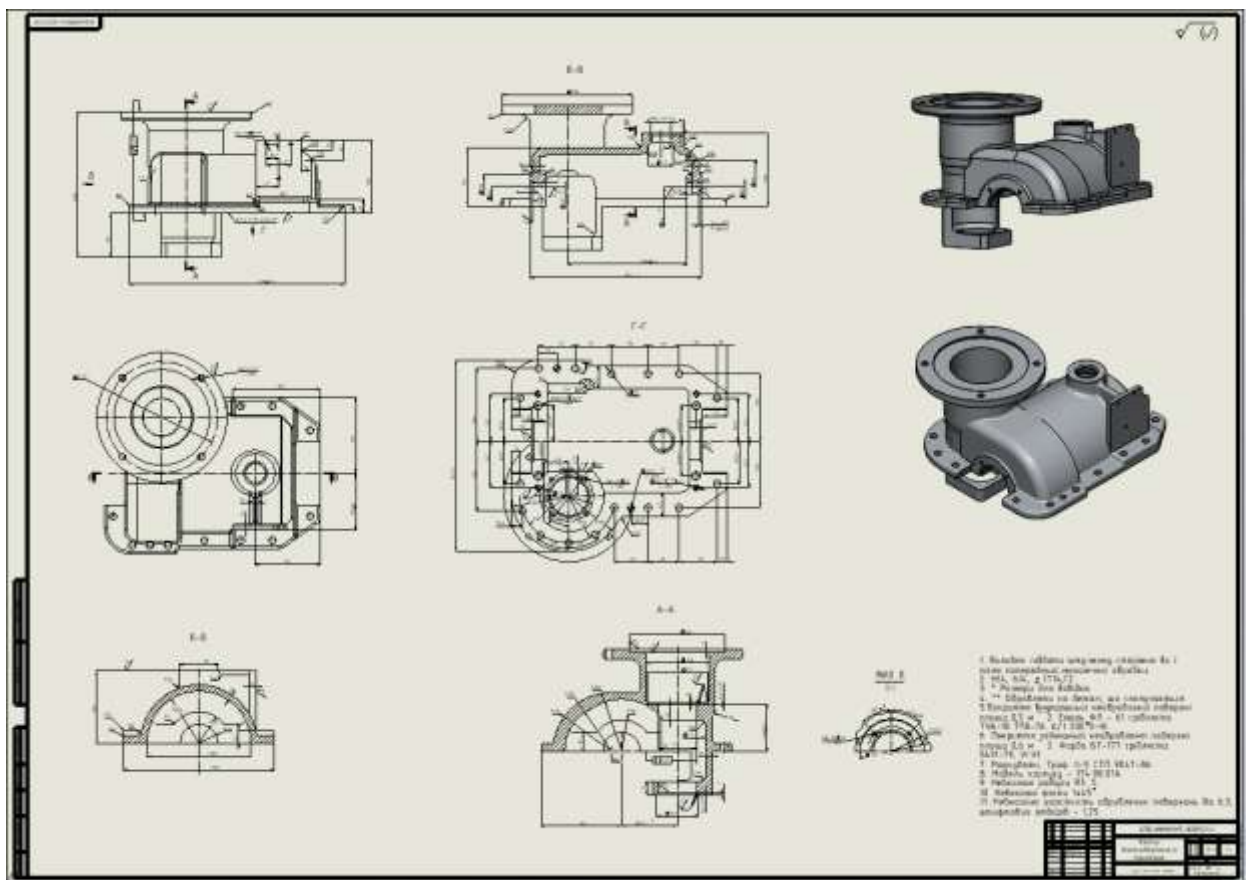


Рис 2.2 – Кресленик деталі «Корпус валоповоротного пристрою»

2.1.2. Аналіз умов роботи в складальній одиниці або в вузлі .

При первинному запуску турбіни пуск починається з включення пускового та маслонасоса ущільнювача. Відкривається вентиль, подається повітря із стаціонарного колектора в систему регулювання . При необхідному тиску вмикається валоповоротний пристрій і ротор турбокомпресора зрушує з місця. Мاستило подається від пускового насоса потрапляє у робочу зону редуктора через штуцер - в колектор, розпилюючи на колесо черв'ячне. При збільшенні частоти обертання ротора до 13 об/хв, завдяки реле тиску повітря за компресором спалахує факел в камері згоряння. При досягненні температури за ТНД не нижче 100 градусів Цельсія запускається турбодетандер і шестерня гайка яка знаходилась в зачепленні маючи нижчу швидкість ніж швидкість ротора (через роботу турбодетандеру) по спіралі зміщується до зажиму правого та зажиму лівого і валоповоротний пристрій в подальшому участі в експлуатації не приймає.

Для зупинки ротора силової турбіни при пониженні частоти обертання автоматично вмикається реверс двигуна, та шестерня гайка виходить з зачеплення стопорів і входить в зачеплення з ротором. Це зроблено з метою не допустити деформування двигуна від прогину, так як після виходу з робочих температур він має приблизно 600-700 градусів Цельсія. Ротор обертає вал до повного охолодження та реле температури зупиняє валоповоротний пристрій. [10]

2.1.3 Аналіз виробу конструкційного матеріалу.

Корпус деталі має виконувати низку вимог:

Хімічний та фізичний склад має відповідати заданим експлуатаційним характеристикам деталі. Властивості матеріалу мають бути незмінними впродовж всіх циклів навантаження. Мати добрі ливарні властивості, такі як рідкотікучість, низька усадка при литві, та мінімальна кількість шкідливих домішок.

При виливанні заготовки метал має відповідати таким властивостям: рідкотікучість, усадка, прихильність сплавів до ліквідації, до утворення гарячих тріщин, до поглинання газів, пористості. Також слід приділяти увагу на сам

процесу заливання металу у форму: потік рідини має буди якомога більш ламінарним, піщана форма - не холодною, швидкість охолодження – у формі. [11]

По заданому кресленіку деталь виконана зі матеріалу СЧ15 ГОСТ 1412-85 – оптимальний матеріал для виготовлення корпусних деталей. При невеликій вартості, він має гарні ливарні властивості, що дозволяє одержувати виливки складних геометричних форм. Також, даний матеріал добре піддається механічній обробці та за потреби може змінювати фізико-механічні властивості матеріалу за допомогою термічної обробки. [12]

Фізико-механічні та хімічні властивості матеріалу:

Химический состав в % материала СЧ15 ГОСТ 1412-85																							
C		Si		Mn		S		P															
3.5-3.7		2-2.4		0.5-0.8		до 0.15		до 0.2															
Литейно-технологические свойства материала СЧ15																							
Литейная усадка:												1.1 %											
Механические свойства при T=20°C материала СЧ15																							
Сертификат	Размер	Напр.	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	KCU	Термообр.															
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²	-															
Отлива ГОСТ 1412-85			190																				
Твердость СЧ15												ГОСТ 1412-85											
												HB 10 ⁻³ = 130-240 МПа											
Физические свойства материала СЧ15																							
T	$E \cdot 10^{-5}$	$\nu \cdot 10^{-5}$	λ	ρ	C	$\alpha \cdot 10^{-6}$																	
град	МПа	1/град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	См/м																	
20	0.8		58	7000																			
100		5			460																		
Зарубежные аналоги материала СЧ15 Эквивалент: литейные чугуны, так и зарубежные аналоги																							
США	Германия	Япония	Франция	Англия	Евросоюз	Италия	Бельгия	Испания	Бразил	Швейцария	Югославия	Венгрия	Польша	Румыния	Чехия	Австрия	Австралия	Индия	Южная Африка	Тайвань	Южная Корея	Сингапур	США
4140	GG15	FC15	FC150	150	EN-GJL-150	G15	FGG15	FG15	HT150	1515-GJL-015	Vch15	DT15	Z115	FC150	402415	GG15	T150	150	FG150	GG15	FC150	FGG15	FC150
4140	GG15	FC15	FC150	150	EN-GJL-150	G15	FGG15	FG15	HT150	1515-GJL-015	Vch15	DT15	Z115	FC150	402415	GG15	T150	150	FG150	GG15	FC150	FGG15	FC150

Рис. 2.2 Фізико - механічні та хімічні характеристики СЧ15 ГОСТ 1412-85

2.2. Визначення типу виробництва.

При проектуванні технологічного процесу першим етапом встановлюється тип виробництва, на який впливає вибір заготовки та методи його отримання, вибір станків, інструменту та подальшої технології в цілому.

Види виробництва поділяють на три категорії:

- Одиничне;
- Серійне : - малосерійне;
 - середньо серійне;
 - велико серійне;
- Масове.

Класифікуються типи виробництва або за розрахунком операцій закріплення або за табличними параметрами. На проектувальній частині остаточно не можна визначити тип виробництва розрахунковим шляхом.

Розрахунковий метод:

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

,де

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

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

$K_{30} = 1$ – масове виробництво.

$1 < K_{30} < 10$ – великосерійне виробництво.

$10 < K_{30} < 20$ – середньосерійне виробництво.

$20 < K_{30} < 40$ – малосерійне виробництво.

$K_{30} > 40$ – одиничне виробництво.

Таблиця 2.1. Визначення типу виробництва від обсягу вироблення N та маси деталі M .

Тип виробництв а	Річний обсяг випуску виробів N , шт.		
	$M > 100$ кг	$10 < M < 100$ кг	$M < 10$ кг
Одиничне	до 5	до 10	до 100
Малосерійне	5 - 100	10 – 200	100-500
Середньо серійне	100 – 300	200 – 500	500-5000
Велико серійне	300 – 1000	500 - 5000	5000-50000
Масове	>1000	> 5000	> 50000

Для орієнтовного визначення типу виробництва треба визначитись із серією річного виробництва та масовими характеристиками.

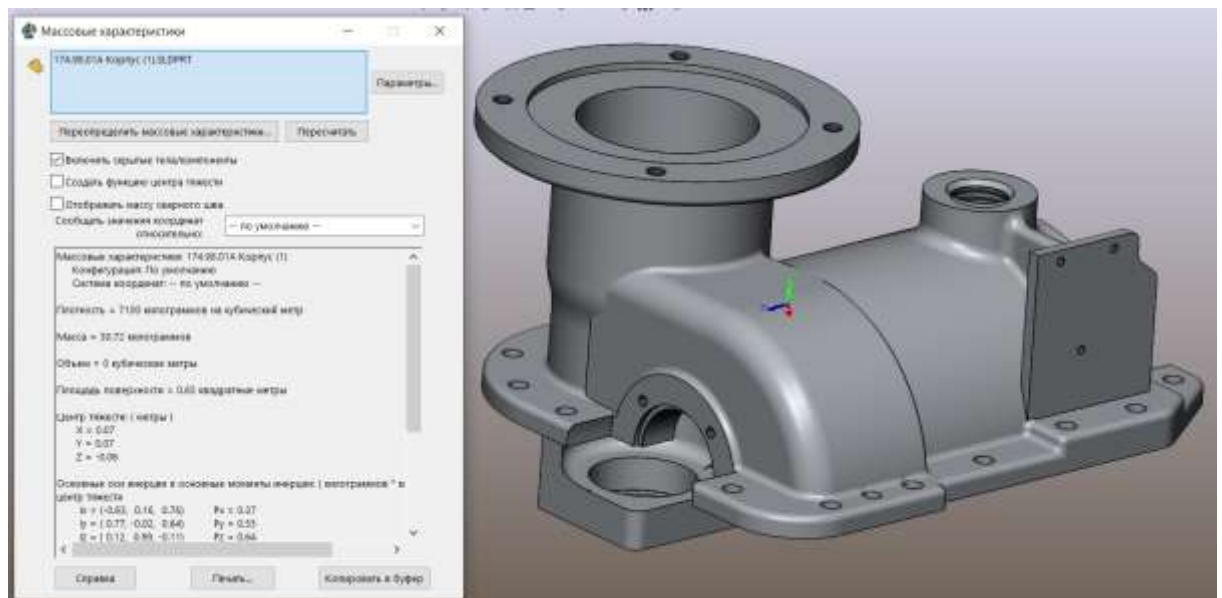


Рис 2.3 Визначення маси деталі

Пристрій валоповоротний важить 30 кілограмів та річний обсяг виготовлення виробу в кількості 50 штук. Тому виходячи з початкових даних оперуючи табл. 2.1 визначаємо що тип виробництва - малосерійне.

Висновок: Подальші операції, установки та верстати будемо використовувати для малосерійного виробництва. При якому будуть використовуватися універсальні станки, які досягають 6,7,8 квалітету точності, використовувати стандартну оснастку, приспособи і тд.

2.3 Аналіз технологічності конструкції деталі.

Для подальшого розуміння технологічного процесу потрібно проаналізувати технологічність деталі, яка покаже плюси та недоліки, чим допоможе корегувати процес оброблення та покращити певні характеристики.

Матеріал для корпусу було обрано через відносну невелику вартість виготовлення. Через низький квалітет точності (15-16) всі контактуючі поверхні потрібно буде оброблювати шляхом видалення шару матеріалу. [11]

2.4.2. Розрахунок та проектування конструкції заготовки

Дані беремо з ГОСТ 2666-85.

Таблиця 1.2 - Розрахунок та проектування конструкції заготовки.

№	Параметр	1	2	3
1	Допуск на розмір вливки	1,6 ($\pm 0,32$)	1,1 ($\pm 0,55$)	1,4 ($\pm 0,7$)
2	Вид механічної обробки необхідної для забезпечення точності	чорнова, чистова	чорнова, чистова	чорнова, чистова

	розмірів деталі			
3	Прийнята кінцева обробка для забезпечення заданої якості деталі.	чорнова, чистова	чорнова, чистова	чорнова, чистова
4	Загальний припуск на сторону	2,1	1,8	2,0
5	Кінцевий розмір	$\varnothing 115.8 \pm 0.32$	$\varnothing 26.4 \pm 0.55$	$\varnothing 60 \pm 0.7$

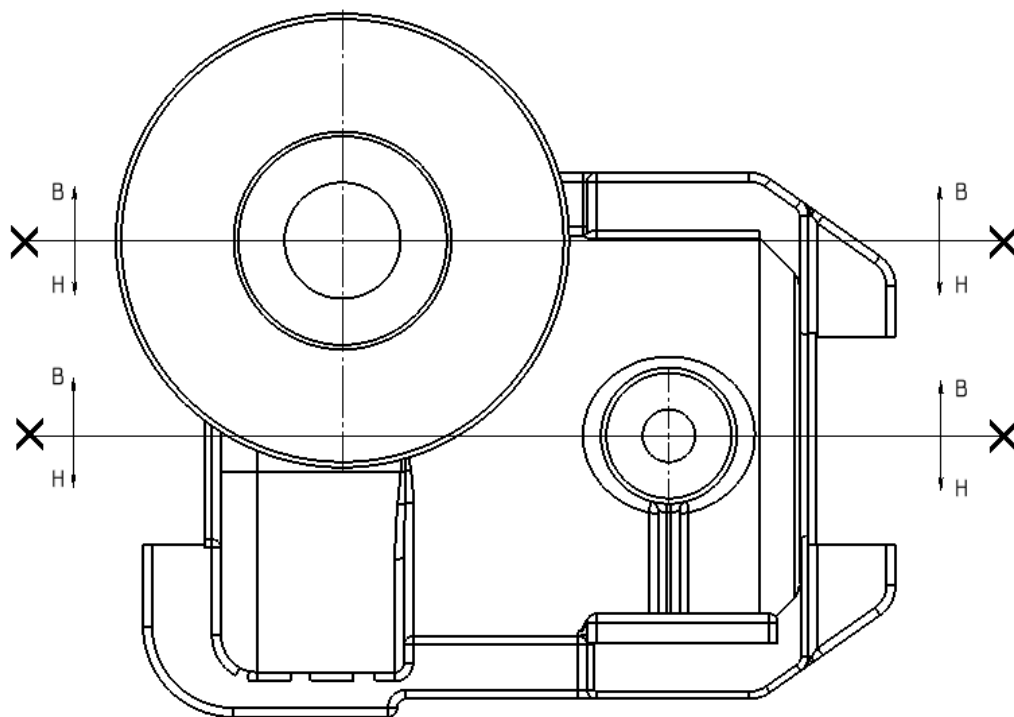


Рис. 2.4 Ескіз заготовки з двома опоками рознімання

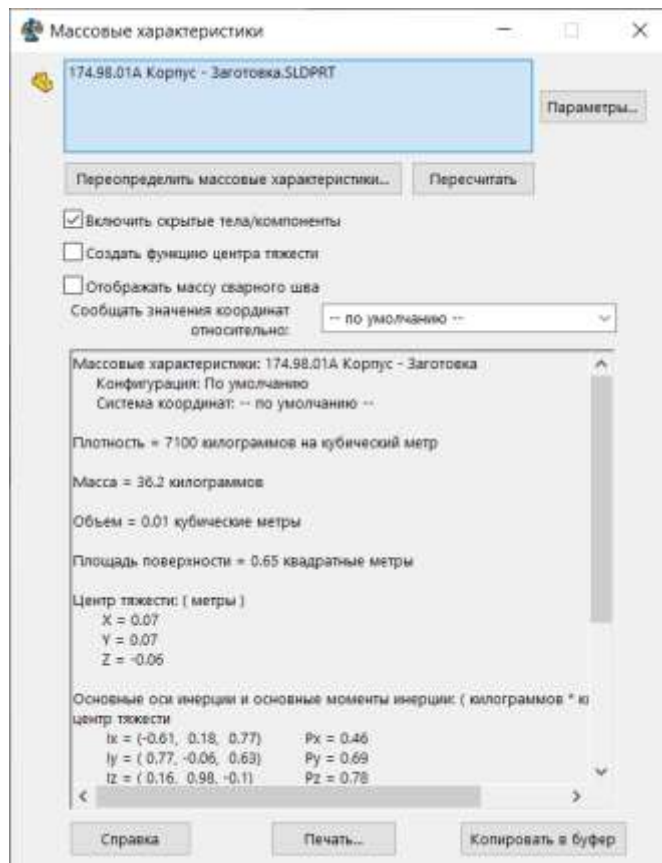


Рис. 2.5. Параметры заготовки у Solidworks 2021

Висновок: зупиняємось на литті в піщано - глинясту форму за металевою моделлю з машинним формуванням. З урахуванням всіх припусків на обробку та ливарними усадками, що для даного матеріалу становить близько 2 відсотків. [12]

2.5 Обґрунтування баз для технологічного процесу виготовлення деталі.

Вибір технологічних баз будемо аналізувати виходячи з вхідних даних заготовки:

- обґрунтування вибору загальних технологічних баз;
- обґрунтування технологічних баз для першої операції. [16]

2.5.1. Обґрунтування вибору загальних технологічних баз.

Аналізуючи кресленик деталі, можна розділити поверхні на такі групи:

- основна конструкторська база, яка може слугувати базовою поверхнею та визначає положення у вузлі.
- допоміжна конструкторська база, яка визначає положення деталей відносно даної;

- Найбільш ефективно базування для зменшення похибки – це коли технологічна, конструкторська та вимірювальні бази є одна й та ж сама поверхня, також треба вибрати такий спосіб базування, щоб за одну установку можна було обробити як найбільше поверхонь. [16]

Варіант 1

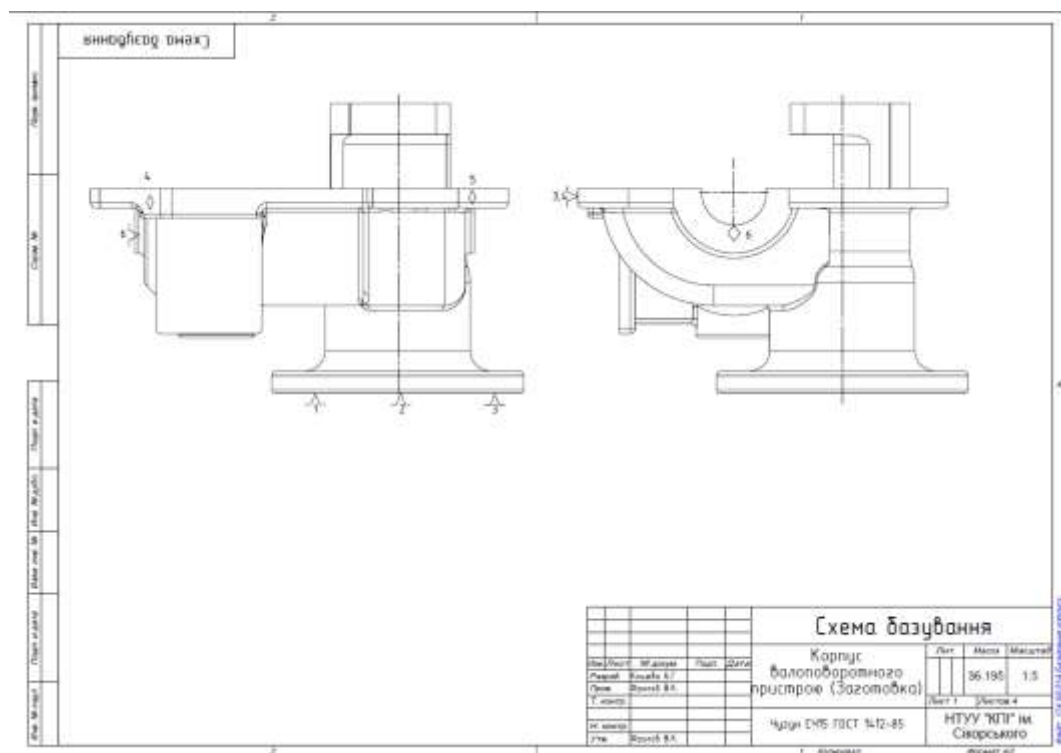


Рис. 2.6. Схема базування на першу фрезерну операцію
Варіант 2

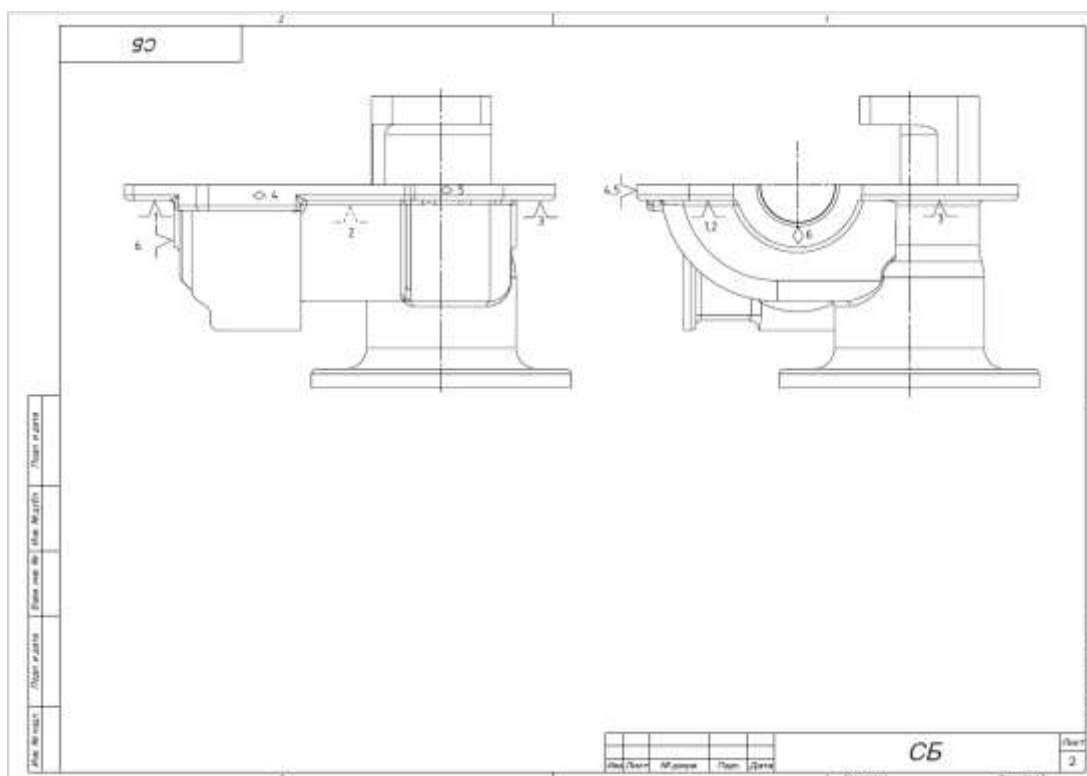


Рис. 2.7. Схема базування на першу фрезерну операцію
Варіант 3

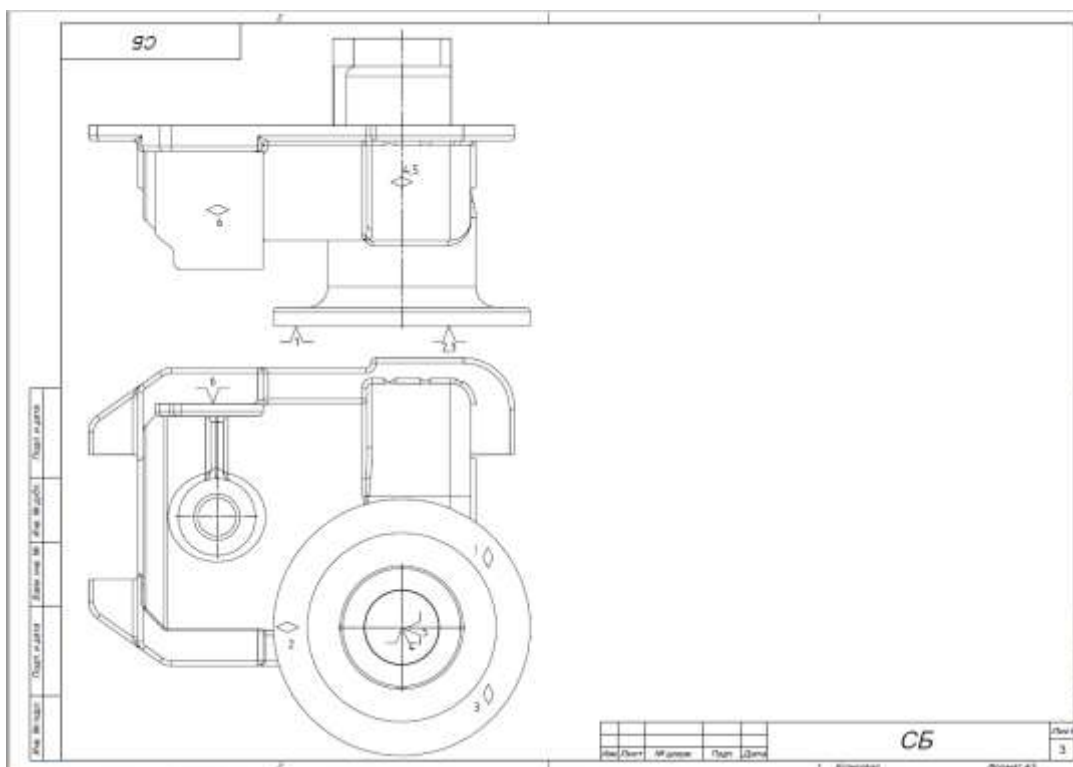


Рис. 2.8. Схема базування на першу фрезерну операцію

Варіант 4

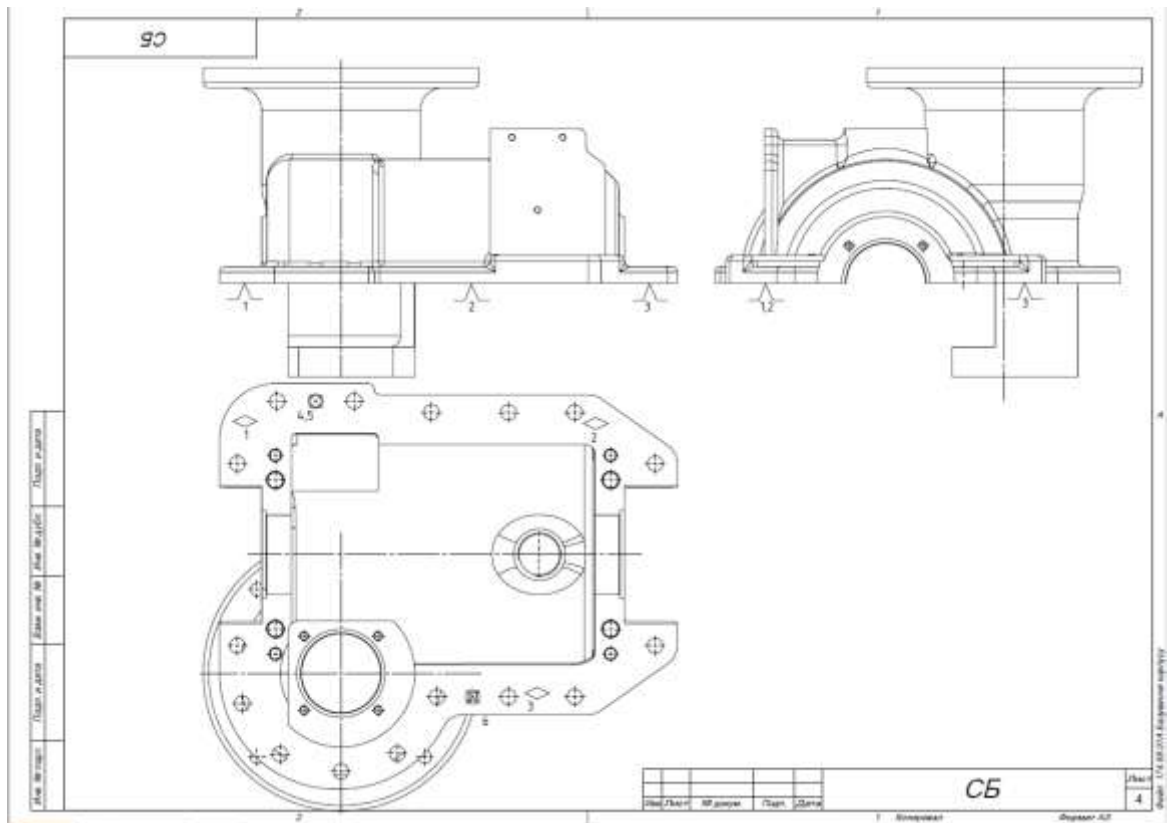


Рис. 2.9. Схема базування подальші операції

При перших трьох варіантах (рис.2.6, рис. 2.7, рис 2.8) використовують завдяки трьом опорам, двох напрямних та одної установчої баз. Структурна формула має такий вигляд:

$$СБЗТБ \Rightarrow У(3) + Н(2) + О(1), \#(2.5.1)$$

В четвертому варіанті (рис. 2.9), для подальших обробку, деталь базується по трьом опорам, циліндричним та ромбічним пальцями.

Структурна формула має такий вигляд:

$$СБ_{ЗТБ} \rightarrow У(3) + ПО(2) + О(1) \quad (2.5.2)$$

2.6. Проектування маршрутів оброблення елементарних поверхонь деталі.

Орієнтовний план обробки на вертикально-фрезерному та горизонтально-фрезерному верстаті з ЧПК, для розуміння подальшої технології обробки поверхонь. Вихідними даними табл. 2.6.1 є кресленик деталі.

Таблиця 2.6.1. Технологічна послідовність оброблення поверхонь заготовки

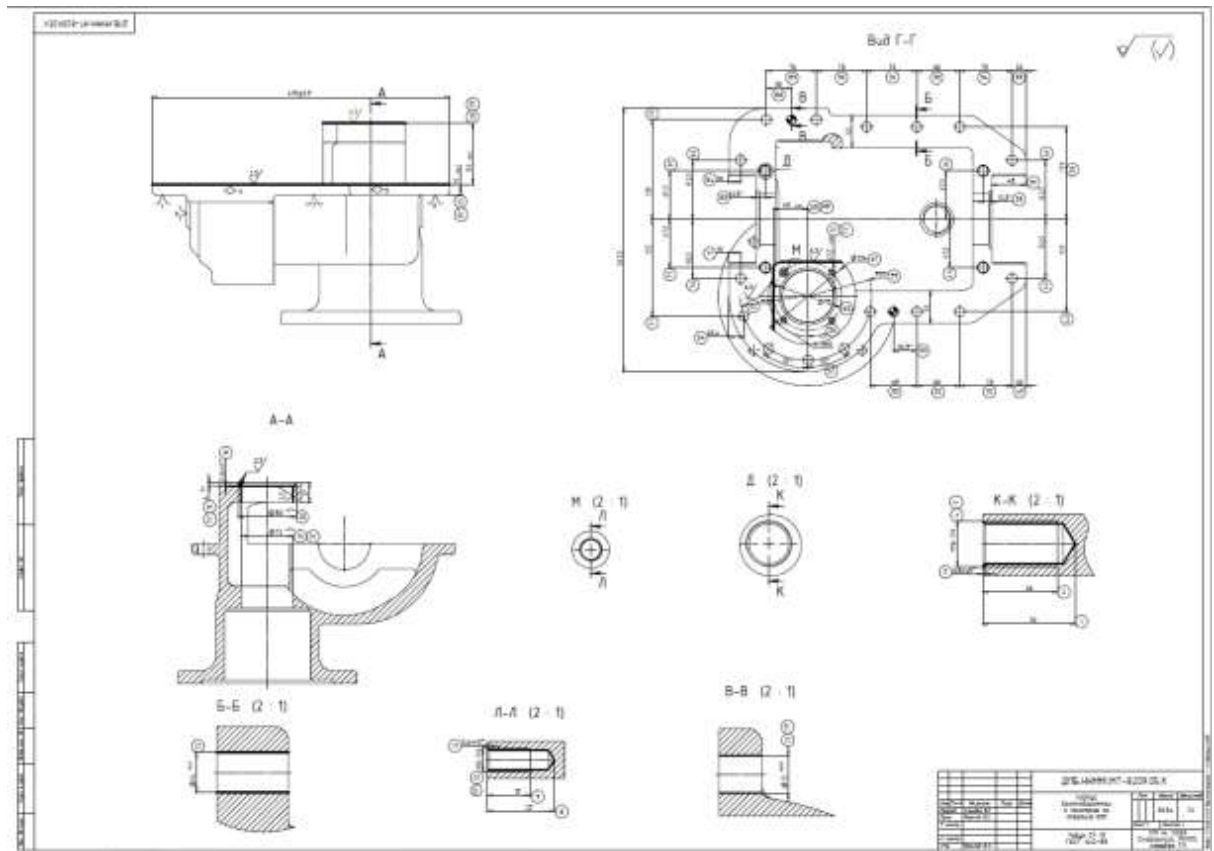
№	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Технологічна послідовність оброблення	Характеристики якості поверхні після оброблення	
	Точн. розмірі в ІТ / клас точн. різьби	Параметр шорсткості Ra, мкм		Точн. розмірів ІТ / клас точн. різьби	Параметр шорсткості Ra, мкм
1	2	3	4	5	6
Поверхня 15 _{-0,43} мм	14	2,5	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	5 2,5
Поверхня 85 _{-0,87} мм	14	6,3	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	10 6,3
Поверхня 48 _{-0,62} мм	14	6,3	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	10 6,3
Поверхня 47,5 _{-0,62} мм	14	6,3	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	10 6,3
Отвір Ø 80 ^{+0,74} мм	14	6,3	Розточити отвір поперед. Розточити отвір остаточ.	11 10	10 6,3
Отвір Ø 72 ^{+0,74} мм	14	6,3	Розточити отвір поперед. Розточити отвір остаточ.	11 10	10 6,3
Отвір Ø 14 ^{+0,43} мм	14	6,3	Центрування Свердління	- 12	- 6,3

Отвір Ø 13 ^{+0,018} мм	7	1,25	Центрування Свердління Розвертання	- 12 9	- 6,3 1,25
Різьба М16	7	6,3	Центрування Свердління Розфрезерувати різьбу	- 12 7	- 6,3 2,5
Різьба М8	7	6,3	Центрування Свердління Нарізати різьбу	- 12 7	- 6,3 2,5
Поверхня 195 _{-1,1} мм	14	6,3	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	5 2,5
Поверхня Ø 184 ^{+0,87} мм	14	6,3	Розточити отвір поперед. Розточити отвір остаточ.	11 10	10 6,3
Поверхня Ø 115 ^{+0,15} мм	14	6,3	Розточити отвір однораз.	10	6,3
Отвір Ø 72 ^{+0,73} мм	14	6,3	Розточити отвір однораз.	11	10
Різьба М12	7	6,3	Центрування Свердління Нарізати різьбу	- 12 7	- 6,3 2,5
Поверхня 140 ₋₁ мм	14	6,3	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	5 2,5
Різьба М39x2	7	6,3	Розточити отвір Розфрезерувати різьбу	11 10	10 2,5
Поверхня 140 _{-0,1} мм	14	6,3	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	5 2,5

Поверхня 12 _{-0,43} мм	14	6,3	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	5 2,5
Різьба М6	7	6,3	Центрування Свердління Нарізати різьбу	- 12 7	- 6,3 2,5
Отвір ø72 _{-0,74} мм	14	6,3	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	5 2,5
Отвір ø 80 ^{+0,74} мм	14	6,3	Розточити отвір перед. Розточити отвір остаточно	11 10	10 6,3
Отвір ø 72 ^{+0,74} мм	14	6,3	Розточити отвір перед. Розточити отвір остатоц.	11 10	10 6,3
Поверхня 125 _{-0,1} мм	14	6,3	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	5 2,5
Різьба М8	7	6,3	Центрування Свердління Нарізати різьбу	- 12 7	- 6,3 2,5
Поверхня 257 _{-1,3} мм	14	6,3	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	5 2,5
Отвір ø 80 ^{+0,74} мм	14	6,3	Розточити отвір перед. Розточити отвір остатоц.	11 10	10 6,3
Отвір ø 72 ^{+0,74} мм	14	6,3	Розточити отвір перед. Розточити отвір остатоц.	11 10	10 6,3
Поверхня 125 _{-0,1} мм	14	6,3	Фрезерування попереднє Фрезерування остаточне	14 11	5 2,5
Різьба М8	7	6,3	Центрування Свердління Нарізати різьбу	- 12 7	- 6,3 2,5

2.7 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі

005. Вертикально-фрезерна з ЧПК, HAAS VF-8 (Рис. 8.1.). Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК, HAAS VF-8-40.



А. Установити, закріпити, зняти.

005.01. Фрезерувати поверхню попередньо, витримуючи розмір $25'$ ($16_{-0,43}^{+0,00}$ мм).

005.02. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 25.

005.03. Фрезерувати поверхню попередньо, витримуючи розмір $28'$ ($16_{-0,87}^{+0,00}$ мм).

005.04. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 28.

005.05. Фрезерувати поверхню попередньо, витримуючи розмір $68'$ ($49_{-0,62}^{+0,00}$ мм).

005.06. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 68.

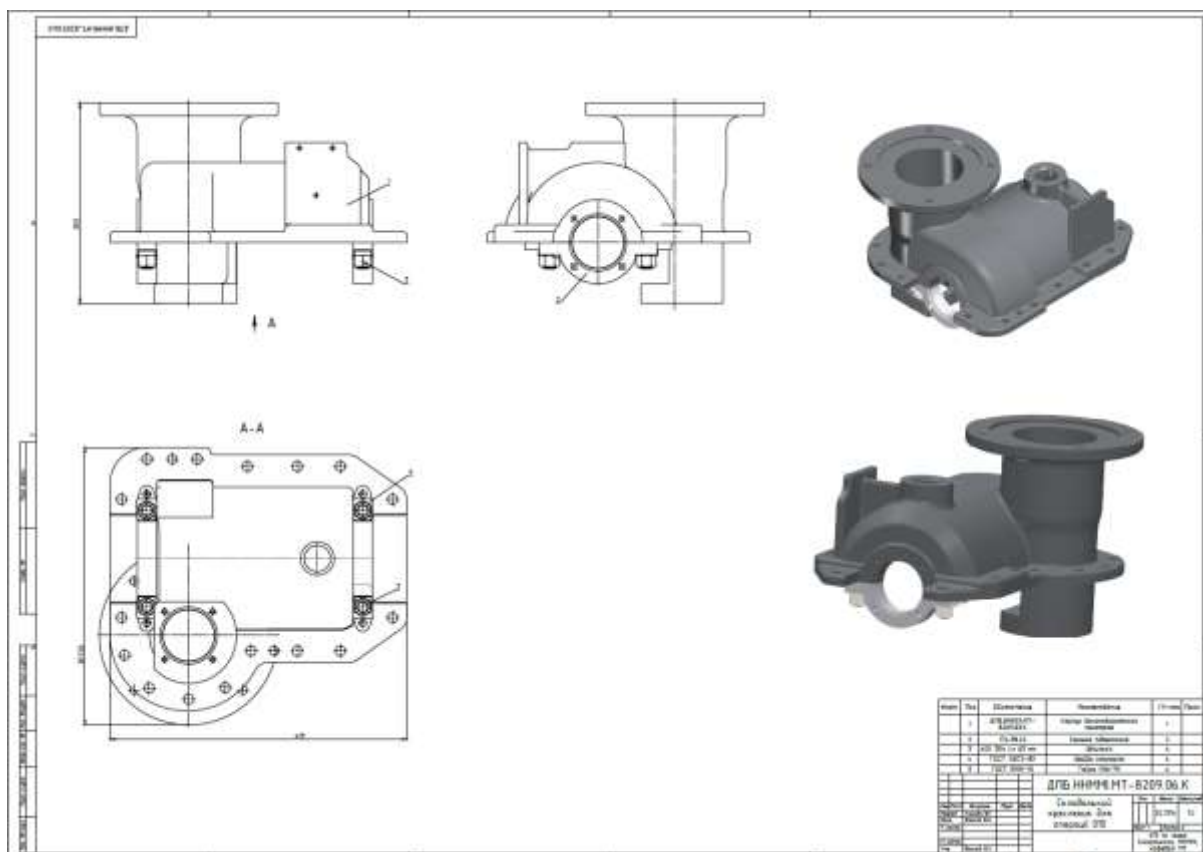
005.07. Фрезерувати поверхню попередньо, витримуючи розмір $72'$ ($48_{-0,62}^{+0,00}$ мм).

005.08. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 72.

005.09. Розточити отвір попередньо, витримуючи розміри $20,15'$ ($3^{+0,1}_{-0,00}$ мм).

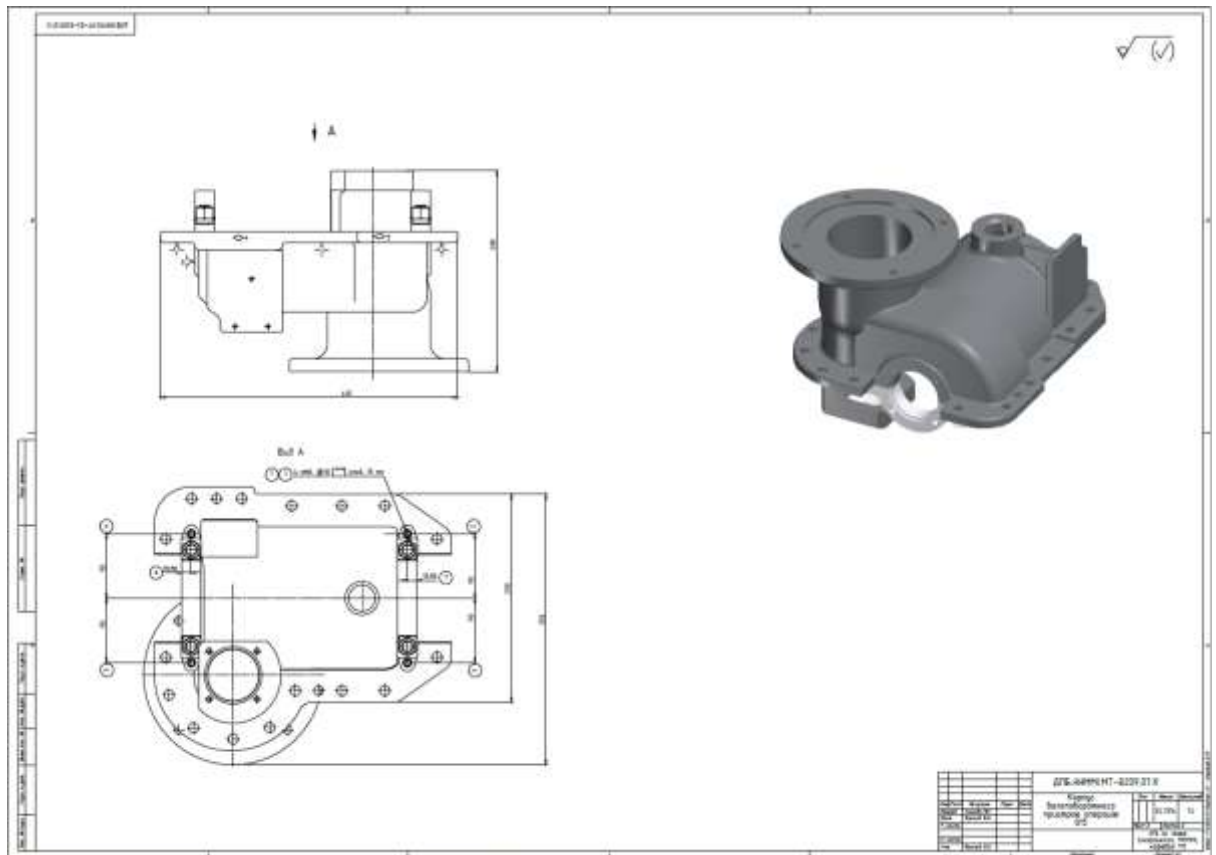
- 005.10. Розточити отвір остаточно, витримуючи розміри 20, 15.
- 005.11. Розточити отвір попередньо, витримуючи розмір $14^{+0,74}_{-0,74}$ мм).
- 005.12. Розточити отвір остаточно, витримуючи розмір 14.
- 005.13. Розточити фаску витримуючи розмір 16.
- 005.14. Центрувати положення 16-ти осей отворів, витримуючи розміри 38, 35, 34, 33, 31, 90, 89, 46, 49, 51, 52, 55, 59, 57, 60, 62, 64, 75, 77, 84, 85, 76, 40, 43.
- 005.15. Свердли 16 отворів послідовно, витримуючи розміри 12, 38, 35, 34, 33, 31, 90, 89, 46, 49, 51, 52, 55, 59, 57, 60, 62, 64, 75, 77, 84, 85, 76, 40, 43.
- 005.16. Центрувати положення 2-х осей отворів, витримуючи розміри 53, 46, 88, 79.
- 005.17. Свердли 2 отвори послідовно, витримуючи розміри 13', 53, 46, 88, 79.
- 005.18. Розвернути 2 отвори послідовно, витримуючи розміри 13, 53, 46, 88, 79.
- 005.19. Центрувати положення 4-х осей отвору витримуючи розміри 83, 76, 85, 36, 44.
- 005.20. Свердли 4 отвори послідовно, витримуючи розміри 4', 1, 83, 76, 85, 36, 44.
- 005.21. Розточити фаску витримуючи розмір 3.
- 005.22. Розфрезерувати різьбу в 4-х отворах, витримуючи розміри 4, 2, 83, 76, 85, 36, 44.
- 005.23. Центрувати положення 4-х осей, витримуючи розміри 63, 56.
- 005.24. Свердли 4 отвори послідовно, витримуючи розміри 10', 8, 56, 63.
- 005.25. Розточити фаску витримуючи розмір 11.
- 005.26. Нарізати різьбу в 4-х отворах, витримуючи розміри 10, 9, 56, 63.

010 – Складальна операція



- 010.01. Спрягти кришку підшипника 2 з фланцем корпусу валоповоротного пристрою 1 концентрично отворам, як на кресленіку ДПБ.ННММІ.МТ-8209.06.К.
- 010.02. Закрутити шпильки 3 попередньо вручну.
- 010.03 Встановити стопорні шайби 4 з гайками 5, спрягаючи зі шпильками 010.04.
- Закрутити динамометричним ключем, після, вусики шайб загнути викруткою.

015. Вертикально-фрезерна з ЧПК, HAAS VF-8 (Рис. 8.1.). Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК, HAAS VF-8-40.



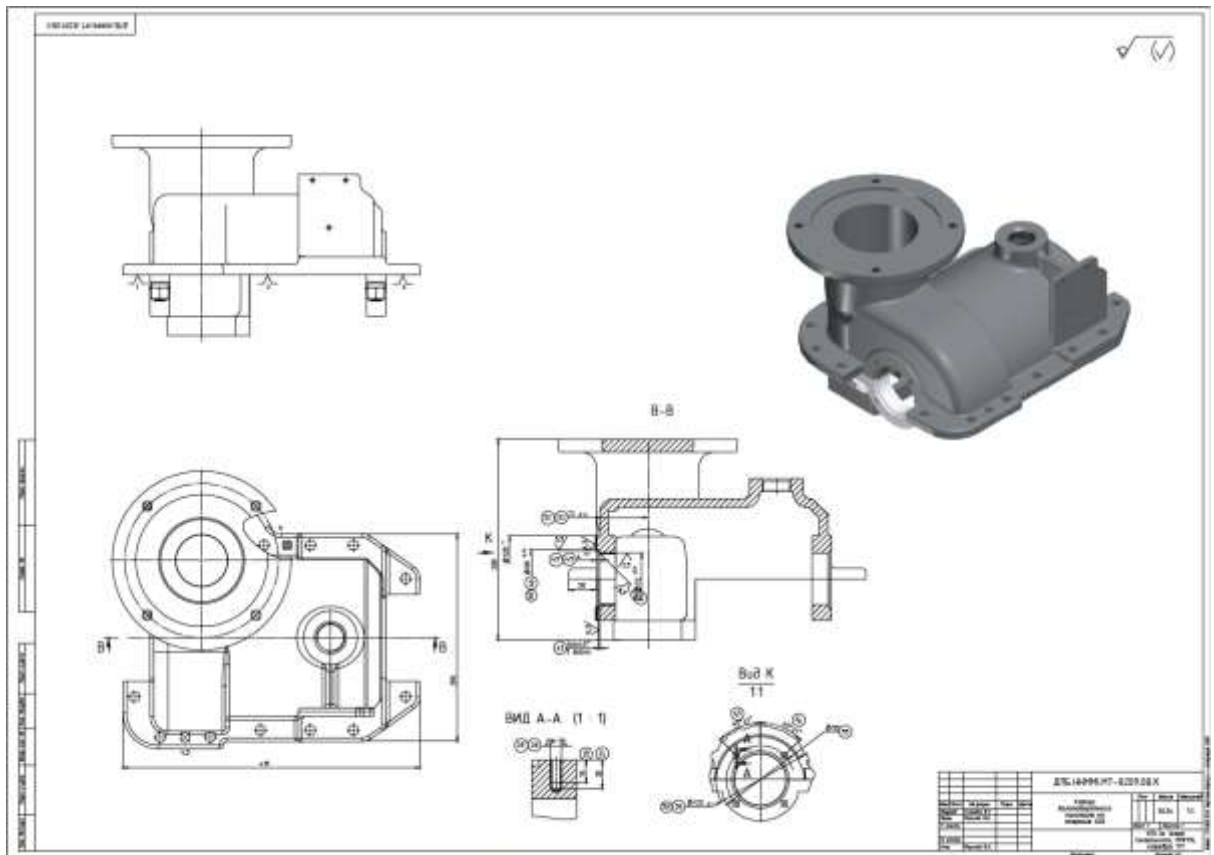
015.01. Центрувати положення 4-х осей отворів, витримуючи розміри 2, 3, 4, 5, 6, 7.

015.02. Свердлити 4 отвори послідовно, витримуючи розміри 1', 53, 46, 88, 79.

015.03. Розвернути 4 отвори послідовно, витримуючи розміри 1, 53, 46, 88, 79.

020. Горизонтально-фрезерна з ЧПК, HAAS ES-500 (Рис. 8.2.).

Горизонтально-фрезерний верстат з ЧПК, HAAS ES-500.



А. Установити, закріпити, зняти.

020.01. Фрезерувати поверхню попередньо, витримуючи розмір $52'$, $56'$ ($73_{-0,74}$ мм).

020.02. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 52, 56.

020.03 Розточити отвір попередньо, витримуючи розміри $46'$ ($76^{+0,74}$ мм), $49'$ ($3^{+0,1}$ мм).

020.04. Розточити отвір остаточно, витримуючи розміри 46, 49.

020.05. Розточити фаску витримуючи розмір 43.

020.06. Розточити отвір попередньо, витримуючи розмір $41'$ ($73^{+0,74}$ мм).

020.07. Розточити отвір остаточно, витримуючи розмір 41.

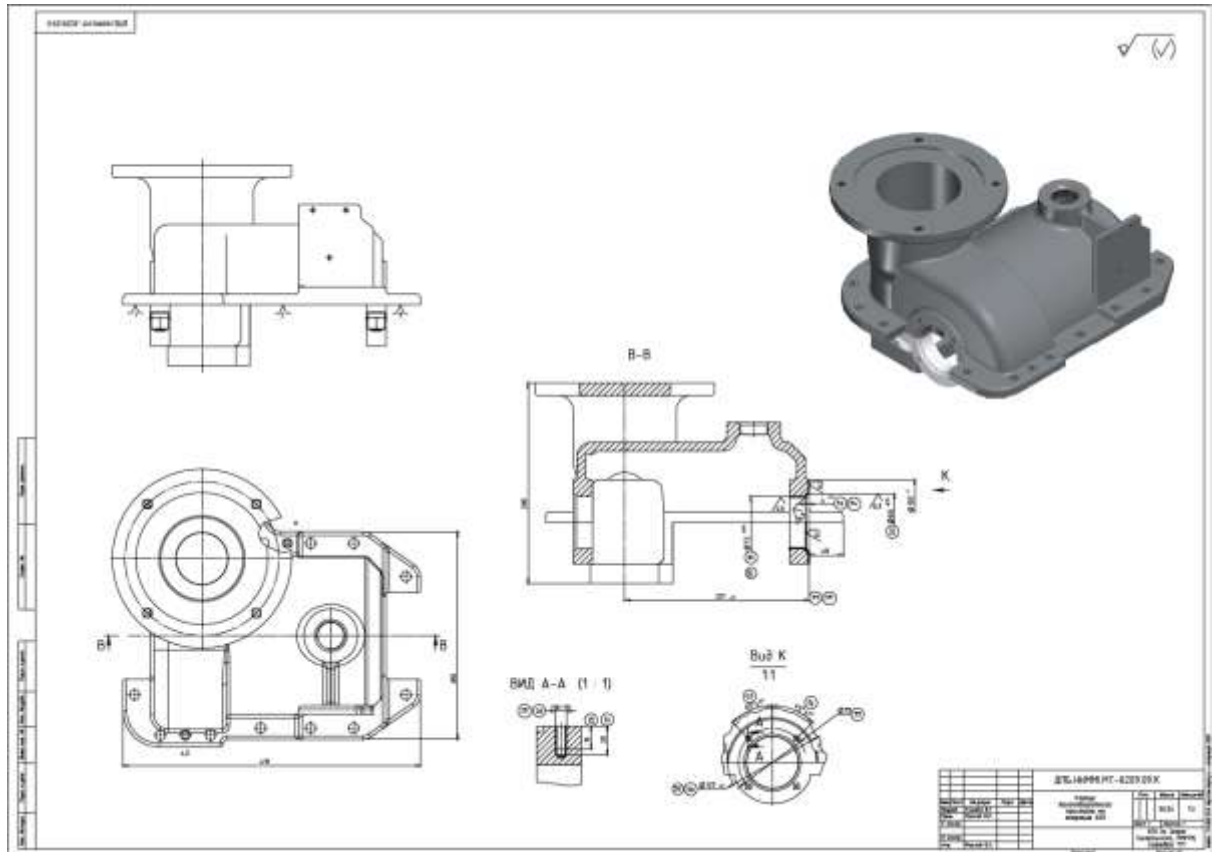
020.8. Центрувати положення 4-х осей отворів, витримуючи розміри 55, 53, 54.

020.9. Свердли 4 отвори послідовно, витримуючи розміри $28'$, $27'$.

020.10. Нарізати різьбу в 4-х отворах, витримуючи розміри витримуючи розміри 28, 27.

025. Горизонтально-фрезерна з ЧПК, HAAS ES-500 (Рис. 8.2.).

Горизонтально-фрезерний верстат з ЧПК, HAAS ES-500.



А. Установити, закріпити, зняти.

025.01. Фрезерувати поверхню попередньо, витримуючи розмір 39' (258._{1,3} мм), 56'.

025.02. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 39, 56.

025.03. Розточити отвір попередньо, витримуючи розміри 33, 34' ($3^{+0,1}$ мм).

025.04. Розточити отвір остаточно, витримуючи розміри 33, 34.

025.05. Розточити фаску витримуючи розмір 43.

025.06. Розточити отвір попередньо, витримуючи розмір 35' ($73^{+0,74}$ мм).

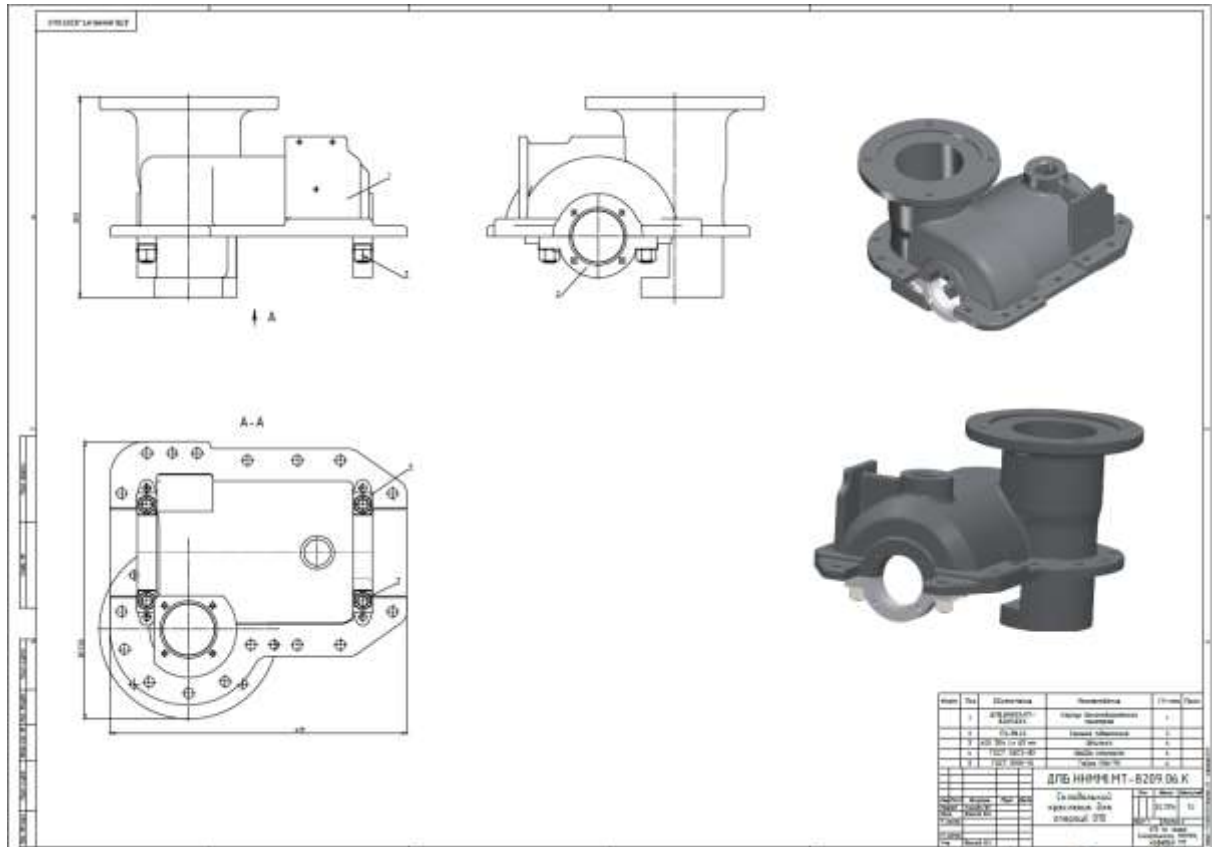
025.07. Розточити отвір остаточно, витримуючи розмір 35.

025.08. Центрувати положення 4-х осей отворів, витримуючи розміри 55, 53, 54.

025.09. Свердли 4 отвори послідовно, витримуючи розміри 28', 27'.

025.10. Нарізати різьбу в 4-х отворах, витримуючи розміри витримуючи розміри 28, 27.

030 – Розкладальна операція



А. Установити, закріпити, зняти.

030.01. Вусики стопорних шайб вигнути викруткою, після, розкрутити накидним ключем гайки 5, як на ДПБ.ННММІ.МТ-8209.06.К.

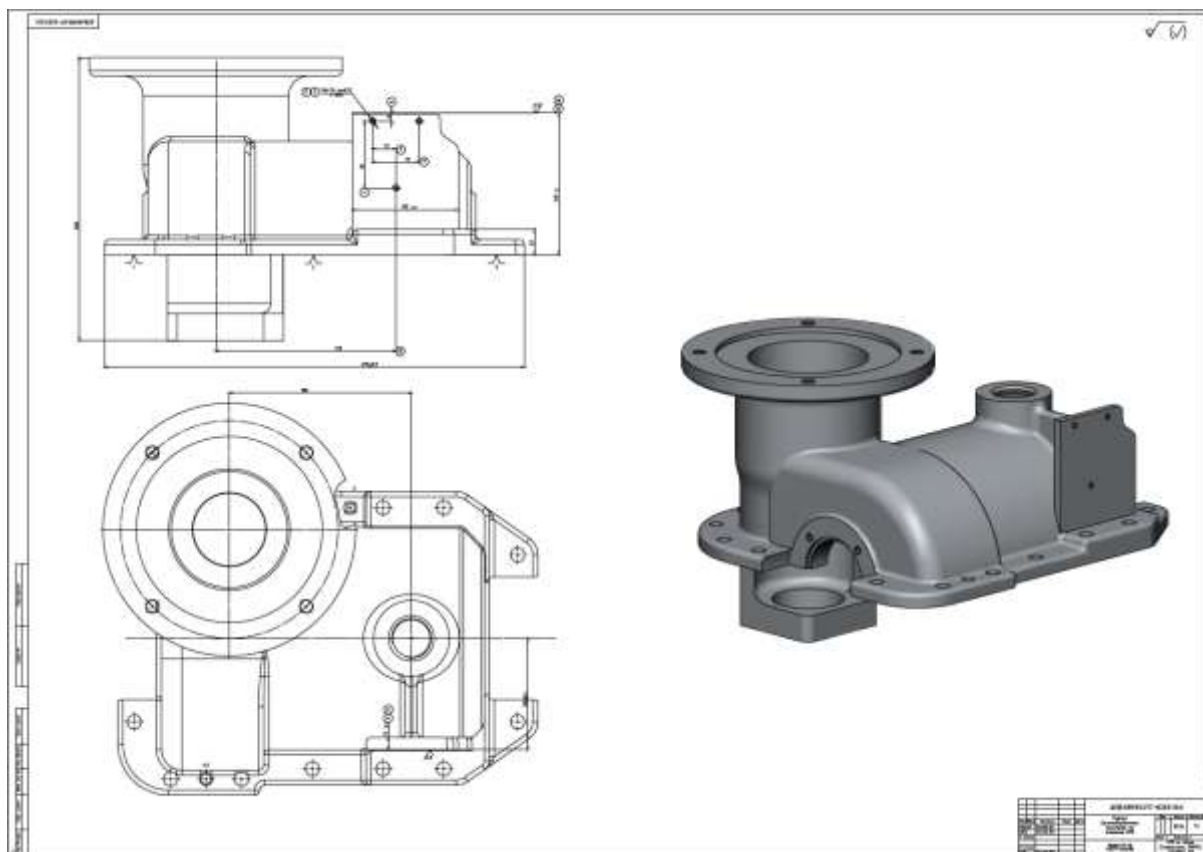
030.02. Демонтувати чотири шайби 4.

030.03. Викрутити чотири шпильки 3.

030.04. Зняти дві кришки підшипника 2.

035. Горизонтально-фрезерна з ЧПК, HAAS ES-500 (Рис. 8.2.)

Горизонтально-фрезерний верстат з ЧПК, HAAS ES-500



А. Установити, закріпити, зняти.

035.01. Фрезерувати поверхню попередньо, витримуючи розмір $16'$ ($141_{-0,1}$ мм).

035.02. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 16.

035.03. Фрезерувати поверхню попередньо, витримуючи розмір $3'$ ($13_{-0,43}$ мм).

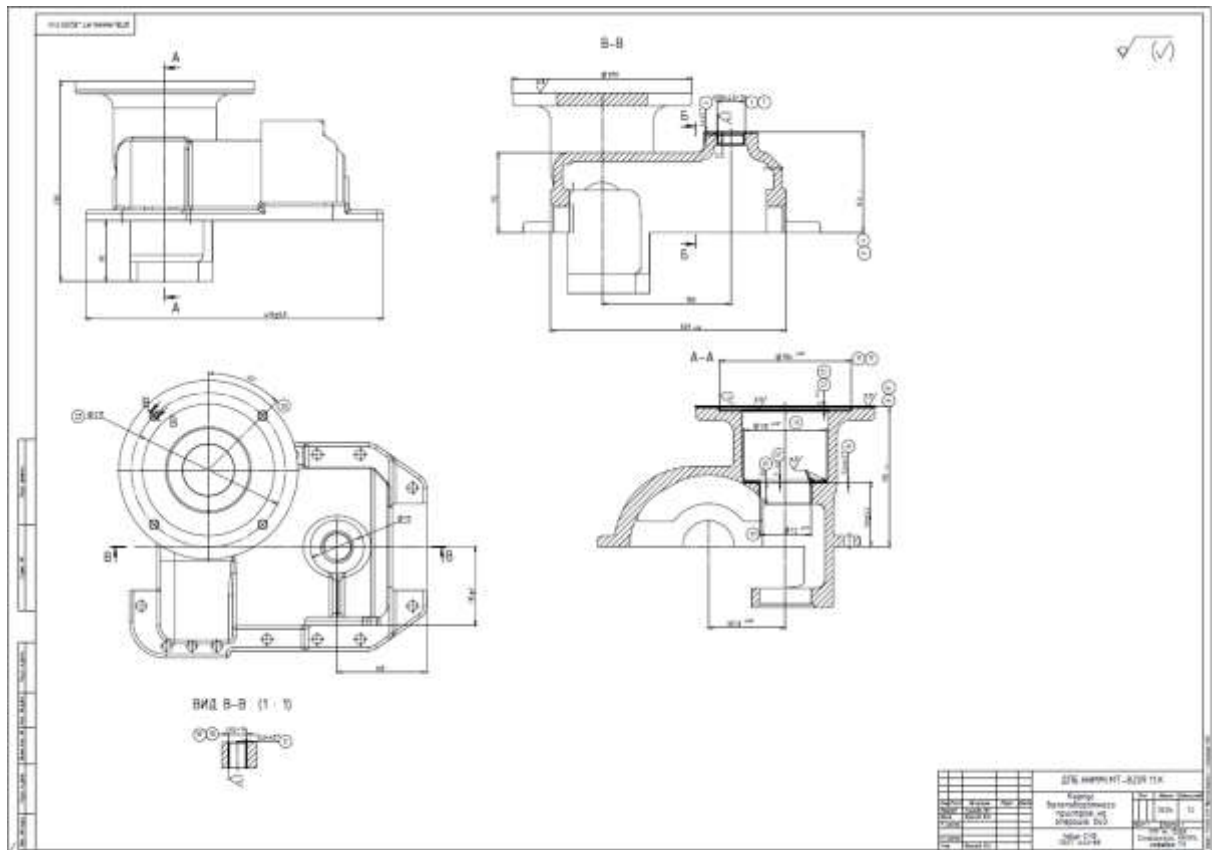
035.04. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 3.

035.05. Центрувати положення осей 3-х отворів витримуючи розміри 20, 1, 6, 8, 11.

035.06. Свердлити 3-и отвори наскрізь послідовно, витримуючи розміри $5'$, 20, 1, 6, 8, 11.

035.07. Нарізати різьбу в 3-х отворах, витримуючи розміри витримуючи розмір 5.

040. Вертикально-фрезерна з ЧПК, HAAS VF-8 (Рис. 8.1.). Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК, HAAS VF-8.



А. Установити, закріпити, зняти.

040.01. Фрезерувати поверхню попередньо, витримуючи розмір 8' ($196_{-1,1}$ мм).

040.02. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 8.

040.03. Розточити поверхню попередньо, витримуючи розміри 9' ($182^{+0,87}$ мм), 12' ($4^{+0,3}$ мм).

040.04. Розточити поверхню остаточно, витримуючи розміри 9, 12.

040.05. Розточити поверхню, витримуючи розміри 11, 13.

040.06. Розточити отвір, витримуючи розмір 17.

040.07. Розточити фаску витримуючи розмір 14.

- 040.08. Центрувати положення 4-х осей, витримуючи розміри 23, 26.
- 040.09. Свердлити 4 отвори послідовно, витримуючи розміри 10', 23, 26.
- 040.10. Розточити фаску витримуючи розмір 6.
- 040.11. Нарізати різьбу в 4-х отворах, витримуючи розміри 10, 23, 26.
- 040.12. Фрезерувати поверхню попередньо, витримуючи розмір 4' (141₋₁ мм).
- 040.13. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 4.
- 040.14. Розточити отвір, витримуючи розмір 1'.
- 040.15. Розточити фаску витримуючи розмір 2.
- 040.16. Розфрезерувати різьбу, витримуючи розмір 1.
- 045. Мийочна.
- 050. Контрольна.
- 055. Маркувальна.

2.8. Вибір верстатів для оброблення деталі

Для виготовлення деталі враховуючи габаритні параметри, висоту інструменту та переміщення осей було обрано багатоцільовий верстат горизонтально-фрезерний обробляючий центр HAAS VF-8-40



Рис. 8.1. Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК, HAAS VF-8-40

Таблиця 8.1. Основні технічні характеристики верстата HAAS VF-8-40

Максимальна потужність:	22.4 кВт
Максимальна частота обертання шпинделя	8100 rpm
Максимальний крутний момент	339 Нм
Ходи:	
- по осі X	1626 мм
- по осі Y	1016 мм
- по осі Z	762 мм
Максимальне осьове зусилля:	
- вздовж осі X	15124 Н
- вздовж осі Y	15124 Н

- вздовж осі Z	24910 Н
Конус	СТ або BT-40
Вміст інструменту	30+1 шт.
Макс. діаметр інструменту	64 мм.
Макс. вага інструменту	5.4 кг.
Об'єм ЗОР	360 л.
Маса	11250 кг



Рис. 8.2. Горизонтально-фрезерний верстат з ЧПК, HAAS ES-500

Таблиця 8.2. Основні технічні характеристики верстата HAAS ES-500

Максимальна потужність:	22.4 кВт
Максимальна частота обертання шпинделя	8100 rpm
Максимальний крутний момент	122 Нм
Ходи:	
- по осі X	813 мм
- по осі Y	635 мм
- по осі Z	711 мм

Максимальне осьове зусилля:	
- вздовж осі X	15035 Н
- вздовж осі Y	12500 Н
- вздовж осі Z	15035 Н
Конус	СТ або ВТ-40
Вміст інструменту	30+1 шт.
Макс. діаметр інструменту	64 мм.
Макс. вага інструменту	5.4 кг.
Маса	11820 кг

2.9. Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки

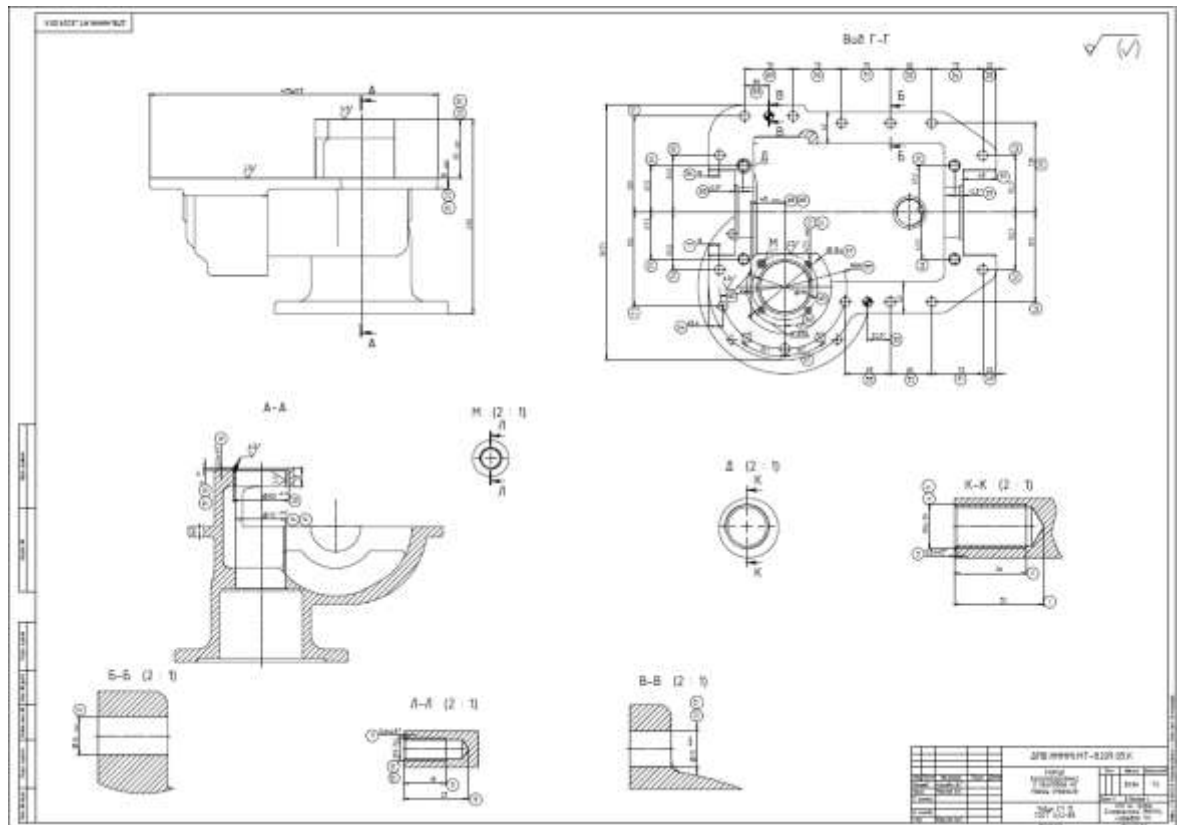
Визначаючи припуски розрахунково-аналітичним або аналоговим, ми знаходимо оптимальний припуск на обробку для досягнення всіх розмірів, які зазначені в кресленнику, маємо можливість витримати всі допуски відхилень поверхонь. При цьому якщо припуск зробити занадто великим, то це впливатиме на більший час обробки, більша кількість використаного інструмента, матеріал, який піде в стружку - таким чином собівартість готового виробу значно виросте в ціні і може бути недоцільною для виготовлення.

Припуск – це шар матеріалу, який видаляють з поверхні заготовки для досягнення заданих властивостей оброблюваної поверхні. [13]

Припуски для кожної поверхні визначаються окремо, так як при кожній із операцій похибки базування, знос інструменту, періоди стійкості – різні.

2.9.1. Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах

Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах для оброблення поверхні 15_{-0,43} мм



005.01. Фрезерувати поверхню попередньо, витримуючи розмір 25' (16_{-0,43} мм).

005.02. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 25.

Розрахунок припуску для отримання поверхні 15_{-0,43} мм (Ra 2,5)

Процес містить два переходи:

Фрезерування попереднє h14 Ra=5 мкм.

Фрезерування остаточно h11 Ra=2,5 мкм.

Розрахунок мінімальних припусків проводимо за формулою табл. 26, [14]:

$$Z_{i\min} = RZ(i-1) + h_{i-1} + \Delta\Sigma_{i-1} + \epsilon_i, \#(2.9.1)$$

RZ_{i-1} – середня висота мікронерівностей, отриманих

на попередньому переході або операції, мкм;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару, отримана на попередньому переході або операції і яку необхідно видалити, мкм;

$\Delta\Sigma_{i-1}$ – векторна сума просторових відхилень взаємозв'язаних поверхонь оброблюваної заготовки, яку отримали на попередньому переході або операції, мкм;

e_i – векторна сума похибок базування і закріплення, тобто похибка установки на виконуваній операції, мкм.

Фрезерування попереднє:

$$Z_{min1} = R_{z0} + h_0 + \rho_0 + \varepsilon_1 \quad (2.9.2)$$

$R_{z0}=200$ мкм (для маси заготовки – 32 кг, табл. 27 [15])

$h_0 = 300$ мкм (для маси заготовки – 32 кг, табл. 27 [15])

$\rho_0 = \rho_{кор} + \rho_{см}$ (для корпусних деталей, табл. 31 [15]) (2.9.3)

$$\rho_{кор} = \Delta_k \times L \quad (\text{для корпусних деталей, табл. 31 [15]}) \quad (2.9.4)$$

$\Delta_k = 0,7$ (для отливок, табл. 32 [15])

$\rho_{кор} = 0,7 \times 415 = 290,5$ мм.

$\rho_{см} = 1,2$ (табл. 31 [15])

$\rho_0 = 290,5 \times 1,2 = 348,6$ мкм

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = 280 \text{ мкм}$$

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

$\varepsilon_3 = 280$ мкм (виливок піщано-глинясту суміш, поперечний розмір 360-500 мм, табл. 40 [15])

$$Z_{min1} = 200 + 300 + 300 + 348,6 + 280 = 1,43 \text{ мм}$$

Фрезерування остаточне:

$$Z_{min2} = R_{z1} + h_1 + \rho_1 + \varepsilon_2 \quad (2.9.5)$$

$R_{z2} + h_2 = 30 + 30 = 60$ мкм – після остаточного фрезерування (табл. 30 [15]);

$\rho_1 = \rho_0 \times k_y = 348,6 \times 0.04 = 13,944$ мкм – після попереднього фрезерування штампованих і литих заготовок (с. 74 [15]);

$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 = 280$ мкм – без переустановки.

$$Z_{min2} = 60 + 13,944 + 280 = 353,944 \approx 354 \text{ мкм}$$

Результати розрахунків зводяться до таблиці 2.9.1.

Технологічні допуски [17].

Табличні дані з табл. А.2 [17].

$$T_{\text{фр.чор}} = 0.430 \text{ мм (14 квал.)};$$

$$T_{\text{фр.чис}} = 0.110 \text{ мм (11 квал.)};$$

Найменші граничні розміри:

$$H_{\text{мін.фр.чор}} = H_{\text{мін.фр.чис}} + Z_{\text{мін2}} = 16,945 + 0,354 = 17,299 \text{ мм, \#(2.9.6)}$$

$$H_{\text{макс.фр.чор}} = 17,5 \text{ мм}$$

Перераховуємо найбільший граничний розмір:

$$H_{\text{мін.фр.чор}} = H_{\text{макс.фр.чор}} - T_{\text{фр.чор}} = 17,5 - 0,43 = 17,07 \text{ мм, \#(2.9.7)}$$

Перераховуємо мінімальний розмір припуску:

$$Z_{\text{мін2}} = H_{\text{мін.фр.чор}} - H_{\text{мін.фр.чис}} = 17,07 - 16,945 = 0,125 \text{ мм} \quad (2.9.8)$$

$$Z_{\text{мін1}} = H_{\text{мін.загот.}} - H_{\text{мін.фр.чор}} = 18 - 17,07 = 0,930 \text{ мм} \quad (2.9.9)$$

Перераховуємо максимальний розмір припуску:

$$Z_{\text{макс2}} = H_{\text{макс.фр.чор}} - H_{\text{макс.фр.чис}} = 17,5 - 16,055 = 1,445 \text{ мм} \quad (2.9.10)$$

$$Z_{\text{макс1}} = H_{\text{макс.загот.}} - H_{\text{макс.фр.чор}} = 19 - 17,5 = 1,5 \text{ мм} \quad (2.9.11)$$

Результати розрахунків зводяться до таблиці 2.9.1.

Таблиця 2.9.1. Розрахунок припусків і граничних розмірів за технологічними переходами оброблення площини 15_{-0,43}

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}
Заготовк а	20 0	300	348,6	-	-	14,95	-	18	19	-	-
Фрез. чорнове	60	50	13,94	280	1,4 3	13,52	300	17,07	17,5	0,93	1,5
Фрез. чистове	-	-	-	280	0,3 5	13,17	120	16,94	16,055	0,12	1,44

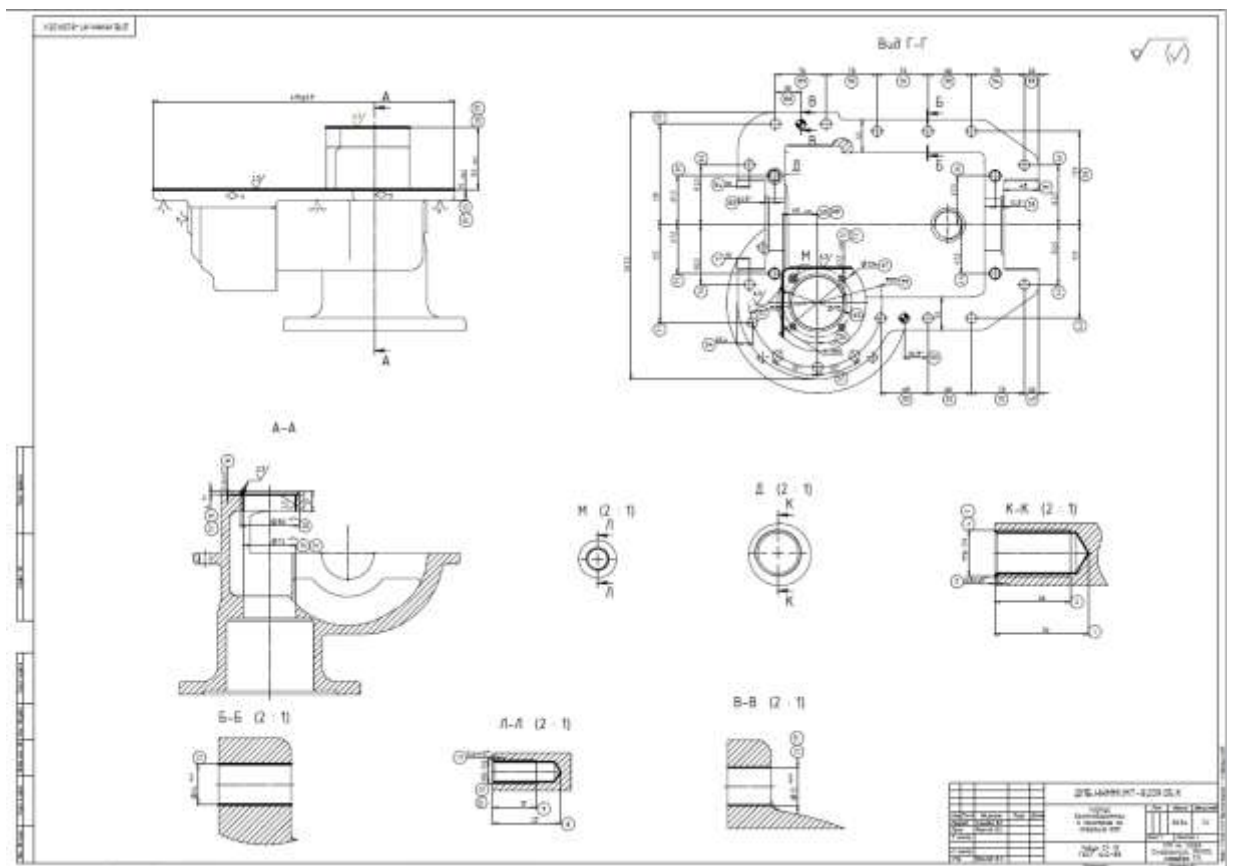
Σ	1,05	2,94
----------	------	------

2.9.2. Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах

Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах для оброблення отвору $\varnothing 72^{+0,74}$ мм

005.11. Розточити отвір попередньо, витримуючи розмір $14^{+0,74}$ мм).

005.12. Розточити отвір остаточно, витримуючи розмір 14.



Розрахунок припуску для отримання отвору $\varnothing 72^{+0,74}$ мм (Ra 6,3).

Процес містить два переходи:

Розточити отвір попередньо H11 Ra=10 мкм.

Розточити отвір остаточно H10 Ra=6,3 мкм.

Розрахунок мінімальних припусків проводимо за формулою табл. 26, [14]:

$$2Z_{\min i} = 2 \left(R_{z(i-1)} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \quad (2.9.12)$$

R_{zi-1} – середня висота мікронерівностей, отриманих

на попередньому переході або операції, мкм;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару, отримана на попередньому переході або операції і яку необхідно видалити, мкм;

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

ε_i – похибка встановлення заготовки.

Розточування попереднє:

$$2Z_{min1} = 2 \left(R_{z0} + h_0 + \sqrt{\rho_0^2 + \varepsilon_0^2} \right) \quad (2.9.13)$$

$R_{z0}=200$ мкм (для маси заготовки – 32 кг, табл. 30 [15])

$h_0=300$ мкм (для маси заготовки – 32 кг, табл. 30 [15])

$$\rho = \rho_{кор} + \rho_{см} = 1,2 \quad (\text{для корпусних деталей, табл. 31 [15]}) \quad (2.9.14)$$

$$\rho_{кор} = \Delta_k \times L \quad (\text{для корпусних деталей, табл. 31 [15]}) \quad (2.9.15)$$

$\Delta_k = 0,7$ (для отливок, табл. 32 [15])

$\rho_{кор} = 0,7 \times 72 = 50,4$ мм.

$\rho_{см} = 1,2$ (табл. 31 [15])

$$\rho_0 = 50,4 \times 1,2 = 10,8 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = 140 \text{ мкм}$$

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

$\varepsilon_3 = 140$ мкм (виливок піщано-глинясту суміш, поперечний розмір 120-180 мм, табл. 40 [15])

$$2Z_{min1} = 2(200 + 300 + \sqrt{108,86 + 19600}) = 1,280 \text{ мм.}$$

Розточування остаточне:

$$2Z_{min2} = 2 \left(R_{z1} + h_1 + \sqrt{\rho_1^2 + \varepsilon_1^2} \right) \quad (2.9.16)$$

$R_{z2} + h_2 = 20 + 25 = 60$ мкм – після чорнового фрезерування (табл.30 [15]);

$$\rho = \rho_{кор} + \rho_{см} = 1,2 \quad (\text{для корпусних деталей, табл. 31 [15]}) \quad (2.9.17)$$

$$\rho_{кор} = \Delta_k \times L \quad (\text{для корпусних деталей, табл. 31 [15]}) \quad (2.9.18)$$

$$\Delta_k = 0,7 \quad (\text{для отливок, табл. 32 [15]})$$

$$\rho_{кор} = 0,7 \times 72 = 50,4 \text{ мм.}$$

$$\rho_{см} = 1,2 \quad (\text{табл. 31 [15]})$$

$$\rho_1 = 50,4 \times 1,2 = 10,8 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 = 140 \text{ мкм} - \text{без переустановки.}$$

$$2Z_{min2} = 2(20 + 25 + \sqrt{19716,6}) = 0,370 \text{ мм.}$$

Результати розрахунків зводяться до таблиці 2.9.1.

Технологічні допуски [17].

Табличні дані з табл. А.2 [17].

$$T_{фр.чор} = 0.190 \text{ мм (11 квал.)};$$

$$T_{фр.чис} = 0.120 \text{ мм (10 квал.)};$$

Найменші граничні розміри :

$$D_{мін.роз.чис} = D_{мін.роз.} - 2Z_{мін2} = 71,815 - 0,370 = 71,445 \text{ мм, \#(2.9.19)}$$

$$D_{мін.роз.чор} = D_{мін.роз.чис} - 2Z_{мін1} = 72,445 - 1,280 = 70,165 \text{ мм} \quad (2.9.20)$$

Враховуючи допуски оброблення, приймаємо такі значення розмірів:

$$D_{макс.роз.чис} = 71 \text{ мм}$$

$$D_{макс.роз.чор} = 69,6 \text{ мм}$$

Перераховуємо найбільші граничні розміри:

$$D_{мін.роз.чис} = D_{макс.роз.чис} - T_{роз.чис} = 71 - 0,120 = 70,88 \text{ мм} \quad (2.9.21)$$

$$D_{мін.роз.чор} = D_{макс.роз.чор} - T_{роз.чор} = 69,6 - 0,190 = 69,41 \text{ мм} \quad (2.9.22)$$

Перераховуємо мінімальні розміри припусків:

$$2Z_{\min 2} = D_{\min. \text{роз.чор}} - D_{\min. \text{роз.чис}} = 69,41 - 70,88 = 1,47 \text{ мм} \quad (2.9.23)$$

$$2Z_{\min 1} = D_{\min. \text{загот}} - D_{\min. \text{роз.чор}} = 68,35 - 69,41 = 1,06 \text{ мм} \quad (2.9.24)$$

Перераховуємо максимальні розміри припусків:

$$2Z_{\max 2} = D_{\max. \text{роз.чор}} - D_{\max. \text{роз.чис}} = 69,6 - 71 = 1,4 \text{ мм} \quad (2.9.25)$$

$$2Z_{\max 1} = D_{\max. \text{загот}} - D_{\max. \text{роз.чор}} = 68 - 69,6 = 1,60 \text{ мм} \quad (2.9.26)$$

Результати розрахунків зводяться до таблиці 2.9.2.

Таблиця 2.9.2. Розрахунок припусків і граничних розмірів за технологічними переходами оброблення отвору $\varnothing 72^{+0,74}_{-0}$ мм.

Технол. перех.	Елементи припуску, мкм				Розр.		Т, мкм	Прийняті розміри, мм		Значення припусків , мм	
	R _Z	h	ρ	ε	2Z _{min}	D _{min}		D _{min}	D _{max}	2Z _{min}	2Z _{max}
Заготовка	20	30	10,8	-	-	68	-	68,35	70,88	-	-
Розточ. поперек	20	25	10,8	140	1,280	70,16	205	70,165	69,41	1,47	1,6
Розточ. остаток	-	-	-	140	0,370	71,44	92	71,445	70,88	1,06	1,4
Σ										2,53	3

2.10. Визначення режимів різання

10.1. Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом

005.18. Розвернути 2 отвори послідовно, витримуючи розміри 13, 53, 46, 88, 79.

Розрахунок режимів різання для отвору $\varnothing 13^{+0,018}_{-0}$ мм.

Вхідні дані:

Метод отримання заготовки – литво.

Матеріал заготовки – СЧ15.

Припуски на оброблення поверхонь по переходах, мм:

Глибина різання – $t=0.02$ мм.

Інструмент – розгортка CoroReamer 435.

Матеріал – 3220 (BK8).

Подача $S= 0,25$ мм/об.

Швидкість різання [16]:

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m S^y t^x} K_v; \quad (2.10.1)$$

Значення коефіцієнта C_V та показників ступеня обираємо по табл. 29 с.279 [16], а період стійкості T по табл. 30 с.279 [16];

$$C_V = 109; q = 0.2; x = 0; y = 0.5; m = 0.45; T = 165 \text{ хв};$$

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання:

$$K_v = K_{mv} K_{iv} K_{lv} K_{pv}; \quad (2.10.2)$$

Де:

$K_{mv} = 0.80$; – коефіцієнт на оброблюваний матеріал (табл. 1-4 [16]);

$K_{iv} = 0.83$; – коефіцієнт на інструментальний матеріал (табл. 6 [16]);

$K_{lv} = 1$; – коефіцієнт, що враховує глибину різання (табл. 31 [16]);

$K_{pv} = 0.85$; – додатковий поправочний коефіцієнт (табл. 5 [16]);

$$K_v = K_{mv} K_{iv} K_{lv} K_{pv} = 0,8 \times 0,83 \times 1 \times 0,85 = 0,56;$$

(2.10.3)

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m S^y t^x} K_v = \frac{109 \times 13^{0.2}}{165^{0.45} \times 0,25^{0.5} \times 0,02^0} 0.56 = 20,49 \text{ м/хв.}$$

(2.10.4)

Крутний момент, Н х м та осьову силу, Н, розраховуємо за формулою:

$$M_{кр} = 10 C_M D^q S^y t^x K_p;$$

(2.10.5)

$$P_o = 10C_p t^x S^y K_p;$$

(2.10.6)

Значення коефіцієнтів C_M та C_p та показників степені наведені в табл. 32 с.281[16];

$$C_M = 0.012; q = 2,2; x = -; y = 0,8;$$

$$C_p = 42; x = -; y = 0,75;$$

$$K_p = K_{mp};$$

Значення K_{mp} наведені для чавуну в табл. 9 [16];

$$K_p = K_{mp} = 1.09;$$

$$M_{кр} = 10C_M D^q S^y t^x K_p = 10 \times 0.012 \times 13^{2,2} \times 0,25^{0,8} \times 0,02^0 \times 1.09 = 11,814 \text{ Н} \cdot \text{м}, \#(2.10.7)$$

$$P_o = 10C_p t^x S^y K_p = 10 \times 42 \times 0,02^0 \times 0,25^1 \times 0,25^{0,75} \times 1.09 = 38,45 \text{ Н}, \#(2.10.8)$$

Потужність різання, кВт, визначається за формулою [16]:

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750}, \#(2.10.9)$$

Де частота обертів інструмента чи заготовки, об/хв,

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \times 20,49}{3.14 \times 13} = 501,96, \#(2.10.10)$$

Приймаємо $n=501,96$ об/хв;

Потужність різання [16]:

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750} = \frac{11,81 \times 501,96}{9750} = 0,6 \text{ кВт}. \quad (2.10.11)$$

Таблиця 2.10.1. Вихідні дані

t, мм	S_0 , мм/об	V, м/хв	n, об/хв
0,02	0,25	20,49	501,96

005.01. Фрезерувати поверхню остаточно, витримуючи розмір 25.

Розрахунок режимів різання для поверхні 15_{-0,43} мм.

Вхідні дані:

Метод отримання заготовки – литво.

Матеріал заготовки – СЧ15.

Припуски на оброблення поверхонь по переходах, мм:

Глибина різання – $t=0.24$ мм.

Інструмент – фреза CoroMill 435.

Матеріал – 3220 (BK8).

Ширина фрезерування $B= 54$ мм.

Подача $S_z= 0,253$ мм/об.

Швидкість різання с.282 [16]:

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v, \#(2.10.12)$$

Значення коефіцієнта C_V та показників ступеня обираємо по табл. 39 с.286 [16], а період стійкості T по табл. 40 с.290 [16];

$$C_V = 445; q = 0.2; x = 0,15; y = 0,35; u = 0,5; p = 0; m = 0.32; T = 180 \text{ хв};$$

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання с.282 [16]:

$$K_v = K_{mv} K_{iv} K_{pv}, \#(2.10.13)$$

,де:

$K_{mv} = 0.80$; – коефіцієнт на оброблюваний матеріал (табл. 1-4 [16]);

$K_{iv} = 0.83$; – коефіцієнт на інструментальний матеріал (табл. 6 [16]);

$K_{pv} = 0.85$; – додатковий поправочний коефіцієнт (табл. 5 [16]);

$$K_v = K_{mv} K_{iv} K_{pv} = 0,8 \times 0,83 \times 0,85 = 0,56;$$

(2.10.14)

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v = \frac{445 * 54^{0.2}}{165^{0.32} * 0,24^{0.15} * 0,25^{0.35} * 7^0} 0.56 = 219,59 \text{ м/хв.}$$

(2.10.15)

Сила різання с.282 [16]:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x B^1 S_z^y z}{D^q n^w} K_{\text{мр}}; \#(2.10.16)$$

z = 7, число зубів фрези;

n – частота обертів фрези об/хв;

Значення коефіцієнта C_p та показників степені наведені в табл. 41 с.291 [16], поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу для чавуну – табл. 9 [16]. Величина інших сил різання (P_h, P_u, P_y, P_x) встановлюють по табл. 42 с.291 [16].

$$C_p = 30; x = 0.83; y = 0.65; u = 1; q = 0.83; w = 1; K_{\text{мр}} = 1,05 \#(2.10.16)$$

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 * 219,59}{3.14 * 54} = 1295 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \#(2.10.17)$$

$$P_z = \frac{10 C_p t^x B^1 S_z^y z}{D^q n^w} K_{\text{мр}} = \frac{10 * 30 * 0,24^{0.83} * 54^1 * 0,25^{0.65} * 7}{54^{0.83} * 1295^1} 1,05 = 546 \text{ Н}$$

(2.10.18)

Крутний момент с.290 [16]:

$$M_{\text{кр}} = \frac{P_z D}{2 * 100} = \frac{546 * 54}{2 * 100} = 163,8 \text{ Н * м}; \#(2.10.19)$$

Потужність різання с.290 [16]:

$$N_e = \frac{P_z V}{1020 * 60} = \frac{546 * 219,59}{1020 * 60} = 1,95 \text{ кВт.} \#(2.10.20)$$

Таблиця 2.10.2. Вихідні дані

t, мм	S_z , мм/об	V, м/хв	n, об/хв
0,24	0,253	219,59	1295

2.10.1. Визначення режимів різання аналоговим методом

При визначенні режимів різання аналоговим методом скористуємось калькулятором Sandvik Coromant.

Таблиця 2.10.3. Параметри режимів різання на операції 005

№	Оброблення	Інструмент	V, м/х в	t, мм	S, мм/ об	n, об/хв	T _о , хв
01	Фрезерування поверхні попереднє	державка 490- 054C5-08H пластина 490R- 08T308M-KH 3220	258	3,5	1,46	1270	1,2
02	Фрезерування поверхні остаточне		258	0,14	1,46	1270	1,2
03	Фрезерування поверхні попереднє/остаточ не	Фреза кінцева R215.38-20050- AC38L 1620	259	3,5/ 0,5	2,83	4120	0,5
04	Розточення поверхні попереднє	R215.38-20050- AC38L 1620	243	3	1,93	3870	0,32
05	Розточення поверхні остаточне	R215.38-20050- AC38L 1620	322	1	1,42	5120	0,29
06	Фрезерування поверхні попереднє/остаточ не	R215.38-20050- AC38L 1620	282	3/1	1,56	4830	0,52
07	Розточити фаску	свердло центр. 100130 1000	60	1	1	1900	0,50
08	Центрування	свердло центр. 100130 1000	60	0.5	0,5	1900	1,2

9	Свердління	870–1400-14L20-8	117	1,5	0,5	2660	0,20
10	Розточити фаски	свердло центр. 100130 1000	60	1	1	1900	0,025
11	Центрування	свердло центр. 100130 1000	60	0.7	0,5	1900	0,12
12	Свердління	880-D1300L20-02	151	1,5	0,11	3700	0,25
13	Розвертання	435.B–1300-A1-XF H10F	30	0,02	0,25	735	0,45
14	Розточити фаски	свердло центр. 100130 1000	60	1	1	1900	0,20
15	Центрування	свердло центр. 100130 1000	60	0.7	0,5	1900	0:12
16	Свердління	880-D1500L20-02	162	5	0,26	2200	0:18
17	Розточити фаски	свердло центр. 100130 1000	60	0,5	0,5	1900	0:25
18	Розфрезерувати різьбу	016.B-1800-A1-XF H17F	28	0,3	1,25	2300	1,8
19	Центрування	свердло центр. 100130 1000	60	0.7	2,2	1900	0:12
20	Свердління	880-D700L20-02	162	1,5	0,15	2200	0,35
21	Розточити фаски	свердло центр. 100130 1000	60	1.1	0,45	1900	0:12
22	Нарізати різьбу	T300-XM100AA-	13,5	0,7	1.25	541	1,2

		M8C110					
--	--	--------	--	--	--	--	--

Таблиця 2.10.4. Параметри режимів різання на операції 015

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T _о , хв
01	Центрування	свердло центр. 100130 1000	60	0.7	2,2	1900	0,12
02	Свердління	880D100L20- 02	162	1,5	0,15	2200	0,35
03	Розвертання	435.B-1300- A1-XF H10F	30	0,1	0,25	735	0,45

Таблиця 2.10.5. Параметри режимів різання на операції 020

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T _о , хв
01	Фрезерування торця попереднє	державка RA390- 032EH25- 17M	238	3	1.45	2380	0,44
02	Фрезерування торця остаточне	Пластина R390-17 04 08M-KH 3330	304	1	1	3040	
03	Розточити овір поперечно	державка BR30- 87CC12F- C6	178	3	1,08	708	5,88

		пластина CCMT 12 04 12-KR 3210					
03	Розточити отвір остаточно	державка BR30- 79CC12F- C6 пластина CCMT 12 04 12-KR 3210	172	0,5	1,08	787	0,02
04	Розточити фаски	свердло центр. 100130 1000	60	1	1,1	1900	0,25
05	Центрування	свердло центр. 100130 1000	60	0.7	0,5	1900	1,2
06	Свердління	860.1–0700- 022A1-GM X1BM	111	2,5	0,15	5050	0,1
07	Розточити фаски	свердло центр. 100130 1000	60	1.1	0,5	1900	0,25
08	Нарізання різьб	T100- KM106AA- M8 D210	52,3	1,25	1.25	2080	0.3

Таблиця 2.10.6. Параметри режимів різання на операції 025

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T _о , хв
01	Фрезерування торця попереднє	державка RA390- 032EH25-17M Пластина	238	3	1	2380	0,44
02	Фрезерування торця остаточне	R390-17 04 08M-KH 3330	304	1	1.45	3040	
03	Розточити овір	державка BR30- 87CC12F-C6 пластина CCMT 12 04 12-KR 3210	178	1	1,08	708	5,88
03	Розточити отвір	державка BR30- 79CC12F-C6 пластина CCMT 12 04 12-KR 3210	172	0,5	1,08	787	0,02
04	Розточити фаски	свердло центр. 100130 1000	60	1	0,5	1900	0,25
05	Центрування	свердло центр. 100130 1000	60	0.7	1	1900	1,2

06	Свердління	860.1–0700-022A1-GM X1BM	111	1,5	0,15	5050	0,1
07	Розточити фаски	свердло центр. 100130 1000	60	1.1	1,2	1900	0,25
08	Нарізання різьб	T100-KM106AA-M8 D210	52,3	0.5	1,25	2080	0.3

Таблиця 2.10.6. Параметри режимів різання на операції 035

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T _о , хв
01	Фрезерування торця попереднє	державка 745-063Q22-21H	260	3	1	1160	0.25
02	Фрезерування торця остаточне	Пластина 745R-2109E-V31 K20D	258	0,5	1.45	1270	0.15
03	Фрезерування торця попереднє	державка Ra390-038M32-17H	255	3	0.79	1230	0.25
04	Фрезерування торця остаточне	Пластина R390-17 04 08V-KN 3330	255	0,5	0.85	2140	0.32

05	Центрування	свердло центр. 100130 1000	60	0.7	0,5	1900	1,2
06	Свердління	861/1/-0500- 060F1-GM	106	2.5	0.16	6730	0,20
07	Нарізання різьб	0.16T100- KM102FF- M6 D210	40.9	0.75	1.25	2170	0.30

Таблиця 2.10.7. Параметри режимів різання на операції 040

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T _о , хв
01	Фрезерування поверхні попереднє	державка R390- 032C5- 111М пластина R390-11 T3 08E- K1H13A	246	3	1,5	1320	1,2
02	Фрезерування поверхні остаточне	державка R390- 032C5- 111М пластина R390-11 T3 08E-	246	0,5	0,73	1330	1,2

		KIH13A					
03	Розточення поверхні попереднє	державка R300- 066C6-12H пластина R300- 1240E-KM 3330	134	2	1,03	1330	0,32
04	Розточення поверхні остаточне	державка R300- 066C6-12H пластина R300- 1240E-KM 3330	125	2	0,3	1260	0,29
05	Фрезерування поверхні попереднє/остаточне	R215.38- 20050- AC38L 1620	282	2	1,5	4830	0,49
06	Розточення поверхні	RB30- 79CC12F- C6	169	2	1,01	747	0,15
07	Розточити фаски	свердло центр. 100130 1000	60	1,1	1	1900	0,50

08	Центрування	свердло центр. 100130 1000	60	0.7	0,2	1900	1,2
09	Свердління	870-1100- 81X063-3	130	1	0,25	3760	0,20
10	Розточити фаски	свердло центр. 100130 1000	60	1.1	1	1900	0,25
11	Нарізання різьби	T100- KM103AA- M12 D210	61	1,25	1.25	1620	0,16
12	Розфрезерувати отвір	Державка BR20- 45CC09F- C3 пластина CCMT09T3 -12KR 3210	220	1.5	0.63	1890	0.15
13	Розточити фаски	свердло центр. 100130 1000	60	1	1	1900	0,50
14	Розфрезерувати різьбу	CM15- 43CC04F- C5	180	1,3	2	5000	0,15

2.11. Нормування технологічних операцій

11.1. Розрахунок поштучного часу для операції 005

Послідовність розрахунку описана [15, стр. 112].

Штучно- калькуляційний час: $T_{шт.к}$

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} = 17,27 + \frac{36}{3} = 207.24 \text{ хв.} \quad (2.11.1)$$

, де $T_{шт}$ - норми штучного часу;

$T_{пз}$ - норма підготовчо-заключного часу;

n – розмір партії деталей

$$n = \frac{N * t}{F} = \frac{50 * 15}{264} = 3 \text{ шт.} \quad (2.11.2)$$

$N = 50$ шт – загальний обсяг випуску;

$t = 5$ – кількість днів, на які треба забезпечити запас деталей;

$F = 264$ – середня кількість робочих днів у році.

$T_o = 9 \text{ хв} 45 \text{ с}$ – основний час оброблення однієї деталі на даній операції 005, хв.

Формула норми штучного часу має вигляд (с. 218 [15]):

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{обс} + T_{потр} \quad (2.11.3)$$

$$T_v = T_{мв} + T_{ву} \quad (2.11.4)$$

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

$$T_{мв} = 2,45 \text{ хв.}$$

$T_{ву}$ – час на установлення та зняття заготовки, вмикання-вимикання верстата приймаємо $T_{ву} = 7 \text{ хв.}$

Для одиничного виробництва час на обслуговування робочого місця:

$$T_{шт} = (T_o + T_{vy}) \left(1 + \frac{K}{100}\right) = (9,45 + 7) \left(1 + \frac{5}{100}\right) = 17,27 \text{ хв} \quad (2.11.5)$$

, K=5

Підготовчо-заключний час $T_{пз}$ [15]:

$$T_{пз} = T_{пз.орг} + T_{пз.настр} + T_{пз.обр} \quad (2.11.6)$$

де $T_{пз.орг} = 13 \text{ хв}$ – час на організаційну підготовку;

$T_{пз.настр} = 4 \text{ хв}$ – час на налагодження програм верстата, ріжучого інструменту;

$1,1 \times T_{пз.обр}$ – час на оброблення пробної деталі;

$$T_{пз} = T_{пз.орг} + T_{пз.настр} + 1,1 T_{шт} = 13 + 4 + 18,99 = 36 \text{ хв}$$

Для всіх інших операцій розраховуються аналогічним методом. Дані занесені в таблицю 2.11.1:

Таблиця 2.11.1. Нормування операцій

№	T_o	T_v		K	$T_{шт}$	$T_{пз}$			$T_{шт.к}$
		T_{mv}	T_{vy}			$T_{пз.орг}$	$T_{пз.настр}$	$T_{пз.обр}$	
5	9,45	2,45	7	5,5	19,940	13	4	18,99	20,939
10	3	1,5	2	4	6,760	2	1	0	6,843
15	1,5	2,2	4	4	8,008	7,5	12	2,2	8,611
20	6,45	5,3	6	4	18,460	6	4	15	19,154
25	6,45	5,3	6	4	18,460	6	4	15	19,154
30	3	1,5	2	3	6,695	2	1	0	6,778
35	3,5	0,9	2,5	3	7,107	6,5	4,5	4	7,524
40	9,2	2,22	8	4	20,197	12,2	8,5	14,28	21,168

3 Конструкторський розділ.

3.1. Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв

3.1.1. Вихідні дані для розроблення конструкції верстатного пристрою

Перед розробленням конструкцій верстатних пристроїв, треба проаналізувати як саме будемо монтувати заготовку у верстат. Так як заготовка важить 36 кілограм, то згідно охороні праці глава 5, пункт 38, в технологічному процесі необхідно монтувати за допомогою вантажно – розвантажувального обладнання. [18]

В дипломному проєкті будемо використовувати стійку з пневматичним гідроциліндром, для завантаження та знімання деталі зі столів вертикального та горизонтального верстатів з ЧПК.

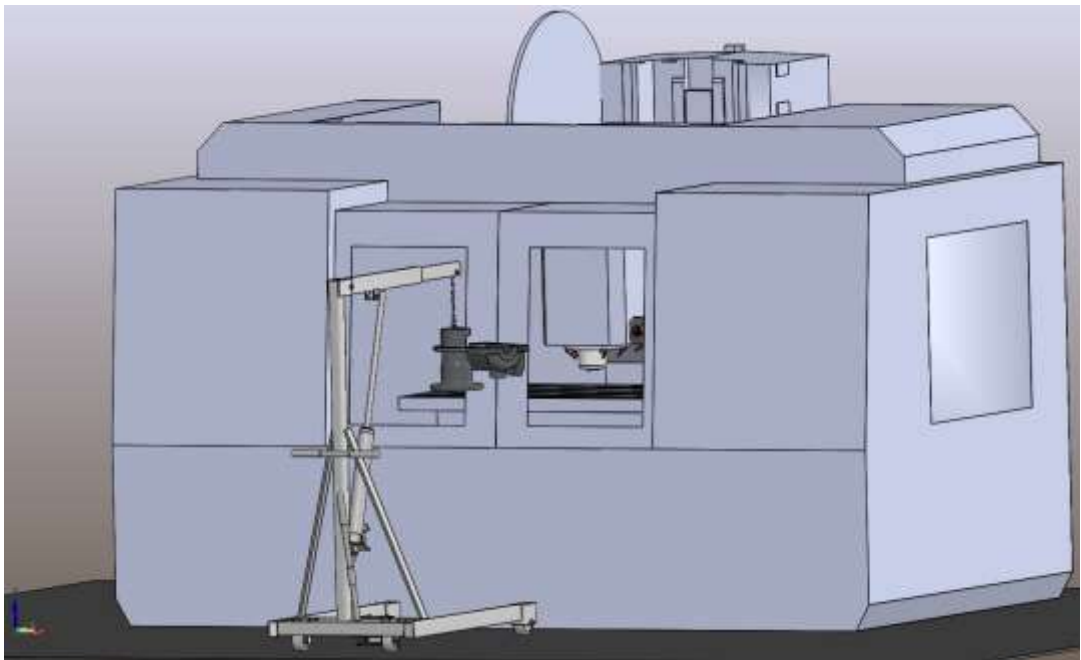


Рис. 3.1. завантаження заготовки у верстат.

3.1.2. Вихідні дані для розроблення конструкції верстатного пристрою для операції 040

За поставленою задачею, в конструкторському розділі має бути спроектований верстатний пристрій для двох операцій деталі «Корпус валоповоротного пристрою». Використовувати будемо верстат HAAS VF-8, габарити деталі та оснастки мають бути менші, ніж робоча зона верстата.

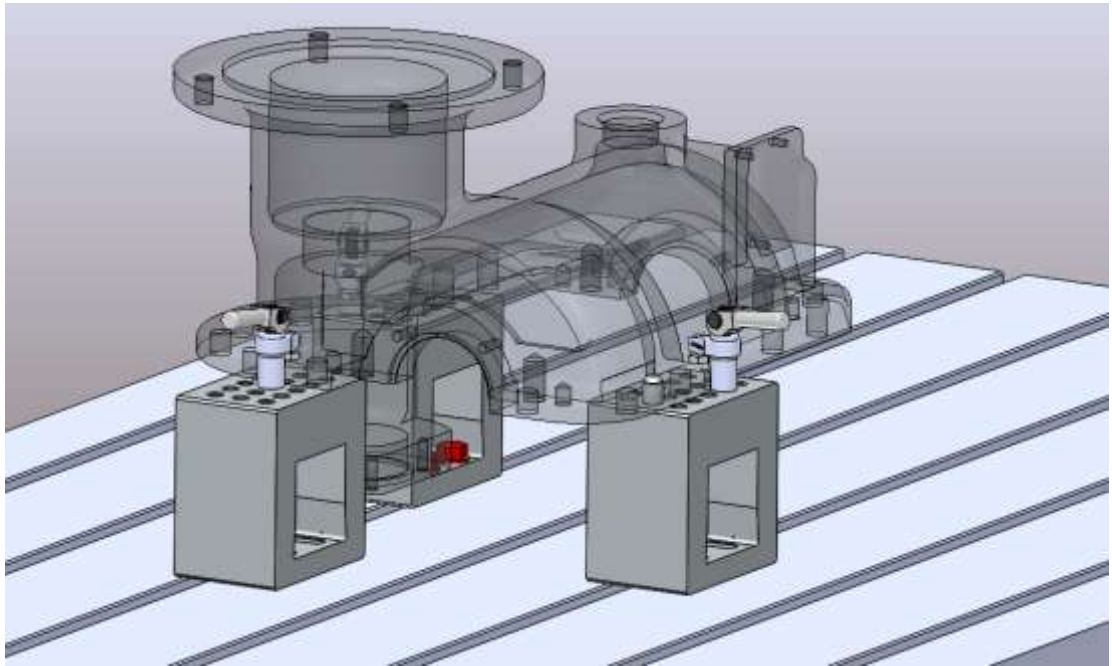


Рис. 3.2. Зображення пристрою та заготовки на операції 040.

На даній операції корпус встановлюється на три опори, орієнтуючими елементами будуть циліндричний та ромбічний пальці. Також корпус буде прижимати три зажими типу AMF, арт. 2051, які встановлені на опорах (рис. 3.2.).

Даний метод закріплення оптимальний по ряду причин: на опори легко встановлюється заготовка та кріпиться прихватами, швидкозмінна конструкція та надійна і велика кількість вільних поверхонь для обробки на даній операції.

3.2 Розрахунок похибки базування

Похибка базування залежить від типу посадки корпусу на пальці. В даному випадку встановлення реалізується з зазором, тому похибка буде дорівнювати переміщенню деталі в пальцях. При головному русі фрези деталь буде намагатися

провернутися в діапазоні люфта пальців в отворах , а при подачі деталь буде намагатися зсунутись.

3.2.1 Граничний зсув

Похибка базування:

$$\varepsilon_6 = S_{min} + T_{пал} + T_{отв} \quad (3.1)$$

де $S_{min} = 6$ мкм – мінімальний зазор посадки $H7/g6$ для номінальних розмірів 10...18 мм (табл. 6 [17], [19]), $T_{пал} = 11$ мкм – допуск на розмір пальця, $T_{отв} = 18$ мкм – допуск на розмір базового отвору.

$$\varepsilon_6 = 6 + 11 + 18 = 35 \text{ мкм}$$

3.2.2. Похибка базування. Граничний поворот

В [20] загальна формула тангенсу кута граничного повороту. Спростимо її:

$$\tan \alpha = \frac{S_{max1}}{2L_1} = \frac{S_{max2}}{2L_2} \quad (3.2)$$

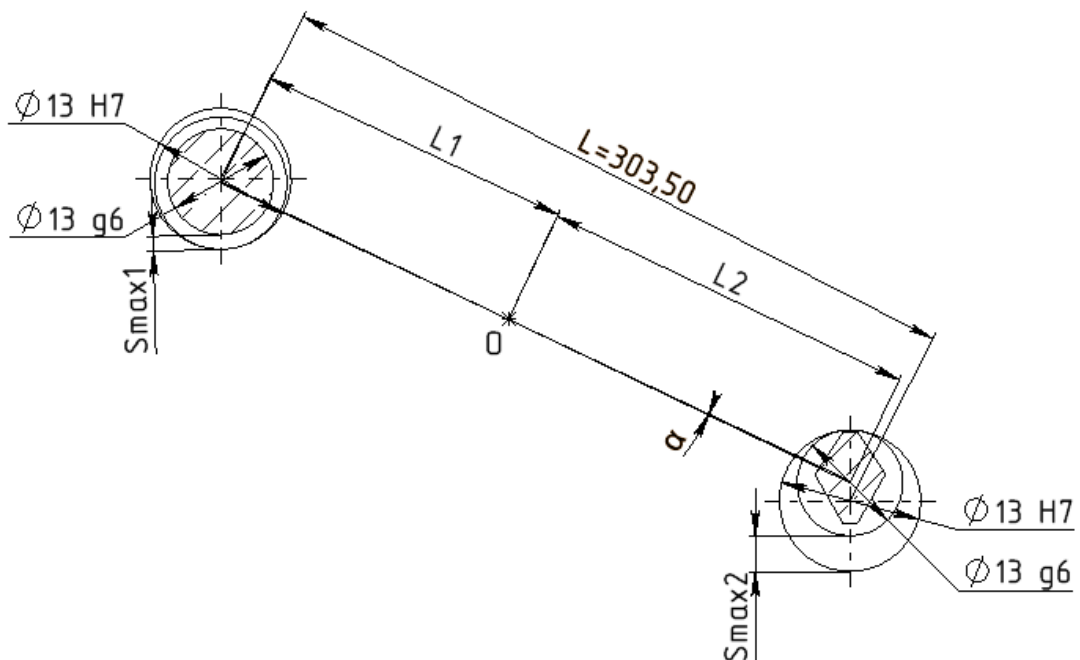


Рис. 3.3. Схема до визначення граничного повороту

Спростимо формулу (3.2):

$$L_1 = L - L_2 \quad (3.3)$$

$$\tan \alpha = \frac{S_{max1}}{2*(L-L_2)} = \frac{S_{max2}}{2L_2} \quad (3.4)$$

$$S_{max2} * (L - L_2) = S_{max1} * L_2 \quad (3.5)$$

$$L_2 * (S_{max1} + S_{max2}) = L * S_{max2} \quad (3.6)$$

$$L_2 = \frac{L * S_{max2}}{(S_{max1} + S_{max2})} \quad (3.7)$$

$$\tan \alpha = \frac{S_{max2} * (S_{max1} + S_{max2})}{2 * L * S_{max2}} = \frac{S_{max1} + S_{max2}}{2 * L} \quad (3.8)$$

$$S_{max1} = 0.035 \text{ мм}, S_{max2} = 0.035 \text{ мм}.$$

$$\tan \alpha = \frac{0.035 + 0.035}{2 * 303,5} = 0.00011$$

$$\alpha = 0^{\circ}0'22''$$

Також для перевірки розрахунків можна в середовищі SolidWorks розташувати циліндричний та ромбічний пальці, які дотикаються отворів в діапазоні своїх полів допусків та зазору. Тим самим максимальний кут повороту та відхилення по координатам X та Y на яку відстань корпус буде переміщатись.

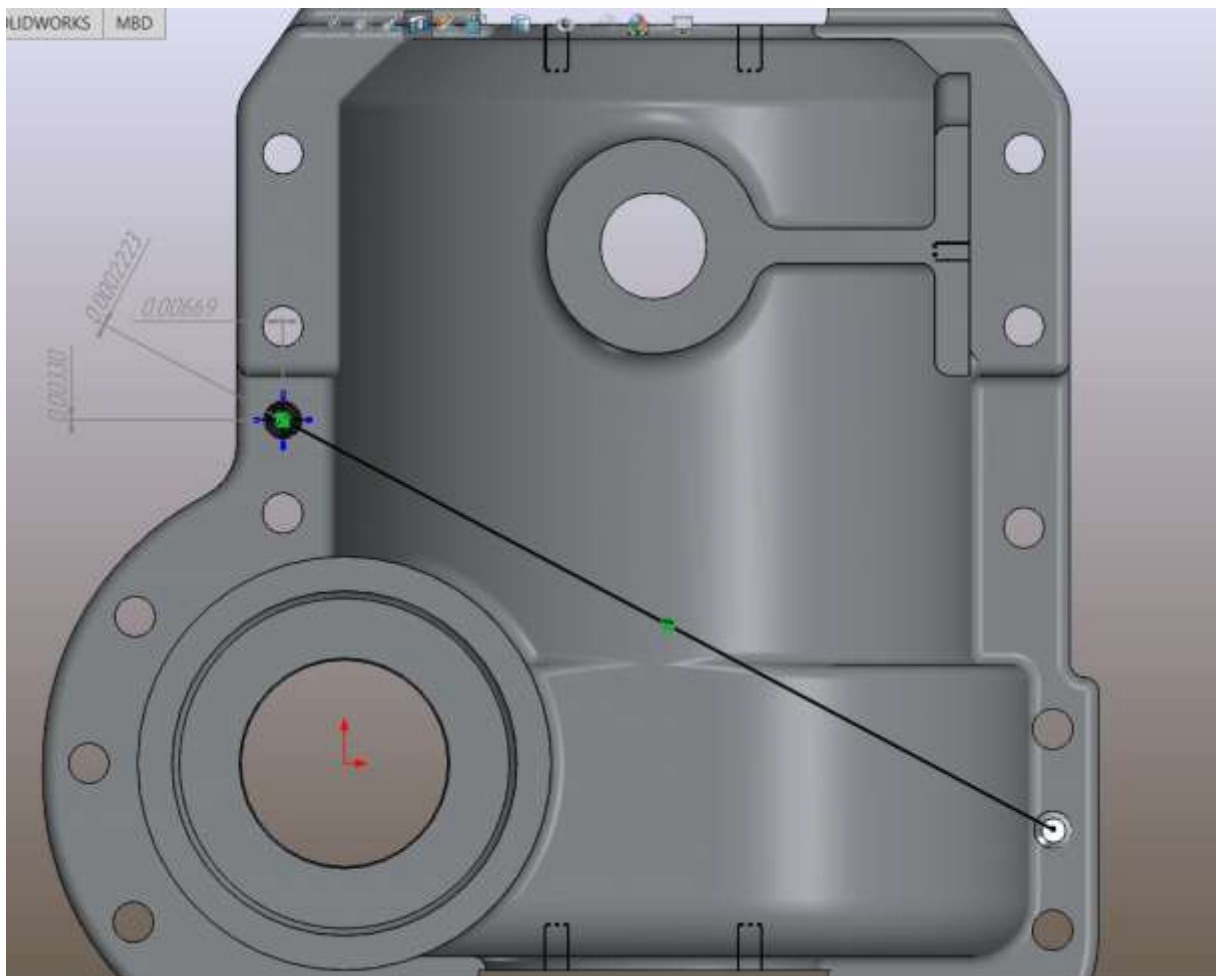


Рис. 3.4. Схема до визначення граничного повороту

3.2.3. Похибка закріплення заготовки в пристрої внаслідок дії сил різання

З таблиці П20 [21], для заготовки з поперечним розміром 10...18 мм, $\varepsilon_3 = 100$ мкм.

3.2.4. Похибка установки

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\Pi}^2} \quad 3.9)$$

Використовується один пристрій, $\varepsilon_{\Pi} = 0$.

$$\varepsilon_y = \sqrt{35^2 + 100^2} = 106 \text{ мкм}$$

2.3. Розрахунок точності пристрою за допомогою прикладної програми

Розрахунок точності пристрою за допомогою програми «Параметри верстатного пристрою при базуванні деталі на отворах».

Обираємо вкладку "кількість базових отворів більше одного". Визначаємо отвори для базування за критерієм найбільшої точності. Вносимо вхідні дані довжини ширини та товщини плити рис. 3.5.

Кількість отворів: ☐ один ☒ більше одного

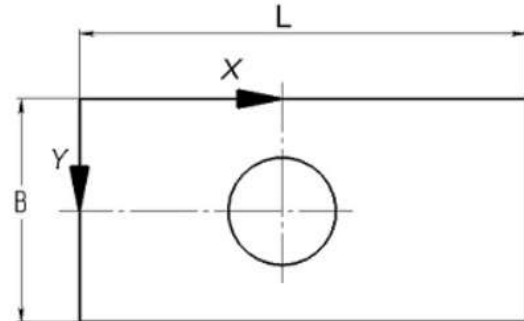
*Визначення отворів для базування
за критерієм найбільшої точності*

Вихідні дані

Довжина плити L 450 мм

Ширина плиты B 450 ммТовщина плити Н 15 мм

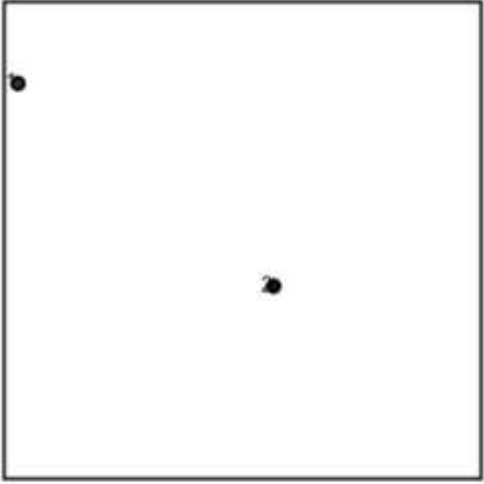
Визначити отвори для базування



	Номер отвору	X, мм	Y, мм	Діаметр. мм	Квалітет (лише цифра)
✎	1	16	87	13	7
	2	284	229,5	13	7
*					

Рис. 3.5. Інтерфейс головного вікна програми

Визначення отворів для базування за критерієм найбільшої точності

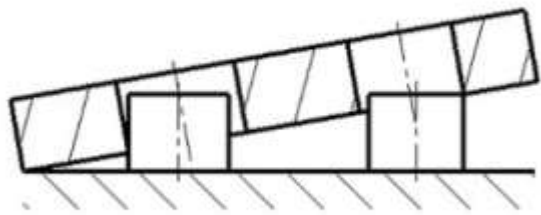


Отвори для базування:
 -Отвір Ø13H7
 -Отвір Ø13h7

Використовувати установчі пальці:
 -Циліндричний Ø13g6
 -Зрізаний Ø13g6

Максимальний проміжок при базуванні на обидва пальці однаковий: 28 мкм

Перейти до розрахунків максимальної висоти установчих пальців при базуванні



Вихідні дані

Номер першого отвору:

Номер другого отвору:

Допуск на міжосьову відстань: мм

Максимальна висота пальців 35,3 мм

Визначити

Рис. 3.6. Визначення отворів для базування за критерієм найбільшої точності

Діаметри пальців вибрані програмою цілком відповідають розрахунковим в пункті 3.2.1. Так як з кресленика деталі квалітет точності був H7, то палець має бути точнішим на один квалітет точності та посадка з зазором, тому таким параметрам відповідала g6. Для наступних розрахунках з і надалі будемо користуватися посадкою H7/g6.

3.4 Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв

Для розрахунку сил затиску виберемо саме ту поверхню, яка буде оброблюватись із найбільшими силами різання.

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

Обчислимо наближене значення головної складової сили різання при фрезеруванні [16] стр. 282:

Сила різання s_{282} [16]:

$$P_z = \frac{10C_p t^x B^1 S_z^y z}{D^q n^w} K_{\text{мр}}; \#(3.10)$$

$z=7$, число зубів фрези;

n – частота обертів фрези об/хв;

Значення коефіцієнта C_p та показників степені наведені в табл. 41 с.291 [16], поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу для чавуну – табл. 9 [16]. Величина інших сил різання (P_h, P_u, P_y, P_x) встановлюють по табл. 42 с.291[16].

$$C_p = 30; x = 0.83; y = 0.65; u = 1; q = 0.83; w = 0; K_{\text{мр}} = 1,05 \#(3.12)$$

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 219,59}{3.14 \cdot 54} = 1295 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \#(3.13)$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x B^1 S_z^y z}{D^q n^w} K_{\text{мр}} = \frac{10 \cdot 30 \cdot 0,24^{0,83} \cdot 54^1 \cdot 0,25^{0,65} \cdot 7}{54^{0,83} \cdot 1295^0} 1,05 = 546 \text{ Н} \quad (3.14)$$

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

Отже, маємо:

$$Q = \frac{K \cdot P_z}{f_{\text{оп}} + f_{\text{зм}}} \quad (3.15)$$

де $f_{\text{оп}} = 0.16$ – коефіцієнт тертя опор із заготовкою, базові поверхні остаточно оброблені (табл. 1 [22]);

$f_{\text{зм}} = 0.16$ – коефіцієнт тертя прихватів із заготовкою, базові поверхні остаточно оброблені (табл. 1 [22]).

Коефіцієнт запасу:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (3.16)$$

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

$K_1 = 1,5$ – 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]);

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

$K_5 = 1,0$ – складова, що характеризує зручність ручного регулювання механізмів закріплення (табл. 3 [22]);

$K_6 = 1,5$ – складова, що враховує наявність моментів, які прагнуть повернути заготовку на опорах (табл. 3 [22]);

Остаточно:

$$K = 1,5 * 1,5 * 1,6 * 1,2 * 1,3 * 1,2 * 1,5 = 10,10$$

$$Q = \frac{10,10 * 546}{0,16 * 0,16} = 17248 \text{ Н}$$

3.5. Розрахунок силових механізмів пристроїв

3.5.1. Розрахунок сили, що розвивається гвинтовим механізмом

Схему сил закріплення наведено на рис. 3.7

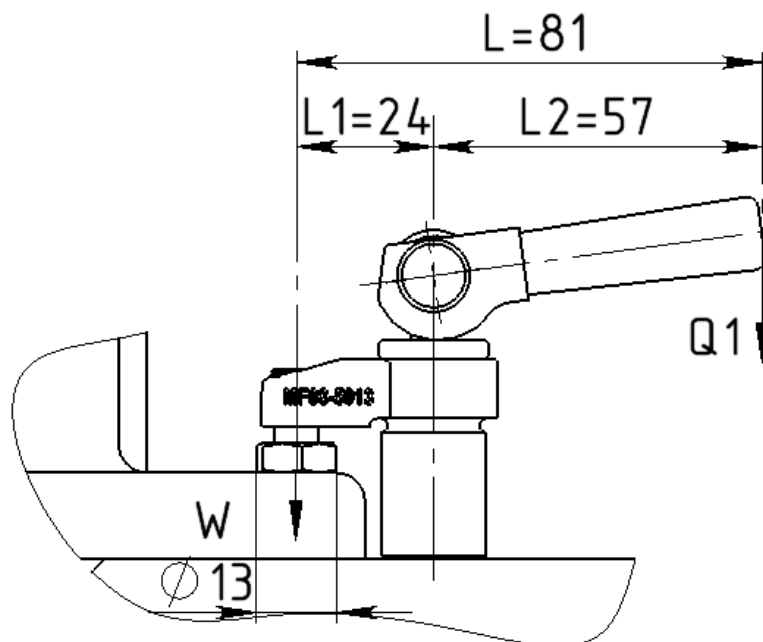


Рис. 3.7. Схема сил закріплення

Схема ричажних механізмів можна побачити на рис.3.8 [23].

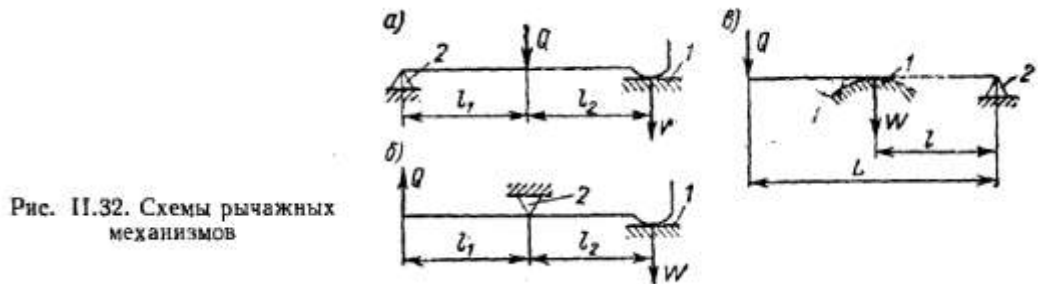


Рис. 3.8. Спрощена схема сил закріплення

Формули для розрахунку [23] стр. 67:

$$W = Q * \frac{l_1}{l_2} * \eta$$

(3.17)

Q – вихідна сила.

l1 – відстань від точки опори до деталі.

l2 - відстань від точки опори до сили прикладання.

η- коефіцієнт враховуючий втрати на тертя при опорі ричага [23] стр. 67.

$$W = 17248 * \frac{57}{24} * 0,95 = 38\,916 \text{ Н}$$

Таких прижимів три, тому на кожен прижим отримаємо:

$$W = \frac{38916}{3} = 12\,972 \text{ Н}$$

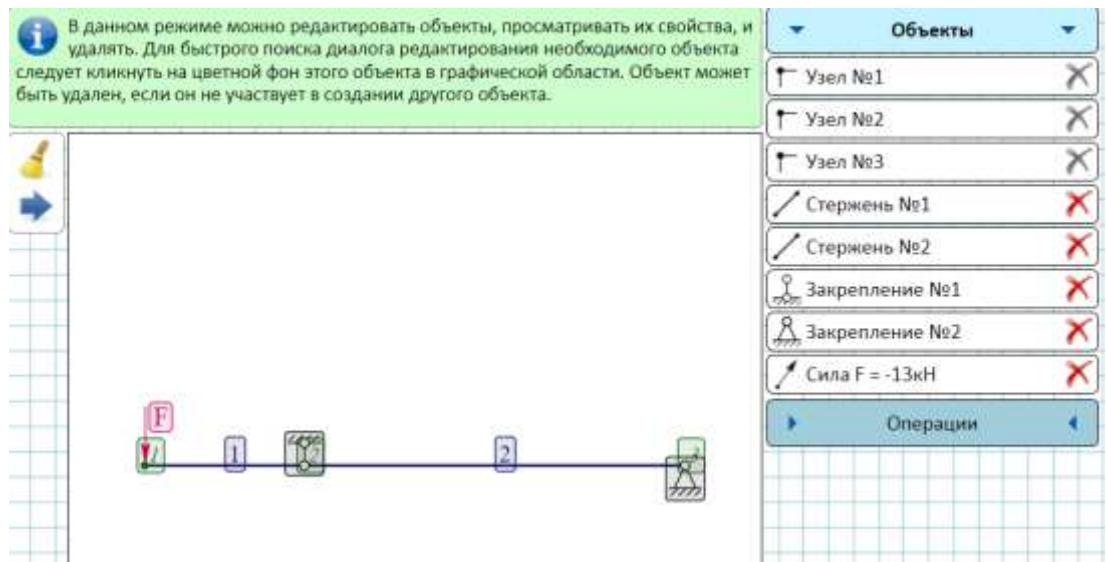


Рис. 3.8. Схема розрахунку сил прикладання на рукоятку

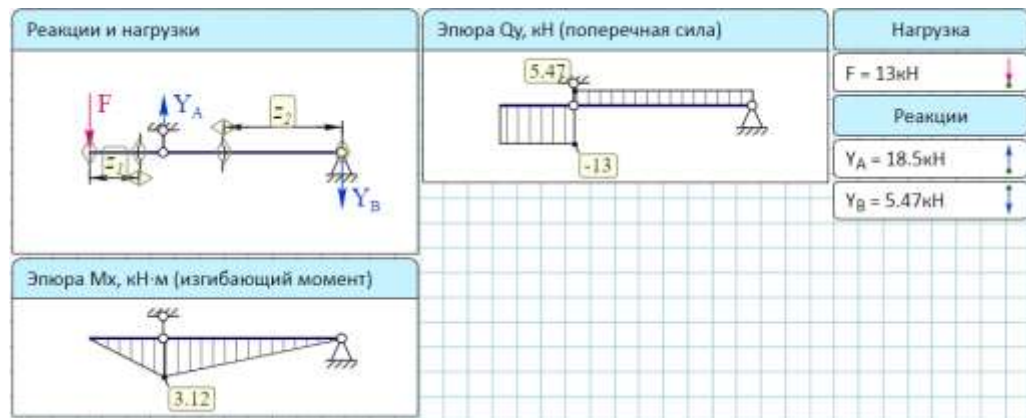


Рис. 3.9. Результаты сил прикладання на рукоятку

Як видно з рис. 3.9. для затискання одного прижиму треба прикласти силу в 5470 Н.

3.5.2. Розрахунок сили, що розвивається гвинтовим механізмом

Схему сил закріплення наведено на рис. 3.11 операції 005:

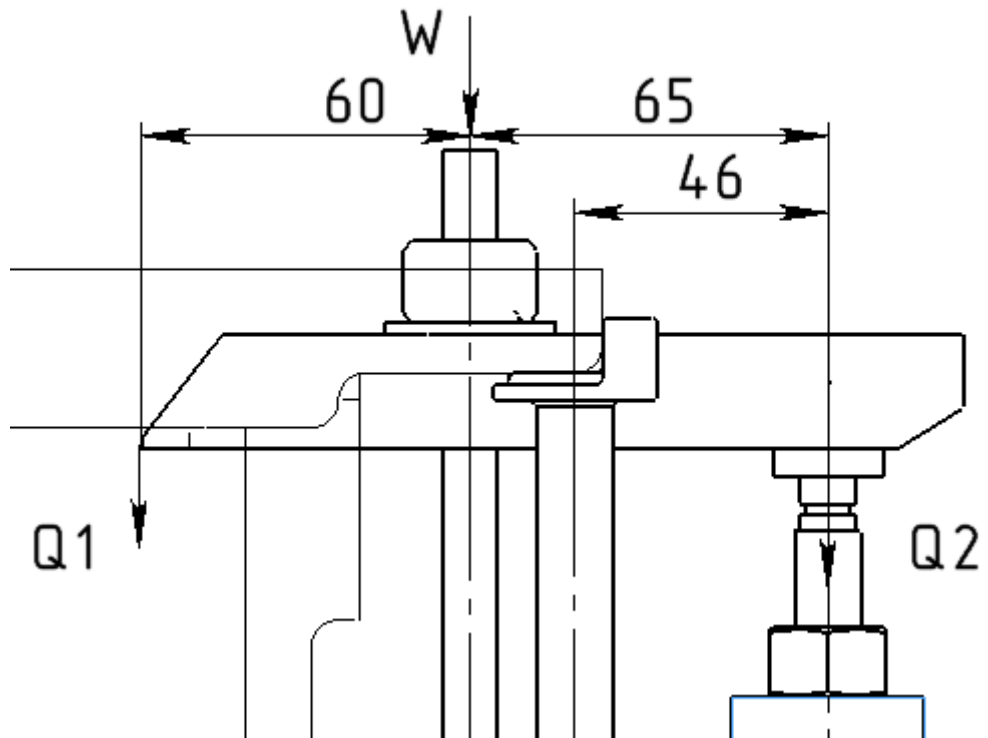


Рис. 3.11. Результати сил прикладання на рукоятку

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

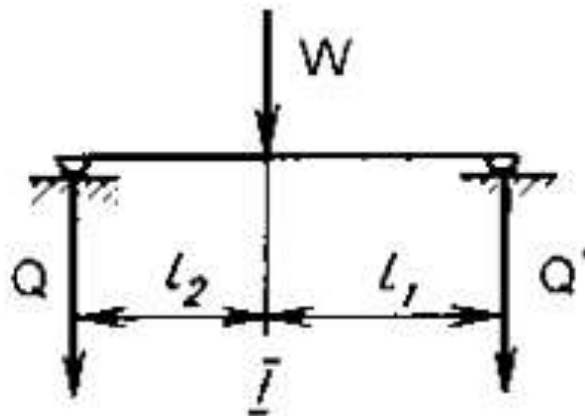


Рис. 3.12. Спрощена схема сил закріплення

Формули для розрахунку:

$$W = \frac{Q}{i} \quad (3. \quad 24)$$

$$i = \frac{l_1 + l_2}{l_2} * \eta \quad (3. \quad 25)$$

$Q = 49\,900 \text{ Н}$ – вихідна сила.

$l_1 = 60 \text{ мм}$ – відстань від точки опори до деталі.

$l_2 = 65 \text{ мм}$ - відстань від точки опори до сили прикладання.

$\eta = 0,95$ - коефіцієнт враховуючий втрати на тертя [23] стр. 67.

$$i = \frac{60 + 65}{65} * 0.95 = 1,82$$

$$W = \frac{49900}{1,82} = 27\,417 \text{ Н}$$

Таких прижимів два, тому на кожен прижим отримаємо:

$$W = \frac{27\,417}{2} = 13\,708 \text{ Н}$$

3.6. Розрахунок різьби на міцність

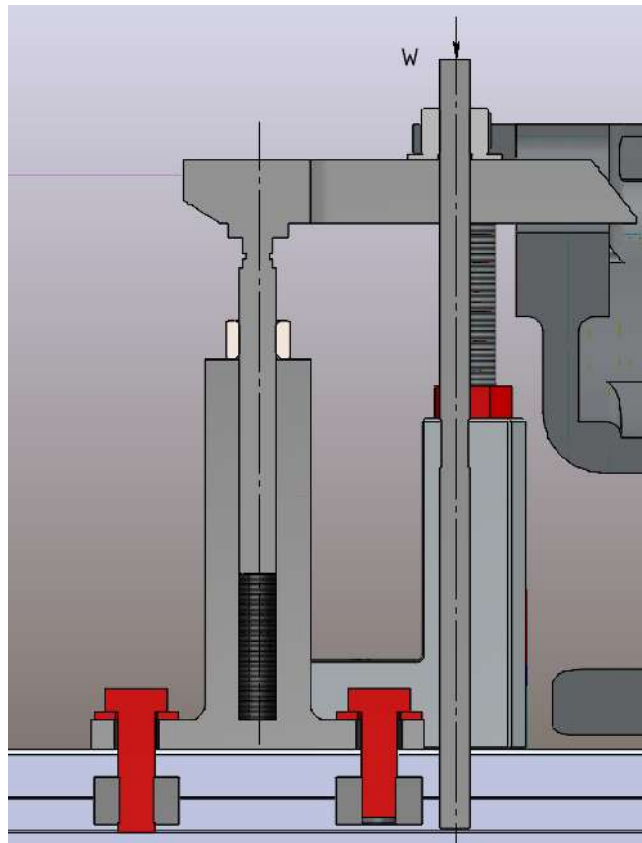


Рис. 3.13. Прикладання сили на різьбу

Визначення напружень для такого навантаження [24] стр.84- 87 :

$$\sigma = \frac{W}{S} = \frac{4W}{\pi d^2} \leq [\sigma] \quad (3.26)$$

Маємо:

$$\sigma = \frac{4 * 13\,708}{3.14 * 13,7 * 13,7} = 93 \text{ МПа} < [\sigma] = 690 \text{ МПа}$$

93 МПа < [σ] = 690 МПа – умова виконується

Формула дотичного напруження [24] стр.195- 197:

$$\tau = \frac{W}{S_{зр}} \leq [\tau] = 0.5[\sigma] = 345 \text{ МПа} \quad (3.27)$$

S_{3p} площа зрізу.

Висота контакту (рис. 3.14):

$$h = 12,97 \text{ mm}$$

Площа зрізу:

$$S_{3p} = h * \pi D = 12,97 * 3.14 * 13,7 = 557,94 \text{ мм}^2$$

Діаметр серцевини шпильки М14 – 13,7-13,82 мм.

$$\tau = \frac{13708}{557,94} = 246,8 \text{ МПа} < [\tau] = 345 \text{ МПа}$$

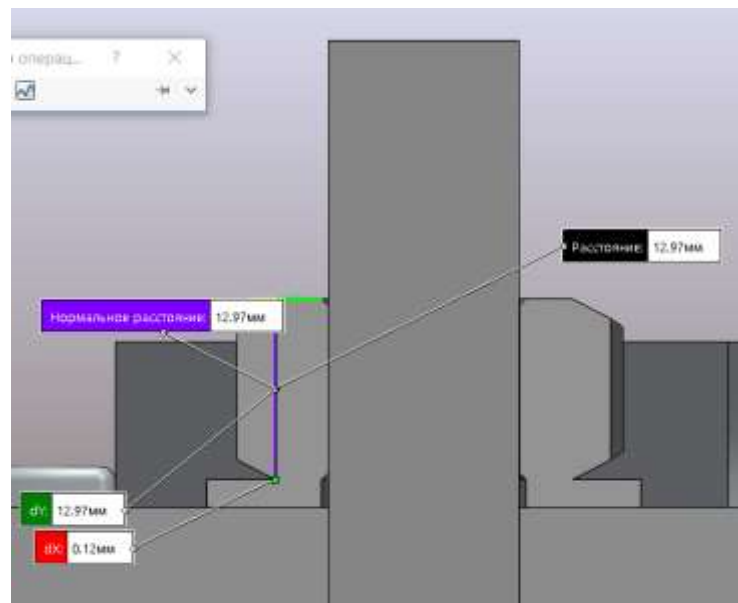
$$246,8 \text{ МПа} < [\tau] = 345 \text{ МПа} - \text{умова виконується}$$


Рис. 3.14. Вимірювання висоти контакту болта з гайкою

Список використаної літератури

1. В. В. Ерохин, «Обеспечение качества станочных приспособлений,» автореф. дис. д-ра техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения». Брянск, 2007. 412 с
2. В. Є. Карпусь, В. О. Іванов, та О. В. Котляр, Інтенсифікація процесів механічної обробки. Суми: Сумський державний університет, 2012. 436 с.
3. Bi Z. M., and Zhang W. J., “Flexible fixture design and automation,” International Journal of Production Research, no. 39, pp. 2867-2894, 2001.
4. F. Nixon, Managing to Achieve Quality and Reliability. Maidenhead, McGraw Hill, 1971.
5. Y. Rong, and Y. Zhu, Computer-Aided Fixture Design. New York, Marcel Dekker, 1999.
6. Renishaw. Контактные измерительные системы для станков с ЧПУ. – 56 с. – Режим доступу:
http://www.koda.ua/download/System_Renishaw_for_machine_tool.pdf
7. Фролов В. К. Визначення реального положення заготовок при віртуальному базуванні на верстатах з ЧПК / В. Ю. Пилипюк, В. К. Фролов // Інновації молоді в машинобудуванні (Youth Innovations in Mechanical Engineering). За заг. ред. Данильченка Ю. М. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – № 2. – 518 с., С. 442–454. – Режим доступу: <http://imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/202123>
8. Збірник наукових праць, XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю процеси механічної обробки, верстати та інструмент, Житомир, 2021.
9. Патент України на корисну модель № 148584, Україна, МПК В23Q 15/22, В23Q 17/22. Спосіб оброблення заготовок із закритими конструктивними

елементами на фрезерно-свердлильно-розточувальному верстаті з ЧПК : пат. на корисну модель / В. К. Фролов, Б. Г. Коцюба, В. Ю. Пилипюк, В. О. Кучер, С. В. Лапковський, В. А. Яновський, Д. К. Шуплєцов, К. Р. Перевозник. – № u202101164 ; заявл. 09.03.21 ; опубл. 25.08.2021, бюл. № 34. – 7 с.

10. <https://thelib.info/mehanika/3149905-rabota-sistemy-regulirovaniya-na-puske-na-primere-gtk-10-4-shema/>

11. Проектування і виробництво заготовок //Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С.

12. Справочник технолога Машиностроителя в двух томах // Борисов В.Б.

13. ДСТУ 2391:2010. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять.

14. Добрянський С.С, Фролов В.К, Малафєєв Ю.М. – Технологія машинобудування. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи / Київ: НТУУ "КПІ", 2012.

15. Горбацевич А.Ф. – Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Минск: Высшэйшая школа, 1975.

16. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроения, 1986. – 659с.

17. ДОПУСКИ, ПОСАДКИ ТА ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ, ПРАКТИКУМ Частина 1, Адаменко Ю.І., Герасимчук О.М., Майданюк С.В., Мініцька Н.В.,

Пасічник В.А., Плівак О.А., НТУУ «КПІ», 2016

18. <https://ohranatruda.of.by/mezhotraslevye-pravila-po-okhrane-truda-pri-provedenii-pogruzочно-razgruzochnykh-rabot-2018.html>

19. В.И. АНУРЬЕВ СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА МАШИНОСТРОИТЕЛЯ.

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. М. А. Ансеров, Приспособления для металлорежущих станков, Ленинград 1975.

24. Г. С. Писаренко, О.Л. Квітка, Є.С Уманський – Опір матеріалів / Київ 2004.