

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії транспорту та архітектури  
Кафедра технології машинобудування

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

Технологія виготовлення деталі «Технологія виготовлення деталі "Стакан 323715.061" з використанням верстатів з ЧПК»

Рівень вищої освіти перший (бакалавр)

Галузь знань 13 механічна інженерія  
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 131 прикладна механіка  
Шифр і назва спеціальності  
Назва

Освітня програма «технології машинобудування»  
Назва

Шифр ДП.ПМ.ФІТА.25.04.ПЗ

Виконав студент 4 курсу група ПМГ-21-1  
Шифр

  
Підпис

Юрій ГАЛЯН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доцент  
Науковий ступінь, звання

  
Підпис

Катерина СОКОЛАН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент

  
Підпис

Сергій БИСЬ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри технології машинобудування  
Назва

  
Підпис

Віталій ТКАЧУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата «11» грудня 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури  
Кафедра технології машинобудування  
Рівень вищої освіти перший (бакалавр)  
Галузь знань 13 механічна інженерія  
Спеціальність 131 прикладна механіка  
Освітня програма «технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

Віталій ТКАЧУК

2.06.2025

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ**

Галюву Юрію Дмитровичу  
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема дипломної роботи Технологія виготовлення деталі "Ставан 323715.061" з використанням верстатів з ЧПК

керівник роботи Соколан Катерина Станіславівна, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учасник списку

Затверджено наказом ректора університету від 07 лютого 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10 червня 2025

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) креслення деталі " Ставан 323715.061" та технічні вимоги до її виготовлення, обсяг випуску 10000 шт.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Загальний розділ
2. Технологічний розділ
3. Конструкторський розділ
4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу: креслення деталі із 3D моделлю (1 лист А2); креслення заготовки (1 лист А2); графотехнологія (1 лист А1); карта наладки (1 лист А1); креслення верстатного пристрою (1 лист А1); креслення контрольного пристрою (1 лист А1)

6 Консультанти розділів дипломного проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання зробив

7 Дата видачі завдання 12.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Загальний розділ	20.03.2025	
2 Технологічний розділ	20.04.2025	
3 Конструкторський розділ	20.05.2025	
4 Охорона праці	10.06.2025	

Студент

  
Підпис

Юрій ГАЛЯН  
І. П. ПІРІВІЩЕ

Керівник проєкту (роботи)

  
Підпис

Катерина СОКОЛАН  
І. П. ПІРІВІЩЕ

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Галян Юрій Дмитрович на захист дипломного проєкту (роботи)

за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Технологія виготовлення деталі "стакан 323715.061" з використанням верстатів з ЧПК

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету

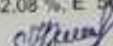


**ОЛЕГ ПОЛІЩУК**  
ІМЕНЕМ ПРОВІСНИКА

### ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Галян Ю. Д. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2021 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 10,71 %, задовільно 89,29 %.  
шкалою ЕКТС: А 1,89 %, В 0,00 %, С 9,43 %, D 32,08 %, E 56,60 %.

Методист факультету

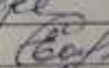


### ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Галян Юрій приступив до виконання дипломного проєкту (роботи) власно, працював згідно графіка. На час роботи над проєктом показав здобуті теоретичні знання та гарне вміння вирішувати практичні інженерні задачі.

Оцінка дипломного проєкту (роботи) добре

Керівник дипломного проєкту



**Соколан К.С.**  
ІМЕНЕМ ПРОВІСНИКА

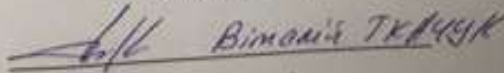
10. червня 2025 р.

### ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (робота) розглянуто. Студент Галян Ю. Д. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технологія машинобудування



11. 06

2025

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ Технології машинобудування  
 ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатами звіту/звітів подібності щодо роботи, продукованими програмно-технічним засобом (ами) перевірки текстів на плагіат:  
 Назва кваліфікаційної роботи «Технологія виготовлення деталі "Стакан 323715.061" з використанням верстатів з ЧПК»

Автор Ю.Д. Гадян  
 Освітня програма Технології машинобудування  
 Спеціальність: 131 Прикладна механіка  
 Науковий керівник: К.С. Соколан

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, викладені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	Робота приймається до захисту
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданій поставленою метою роботи (далі – зазначаються деталі та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданій поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та дотрапована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувани способи укривтя запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:  
 ...StrikePlagiat – 17,2%.....  
 ...Anti-Plagiarism v-15.274 – 18,0 %.....

Дата \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри  Віталій ТКАЧУК  
 Ім'я Прізвище Ін.к. прізвище

Гарант освітньої програми  Володимир МИЛЬКО  
 Ім'я Прізвище Ін.к. прізвище

Керівник кваліфікаційної роботи  Катерина СОКОЛАН  
 Ім'я Прізвище Ін.к. прізвище

Завідувачу кафедри ТМ  
Канд. техн. наук, доц. Ткачуку В.П.

Галана Ю.Д.

1000 Заступнику декана

ФІТА, 4 курс, групи ПМТ-21-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

11.06.25р.

дата

підпис

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ  
на кваліфікаційну роботу бакалавра

студента Галяна Ю.Д.

Тема роботи: «Технологія виготовлення деталі «Стакан 323715.061» з використанням верстатів з ЧПК»

Тема кваліфікаційної роботи та її зміст відповідають вимогам до кваліфікаційних робіт бакалаврів.

Галян Ю.Д. розробив сучасний технологічний процес механічного оброблення деталі „Стакан 323715.061” із застосуванням новітніх технологій, сучасного металорізального обладнання та сучасних різальних інструментів провідних іноземних фірм, спроектував спеціальні верстатний пристрій для свердлувальної операції та контрольний пристрій для контролювання радіального биття.

В розділі «Охорона праці» Галян Ю.Д. провів аналіз впливу чистоти на робочому місці та загалом на підприємстві на виробничу безпеку.

В якості зауважень, можна вказати на те, що оброблення отворів, яке проводиться в розробленому технологічному процесі на свердлувальних верстатах (операції 025 та 020), можна здійснити на токарному з ЧПК фірми HAAS, який застосовано на попередніх операціях.

В цілому дипломна робота виконана на хорошому інженерному рівні. Дипломна робота заслуговує оцінки «Добре».

РЕЦЕНЗЕНТ *Посоневский С.Р. зав. каф ТАМ*

(прізвище, ім'я по батькові, посада, місце роботи)

..11... червня..... 2025 р.

..... (підпис)

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Липка Олександр Михайлович на захист дипломного проекту (роботи)  
(прізвище, ім'я, по батькові)  
за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Технологія виготовлення деталі "циліндр бензопили Forte FGS 52-18" з використанням верстатів з ЧПК

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету

*Олександр Поліщук*  
ОЛЕГ ПОЛІЩУК  
(ім'я, прізвище)

### ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Липка О.М. з 2022 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 71,79 %, добре 25,64 %, задовільно 2,56 %, шкалою ЄКТС: А 78,18 %, В 9,09 %, С 10,91 %, D 0,00 %, E 1,82 %.

Методист факультету

*Олександр Поліщук*  
(ім'я, прізвище)

### ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Олександр Липка власно приступив до виконання дипломної роботи та систематично працював над її виконанням. Під час виконання роботи проявив ґрунтовні знання з технології машинобудування та вміння вирішувати складні інженерні задачі. Робота виконана власно, відповідно до завдання, в повному обсязі та заслуговує оцінки "Відмінно".

Оцінка дипломного проєкту (роботи) "Відмінно"

Керівник дипломного проєкту

*Серафим Костюк*  
(ім'я, прізвище)

Серафим КОСТЮК

12.06 2025 р.

### ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Липка О.М. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технології

(назва)

машинобудування

*В. Ткачук*  
(ім'я, прізвище)

16.06 2025 р.

## Реферат

Тема проєкту: Технологія виготовлення деталі "Циліндр бензопили Forte FGS 52-18" з використанням верстатів з ЧПК

Автор: О.М. Липка. Керівник проєкту: С.А Костюк

Об'єм пояснювальної записки 88 стор. Графічна частина 5,5 листів А1.

В першому розділі було проведено аналіз умов роботи деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» та вибрано тип виробництва, а також проведено аналіз на технологічність.

В другому розділі обговорено способи отримання заготовки і розраховано її собівартість, призначено припуски, верстатне обладнання, розраховано режими різання та норми часу.

В третьому розділі представлено верстатний і контрольно-вимірювальний пристрої. Проведено необхідні розрахунки пристроїв.

В четвертому розділі розглянуто рекомендації, які допоможуть зменшити рівень небезпеки на виробництві.

Дипломний проєкт присвячений технології виготовлення циліндрів та підвищення їх ресурсу, що є ключовим фактором їхньої надійності та тривалого терміну експлуатації в механічних системах. Робота аналізує конструкційні характеристики, матеріали виготовлення та технологічні процеси, що сприяють підвищенню стійкості до зношування. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю покращення експлуатаційних властивостей циліндрів у промисловості, що, своєю чергою, сприяє зростанню продуктивності та зменшенню витрат на технічне обслуговування й ремонт обладнання.

Апробація роботи: за темою дипломної роботи, підготовлено матеріали для статті у фахове видання «Вісник ХНУ».

Ключові слова: *циліндр ДВЗ, поршень, технологічний процес, технологічна підготовка, інструмент, верстат, ЧПК, режими різання, норми часу.*

Автор проєкту: Липка О.М.

/Підпис/

2025 р.

Дата

# ЗМІСТ

ВСТУП .....		4
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ .....		5
1.1. Стан питання та задач дипломного проектування. Огляд літератури та патентний пошук.		5
1.2. Аналіз хімічного складу та фізико-механічних властивостей матеріалу деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» .....		7
1.3. Обґрунтування завдань, які вирішуються в дипломній роботі .....		8
1.4. Аналіз типового технологічного процесу виготовлення деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» .....		12
1.5. Аналіз способів підвищення довговічності робочих поверхонь деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» .....		15
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....		17
2.1. Вибір виду і способу отримання заготовки .....		17
2.2. Проектування технологічного маршруту оброблення деталі .....		22
Важливість маршрутного технологічного процесу .....		22
2.2.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність .....		23
2.2.2 Вибір технологічних баз .....		24
2.2.3 Проектування маршруту оброблення поверхонь деталі .....		26
2.2.4 Вибір технологічного обладнання .....		29
2.2.5 Вибір металорізального інструменту .....		37
2.3. Розроблення технологічних операцій .....		42
2.4. Розрахунок припусків і технологічних розмірів на основні поверхні .....		45
2.4.1 Розрахунково-аналітичний метод .....		48
2.5. Розрахунок режимів різання .....		50
2.6. Технічне нормування операцій .....		53
2.6.1 Визначення кваліфікації робіт .....		55
2.6.2 Визначення кількості верстатів .....		56
2.7. Розроблення керуючої програми для верстата з ЧПК .....		59
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....		62
3.1. Проектування верстатних пристроїв для закріплення деталей при механічній обробці ...		62
3.1.1 Вибір установчих елементів, схеми базування та способу закріплення деталі в пристрої .....		62
3.1.2 Розрахунок елементів пристрою на міцність .....		67
3.1.3 Розрахунок пристрою на точність .....		72
3.2. Проектування контрольно-вимірювального пристрою .....		75

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Липка О. М.</i>			<i>Технологія виготовлення деталі "Циліндр бензопили Forte FGS 52-18" з використанням верстатів з ЧПК Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Костюк С. А.</i>				Н	2	86
<i>Н.контр.</i>					<i>ХНУ ПМТс-22-2</i>			
<i>Затверд.</i>								

4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	79
4.1 Техніка безпеки за токарним верстатом .....	79
4.2 Техніка безпеки за фрезерним верстатом .....	80
4.3 Техніка безпеки на внутрішньо-шліфувальному верстаті .....	81
4.4 Освітлення на робочому місці .....	82
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	84
ДОДАТКИ.....	86

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		3

## ВСТУП

Циліндри є ключовими компонентами багатьох механічних систем, і їхня надійність та довговічність мають вирішальне значення для ефективної роботи обладнання. Зносостійкість циліндра є одним із найважливіших показників його експлуатаційних властивостей, оскільки вона визначає тривалість його роботи без необхідності в заміні або ремонті.

Ця дипломна робота присвячена дослідженню одного конкретного циліндру, його конструкційних особливостей, матеріалів, з яких він виготовлений, та технологічних процесів, що забезпечують його високу зносостійкість. У роботі будуть розглянуті методи підвищення зносостійкості, а також проведено аналіз сучасних покриттів, що використовуються підвищення ресурсу роботи.

Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення надійності та довговічності циліндрів поршневих машин у різних галузях промисловості. Розуміння процесів зносу та методів їх запобігання дозволить розробляти більш ефективні та надійні циліндри, що, у свою чергу, сприятиме підвищенню продуктивності і зниженню витрат на технічне обслуговування та ремонт.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

# 1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1. Стан питання та задач дипломного проєктування. Огляд літератури та патентний пошук

З метою удосконалення технології виготовлення деталі циліндр 2-Т двигуна монолітної конструкції (без гільзи) та підвищення ресурсу був проведений пошук існуючих технологічних рішень.

Для обробки елементів внутрішньої поверхні гільзи [1], запропоновано рішення обробки за допомогою пристрою для розточування ущільнюючих циліндричних канавок під гільзи блоків циліндрів, який виконано у вигляді рухомого шліцьового штока, циліндричного корпусу з конусною поверхнею, що взаємодіє з радіальними розточувальними різцями, а також базуючих та кріпильних елементів (рис. 1.1).

Основна конструктивна особливість пристрою полягає в тому, що рухомий шток по зовнішньому діаметру виконано у вигляді шліців, які по посадці ковзання взаємодіють з внутрішнім шліцьовим отвором циліндричного корпусу, забезпечуючи можливість відносного переміщення. Нижній кінець штока має конусну поверхню, що взаємодіє з конусними торцевими поверхнями радіальних розточувальних різців, які притискаються до осі корпусу за допомогою відтискних пружин. Циліндричний корпус з'єднується через підтискну втулку та конічні centruвальні втулки з підшипником кочення, що дозволяє зменшити силу тертя та, відповідно, силу різання при обробці. Конструкція пристрою забезпечує рівномірне розточування ущільнюючих канавок у блоці циліндрів із підвищеною продуктивністю праці.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

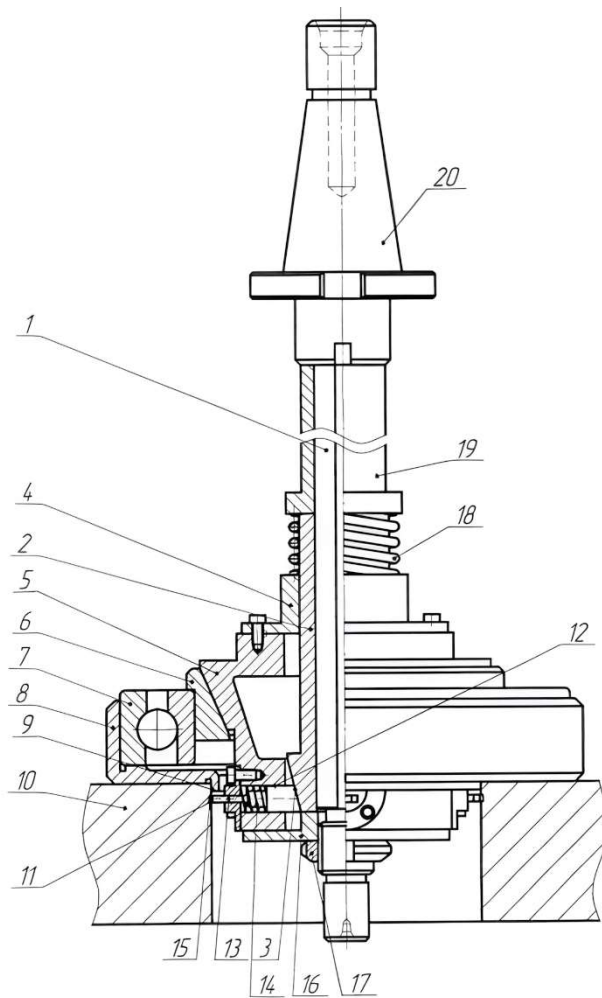


Рисунок 1.1 – Пристрій для розточування ущільнюючих  
циліндричних канавок під гільзи блоків циліндрів

Проведений аналіз вказує на необхідність ретельного вибору ріжучого інструменту, а також проєктування технологічного спорядження для реалізації технологічного процесу обробки деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18». Таким чином, було прийняте рішення щодо розроблення верстатного пристрою, в першу чергу, для забезпечення операцій обробки внутріньої, циліндричної, робочої поверхні деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» з урахуванням сучасних технологічних вимог.

						ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

1.2 Аналіз хімічного складу та фізико-механічних властивостей матеріалу деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18»

Деталь «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» виготовляється з алюмінієвого сплаву АК12М2 МгН за [2] згідно кресленника, який піддається методам литва. Хімічний склад сплаву наведено в табл. 1.1, а фізико-механічні у табл. 1.2.

Таблиця 1.1

Хімічний склад та механічні властивості сплаву АК12М2 МгН ДСТУ 2839-94

Fe, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	Cr, %	Ti, %	Al, %	Cu, %	Pb, %	Mg, %	Zn, %	S, %	Домішок, %
До 0,8	11 - 13	0,3 - 0,6	0,8 - 1,3	До 0,2	0,05 - 0,2	79,5 - 85,55	1,5 - 3	до 0,1	0,8 - 1,3	до 0,5	до 0,02	Всього 1,3

Таблиця 1.2

Фізико-механічні властивості сплаву АК12М2 МгН ДСТУ 2839-94

Позначення	Значення
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,7
$T_{рл}$ , °С	658 (тех.), 660 (чист.)
$L_{рл}$ , кДж/кг	390
$T_{кип}$ , °С	2500
$L_e$ , МДж/кг	10,53
$\sigma_v$ , кг/мм <sup>2</sup>	10-12 (литий), 18-25 (деформ.), 38-42
НВ, кгс/мм <sup>2</sup>	24-32
$\delta$ , %	35 (техн.), 50 (чистий)
E, ГПа	70
$\sigma$ , мкОм·м	0,0265
$\lambda$ , Вт/(м·К)	203,5
$\alpha$ , °С	20-200
$\beta$ , К <sup>-1</sup>	$2,7 \times 10^{-8}$

Алюміній, як основний елемент сплаву, забезпечує низьку густину та хорошу теплопровідність. Вміст кремнію в межах 10–13 % покращує ливарні властивості та підвищує зносостійкість за рахунок утворення твердих евтектичних фаз. Мідь у складі (1,5–2 %) забезпечує зміцнення, однак дещо знижує стійкість до корозії. Магній (до 0,5 %) сприяє твердорозчинному зміцненню, а також позитивно впливає на характеристики пластичності та втомної міцності.

Фізико-механічні властивості сплаву дозволяють ефективно використовувати його для виготовлення деталей, що зазнають значних термічних та механічних навантажень у процесі експлуатації. Зокрема, межа міцності на розрив становить до 250 МПа, твердість досягає 90 НВ, що є достатнім для забезпечення необхідної довговічності деталі. Низький коефіцієнт теплового розширення та хороша теплопровідність знижують ризик деформацій під час роботи в умовах високих температур.

Таким чином, вибір матеріалу АК12М2МгН є технічно доцільним з точки зору сумісності з умовами експлуатації циліндра в двигуні внутрішнього згоряння. Сплав поєднує необхідні механічні та технологічні властивості, що забезпечують його ефективне застосування в конструкції ДВЗ.

### 1.3 Обґрунтування завдань, які вирішуються в дипломній роботі

Об'єкт дипломної роботи – циліндр 2-х тактного двигуна внутрішнього згоряння. Завдання – технологічне забезпечення процесу виготовлення деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» з метою підвищення ресурсу.

Принцип роботи циліндру:

У поршневих двигунах циліндр виконує функцію камери згоряння. Зворотно-поступальний рух поршня перетворюється на обертальний рух валу за допомогою кривошипно-шатунного механізму. Варто зазначити, що деякі види поршневих двигунів внутрішнього згоряння (наприклад, дизель-молот або вогнепальна зброя) не використовують кривошипно-шатунний механізм.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Серед різноманітних конструкцій двигунів внутрішнього згоряння найчастіше зустрічаються дизельні, інжекторні (з моно- або розподіленим впорскуванням) та карбюраторні. У дизельних двигунах паливо впорскується безпосередньо в циліндр і загоряється під час впорскування через високий тиск стисненого повітря. В інжекторних двигунах паливо впорскується у впускний колектор, де змішується з повітрям і потрапляє в циліндри. З'явилися також бензинові інжекторні двигуни з безпосереднім впорскуванням палива безпосередньо в циліндр. У карбюраторних двигунах суміш палива та повітря створюється в карбюраторі. Стиснена робоча суміш у карбюраторних та інжекторних двигунах потребує примусового запалювання електричною іскрою.

Принцип дії двигуна внутрішнього згоряння можна розглянути на прикладі чотиритактного карбюраторного двигуна. Основним елементом такого двигуна є циліндр, у якому відбувається згоряння палива. Зазвичай таких циліндрів декілька, що призводить до існування одно-, дво-, чотири-, п'яти-, шести-, восьми-, дванадцяти-, шістнадцяти- та навіть вісімнадцятициліндрових двигунів. У кожному циліндрі встановлено рухомий поршень.

Чотиритактний двигун названий так через те, що його роботу можна розділити на чотири рівні за часом частини. Поршень проходить по циліндру чотири рази: двічі вгору і двічі вниз. Такт починається при перебуванні поршня в крайній верхній або нижній точці, які називаються верхня мертва точка (ВМТ) і нижня мертва точка (НМТ).

Циліндр має два чи більше отворів з клапанами: впускні та випускні. Робота двигуна внутрішнього згоряння ґрунтується на чотирьох послідовних процесах — тактах, які повторюються циклічно. Перший такт — впуск пальної суміші (або повітря) через впускний клапан, коли поршень рухається вниз. Коли поршень досягає нижньої мертвої точки, всмоктування палива припиняється і впускний клапан закривається. Під час другого такту, коли поршень рухається вгору, суміш (повітря) стискається, що підвищує її тиск і температуру. У верхній мертвій точці суміш запалюється електричною іскрою від свічки запалювання. Через нагрівання суміш миттєво спалахує, продукти згоряння розширюються і тиснуть на поршень,

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>		Арк. 9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			

що штовхає його вниз — відбувається третій такт, робочий хід. За допомогою кривошипно-шатунного механізму рух поршня передається колінчастому валу, з'єднаному з колесами автомобіля через трансмісію. Виконуючи роботу, суміш розширюється й одночасно охолоджується. Після проходження поршнем нижньої мертвої точки відкривається випускний клапан і під час руху поршня вгору продукти згоряння витісняються з циліндра через випускний клапан, який закривається після проходження поршнем верхньої мертвої точки. Протягом короткого проміжку часу і випускний, і впускний клапани відкриті — це називається «перекриттям клапанів».

Від чіткої роботи клапанів залежить ступінь стиснення в циліндрах, повне видалення відпрацьованих газів і необхідна кількість паливно-повітряної суміші для всмоктування. Після четвертого такту настає перший, і процес повторюється циклічно, забезпечуючи обертання маховика і колінчастого валу для початку руху автомобіля.

Відмінність 2-тактного двигуна полягає в тому, що його конструкція не передбачає клапанів, а їх роль виконує система спеціальних вентиляційних каналів. Ці канали включають:

- впускні канали, через які в нижній частині ходу поршня подається паливно-повітряна суміш;
- випускні канали, через які в нижній частині ходу поршня відпрацьовані гази виводяться з циліндра;
- продувні канали, які дозволяють свіжій суміші витіснити відпрацьовані гази з циліндра під час підйому поршня.

У 2-тактному двигуні робочий цикл відбувається за два хода поршня (один оберт колінчастого вала), що дозволяє досягти високої потужності при компактних розмірах двигуна. Однак, через відсутність клапанів, процес газообміну менш ефективний, що може призводити до втрат палива та збільшення викидів шкідливих речовин. Будова наведена на рис. 1.2.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i> <b>10</b>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

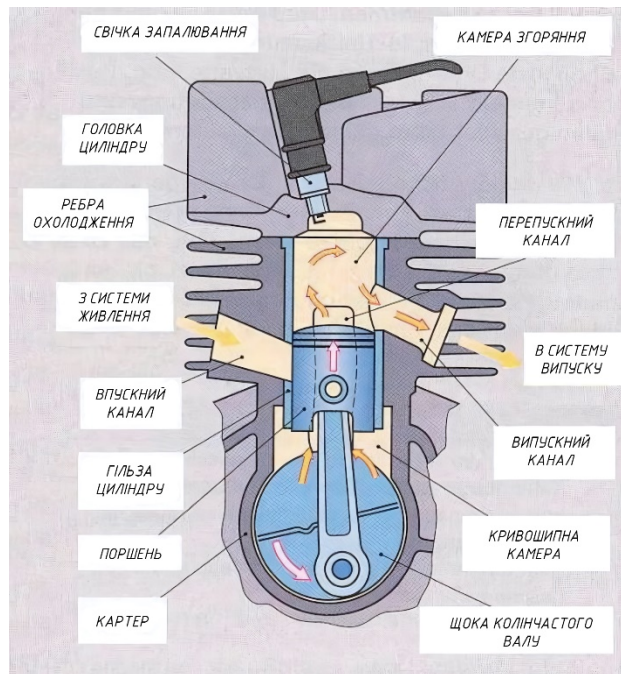


Рисунок 1.2 – Будова 2-тактного двигуна

Для покращення ефективності газообміну у 2-тактних двигунах застосовуються різні схеми продування:

- поперечне продування, випускні та впускні канали розташовані навпроти один одного, що може призводити до змішування свіжої суміші з відпрацьованими газами;
- дефлекторне продування, на поршні є виступ (дефлектор), який направляє потік свіжої суміші в бік протилежної стінки циліндра, зменшуючи змішування з відпрацьованими газами;
- фонтанне продування, випускні та продувні канали розташовані по всьому колу циліндра, що дозволяє краще очищати циліндр від відпрацьованих газів;
- петлеве продування (Шнюрле), найефективніша схема, при якій продувні канали спрямовують свіжу суміш по контуру циліндра, забезпечуючи ефективне витіснення відпрацьованих газів.

Таким чином, конструкція 2-тактного двигуна без клапанів дозволяє зменшити його вагу та складність, що є перевагою для малогабаритних та високотужних машин. Однак, для забезпечення ефективного газообміну та

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшення шкідливих викидів необхідно ретельно проєктувати систему вентиляційних каналів та вибрати оптимальну схему продування.

#### 1.4 Аналіз типового технологічного процесу виготовлення деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18»

В ході обговорення змісту технологічного процесу виготовлення деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» на сайті [chipmaker.com.ua](http://chipmaker.com.ua), було запропоновано наступне:

##### 1. Етапи обробки

Підхід до обробки циліндрів охоплює кілька послідовних операцій: базування, первинна обробка поверхонь, створення базових площин, а також обробку випускних і впускних каналів. Основні операції виконуються із залученням як стандартних, так і спеціалізованих пристосувань.

##### 2. Виготовлення допоміжних інструментів

Для велико-серійного виробництва (100 тис. шт.) доцільно створити допоміжні пристрої, такі як збільшені кулачки для токарного патрона та універсальний кондуктор.

##### 3. Базування за головну поверхню

Основна базова поверхня (нижня площина) повинна бути точно оброблена на першому етапі, адже від неї залежать всі подальші операції. Зокрема, ця площина має бути строго перпендикулярною до осі циліндра.

##### 4. Кондуктор для багатоступеневої обробки

Використання універсального кондуктора дозволяє виконувати всі необхідні операції, включаючи свердління, фрезерування та розточування. Кондуктор забезпечує стабільну фіксацію деталі на фрезерному столі, що підвищує якість і точність виконуваних робіт.

Для кращої наочності наведено рис. 1.3-1.6.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>		<i>Арк.</i> 12
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			

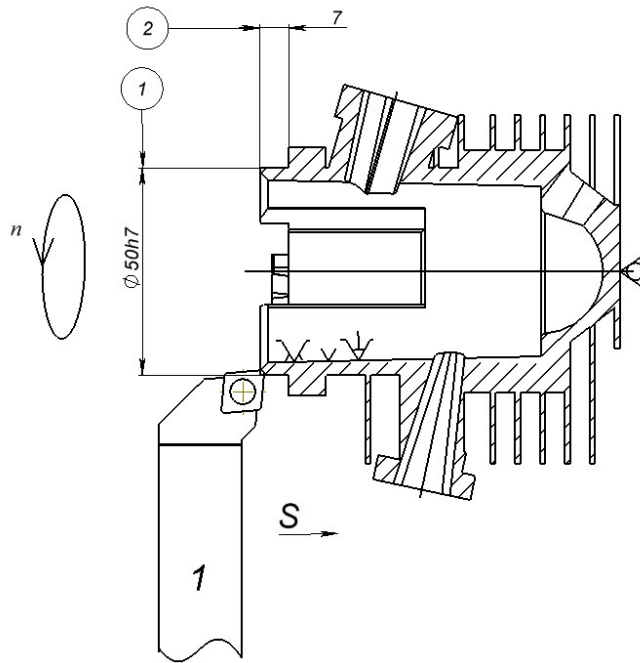


Рисунок 1.3 – Ескіз операції «Токарна з ЧПК»

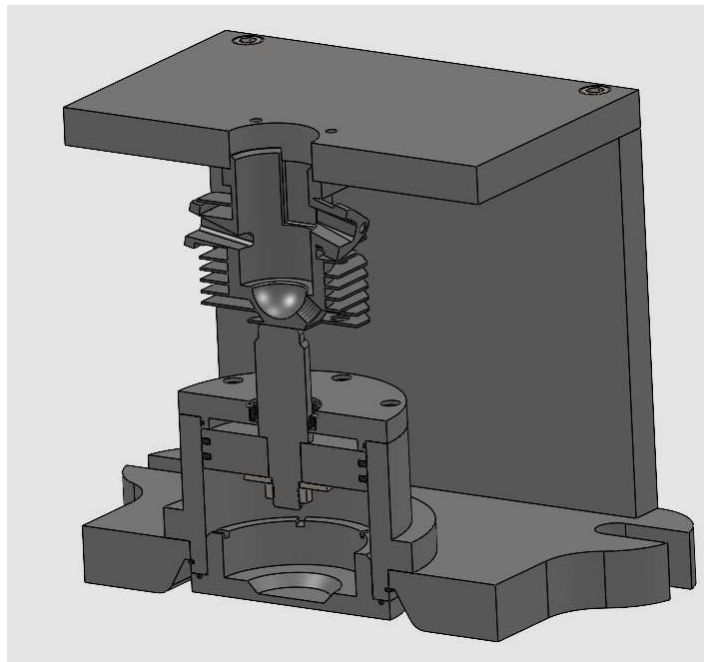


Рисунок 1.4 – Спеціальний верстатний пристрій у розрізі

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ		Арк. 13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

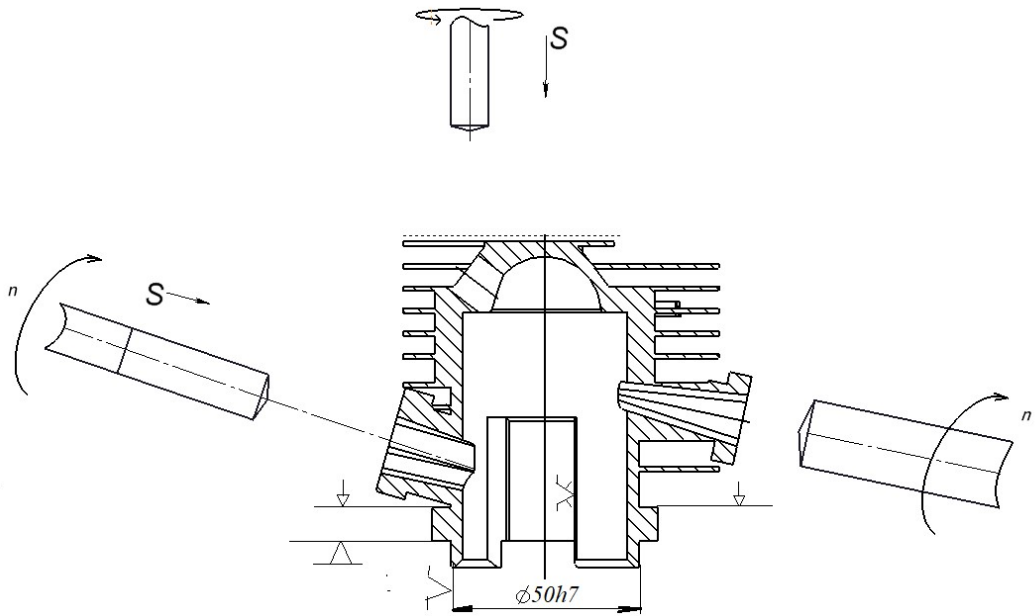


Рисунок 1.5 – Ескіз операції «Фрезерна з ЧПК»

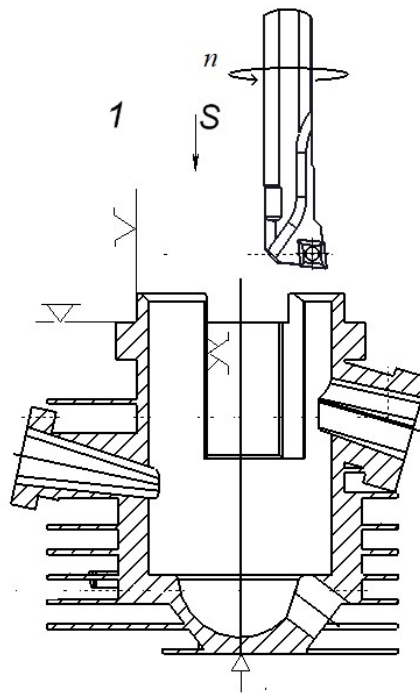


Рисунок 1.6 – Ескіз операції «Фрезерна з ЧПК»

						ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

## 1.5 Аналіз способів підвищення довговічності робочих поверхонь деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18»

Тривалість роботи двигунів внутрішнього згоряння значною мірою визначається зносостійкістю компонентів циліндро-поршневої групи та кривошипно-шатунного механізму. Саме ці елементи істотно впливають на технічний стан двигуна, тому підвищення їх надійності та довговічності є важливою та актуальною задачею.

Оскільки конструкція циліндра не містить окремого компонента (гільзи), виникає необхідність вдаватися до методів формування зносостійкого, антифрикційного покриття безпосередньо на стінках робочих поверхонь деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» отриманих з алюмінієвих сплавів. Для цього можна застосовувати різні методи обробки поверхні, зокрема порошкове покриття, хімічне оксидування та хромо-нікелеве покриття.

### 1. Порошкове покриття

Цей метод надає деталі високої стійкості до подряпин, ударів і агресивних середовищ. Порошкове покриття може застосовуватися для досягнення різних текстур і кольорів, що дозволяє зробити деталі не тільки більш стійкими до зносу, але й естетично привабливими. Однак, це покриття не забезпечує таких високих властивостей антикорозійного захисту, як інші методи, і може не витримати високих температур, що обмежує його використання в двигунах.

### 2. Хімічне оксидування

Цей метод дозволяє отримати тонке оксидне покриття на поверхні металу, що забезпечує базовий захист від корозії і покращує естетичні властивості. Однак, захисний шар, створений за допомогою хімічного оксидування, є дуже тонким (0,5–4 мкм), що не дозволяє забезпечити тривалий термін служби виробів, які піддаються великим механічним навантаженням. Оксидна плівка добре виконує декоративну роль і має високу адгезію, однак її недостатньо для надійного захисту в умовах високих навантажень, зокрема у ДВЗ.

						ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

### 3. Хромо-нікелеве покриття

Цей метод передбачає нанесення спочатку шару нікелю, а потім шару хрому. Нікель забезпечує високу зносостійкість, корозійну стійкість і покращує адгезію хрому до основи. Хром, у свою чергу, підвищує твердість поверхні, зменшує тертя та знос, а також покращує жароміцність. Таке комбіноване покриття є ефективним для деталей, які працюють при високих температурах і під великими механічними навантаженнями, таких як циліндри двигунів внутрішнього згоряння.

Вибір оптимального методу обумовлюється рядом факторів та умовами експлуатації циліндра. Аналіз методів зміцнення показав, що найкращим варіантом є застосування хромо-нікелевого покриття, оскільки цей метод забезпечує високу зносостійкість, стійкість до корозії та жароміцність, що критично для деталей, які піддаються великій кількості циклів навантажень і високим температурам. Комбіноване покриття також сприяє тривалому терміну служби без значних втрат у властивостях поверхні.

Отже, для підвищення довговічності робочих поверхонь деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» найбільш ефективним способом є застосування хромо-нікелевого покриття. Цей метод забезпечує оптимальне поєднання механічної міцності, корозійної стійкості та жароміцності, що робить його найбільш придатним для використання в ДВЗ, де циліндри піддаються великим механічним та температурним навантаженням.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>16</i>

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вибір виду і способу отримання заготовки

На вибір методу отримання заготовки впливають такі фактори: матеріал деталі, її призначення та технічні умови на виготовлення, об'єм та серійність виготовлення, форма поверхонь та розміри деталі.

Згідно з технічним завданням на виготовлення матеріал заготовки сплав алюмінієвий марки АК12М2 MgH, основні характеристики якого приведені в таблиці 1.1.

Оскільки тип виробництва велико-серійний з програмою випуску 100 тис./рік було обрано лиття під тиском. Воно гарантує максимальне наближення форми заготовки до деталі після обробки та чудовий коефіцієнт використання матеріалу. Лиття під тиском дозволяє отримувати заготовки складної конфігурації (тройники, коліна, кільця електродвигунів, деталі приладів, блок двигуна та ін.). Цей спосіб дозволяє використовувати такі матеріали – магнієві, алюмінієві, цинкові і свинцево-оловяні сплави, сталь. Отвори можна отримати у масовому більше 20 мм, серійному – більше 30 мм і при одиничному більше 50 мм.

Перевагами литва під тиском є:

- ефективність витрат, воно пропонує економічно ефективний метод масового виробництва автомобільних компонентів порівняно з іншими виробничими процесами. Після створення матриці (форми) її можна використовувати повторно для виробництва великої кількості деталей з мінімальними відходами матеріалу.
- високі темпи виробництва, воно забезпечує високу продуктивність, що робить його ідеальним для виробників автомобілів, яким потрібні великі обсяги деталей для задоволення попиту. Цей процес може виробляти від сотень до тисяч деталей на день, залежно від складності компонента і розміру машини для лиття під тиском.

						ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- складні форми і жорсткі допуски, воно дає змогу виробляти автомобільні компоненти складної геометрії і з жорсткими допусками. Порожнину прес-форми можна спроектувати так, щоб точно відтворювати складні форми й особливості, забезпечуючи точну посадку і функціонування деталей у збірці автомобіля.
- універсальність матеріалу, воно може здійснюватися з використанням різних металів і сплавів, включаючи алюміній, цинк і магній. Кожен матеріал має унікальні властивості, такі як легка вага, міцність і стійкість до корозії, що дає змогу виробникам автомобілів обирати найбільш підходящий матеріал для своїх конкретних вимог.
- цілісність конструкції, відлиті під тиском автомобільні компоненти мають високу структурну цілісність і співвідношення міцності до ваги, що робить їх придатними для критично важливих конструкційних застосувань, таких як блоки двигунів, корпуси трансмісії та компоненти підвіски.

Використовуючи CAD систему «SolidWorks» додаємо матеріал АК12М2 МгН та отримуємо масу вилівка деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» для подальшої роботи (рис. 2.1).

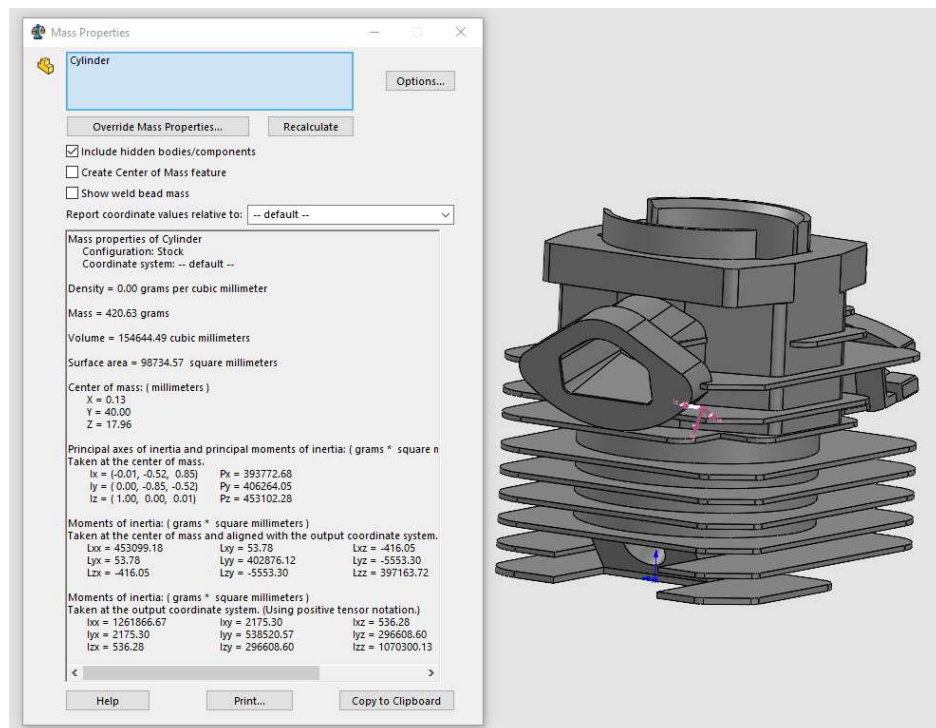


Рисунок 2.1 – 3D модель вилівка деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18»

									ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Вартість матеріалу заготовки розраховуємо за формулою:

$$M = Q \cdot S \quad (2.1)$$

де  $Q$  – маса заготовки,  $Q = 0,42063$  кг;

$S$  – базова вартість 1 кг матеріалу,  $S = 113,34$  грн.

$$M = 0,42063 \cdot 113,34 = 47,674 \text{ грн.}$$

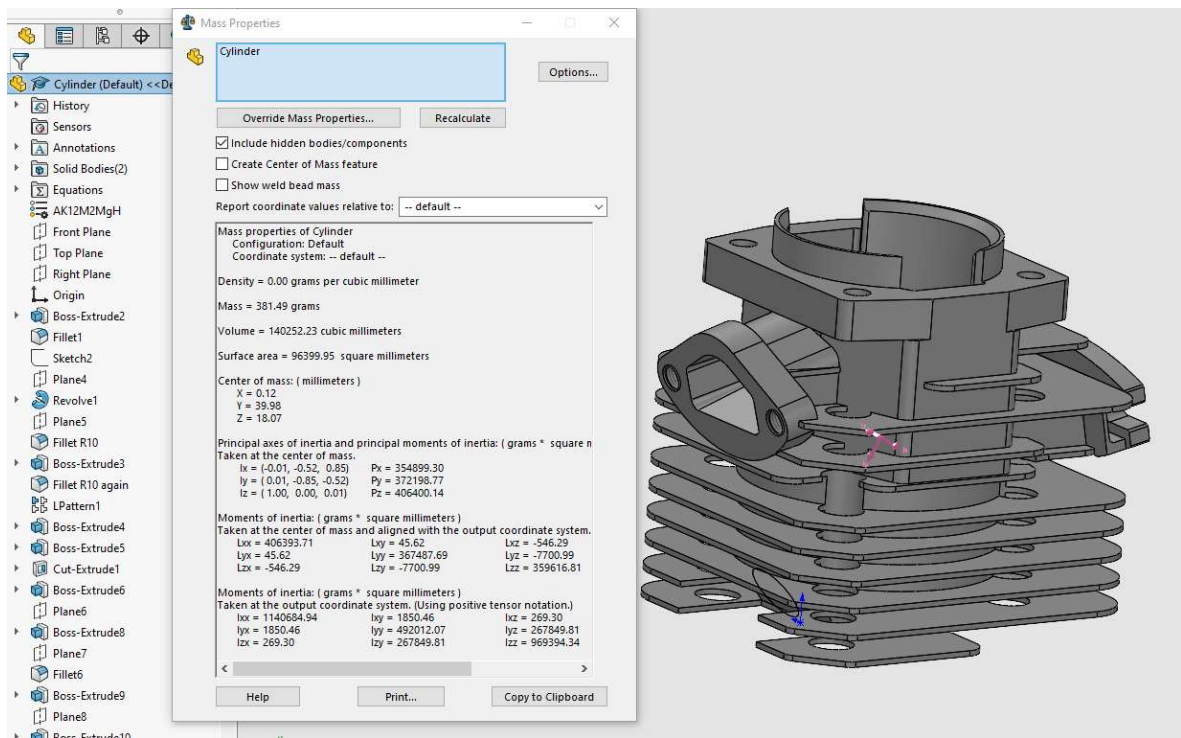


Рисунок 2.2 – 3D модель деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18»

Проектування вилівка деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» згідно до вимог ДСТУ 8981:2020.

Задана деталь показана на рис. 2.2.

Матеріал деталі: АК12М2 МгН ДСТУ 2839-94.

Технологічний процес литва – литво під низьким тиском.

Послідовність розрахунку за [17]:

1. Клас розмірної точності вилівки

Лиття під низьким тиском і кокіль без піщаних стрижнів, при найбільшому габаритному розмірі вилівка 100,22 мм (габаритний розмір більше  $100 > 250$ ;



13. Розробляємо робоче креслення заготовки з вказівкою розмірів, допусків, з врахуванням ливарних радіусів та нахилів

Приймаємо [6]:

Ливарний радіус – 2 мм.

Ливарний нахил – 1°

14. Вказуємо технічні вимоги до заготовки

15. Позначення точності виливка

6-5-6-4 Зм 0,32 ДСТУ 8981-2020

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>21</i>

## Номінальні розміри та припуски

Ном. розмір деталі, мм	Допуск на розмір, мм	Припуск на розмір, мм	Ном. розмір заготовки, мм
9	+0,4	0,7	9,4
1,25	+0,32	0,6	1,57
54	+0,64	1,1	54,64
50	+0,64	1,1	50,64
∅50	+0,64	$1,1 \cdot 2 = 2,2$	∅50,64
∅44	-0,64	$0,7 \cdot 2 = 1,4$	∅43,36
M14	-0,44	$0,8 \cdot 2 = 1,6$	∅11,56

## 2.2 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі

Маршрутний технологічний процес — це сукупність технологічних операцій, що визначають послідовність обробки деталі на різних етапах виробництва. Цей процес є основою для розробки технологічної документації та забезпечує ефективне та якісне виготовлення виробів.

## Важливість маршрутного технологічного процесу

- Оптимізація виробництва, дозволяє зменшити витрати матеріалів та часу, підвищити продуктивність праці.
- Покращення якості продукції, забезпечує точність виконання операцій та відповідність вимогам до якості.
- Стандартизація процесів, спрощує навчання персоналу, знижує ймовірність помилок та браку.
- Підвищення економічної ефективності, дозволяє знизити собівартість продукції та підвищити конкурентоспроможність підприємства.

Маршрутний технологічний процес наведено в табл. 2.2.

						<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	Арк. 22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Маршрут технологічного процесу виготовлення деталі «Циліндр бензопили Forte  
FGS 52-18»

№	Назва операції	Обладнання
005	Заготівельна	Ливарна машина NTL 8-8S 500AL
010	Термічна	Піч
015	Токарна з ЧПК	Gildemeister NEF 520
020	Фрезерна з ЧПК	Haas UMC-500
025	Фрезерна з ЧПК	Haas UMC-500
030	Гальванічна	Гальванічне обладнання
035	Внутрішньо-шліфувальна з ЧПК	JAINNER JHI-150CNC
040	Контроль ВТК	Стіл ВТК
045	Маркувальна	FidMARKER DPSH

### 2.2.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Циліндр двотактного двигуна є ключовим елементом, де здійснюється згоряння пального та виконуються робочі цикли двигуна.

Технічні вимоги до циліндру:

- точність отвору  $\varnothing 44$  по 6 квалітету (поле допуску H6);
- точність внутрішніх поверхонь, якими базується циліндр 6...8 квалітети;
- параметр шорсткості  $R_a = 0,32...6,3$  мкм; допуск круглості внутрішньої поверхні 0,008 мм;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ		Арк. 23
------	------	----------	--------	------	---------------------	--	------------

Обробку ведемо з права на ліво за головну базу приймаємо циліндричну поверхню  $\varnothing 50$  мм (база А) та площину (база Б).

Аналізуючи технологічність деталі можна зазначити наступне.

Деталь виготовляється з матеріалу АК12М2 МгН ДСТУ 2839-94, який є доступним, досить поширений та добре піддається механічній обробці.

З точки зору аналізу, за геометричною формою, деталь є простою і немає важкооброблюваних поверхонь, усі поверхні (площини) є технологічними та являють собою зовнішні або внутрішні поверхні. Отже, деталь є технологічною.

Конфігурація деталі, її тип та матеріал обумовлюють спосіб отримання заготовки литвом під тиском з максимально можливим наближенням форми та розмірів заготовки до готової деталі.

Деталь має поверхні, виконані по високому класу, наприклад: ( $\varnothing 44^{+0,016}$ , М14х1,25 6Н), оброблення яких доступне на звичайних верстатах та стандартним інструментом.

Розміри на кресленні деталі проставлені таким чином, що дозволяють використовувати принцип суміщення баз, в результаті чого досягається висока точність виготовлення деталі за рахунок виключення похибок установки та базування.

Значення допустимих та граничних відхилень розмірів та шорсткості проставлені тільки на відповідальні поверхні, всі інші визначаються способом отримання заготовки та відповідають вимогам до оформлення технічної документації.

При виготовленні даної деталі можливо використовувати типові технологічні процеси.

### 2.2.2 Вибір технологічних баз

Визначення технологічних баз відповідальний етап проєктування технологічного процесу механічної обробки, тісно пов'язаний з побудовою самого процесу обробки заготовки.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		24

Основні принципи, яких необхідно дотримуватись при визначенні баз:

- 1) принцип суміщення баз;
- 2) принцип постійності баз;
- 3) принцип єдності баз;

При визначенні базових поверхонь необхідно, щоб останні забезпечували стійкість та надійність встановлення заготовок, тобто були достатньо розвинуті.

Від правильного вибору технологічних баз, залежить точність механічної обробки деталі.

Технологічні бази - це настановні поверхні, що визначають її положення під час обробки на верстаті.

Технологічні бази можуть бути чорновими, чистовими, допоміжними і додатковими.

Чорнова технологічна база - необроблена поверхня прийнята для установки деталі на перших операціях.

Проаналізувавши конструкцію заготовки можна назначити наступні бази:

Першою операцією обробки деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» буде токарна. Для цієї операції чорновими базами будуть внутрішня поверхня деталі.

Чистова технологічна база - оброблена поверхня, прийнята в якості настановної на наступних операціях.

Допоміжна технологічна база - це оброблена поверхня, утворена на деталі по технологічним міркуванням, але обов'язкова у конструкції деталі. Вона застосовується для спрощення виконання процесу обробки деталі, і підвищення точності. У нашому випадку в якості допоміжної, настановної бази на токарних і свердлильних операціях є зовнішня поверхня  $\varnothing 50$ . При цьому витримується принцип сталості баз, що дозволяє забезпечити необхідну точність обробки деталі на даних операціях.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>25</i>

### 2.2.3 Проектування маршруту оброблення поверхонь деталі

Маршрут обробки окремих поверхонь встановлюють виходячи з вимог до робочого креслення та властивостей заготовки.

Послідовність методів обробки поверхні на першому переході вибирають в залежності від способу отримання заготовки та її точності.

Встановлюють методи кінцевої обробки поверхні в залежності від технічних вимог, які ставляться до цієї поверхні.

Назначають методи обробки поверхні на проміжних переходах на основі вже вибраного першого і останнього методів обробки.

Слід пам'ятати, що кожному методу кінцевої обробки, передує декілька попередніх методів. На чорнових операціях точність поверхні підвищується на 2...3 квалітети, на чистових на 1-2, враховуючи всі ці рекомендації можна визначити маршрут механічної обробки на кожну поверхню.

Для токарної обробки деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» застосовуємо універсальний токарний верстат з ЧПК моделі Gildemeister NEF 520.

Для свердління чотирьох отворів  $\varnothing 6$ ,  $\varnothing 10$ ,  $\varnothing 12,75$  мм та нарізання різі M14x1,25 6H - фрезерний верстат з ЧПК моделі Haas UMC-500.

Для розточки отвору  $\varnothing 44,2$  H7 - фрезерний верстат з ЧПК моделі Haas UMC-500.

Фрезерування поверхні I та II - фрезерний верстат з ЧПК моделі Haas UMC-500.

Для свердління двох отворів  $\varnothing 5$  мм та нарізання різі M6 - фрезерний верстат з ЧПК моделі Haas UMC-500.

Шліфування поверхні  $\varnothing 44$  H6 - внутрішньо-шліфувальний верстат моделі JAINNER JHI-150CNC.

При обробці деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» використовується універсальний ріжучий та абразивні інструменти.

Для побудови плану технологічного процесу механічної обробки деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» схематично зобразимо його на рис. 2.3 з

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>26</i>

позначенням його поверхонь, після чого складемо план обробки.

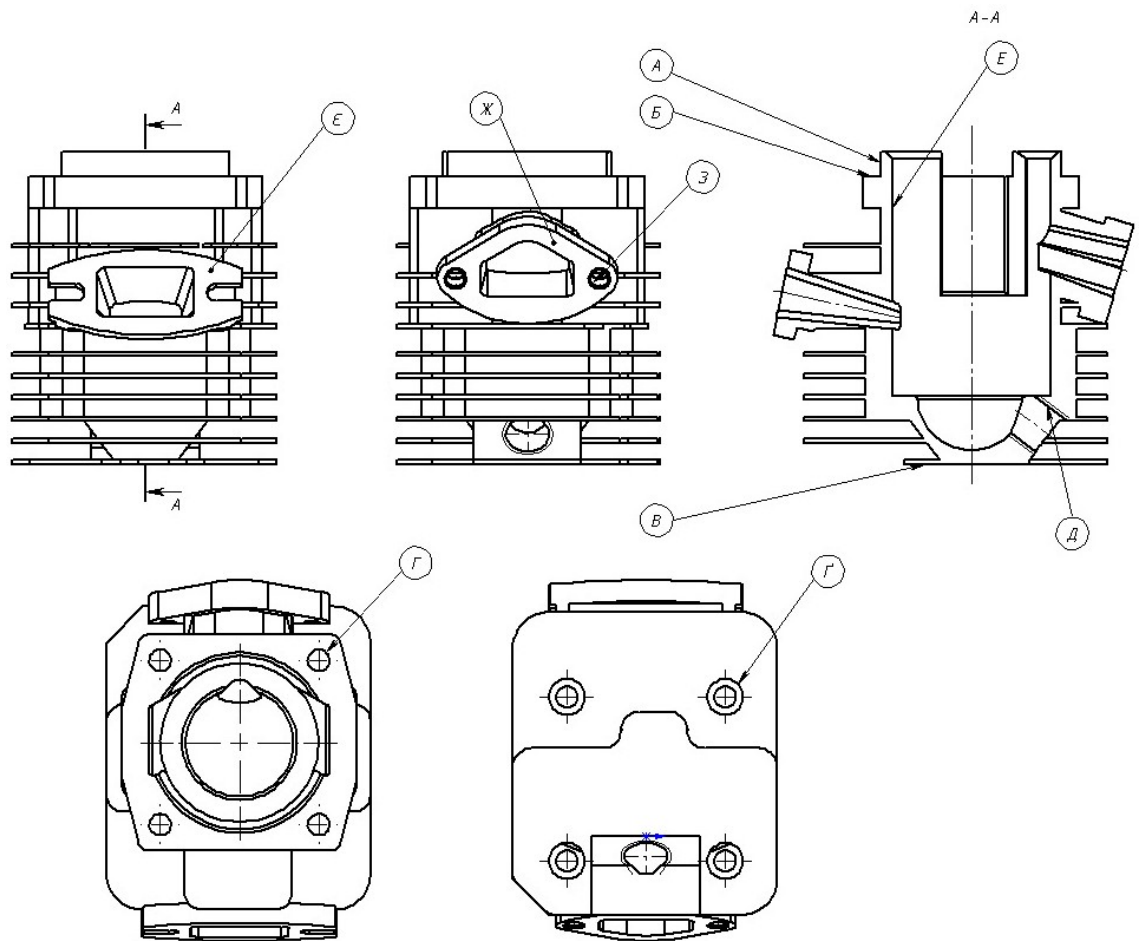


Рисунок 2.3 – Основні поверхні деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18»

Мета розробки – представити загальний план обробки заготовки, визначити зміст операцій технологічного процесу та вибрати відповідний тип обладнання. Рішення щодо вибору конкретного варіанту технологічного процесу приймаються після техніко-економічного обґрунтування, яке проводиться для кожної окремої операції.

Складемо маршрут обробки у вигляді табл. 2.3.

## Маршрут обробки деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18»

№	Назва операції	Обладнання	Короткий зміст	Поверхні
005	Заготівельна	NTL 8-8S 500AL		
010	Термічна	Піч		
015	Токарна з ЧПК	Gildemeister NEF 520	1. Закріпити заготовку 2. Точити поверхні А, Б	А, Б
020	Фрезерна з ЧПК	Haas UMC-500	1. Фрезерувати поверхню Є 2. Фрезерувати поверхню Ж 3. Свердлити отв. З, та нарізати різь 4. Свердлити отв. Д та виконати різь 5. Свердлити отв. Г	Є Ж З Д Г
025	Фрезерна з ЧПК багатопільова	Haas UMC-500	1. Закріпити деталь в пристрої 2. Розточити поверхню Е 1. Свердлити отв. Г	Е Г
030	Гальванічна	Гальванічне обладнання		
035	Внутрішньо-шліфувальна з ЧПК	JAINNER JHI-150CNC	1. Закріпити деталь 2. Шліфувати поверхню Е	Е
040	Мийна	Машина мийна		
045	Контроль ВТК	Стіл ВТК		
050	Маркувальна	FidMARKER DPSH		

## 2.2.4 Вибір технологічного обладнання

Для операції «Токарна з ЧПК» був обраний верстат Gildemeister NEF 520 (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Верстат Gildemeister NEF 520

Токарний верстат з ЧПУ NEF 520, виготовлений компанією GILDEMEISTER у 2006 році, оснащений системою управління Heidenhain. Верстат має горизонтально розташований шпindel з максимальною частотою обертання 3000 об/хв та приводною потужністю 12 кВт. Також обладнаний задньою бабкою МК 5, системою охолодження і люнетом. Його технічні характеристики наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Технічні характеристики верстату Gildemeister NEF 520

Параметр	Значення
Система управління	Heidenhain
Максимальний діаметр точіння над станиною	500
Максимальний діаметр точіння над супортом, мм	290
Діаметр патрона, мм	315
Відстань між центрами, мм	850
Розмір робочого переміщення по осі X, мм	260
Діаметр отвору в шпинделі, мм	92
Оберти шпинделя, об/хв	3000
Потужність приводу шпинделя, кВт	12
Швидке переміщення осями X/Z, м/хв	8/10
Задня бабка з піноллю, мм/МК	МК 5, 80/180
Габаритні розміри верстата, Д х Ш х В	2900x1953x1825
Вага верстата, кг	2700



Обробка з 5 осями дозволяє зменшити кількість налаштувань та підвищити точність при виготовленні багатосторонніх і складних деталей. Верстати Haas серії УБВ-500 з короткими робочими ходами та компактними розмірами є ідеальними для обробки за схемою 3+2 і одночасної 5-осьової обробки невеликих деталей завдяки столу (рис. 2.6).

- Синхронізована 5-осьова обробка
- Потужний інтегрований шпindel з прямим приводом
- Великий пристрій для зміни інструменту з боковим кріпленням (рис. 2.7)
- Оснащення бездротовою інтуїтивною системою вимірювання

Його технічні характеристики наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Технічні характеристики верстату Haas UMC-500

Параметр	Значення
Робочі ходи	
Вісь X, мм	610
Вісь Y, мм	406
Вісь Z, мм	406
Від торця шпинделя до плити (~ макс.), мм	508
Від торця шпинделя до плити (~ мін.), мм	102
Шпindel	
Максимальна потужність, кВт	22,4
Максимальна швидкість, об/хв	8100
Максимальний крутний момент, Н·м (об/хв)	122 (2000)
Система приводу	Безступінчастий прямий привід
Конус	СТ40   BT40   HSK-A63
Змащення підшипників	Впорскування повітря/масла
Охолодження	Рідинне охолодження
Вісь В — нахил	
Нахил	120° до 35-°
Максимальна швидкість	50°/сек
Крутний момент (безперервний), Н·м	2514
Гальмівний момент, Н·м	1220
Вісь С - Обертання	
Нахил	360°
Максимальна швидкість	50°/сек
Крутний момент (безперервний), Н·м	2514
Гальмівний момент, Н·м	1220
Макс. коливання деталей, мм	457
Тарілка (Platter)	
Діаметр плити, мм	400
Максимальна вага на плиті, кг	226,8
Максимальна вага на тарілці з піддоном, кг	90,7

## Продовження таблиці 2.5

Ширина Т-подібного паза, мм	15,9 до 16
Кількість стандартних Т-подібних пазів	5
Відстань від центру до Т-подібного паза, мм	63
Швидкість подачі	
Максимальне різання, м/хв	16,5
Швидкі рухи на X, м/хв	22,9
Швидкі рухи на Y, м/хв	22,9
Швидкі рухи на Z, м/хв	22,9
Осьові двигуни	
Максимальна тяга X, Н	14680
Максимальна тяга Y, Н	14680
Максимальна тяга Z, Н	18015
Зміна інструменту	
Тип	SMTC
Місткість	30+1
Максимальний діаметр інструмента (заповнені гнізда), мм	64
Максимальний діаметр інструмента (суміжний порожній), мм	127
Максимальна довжина інструмента (від лінії вимірювання), мм	305
Максимальна вага інструмента, кг	5,4
Час зміни інструментів (сер.), с	2,8
Час зміни інструмента (серед.), с	3,6
Загальні відомості	
Місткість охолоджувальної рідини, л	208
Вимоги до повітря	
Потрібне повітря, бар	6,9
Вбудований повітряний шланг, дюйм	3/8
З'єднувач (повітряний), дюйм	3/8
Мін. тиск повітря, бар	5,5
Електрична специфікація	
Вхідна напруга змінного струму (3 фази) — низька	220
Ампер повного завантаження (3 фази) — низький	70
Вхідна напруга змінного струму (3 фази) - висока	440
Сила струму при повному навантаженні (3 фази) - висока**	35
Розміри - Транспортування	
Піддон для внутрішнього ринку, см	325 x 249 x 279
Піддон для експорту, см	325 x 234 x 257
Ящик для експорту	325 x 257 x 312
Вага, кг	5400
Внутрішній піддон з конвеєром та 70+1 SMTC	325 x 249 x 305
Експортний ящик з конвеєром та 70+1 SMTC	326 x 257 x 359
Вага з конвеєром та 70+1 SMTC, кг	6042

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ

Арк.

32

Для операції «Внутрішньо-шліфувальна з ЧПК» був обраний верстат JAINNER JHI-150CNC (рис. 2.8).

Верстат JAINNER JHI-150CNC призначений для високоточного шліфування циліндричних та конічних отворів, забезпечуючи стабільну якість обробки деталей складної форми. JHI-150CNC оснащений числовим програмним керуванням (ЧПК), що дозволяє автоматизувати процес шліфування та підвищити продуктивність при дрібносерійних і серійних виробництвах. Верстат широко застосовується у машинобудівних, інструментальних і ремонтних цехах, де потрібна висока точність і повторюваність операцій. Відповідає сучасним стандартам точності та якості, забезпечуючи надійність і довговічність у роботі. Технічні характеристики верстата наведені в табл. 2.6.



Рисунок 2.8 – Верстат JAINNER JHI-150CNC

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>33</i>

## Технічні характеристики верстату JAINNHER JHI-150CNC

Параметр	Значення
<b>Основні параметри</b>	
Діапазон діаметрів внутрішнього шліфування, мм	Ø6 – 150
Максимальна глибина шліфування, мм	150
Максимальна затискна довжина, мм	200
Максимальний діаметр установки над станиною, мм	Ø500
Максимальний діаметр у захисному кожусі патрона, мм	Ø280
<b>Переміщення по осі X (шліфувальна бабка)</b>	
Максимальна швидкість подачі, м/хв	8
Максимальний хід, мм	100
Мінімальне переміщення, що задається, мм	0,001
<b>Переміщення по осі Z (робочий стіл)</b>	
Максимальна швидкість подачі, м/хв	8
Максимальний хід, мм	450
Мінімальне переміщення, що задається, мм	0,001
<b>Шпиндельна бабка</b>	
Швидкість обертання шпинделя, об/хв	10-10000
Передній кінець шпинделя	A2-5
Кут нахилу, град.	±8
<b>Поворотний стіл</b>	
Швидкість обертання, об/хв	-
Мінімальне переміщення, що задається, мм	-
Кут повороту, град.	-
<b>Двигуни</b>	
Двигун шліфувального круга, кВт	2,2
Двигун шпиндельної бабки, кВт	3,5
Сервопривід осі Z, кВт	1,2
Сервопривід осі X, кВт	0,75
Двигун системи змащування, кВт	0,18
Двигун гідросистеми, кВт	0,18
Двигун подачі МОР, кВт	0,18
<b>Загальні характеристики</b>	
Пакувальні розміри, мм	2900 x 1900 x 2100
Вага нетто, кг	2500
Вага брутто, кг	2700

Для операції «Маркувальна» була обрана ручна маркувальна машина з автономним контролером FidMARKER DPSH (рис. 2.9).

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	Арк. 34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.9 – Ручна маркувальна машина з автономним контролером  
FidMARKER DPSH

Маркувальні машини FidMARKER DPSH – це компактні ручні системи з автономним контролером, які призначені для кінцевої ідентифікації продукції та надійного маркування під фарбу, гарячий цинк та інші покриття. Ці пневматичні ударно-точкові машини створюють ефект гравіювання, змінюючи поверхню виробу карбідною голкою відповідно до заданої програми. Твердість маркованої поверхні може досягати 60 HRC. Нанесення маркування зображено на рис. ?. Приклад на рис. 2.10-2.11.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35



Рисунок 2.10 – Нанесення маркування



Рисунок 2.11 – Приклад маркування

Області застосування FidMARKER DPSH включають маркування різних поверхонь великих заготовок з металів і пластику без необхідності використовувати персональний комп'ютер (ПК). Для роботи з маркувальними

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>		<i>Арк.</i> 36
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			

машинами FidMARKER DPSH немає необхідності використовувати персональний комп'ютер. Ці машини можуть автономно здійснювати маркування завдяки вбудованому контролеру. Вони ідеально підходять для застосування в галузях металургії, машинобудуванні, автомобілебудуванні, приладобудуванні, електроніці, медицині, енергетиці. Наприклад, машини можна використовувати для нанесення текстів, номерів, кодів, VIN-кодів на рамах і литих поковках.

## 2.2.5 Вибір металорізального інструменту

Для забезпечення реалізації операцій технологічного процесу необхідно здійснити вибір металорізального інструменту. Встановлено, що технологічний процес містить переходи: точіння, свердлування, нарізання різі, фрезерування, розточування, шліфування та хонінгування. Враховуючи тенденцію до використання верстатів з ЧПК, від комбінованих спеціалізованих інструментів (комбіноване свердло для одночасного отримання отвору та фаски та ін.) у більшості випадків відмовляються, оскільки сучасні верстати з ЧПК, швидко змінюють інструмент, усуваючи тим необхідність проектування унікального металорізального інструменту. На сьогоднішній день є певні труднощі щодо виготовлення комбінованого спеціалізованого інструменту (перебої в поставках матеріалів заготовки, відсутність високоточного обладнання, висока вартість виготовлення та ін.). Тому, перевагу надають сучасним інструментам відомих бренд, які дозволяють забезпечити необхідну якість оброблюваних поверхонь.

Для операцій технологічного процесу було обрано наступні інструменти:

Операція 015

2 перехід

Точити поверхню  $\varnothing 50$  на довжину 7 мм, базовий торець Б, начисто

Обраний інструмент зображено на рис. 2.12.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			37

		SCLCL 2020K 09	CCMT 09 T3 08-WF 1125
Type (ASMTYPE)		Indexable Tool	Insert
Operation (SUBOPSEQ)		Turning External Longitudinal and Facing	
Tool (TOOL)		SCLCL 2020K 09	CCMT 09 T3 08-WF 1125
No. of pieces (#)		1	1
Adaption type (ADINTMS)		Rectangular shank -metric: 20 x 20	
Grade (GRADE)		1125	
Type of cooling (COOLSTL)		External	
Coolant (COOLT)		Emulsion 10%	
Machining time (TMF)	min:s	00:00.485	
No. of features (TLIFEC)		2100	

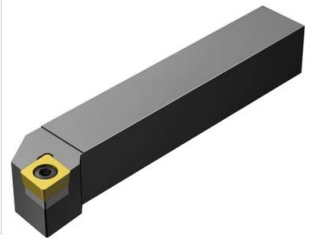


Рисунок 2.12 – Державка з механічним кріпленням SCLCL 2020K 09, пластинка CCMT 09 T3 08-WF 1125

Операція 020

2-3 перехід

Фрезерувати поверхню І (вікно) витримуючи розміри на кресленні

Обраний інструмент зображено на рис. 2.13.

		1K325-0500-XA 1730
Type (ASMTYPE)		Solid Tool
Operation (SUBOPSEQ)		Face Milling
Adaption type (ADINTMS)		Cylindrical shank (DIN1835-A / DIN6535-HA) -metric: 6
Grade (GRADE)		1730
Type of cooling (COOLSTL)		External
Coolant (COOLT)		Emulsion 10%
Machining time (TMF)	min:s	00:09.720
No. of features (TLIFEC)		1700



Рисунок 2.13 – Фреза кінцева 1K325-0500-XA 1730

4 перехід

Свердлити 2 отв.  $\varnothing 5$  [M6], нарізати різь М6 витримуючи розміри на кресленні

Обрані інструменти зображено на рис. 2.14-2.15.

						ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Type (ASMTYPE)		Solid	Tool
Operation (SUBOPSEQ)		Drilling with symmetrical point	
Adaption type (ADINTMS)		Cylindrical shank (DIN1835-A / DIN6535-HA) -metric: 6	
Grade (GRADE)		H10F	
Type of cooling (COOLSTL)		Internal	
Coolant (COOLT)		Emulsion 10%	
Machining time (TMF)	min:s	00:00.095	
No. of holes (TLIFEC)		34600	
Cutting diameter (DC)	mm	5	
No. of teeth (ZEFF)		2	
Usable length (LU)	mm	15.7	



Рисунок 2.14 – Свердло  $\varnothing 5$  (860.1-0500-015A1-NM H10F)

		R217.14C045100AC13N 1630	
Type (ASMTYPE)		Solid	Tool
Operation (SUBOPSEQ)		Thread Milling Internal	
Adaption type (ADINTMS)		Cylindrical shank without clamping features (without flange) -metric: 6.00	
Grade (GRADE)		1630	
Type of cooling (COOLSTL)		Internal	
Coolant (COOLT)		Emulsion 10%	
Machining time (TMF)	min:s	00:00.642	
No. of features (TLIFEC)		16500	



Рисунок 2.15 – Мітчик R217.14C045100AC13N 1630

5 перехід

Фрезерувати отв.  $\varnothing 12,45$  [M14x1,5 6H], виконати фаску  $1,5 \times 45^\circ$ , виконати різь M14x1,5 6H витримуючи розміри згідно до креслення

Обрані інструменти зображено на рис. 2.16-2.18.

		AE10-A10-SS-030	316-10SM345-10025A H10F
Type (ASMTYPE)		Solid Head	Tool
Operation (SUBOPSEQ)		Pocket milling	
Tool (TOOL)		Adaptor	316-10SM345-10025A H10F
No. of pieces (#)		AE10-A10-SS-030	1
Adaption type (ADINTMS)		1	1
Grade (GRADE)		ETOP threaded coupling - metric: E10	
Type of cooling (COOLSTL)		H10F	
Coolant (COOLT)		External	
Machining time (TMF)	min:s	Emulsion 10%	
No. of features (TLIFEC)		00:02.586	
		226	



Рисунок 2.16 – Фреза кінцева 316-10SM345-10025A H10F

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ

Арк.  
39

		860.1-1800-054A1-NM H10F	
Type (ASMTYPE)		Solid	Tool
Operation (SUBOPSEQ)		Drilling with symmetrical point	
Adaption type (ADINTMS)		Cylindrical shank (DIN1835-A / DIN6535-HA) -metric: 18	
Grade (GRADE)		H10F	
Type of cooling (COOLSTL)		Internal	
Coolant (COOLT)		Emulsion 10%	
Machining time (TMF)	min:s	00:00.368	
No. of holes (TLIFEC)		8830	
Cutting diameter (DC)	mm	18	
No. of teeth (ZEFF)		2	
Usable length (LU)	mm	56.4	



Рисунок 2.17 – Свердло  $\varnothing 18$  (860.1-1800-054A1-NM H10F)

		T400-NM103DA-M14 N1PC	
Type (ASMTYPE)		Solid	Tool
Operation (SUBOPSEQ)		Thread Forming with Tap	
Adaption type (ADINTMS)		Tap shank DIN -metric: 11.00 x 9.00	
Grade (GRADE)		N1PC	
Type of cooling (COOLSTL)		External	
Coolant (COOLT)		Emulsion 10%	
Machining time (TMF)	min:s	00:03.180	
No. of features (TLIFEC)		9000	



Рисунок 2.18 – Мітчик T400-NM103DA-M14 N1PC

6 перехід

Свердлити 4 отв.  $\varnothing 10$  витримуючи розміри згідно до креслення

Обраний інструмент зображено на рис. 2.19.

		860.1-1000-080A1-NM H10F	
Type (ASMTYPE)		Solid	Tool
Operation (SUBOPSEQ)		Drilling with symmetrical point	
Adaption type (ADINTMS)		Cylindrical shank (DIN1835-A / DIN6535-HA) -metric: 10	
Grade (GRADE)		H10F	
Type of cooling (COOLSTL)		Internal	
Coolant (COOLT)		Emulsion 10%	
Machining time (TMF)	min:s	00:00.720	
No. of holes (TLIFEC)		4190	
Cutting diameter (DC)	mm	10	
No. of teeth (ZEFF)		2	
Usable length (LU)	mm	81.3	



Рисунок 2.19 – Свердло  $\varnothing 10$  (860.1-1000-080A1-NM H10F)

Операція 025

2 перехід

Фрезерувати отвір  $\varnothing 43,8$  H8 начисто [ $\varnothing 44$  H6], фаску  $1,5 \times 60^\circ$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ

Арк.  
40

Обраний інструмент зображено на рис. 2.20.

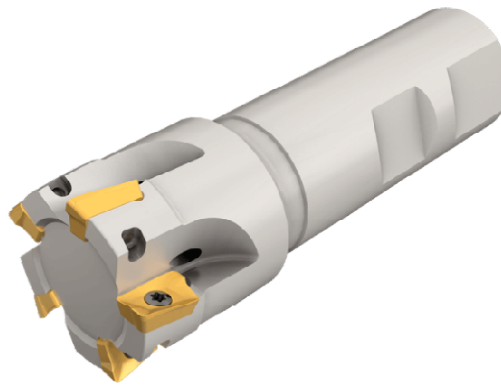


Рисунок 2.20 – Фреза кінцева HM90 E90A-10

3 перехід

Розточити отвір  $\varnothing 44,1$  Н6 начисто [ $\varnothing 44$  Н6]

Обраний інструмент зображено на рис. 2.21.

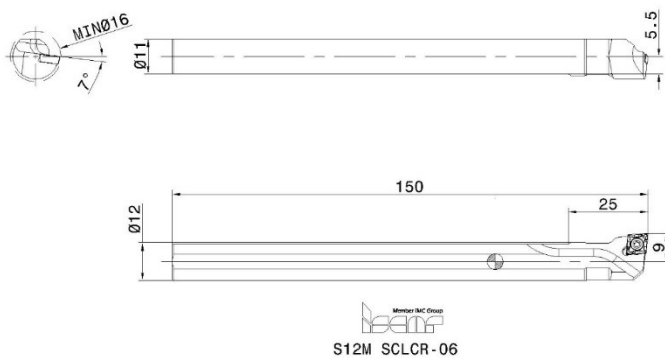


Рисунок 2.21 – Державка з механічним кріпленням S12M SCLCR-06, пластинка CCGT 060201-AS

4 перехід

Свердлити 4 отв.  $\varnothing 6$

Обраний інструмент зображено на рис. 2.22.

Type (ASMTYPE)		Solid	Tool
Operation (SUBOPSEQ)		Drilling with symmetrical point	
Adaption type (ADINTMS)		Cylindrical shank (DIN1835-A / DIN6535-HA) -metric: 6	
Grade (GRADE)		H10F	
Type of cooling (COOLSTL)		Internal	
Coolant (COOLT)		Emulsion 10%	
Machining time (TMF)	min:s	00:00.083	
No. of holes (TLIFEC)		41500	
Cutting diameter (DC)	mm	6	
No. of teeth (ZEFF)		2	
Usable length (LU)	mm	18.8	



Рисунок 2.22 – Свердло  $\varnothing 6$  (860.1-0600-018A1-NM H10F)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 41
------	------	----------	--------	------	---------------------	------------

Операція 035 «Внутрішньо-шліфувальна з ЧПК»

2 перехід

Шліфувати поверхню  $\varnothing 44$  Н6 начисто

Обраний інструмент зображено на рис. 2.23.



Рисунок 2.23 – Абразивний круг Metabo 628338000

### 2.3 Розроблення технологічних операцій

Розроблення технологічних операцій є важливим етапом у створенні ефективного та економічного технологічного процесу виготовлення продукції. Цей процес охоплює детальне планування послідовності операцій, вибір методів обробки, інструментів, обладнання та організацію робочих місць. Метою є забезпечення високої якості продукції при мінімальних витратах часу та ресурсів.

Ключовими етапами розроблення технологічних операцій є:

- аналіз конструкції деталі, оцінка її технологічності, виявлення можливих складнощів у виготовленні та визначення найбільш ефективних методів обробки;
- вибір технологічного маршруту, визначення послідовності операцій, вибір методів обробки та необхідного обладнання;

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- розробка технологічних карт, створення детальних інструкцій для кожної операції, що включають параметри обробки, норми часу, вимоги до якості та техніки безпеки;
- оцінка ефективності процесу, аналіз трудомісткості, енергоємності та економічної доцільності запропонованих операцій.

Правильно розроблені технологічні операції сприяють оптимізації виробництва, зменшенню витрат та підвищенню конкурентоспроможності продукції.

Технологічний процес виготовлення деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18» наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Технологічний процес виготовлення деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18»

№	Назва операції	Обладнання
005	Заготівельна	Ливарна машина NTL 8–8S 500AL
010	Термічна	Піч
015	Токарна з ЧПК	Gildemeister NEF 520
	1. Закріпити заготовку	Оправка спеціальна
	2. Точити поверхню $\varnothing 50$ на довжину 7 мм, базовий торець Б, начисто	Державка з механічним кріпленням SCLCL 2020K 09, пластинка CСMT 09 T3 08-WF 1125
020	Фрезерна з ЧПК	Haas UMC-500
	1. Закріпити заготовку	Пристрій верстатний спеціальний
	2. Фрезерувати поверхню І (фланець) витримуючи розміри на кресленні	Фреза кінцева 1K325-0500-ХА 1730
	Повернути деталь із поворотним столом на $180^\circ$	Поворотний стіл
	3. Фрезерувати поверхню ІІ (фланець) витримуючи розміри на кресленні	Фреза кінцева 1K325-0500-ХА 1730
	4. Свердли 2 отв. $\varnothing 5$ [М6], нарізати різь М6 витримуючи розміри на кресленні	Свердло $\varnothing 5$ (860.1-0500-015A1-NM H10F) Мітчик R217.14C045100AC13N 1630

## Продовження таблиці 2.7

	5. Фрезерувати отв. $\varnothing 12,45$ [M14x1,5 6H], виконати фаску 1,5x45°, виконати різь M14x1,5 6H витримуючи розміри згідно до креслення	Фреза кінцева 316-10SM345-10025A H10F Свердло $\varnothing 18$ (860.1-1800-054A1-NM H10F) Мітчик T400-NM103DA-M14 N1PC
	6. Свердлити 4 отв. $\varnothing 10$ витримуючи розміри згідно до креслення	Свердло $\varnothing 10$ (860.1-1000-080A1-NM H10F)
025	Фрезерна з ЧПК	Haas UMC-500
	1. Закріпити деталь в пристрої	Пристрій верстатний спеціальний з пневмоприводом
	2. Фрезерувати отвір $\varnothing 43,8$ H8 начисто [ $\varnothing 44$ H6], фаску 1,5x60°	Фреза кінцева HM90 E90A-10
	3. Розточити отвір $\varnothing 44,1$ H6 начисто [ $\varnothing 44$ H6]	Розточна головка SC 25T12A, державка з механічним кріпленням S12M SCLCR-06, пластинка CCGT 060201-AS
	4. Свердлити 4 отв. $\varnothing 6$	Свердло $\varnothing 6$ (860.1-0600-018A1-NM H10F)
030	Гальванічна	Гальванічне обладнання
035	Внутрішньо-шліфувальна з ЧПК	JAINNER JHI-150CNC
	1. Закріпити деталь	Пристрій верстатний спеціальний з пневмоприводом
	2. Шліфувати поверхню $\varnothing 44$ H6 начисто	Абразивний круг Metabo 628338000 Нутромір індикаторний ДСТУ 17215:2009 Калібр пробка $\varnothing 44$ H6 ISO 1502:2006
040	Мийна	Машина мийна
045	Контроль ВТК	Стіл ВТК
050	Маркувальна	FidMARKER DPSH

Комплект технологічної документації наведений в додатках.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4 Розрахунок припусків і технологічних розмірів на основні поверхні

Знаходимо припуски на обробку та проміжні граничні розміри для обробки поверхні  $\varnothing 44$  Н6 деталі «Циліндр бензопили Forte FGS 52-18». Заготовка отримана литтям, маса складає – 0,42063 кг. Схема установки деталі здійснюється за допомогою спеціального верстатного пристрою.

План обробки поверхні  $\varnothing 44$  Н6 мм. Відповідно до вимог креслення та з урахуванням економічної точності обробки:

- заготовка;
- розточування чорнове;
- розточування чистове;
- розточування тонке.

Значення параметрів  $R_z + T$  для литих заготовок  $R_z + T = 200$  мкм, [19] після механічної обробки –  $R_z = 10$  мкм,  $T = 20$  мкм. [19].

При обробці деталі з затиском за допомогою спеціально верстатного пристрою з базуванням на палець та по циліндричній поверхні  $\varnothing 50$  похибка установки деталі дорівнює нулю ( $\varepsilon_y = 0$ ).

Сумарне значення просторових відхилень поверхні, що обробляється відносно базової визначається за формулою:

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2} \quad (2.2)$$

Величину короблення отвору визначаємо за формулою:

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення  $K_y = 0,04$  [19]

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{(\Delta_{\kappa} d)^2 + (\Delta_{\kappa} l)^2} \quad (2.3)$$

де  $\Delta_{\kappa}$  – питома кривизна,  $\Delta_{\kappa} = 0,4$  [19];

$D$  – діаметр поверхні,  $D = 44$  мм;

$l$  – довжина поверхні що обробляється.

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{(0,4 \cdot 44)^2 + (0,4 \cdot 68)^2} = 32,4 \text{ мкм.}$$

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\rho_{см} = \delta_B = 100 \text{ мкм} \quad (2.4)$$

$$\rho_{кор} = \sqrt{32,4^2 + 100^2} = 105,12 \approx 105 \text{ мкм.}$$

Залишкова похибка після обробки, мкм:

$$\rho_{ост} = K_y \cdot \rho_{кор} \quad (2.5)$$

$$\rho_{ост1} = 105 \cdot 0,06 = 6,3 \approx 7 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{ост2} = 105 \cdot 0,04 = 4,2 \approx 5 \text{ мкм.}$$

Значення мінімального припуску:

$$2z(R_{zi-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1})_{min} \quad (2.6)$$

Мінімальний допуск при розточуванні:

Чорновому

$$2z_{min} = 2(200+105) = 2 \cdot 305 = 610 \text{ мкм.}$$

Чистовому

$$2z_{min} = 2(50 + 50 + 7) = 2 \cdot 107 = 214 \text{ мкм} \approx 220 \text{ мкм.}$$

Тонке розточування

$$2z_{min} = 2(30+30+5) = 2 \cdot 65 = 130 \text{ мкм.}$$

Тонке розточування  $d_{max} = 44,1 - 0,13 = 43,97 \text{ мм.}$

Чистове розточування  $d_{max} = 43,97 - 0,22 = 43,75 \text{ мм.}$

Чорнове розточування  $d_{max} = 43,75 - 0,61 = 43,14 \text{ мм.}$

Заготовка  $d_{max} = 43,75 - 0,61 = 43,14 \text{ мм} \approx 43 \text{ мм.}$

Тонке розточування  $d_{min} = 44 - 0,05 = 43,95 \text{ мкм.}$

Чистове розточування  $d_{min} = 43,95 - 0,07 = 43,88 \text{ мкм.}$

Чорнове розточування  $d_{min} = 43,88 - 0,1 = 43,78 \text{ мкм.}$

Граничні значення припусків:

Для тонкого

$$2z_{min}^{пр} = 44 - 43,95 = 0,05 = 50 \text{ мкм.}$$

$$2z_{max}^{пр} = 44,1 - 43,84 = 0,13 = 130 \text{ мкм.}$$

Для чистового

$$2z_{min}^{пр} = 43,95 - 43,88 = 0,07 = 70 \text{ мкм.}$$

$$2z_{max}^{пр} = 43,97 - 43,75 = 0,22 = 220 \text{ мкм.}$$

Для чорнового

$$2z_{min}^{pp} = 43,88 - 43,78 = 0,1 = 100 \text{ мкм.}$$

$$2z_{max}^{pp} = 43,75 - 43,14 = 0,61 = 610 \text{ мкм.}$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8

Данні по припускам на  $\varnothing 44 \text{ Н6}$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 43,78^{+0,016}$ [ $\varnothing 44^{+0,016}$ ]	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2z_{min}$ , мкм	Розрахунковий розмір $d_p$ , мм	Допуск $\delta$ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	$R_z$	$T$	$\rho$	$\varepsilon$				$d_{min}$	$d_{max}$	$2z_{min}^{pp}$	$2z_{max}^{pp}$
Заготовка	200	105	0		43,23	400	43,38	42,74			
Розточування											
чорнове	50	50	7	0	2·305	43,63	170	43,78	43,14	100	610
чистове	30	30	5	0	2·107	43,73	50	43,88	43,75	70	220
тонке	10	20	-	0	2·65	43,78	30	43,95	43,97	50	130
Всього									220	960	

Колонка «Розрахунковий розмір» заповнюється, починаючи з найменшого кінцевого розміру шляхом послідовного віднімання розрахункового мінімального припуску для кожного технологічного переходу до відповідного розрахункового розміру.

Загальні допуски  $2z_{0min}$  та  $2z_{0max}$  рахуємо додаючи проміжні припуски.

$$2z_{0min} = 50 + 70 + 100 = 220 \text{ мкм.} \quad (2.7)$$

$$2z_{0max} = 130 + 220 + 610 = 960 \text{ мкм.} \quad (2.8)$$

Перевірка правильності розрахунків.

$$z_{max}^{pp} = 50 - 20 = 30 \text{ мкм.}; \delta_3 - \delta_4 = 50 - 20 = 30 \text{ мкм.}$$

$$z_{max}^{pp} = 70 - 30 = 40 \text{ мкм.}; \delta_2 - \delta_3 = 70 - 30 = 40 \text{ мкм.}$$

$$z_{max}^{pp} = 100 - 50 = 50 \text{ мкм.}; \delta_1 - \delta_2 = 100 - 50 = 50 \text{ мкм.}$$

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ					Арк.
										47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Загальний номінальний припуск:

$$z_{\text{НОМ}} = z z_{d_{\text{Оmin}}} = 220 + 200 - 50 = 370 \text{ мкм.} \quad (2.9)$$

$$d_{\text{зНОМ}} = d_{\text{дНОМ}} - z_{\text{оНОМ}} = 43,78 - 0,37 = 43,41 \approx 43,5 \text{ мм.} \quad (2.10)$$

#### 2.4.1 Розрахунково-аналітичний метод

Розрахуємо аналітично припуски на механічну обробку отвору  $\varnothing 44$  Н6.

Технологічний маршрут обробки

1. Розточування чорнове.
2. Розточування чистове.
3. Розточування тонке.

Розрахунок припусків вносимо до табл. 2.9, в яку послідовно записуємо технологічний маршрут обробки та усі елементи припуску. Схема розташування полів припусків і допусків на обробку поверхні  $\varnothing 44$  Н6 зображена на рис. 2.24.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

## Результати розрахунків в програмі «Pripusk»

Виконав - Липка О.

Конструкторський розмір поверхні, що оброблюється:

Номінальний розмір  $\varnothing 44$  мм.Верхнє відхилення  $+0,016$  мм.Нижнє відхилення  $0$  мм.

Технологічні Переходи	Елементи припуска				Розр. прип. $2Z_{\min}$ , мкм	Розрахунок розмірів, мм.	Допуск $\delta$ , мкм	Граничні Розміри		Граничні значення припуску	
	$R_z$ мм	T мкм	$\rho$ мкм	$\epsilon_i$ мкм				$D_{\min}$ мм	$D_{\max}$ мм	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	200		105	0	—	43,23	400	43,38	42,7 4		
Розточування чорнове	50	50	7	0	2·305	43,63	170	43,78	43,1 4	100	610
Розточування чистове	30	30	5	0	2·107	43,73	50	43,88	43,7 5	70	220
Розточування тонке	10	20	0	0	2·65	43,78	30	43,95	43,9 7	50	130
Всього:										220	960

Сумарне значення, яке характеризує якість поверхні литих заготовок ( $R_z$  і T) [19].

Визначаємо величину  $R_z$  і T для розточування чорнового, чистового та розточування точного:

Розточування чорнове  $R_z = 50$  (мкм); T = 50 (мкм).

Розточування чистове  $R_z = 30$  (мкм); T = 30 (мкм).

Розточування тонке  $R_z = 10$  (мкм); T = 20 (мкм).

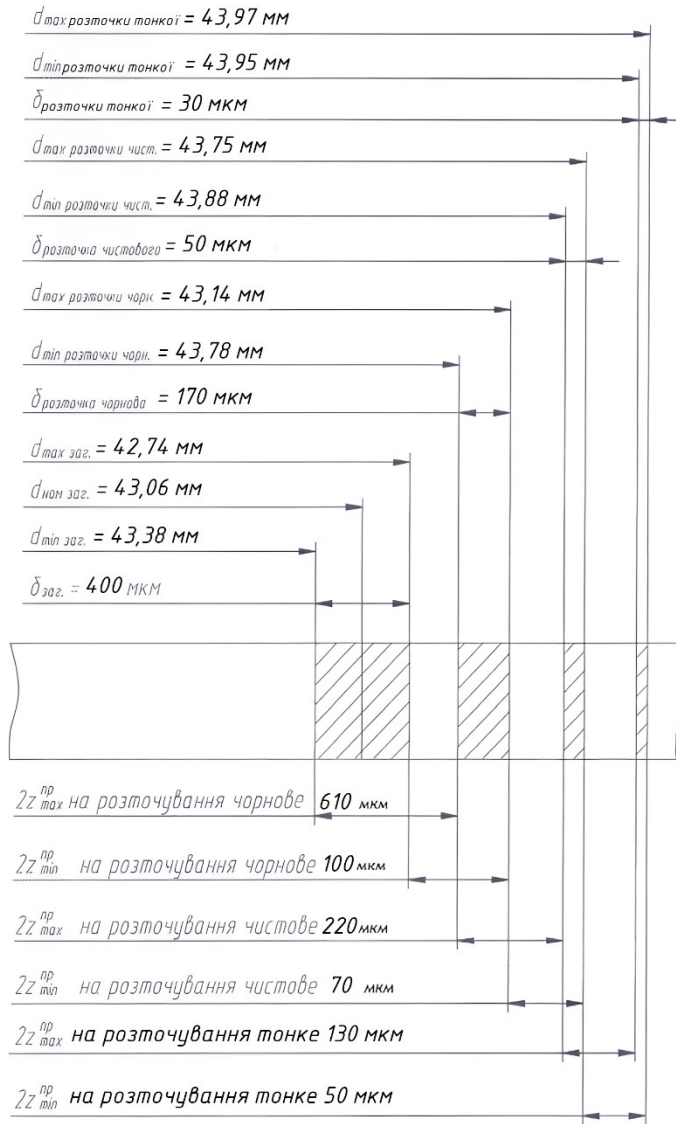


Рисунок 2.24 – Схема розташування полів припусків і допусків на обробку поверхні  $\varnothing 44 \text{ H6}$

## 2.5 Розрахунок режимів різання

Для операції 020 «Фрезерна з ЧПК»

1 перехід

Свердлити 4 отв.  $\varnothing 6$

Інструмент - Свердло  $\varnothing 6$  (860.1-0600-018A1-NM H10F)

Режими різання наведені на рис. 2.25.

Cutting data		
	<b>1</b>	
Cutting speed (VC)	303	m/min
Spindle speed (N)	16100	1/min
Feed per revolution (FN)	0.533	mm
Feed speed at tool center (VF)	8570	mm/min
Tool life length (TLIFEL)	373.21	m
Tool life time (TLIFET)	44	min
Cutting power (PPC)	3.1	kW
Cutting torque (MMC)	1.84	Nm
Feed force (FFF)	464	N
General depth parameter (DEPTH)	9	mm

**1** Drilling with a symmetrical point



Рисунок 2.25 – Ілюстрація розрахунків режимів різання при свердління 4 отв.  $\varnothing 6$

Свердлити 4 отв.  $\varnothing 10$

Інструмент - Свердло  $\varnothing 10$  (860.1-1000-080A1-NM H10F)

Режими різання наведені на рис. 2.26

Cutting data		
	<b>1</b>	
Cutting speed (VC)	297	m/min
Spindle speed (N)	9450	1/min
Feed per revolution (FN)	0.55	mm
Feed speed at tool center (VF)	5200	mm/min
Tool life length (TLIFEL)	226.49	m
Tool life time (TLIFET)	44	min
Cutting power (PPC)	5.19	kW
Cutting torque (MMC)	5.24	Nm
Feed force (FFF)	791	N
General depth parameter (DEPTH)	54	mm

**1** Drilling with a symmetrical point

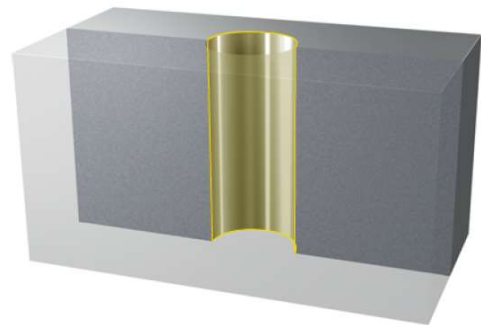


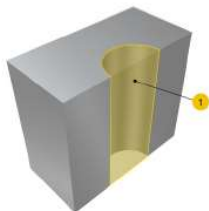
Рисунок 2.26 – Ілюстрація розрахунків режимів різання при свердління 4 отв.  $\varnothing 10$

2 перехід

Фрезерувати отв.  $\varnothing 12,45$  [M14x1,5 6H]

Інструмент - Фреза кінцева 316-10SM345-10025A H10F

Режими різання наведені на рис. 2.27



Legend

 Helical Milling

		
Working engagement (AE)	6.22	mm
Depth of cut (AP)	1.83	mm
Number of passes in AE direction (NOPAE)	1	
Number of passes in AP direction (NOPAP)	18	
Machined diameter start (DMS)	12.45	mm
Effective ramping angle (RMP)	13.4	°
Cutting speed (VC)	1260	m/min
Spindle speed (N)	40000	1/min
Feed per tooth (FZ)	0.136	mm
Feed speed at machined diameter (VFM)	16300	mm/min
Feed speed at tool center (VF)	3210	mm/min
Cutting power (PPC)	1.51	kW
Cutting torque (MMC)	0.361	Nm
Maximum chip thickness (HEX)	0.131	mm
Material removal rate (QQ)	36.7	cm <sup>3</sup> /min
Cutting time total (TCCT)	00:02:586	min:s
Tool life length (TLIFEL)	159.35	m
Tool life time (TLIFET)	9.8	min


Рисунок 2.27 – Ілюстрація розрахунків режимів різання при фрезеруванні отв.


∅12,45 [M14x1,5 6H]

Виконати фаску 1,5x45°

Інструмент - Свердло ∅18 (860.1-1800-054A1-NM H10F)

Режими різання наведені на рис. 2.28

Cutting data		
		
Cutting speed (VC)	287	m/min
Spindle speed (N)	5070	1/min
Feed per revolution (FN)	1.2	mm
Feed speed at tool center (VF)	6080	mm/min
Tool life length (TLIFEL)	264.83	m
Tool life time (TLIFET)	44	min
Cutting power (PPC)	16.1	kW
Cutting torque (MMC)	30.4	Nm
Feed force (FFF)	2550	N
General depth parameter (DEPTH)	30	mm



Drilling with a symmetrical point

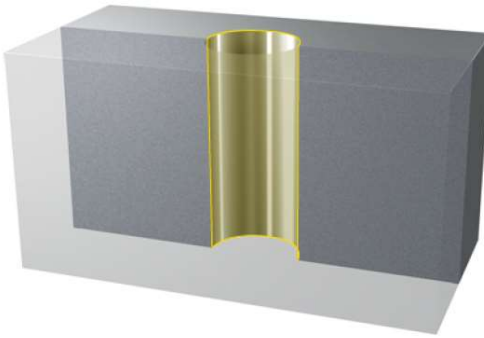


Рисунок 2.28 – Ілюстрація розрахунків режимів різання при виконанні

фаски 1,5x45°

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ

Арк.  
52

Виконати різь М14х1,25 6Н

Інструмент - Мітчик T400-NM103DA-M14 N1PC

Режими різання наведені на рис. 2.29

Cutting data	
Machining time (TMF)	00:03.180 min:s
Feed per revolution (FN)	2 mm
Cutting speed (VC)	45.7 m/min
Spindle speed (N)	1040 1/min
Cutting power (PPC)	1.52 kW
Cutting torque (MMC)	13.9 Nm

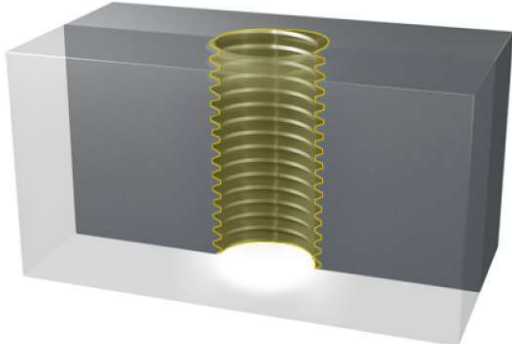


Рисунок 2.29 – Ілюстрація розрахунків режимів різання при виконанні різі М14х1,25 6Н

## 2.6 Технічне нормування операцій

Одну операцію, а саме 020 розраховуємо аналітично, а інші розраховуються та вносяться в табл. 1.2.6. В серійному виробництві норма штучно калькуляційного часу,  $T_{шт-к}$ , визначається за формулою:

$$T_{шт-к} = \frac{T_{п-з}}{n} + T_{шт} \quad (2.11)$$

де  $T_{п-з}$  — підготовчо-заклучний час на обробку;

$$T_{п-з} = 4 + 2 + 7 = 13 \text{ хв. [25]}$$

$n$  - кількість деталей в налагодженій партії, шт.

$$n = \frac{N \cdot a \cdot 2}{254} \quad (2.12)$$

де,  $N$  — річний випуск обсягу деталей, шт.;

$a$  — періодичність запуску,  $a = 12$  днів;

$$n = \frac{100000 \cdot 12 \cdot 2}{254} = 9448,82 \text{ шт.} \quad (2.13)$$

$T_{шт}$  — штучний час на обробку деталі;

$$T_{шт} = T_o + T_{доп} + T_{обс} + T_{відп} \quad (2.14)$$

де,  $T_o$  — основний час обробки:

$$T_o = T_m = \frac{L_{р.х.}}{S_m} \quad (2.15)$$

де,  $T_o = T_m = 1$  хв.;

$T_{доп}$  — допоміжний час обробки.

$$T_{доп} = (T_{вст} + T_{зо} + T_{кер} + T_{вим}) \quad (2.16)$$

де,  $T_{вст}$  - час на встановлення і зняття деталі, хв.;

$$T_{вст} = 0,32 \text{ хв} \quad [3, \text{с.199, т. 5.5}]$$

$T_{зо}$  - час на закріплення і відкріплення деталі, хв.;

$$T_{зо} = 0,6 \text{ хв.} \quad [3, \text{с.201, т. 5.7}]$$

$T_{кер}$  - час на прийоми управління, хв.;

$$T_{кер} = 0,65 \text{ хв} \quad [3, \text{с.205, т. 5.9}]$$

$T_{вим}$  - час на вимірювання деталі, хв.;

$$T_{вим} = 1 \text{ хв} \quad [3, \text{с.206, т. 5.10}]$$

$$T_{доп} = (0,32 + 0,6 + 0,65 + 1) = 2,57 \text{ хв.} \quad (2.17)$$

Визначаємо час на обслуговування робочого місця —  $T_{обс}$ :

$$T_{обс} + T_{від} = \left( \frac{T_o + T_{доп}}{100} \right) \cdot P_{відп} \quad (2.18)$$

де,  $T_{від}$  — час на відпочинок та особисті потреби, хв;

$P_{відп}$  — норматив часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та власні потреби.

$$P_{відп} = 8\% \quad [25]$$

$$T_{обс} + T_{від} = \left( \frac{1 + 2,57}{100} \right) \cdot 8 = 0,28 \text{ хв.}$$

$$T_{шт} = 1 + 2,57 + 0,28 = 3,85 \text{ хв}$$

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення норми штучно-калькуляційного часу за формулою:

$$T_{\text{шт-к}} = \frac{T_{\text{пз}}}{n} + T_{\text{шт}} = \frac{13}{9448} + 3,85 \approx 3,85 \text{ хв.}$$

Визначені технічні норми часу на інші операції наведено в таблиці 2.10. Машинний час  $T_M$  ми визначаємо завдяки калькуляторам Sandvik Coromant та TaeguTec (рис. 2.30).

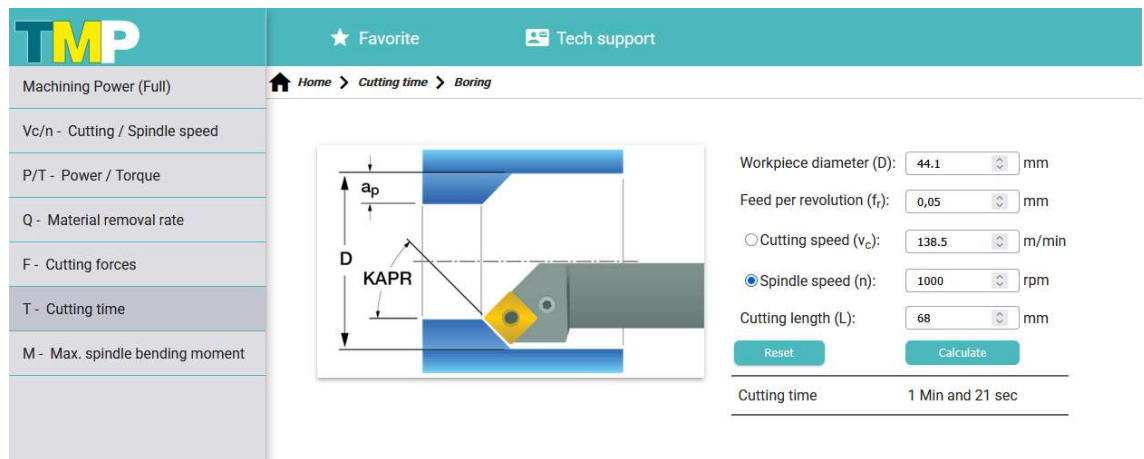


Рисунок 2.30 – Ілюстрація розрахунків режимів різання при розточуванні отвору  $\varnothing 44,1$  Н6 (операція 025)

Таблиця 2.10

### Норми часу по операціям

Операція	$T_{0,}$ ХВ	$T_{\text{вст,}}$ ХВ	$T_{30,}$ ХВ	$T_{\text{кер,}}$ ХВ	$T_{\text{вим,}}$ ХВ	$T_{\text{доп,}}$ ХВ	$T_{\text{об+Від,}}$ ХВ	$T_{\text{шт,}}$ ХВ	$T_{\text{пз,}}$ ХВ	$T_{\text{шт-к,}}$ ХВ
015	1	0,32	0,6	0,65	1	2,57	0,28	3,85	13	3,85
020	26,93	0,32	0,6	0,65	1	2,57	2,36	29,29	13	29,29
025	16,38	0,32	0,6	0,65	1	2,57	1,5	17,88	13	17,88
035	0,04	0,32	0,6	0,65	1	2,57	0,21	2,82	13	2,82

### 2.6.1 Визначення кваліфікації робіт

Розряди виконуваних робіт визначаємо за [25].

Оператор верстатів з ЧПК – III.

Токар – III.

Свердлувальник - III

Шліфувальник – IV.

## 2.6.2 Визначення кількості верстатів

Для серійного типу виробництва розрахункова кількість верстатів визначається за формулою:

$$C_p = \frac{\sum t_{шт-к} \cdot N}{60 \cdot F_d \cdot m}, \quad (2.19)$$

де  $\sum t_{шт-к}$  - сумарний штучно-калькуляційний час виконання операції на однотипному обладнанні;

$m$  - кількість змін,  $m = 2$  (згідно завдання).

Завантаження верстатів за часом та їх використання визначає коефіцієнтом завантаження верстатів за часом  $\eta_3$  та коефіцієнт використання верстатів за основним (технологічним) часом  $\eta_0$  за формулами

$$\eta_0 = \frac{t_0}{t}, \quad (2.20)$$

$$\eta_3 = \frac{C_p}{C_n}, \quad (2.21)$$

Крім цього розраховуються загальні середні коефіцієнти завантаження за формулами

$$\eta_{0.сеп} = \frac{\sum t_0}{\sum t_{шк}}, \quad (2.22)$$

$$\eta_{3.сеп} = \frac{\sum C_p}{\sum C_n}, \quad (2.23)$$

Визначимо кількість верстатів та коефіцієнти завантаження за операціями

Операція 015

$$C_p = \frac{3,85 \cdot 100000}{60 \cdot 2078 \cdot 2} = 1,54,$$

Приймаємо  $C_n = 2$

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$\eta_3 = \frac{1,54}{2} = 0,77; \eta_0 = \frac{1}{3,85} = 0,26$$

Операція 020

$$C_p = \frac{29,29 \cdot 100000}{60 \cdot 2078 \cdot 2} = 11,75$$

Приймаємо  $C_n = 12$

$$\eta_3 = \frac{11,75}{12} = 0,98; \eta_0 = \frac{26,93}{29,29} = 0,92$$

Операція 025

$$C_p = \frac{17,88 \cdot 100000}{60 \cdot 2078 \cdot 2} = 7,17$$

Приймаємо  $C_n = 8$

$$\eta_3 = \frac{7,17}{8} = 0,9; \eta_0 = \frac{16,38}{17,88} = 0,92$$

Операція 035

$$C_p = \frac{2,82 \cdot 100000}{60 \cdot 2078 \cdot 2} = 1,13$$

Приймаємо  $C_n = 2$

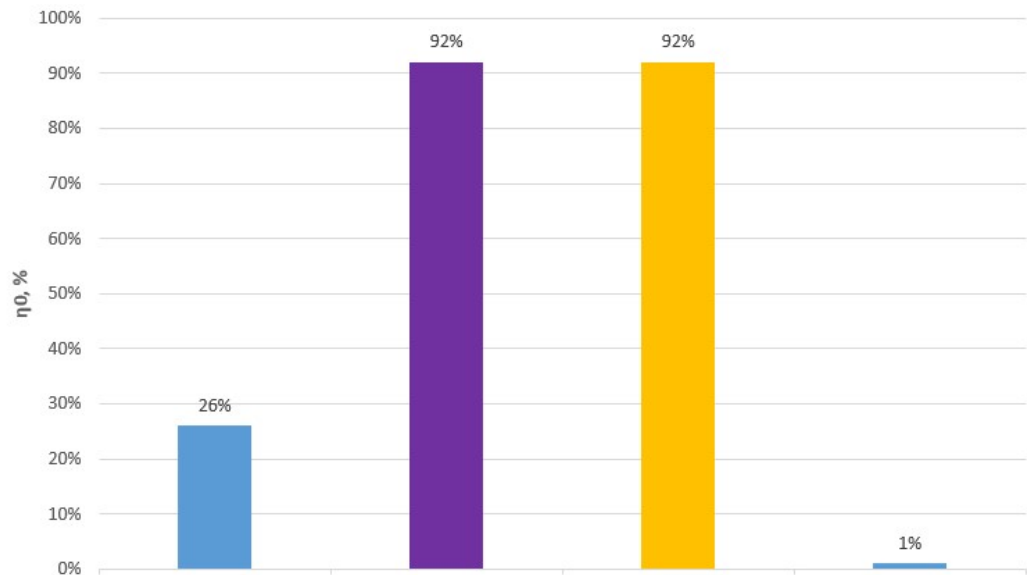
$$\eta_3 = \frac{1,13}{2} = 0,57; \eta_0 = \frac{0,04}{2,82} = 0,01$$

Визначаємо середні коефіцієнти завантаження

$$\eta_{3.сеп} = \frac{1,54 + 11,75 + 0,92 + 0,01}{2 + 12 + 8 + 2} = 0,59;$$
$$\eta_{0.сеп} = \frac{1 + 26,93 + 16,38 + 0,04}{3,85 + 29,29 + 17,88 + 2,82} = 0,82$$

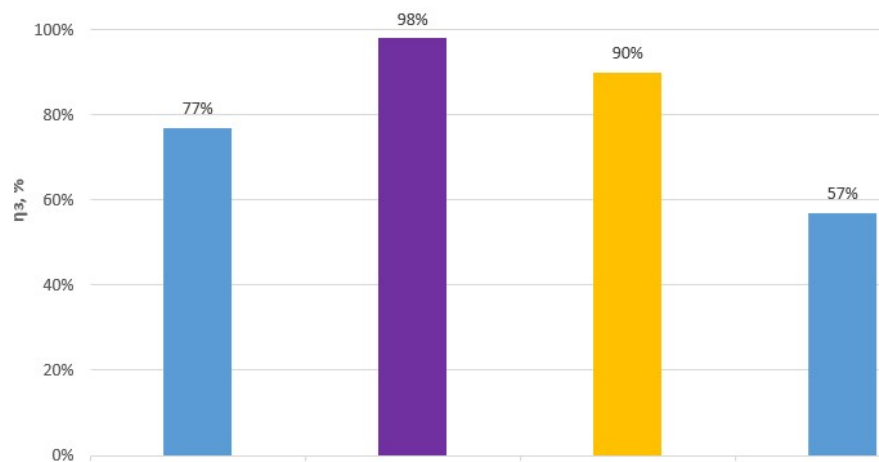
Будуємо графіки використання та завантаження обладнання (рис. 2.31-2.32).

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57



Модель верстата	Gildemeister NEF 520	Haas UMC-500	Haas UMC- 500	JAINNHER JHI- 150CNC
Кількість верстатів	2	12	8	2
Номер операцій	015	020	025	035

Рисунок 2.31 – Графік використання обладнання за основним часом



Модель верстата	Gildemeister NEF 520	Haas UMC-500	Haas UMC-500	JAINNHER JHI-150CNC
Кількість верстатів	2	12	8	2
Номер операцій	015	020	025	035

Рисунок 2.32 – Графік завантаження обладнання

## 2.7 Розроблення керуючої програми для верстата з ЧПК

Розробляємо операційний ескіз обробки деталі в абсолютній системі координат, який показаний на рис. 1.7 для фрезерної операції 025 та керуючу програму для обробки деталі на верстаті з ЧПК моделі Haas UMC-500.

Різальний інструмент – фреза кінцева та абразивний круг. Пристрій – спеціальний з пневмоприводом. Базування по поверхні  $\varnothing 50$  та торцю. Вимірювальні інструменти - нутромір індикаторний ДСТУ 17215:2009 та калібр пробка  $\varnothing 44H6$  ISO 1502:2006.

### 025 Фрезерна з ЧПК

Фрезерний верстат мод. Haas UMC-500

1. Закріпити деталь в пристрої
2. Фрезерувати отвір  $\varnothing 43,8$  H8 начисто [ $\varnothing 44$  H6], фаску  $1,5 \times 60^\circ$
3. Розточити отвір  $\varnothing 44,1$  H6 начисто [ $\varnothing 44$  H6]
4. Свердли 4 отв.  $\varnothing 6$

Операційний ескіз деталі та траєкторія руху інструменту в абсолютній системі координат відображені на рис. 2.33.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i> 59
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

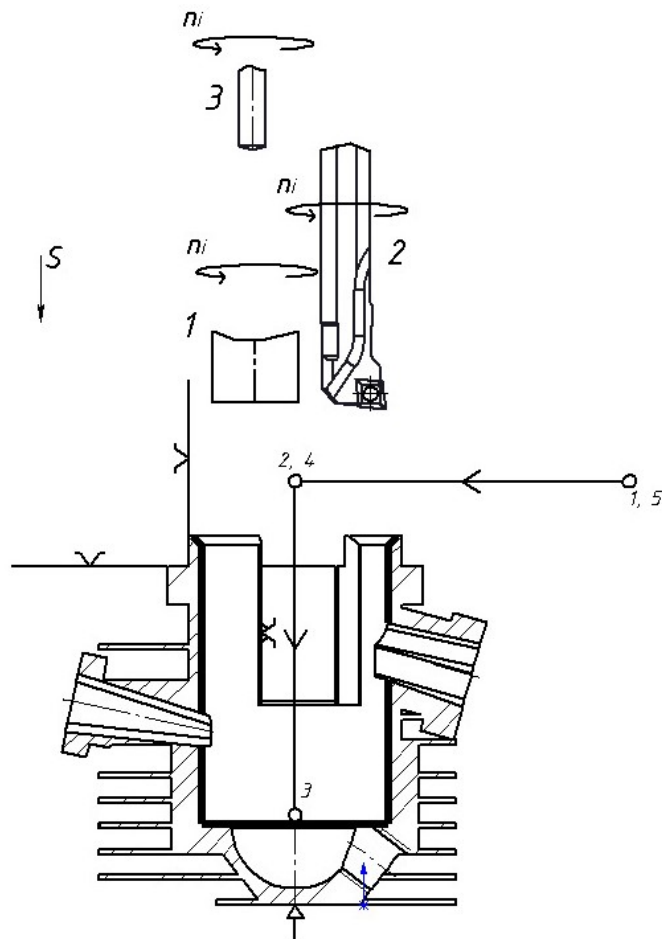


Рисунок 2.33 – Операційний ескіз в абсолютній системі координат  
Фрагмент керуючої програми:

```

%
O1000 (ASSEMBLY)
N100 (COMPENSATION-WEAR)
N102 (REV-0.70)
N104 (MAY-16-2025-8:04:37PM)

N106 (TOOL 1 - DIA 44.)

N1 G90 G17 G40 G80 G00
N108 M06 T1 ()
N110 (D-drill)
N112 G00 G54 G90 X0. Y0. S400 M03
N114 G43 H1 Z120.
N116 S400
N118 Z25.
N120 G98 G85 X0. Y0. Z-81. R-13. F45.
N122 G80
N124 M05

```

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ		Арк. 60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

N126 G00 G28 G91 Z0  
N128 G00 G28 G91 X-15.0 Y0.  
N130 G90  
N132 M06 T1  
N134 M30  
%

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>61</i>



Для забезпечення постійності розмірів отворів ( $\varnothing 44 \text{ Н6}$ ) на різних деталях в операції 025 необхідно використовувати принцип суміщення та постійності баз.

У випадку встановлення заготовки в пристрій вона здійснює повний контакт базових поверхонь з елементами пристрою, жорстко закріпленими в його корпусі. Це забезпечується прикладенням до заготовки відповідних сил закріплення. Для повної орієнтації заготовки (рис. 3.1), число та розміщення опор повинно бути таким, щоб при виконанні принципу невідривності баз від опор, заготовка не могла змінювати положення відносно координатних осей. При виконанні умови невідривності, заготовка позбувається всіх степеней вільності.

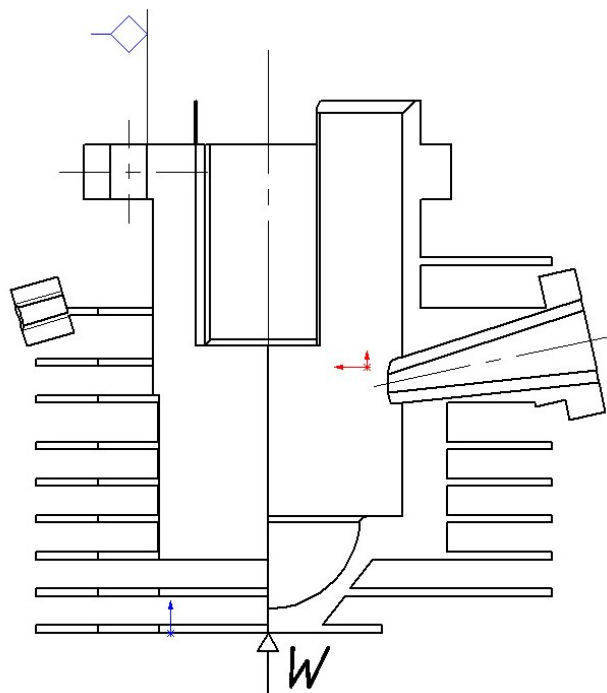


Рисунок 3.1 - Схема базування заготовки

При розточці в пристрої на заготовку діє осьова складова сили різання вектор дії, якої перпендикулярний до осі головної напрямної.

В процесі розточування отвору виникає крутний момент, який намагається повернути заготовку відносно осі розточної головки. Цьому моменту протидіє момент, який утворюється від пари сил реакцій, що виникають в пальці. Пристрій спроектований таким чином, що вісь інструменту співпадає з віссю стола верстата та напрямної базування самого пристрою, що унеможливорює будь-які зміни положення системи (верстат-пристрій-інструмент-деталь). Тому, величина сили

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ		Арк. 63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

затиску повинна бути достатньою, щоб унеможливити осьове переміщення та надійно притиснути деталь до базового торця пристрою. Отже, задача розрахунку спеціального пристрою зводиться до визначення необхідних параметрів пневмоциліндра та жорсткості його конструктивних елементів.

1) Тангенційну силу  $P_z$  та крутний момент  $M_{кр}$  розраховуємо за допомогою калькулятора, обравши найбільш наближений сплав з доступних (рис. 3.2-3.3).

Feed per revolution ( $f_r$ ): 0.05 mm  
 Depth of cut ( $a_p$ ): 10 mm  
 Workpiece material: AK21M2N2 GOST  
 Effective rake angle ( $\gamma$ ): 0 deg.  
 Tool cutting edge angle (KAPR): 90 deg.

Reset Calculate

Tangential force: 793,03 N

Рисунок 3.2 – Розрахунок тангенційної сили різання

Workpiece diameter (D): 44.1 mm  
 Feed per revolution ( $f_r$ ): 0.05 mm  
 Depth of cut ( $a_p$ ): 10 mm  
 Cutting speed ( $v_c$ ): 138.5 m/min  
 Spindle speed (n): 1000 rpm  
 Workpiece material: AK21M2N2 GOST  
 Effective rake angle ( $\gamma$ ): 0 deg.  
 Tool cutting edge angle (KAPR): 90 deg.

Reset Calculate

Net mean power demand: 1,42 KW  
 Mean torque: 13,52 Nm

Рисунок 3.3 – Розрахунок крутного моменту

2) Розраховуємо зусилля на штоці за формулою [20]:

$$Q = \frac{\pi D^2 p}{4} \quad (3.1)$$

де,  $Q$  – зусилля на штоці, Н;

$D$  – діаметр циліндра, м;

$p$  – тиск, атм.,  $p = 6 \cdot 101325 \text{ Па} = 607950 \text{ Па}$ ;

$\eta$  - ККД циліндра,  $\eta = 0,9$ .

$$Q = \frac{3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 607950 \cdot 0,9}{4} = 4292,7\text{Н}$$

3) Розраховуємо необхідну силу затиску ( $P_3$ )

Для розточування сила затиску зазвичай визначається як тангенціальна сила різання, помножена на коефіцієнт запасу  $K$ :

$$P_3 = P_z \cdot K, \quad (3.2)$$

де:

$P_z$  — тангенціальна сила різання (793,03 Н);

$K$  — коефіцієнт запасу (зазвичай  $K = 3,24$  для чорнової обробки).

$$P_3 = 793,03 \cdot 3,24 = 2569,42\text{Н}$$

Цей розрахунок допомагає визначити силу затиску, необхідну для запобігання обертання заготовки під час обробки.

4) Розраховуємо силу, що діє на палець

Площу поверхні визначаємо за допомогою CAD системи «SolidWorks» (рис. 3.4).

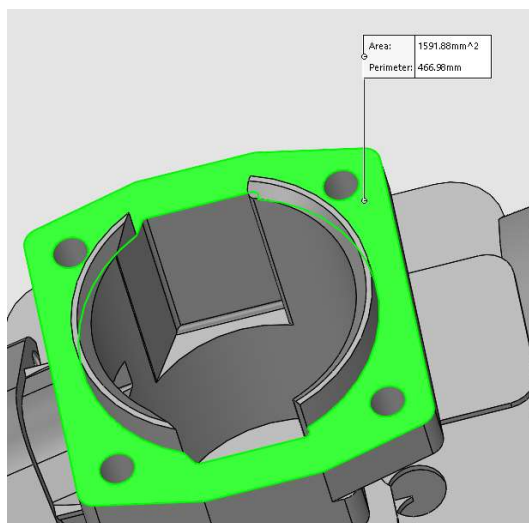


Рисунок 3.4 – Площа поверхні

											ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

Площу оброблюваного отвору визначаємо за формулою:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (3.3)$$

де:

$S$  — площа кола,  $\text{мм}^2$ ;

$D$  — діаметр кола,  $D = 44,1$  мм.

$$S = \frac{3,14 \cdot 1947,21}{4} = \frac{6112,67}{4} \approx 1528,17 \text{ мм}^2$$

Радіус дії сили визначаємо за допомогою CAD системи «SolidWorks» (рис. 3.5).

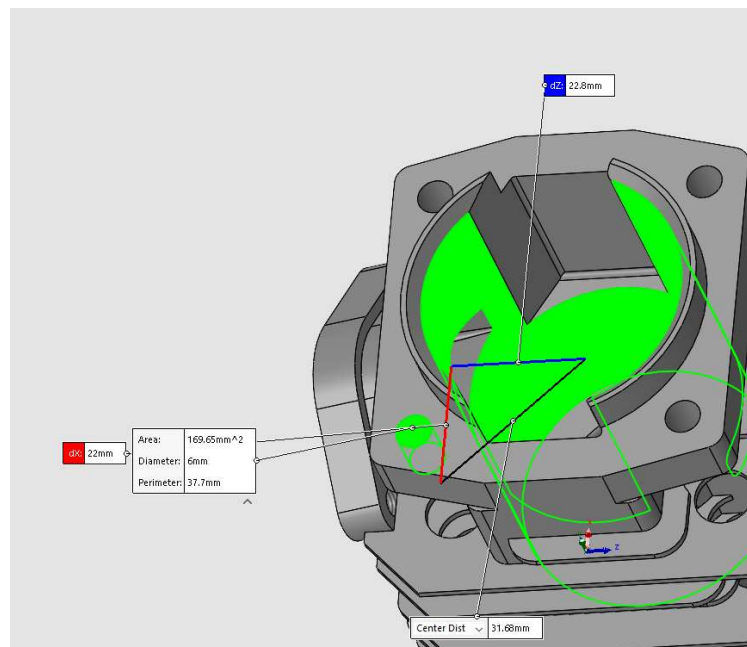


Рисунок 3.5 – Радіус дії сили

Визначаємо силу, що діє на палець

$$M_{кр} = F_P \cdot l / 2, \quad (3.4)$$

де  $F_P$  – реактивна сила що діє на палець;

$l$  – міжосьова відстань кріпильних гвинтів.

З формули 3.4 знаходимо:

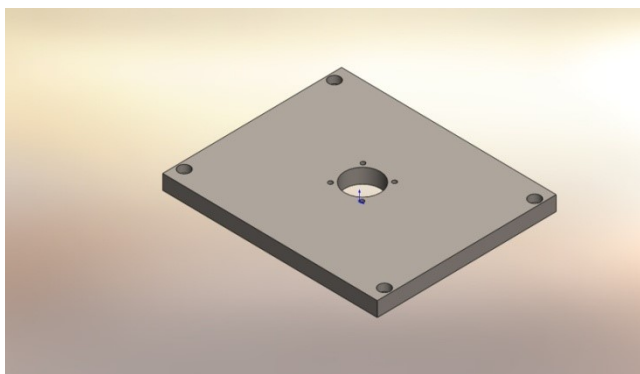
$$F_P = 2 \cdot M_{кр} / l = 2 \cdot 13,52 / 0,032 = 845 \text{ Н.}$$

Спираючись на вибрану модель верстата, приймаємо кріпильні болти діаметром 14 мм, відповідно до стандартної ширини пазу столу, прийнятого верстата моделі Haas UMC-500.

Перевірку на зріз палець не проводимо, так як сила зрізу незначна.

### 3.1.2 Розрахунок елементів пристрою на міцність

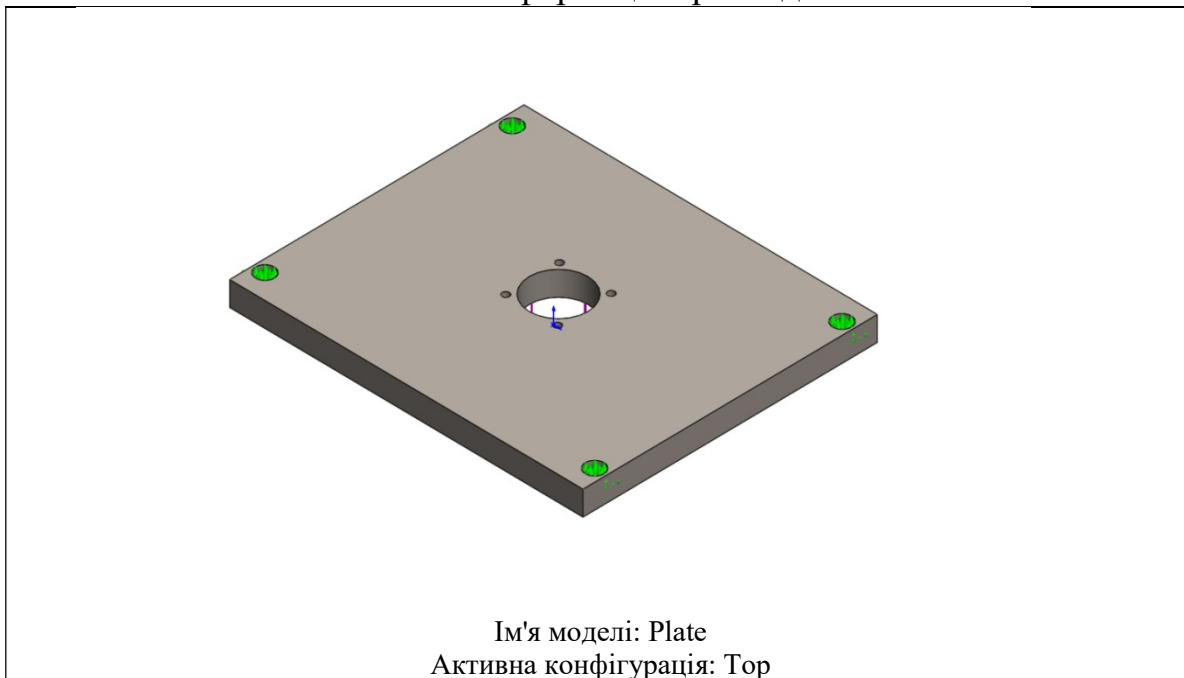
Розрахунок конструкції пристрою на міцність проводимо за допомогою інженерних програм методом скінчених елементів в середовищі «SolidWorks Simulation».



Симуляція Plate

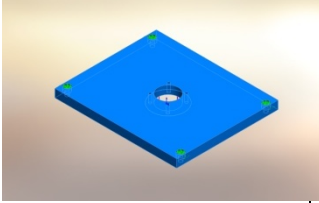
Дата: 20 березня 2025 р.  
Розробив: Липка О.М.  
Ім'я досліджу: SimulationXpress Study  
Тип аналізу: Статичний

#### Інформація про модель

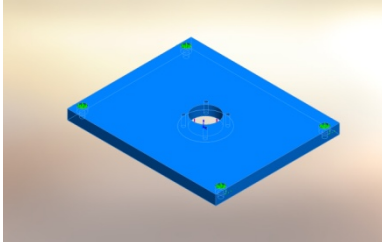


Ім'я моделі: Plate  
Активна конфігурація: Тор

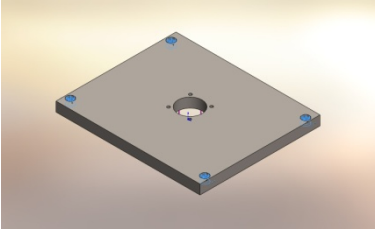
Тверді тіла			
Ім'я та посилання документа	Розглядається як	Об'ємні властивості	Шлях документа/Дата зміни


<p>Boss-Extrude3</p> 	<p>Тверде тіло</p>	<p>Маса: 11,33 55 kg Об'єм: 0,001 44844 m<sup>3</sup> Щільність: 7 826 kg/m<sup>3</sup> Маса: 111,0 88 N</p>	<p>E:\Диплом\Моделі\Пристрій\SW 22\Plate.SLDPRT March 20 10:25:58 2025</p>
--	--------------------	--	--

### Властивості матеріалу

Модель	Властивості	Компоненти
	<p>Ім'я: Steel 45 Тип моделі: Лінійний пружний Ізотропний Критерій міцності за замовчуванням: Невідомо Межа плинності: 220,594 N/mm<sup>2</sup> Межа міцності при розтягуванні: 399,826 N/mm<sup>2</sup></p>	<p>Тверде тіло 1(Boss-Extrude3)(Plate)</p>

### Навантаження та кріплення

Ім'я кріплення	Зображення	Дані
<p>Зафіксований-1</p>		<p>Об'єкти: 4 грані Тип: Зафіксована геометрія</p>

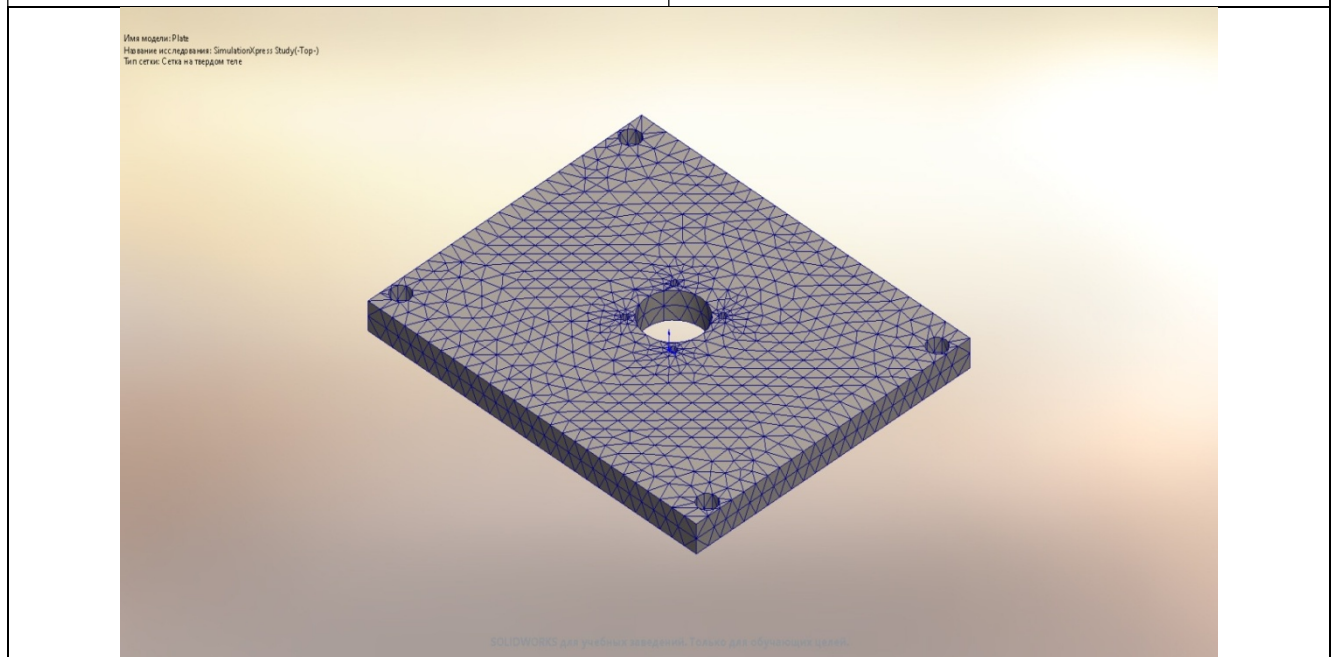
Ім'я навантаження	Зображення	Дані
<p>Сила-1</p>		<p>Об'єкти: 1 грань Тип: Прикласти нормальну силу Значення: 2 569,42 N</p>

## Інформація про сітку

Тип сітки	Сітка на твердому тілі
Використовуване розбиття:	Стандартна сітка
Автоматичне ущільнення сітки:	Викл
Увімкнуті автоцикли сітки:	Викл
Точки Якобіана для сітки високої якості	16 Точок
Розмір елемента	11,3169 mm
Допуск	0,565847 mm
Якість сітки	Висока

## Інформація про сітку - Деталізація

Усього вузлів	16218
Усього елементів	9418
Максимальне співвідношення сторін	8,5552
% елементів із співвідношенням сторін < 3	96
Відсоток елементів із співвідношенням сторін > 10	0
Відсоток спотворених елементів	0
Час для завершення сітки (hh:mm:ss):	00:00:01
Ім'я комп'ютера:	S104-3

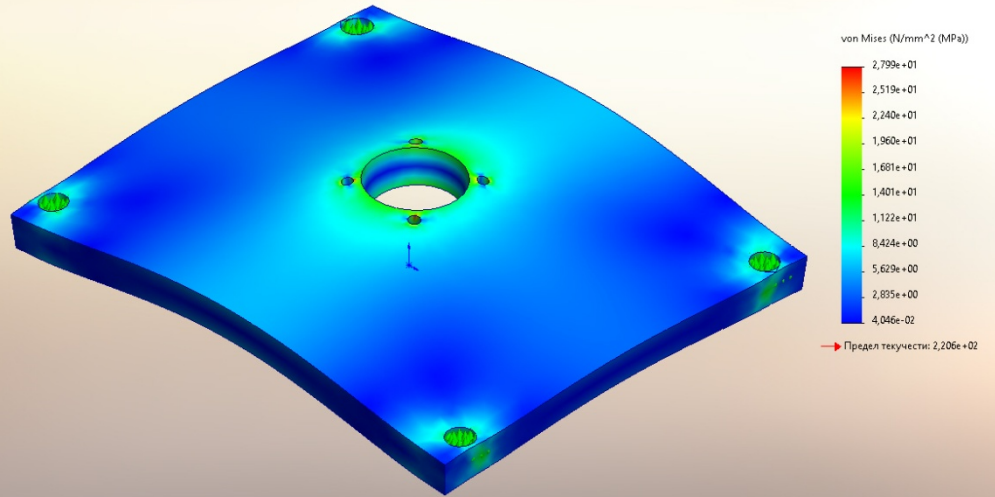


## Результати дослідження

Ім'я	Тип	Мін	Макс
Stress	VON: Напруження Von Mises	4,046e-02N/mm <sup>2</sup> (MPa) Вузол: 13107	2,799e+01N/mm <sup>2</sup> (MPa) Вузол: 15152

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Имя модели: Plate  
 Название исследования: SimulationXpress Study-(Top-)  
 Тип элора: Статический упругое напряжение Stress  
 Шкала деформации: 1 030,82

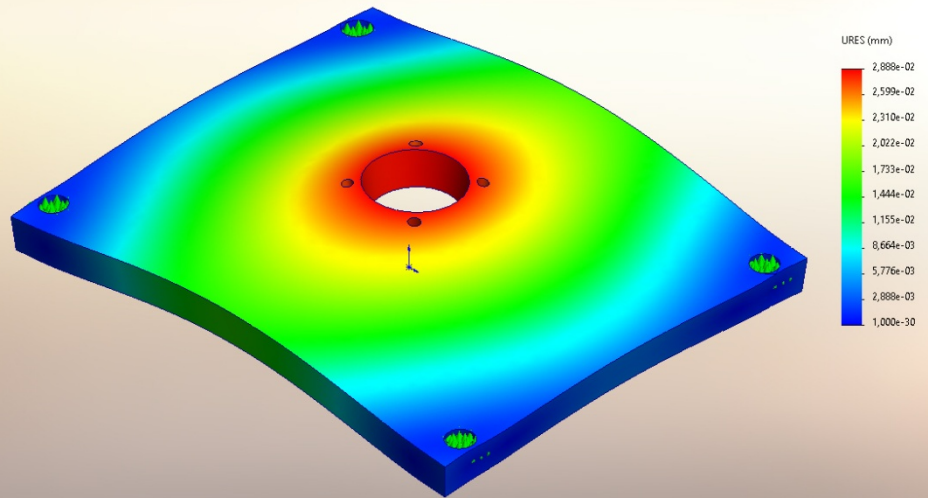


SOLIDWORKS для учебных занятий. Только для образовательных целей

Plate-SimulationXpress Study-Напряжения-Stress

Имя	Тип	Мин	Макс
Displacement	URES: Результирующее перемещение	0,000e+00mm Вузол: 18	2,888e-02mm Вузол: 194

Имя модели: Plate  
 Название исследования: SimulationXpress Study-(Top-)  
 Тип элора: Статическое перемещение Displacement  
 Шкала деформации: 1 030,82



SOLIDWORKS для учебных занятий. Только для образовательных целей

Plate-SimulationXpress Study-Перемещение-Displacement

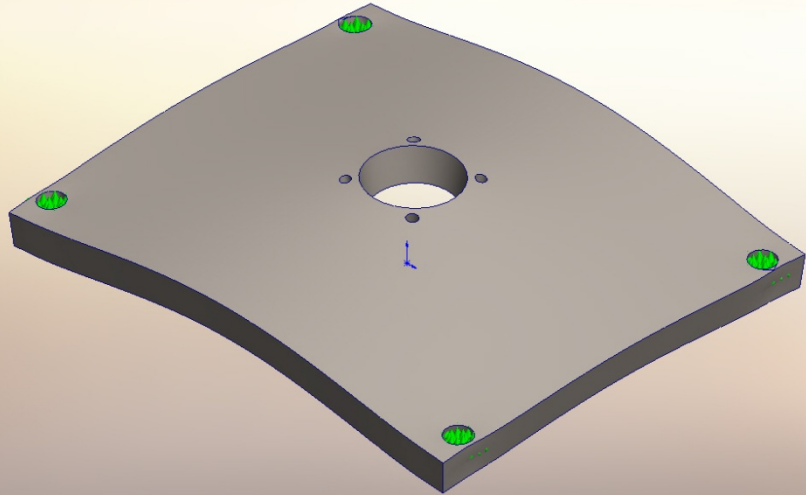
Имя	Тип
Deformation	Деформована форма

Эмн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ

Арк.  
70

Имя модели: Plate  
 Название исследования: SimulationXpress Study(-Top-)  
 Тип эскиза: Деформированная форма Deformation  
 Шкала деформации: 1 038,82

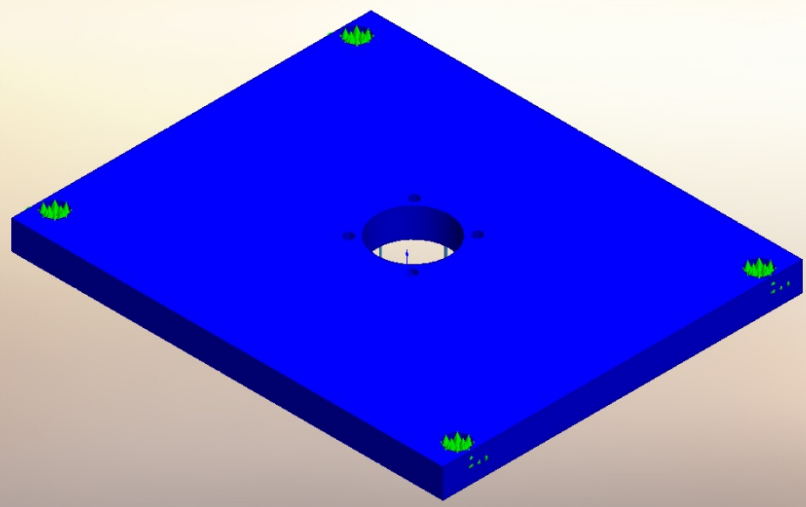


SOLIDWORKS для учебных занятий. Только для образовательных целей.

Plate-SimulationXpress Study-Перемещение-Deformation

Имя	Тип	Мин	Макс
Factor of Safety	Максимальная напряженность von Mises	7,882e+00 Вузол: 15152	5,452e+03 Вузол: 13107

Имя модели: Plate  
 Название исследования: SimulationXpress Study(-Top-)  
 Тип эскиза: Запас прочности Factor of Safety  
 Критерий: Максимальное напряжение von Mises  
 Красный < Коэффициент запаса прочности = 1 < Синий



SOLIDWORKS для учебных занятий. Только для образовательных целей.

Plate-SimulationXpress Study- Запас прочности -Factor of Safety

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ

Арк.  
71

Як бачимо, коефіцієнт запасу міцності конструкції приблизно дорівнює 7,88, що свідчить про значний запас міцності. Максимальні напруження за критерієм фон Мізеса досягають 27,99 МПа, що значно нижче межі текучості матеріалу (220,6 МПа). Максимальне переміщення вузла складає 0,0289 мм, що є дуже незначним і не перевищує допустимих значень. В цілому конструкція з матеріалу Сталь 45 буде працювати надійно під заданим навантаженням 2569 Н.

### 3.1.3 Розрахунок пристрою на точність

Розрахуємо пристрій на точність при розточці отвору  $\varnothing 44$  Н6.

Для того, щоб точність пристрою відповідала вимогам до розмірів, сумарна похибка установки  $\varepsilon_y$  повинна бути меншою за допустиму:

$$E_y \leq [E_y] \quad (3.5)$$

Похибка установки ( $\varepsilon_y$ ) — це відхилення фактичного положення заготовки від необхідного. Вона виникає через кілька факторів [25]:

1. Несуміщення вимірювальних та технологічних баз.
2. Неоднорідність якості поверхонь заготовок.
3. Невідповідність точності виготовлення.
4. Знос верстатного пристрою.
5. Нестабільність сил закріплення та інші фактори.

Похибки установки визначаються за трьома основними складовими:

#### 1. Похибка базування $\varepsilon_6$

Це випадкова погрішність, яка виникає через неточності в процесі базування заготовки.

#### 2. Похибка закріплення $\varepsilon_3$

Включає в себе:

- Випадкові складові похибки.
- Закономірно змінювану систематичну погрішність  $\varepsilon_{з.и.}$ , що зумовлена зміною форми поверхні контакту установочного елемента в результаті його зносу.

### 3. Похибка положення $\varepsilon_{пр}$

Складається з:

- Закономірно змінюваної систематичної погрішності  $\varepsilon_{и}$ , що виникає через прогресуючий знос установочних елементів.
- Постійних систематичних погрішностей:
  - $\varepsilon_{у.с}$ , що визначаються похибками виготовлення та складання опор верстатного пристрою.
  - $\varepsilon_{с}$ , які виникають через похибки установки та фіксації верстатного пристрою на верстаті.

У загальному випадку:

$$\varepsilon_{у} = \sqrt{\varepsilon_{б}^2 + \varepsilon_{з.о.}^2 + \varepsilon_{з.и.} + \varepsilon_{и} + \varepsilon_{у.с} + \varepsilon_{с}} \quad (3.6)$$

Визначимо складові похибки  $\varepsilon_{у}$ :

1) Похибка базування  $\varepsilon_{б}$  - це відхилення фактично досягнутого положення заготовки при базуванні від необхідного. Визначається як граничне поле розсіювання відстаней між технологічною та вимірювальною базами в напрямку витримуваного розміру. Величина  $\varepsilon_{б}$  залежить від вибраної схеми базування і точності виконання баз заготовки. Значення  $\varepsilon_{б}$  визначаються за допомогою геометричних розрахунків або аналізу розмірних ланцюгів. Воно залежить від схеми базування та точності виконання баз заготовки.

2) Похибка закріплення  $\varepsilon_{з}$  – це різниця між найбільшою та найменшою величинами проекцій зміщення вимірювальної бази по напрямку виконуваного розміру в результаті прикладення сил закріплення до заготовки. Вона в основному виникає через зміну контактних переміщень в стику «заготовка — опори пристрою». Деформаціями жорстких заготовок та корпусу пристрою під дією сил закріплення зазвичай нехтують.

$$\varepsilon_{з} = \cos\beta(\varepsilon_{з.о} + \varepsilon_{з.и}), \quad (3.7)$$

де,  $\beta$  – кут між напрямком розміру, що витримується та напрямком найбільшого переміщення.

										ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Оскільки  $\beta = 90^\circ$ , то  $\varepsilon_3 = 0$  та визначати складові  $\varepsilon_{3,0}$  і  $\varepsilon_{3,и}$  не має необхідності.

3) Складова  $\varepsilon_{и}$  описує зміну положення базуючих поверхонь опор через їх знос під час експлуатації верстатного пристрою. Інтенсивність зносу опор залежить від конструкції, розмірів, матеріалу опор, маси заготовки, стану її баз, а також умов установки заготовки в пристрій та знімання після обробки. Кількість установок, що викликають знос опори на 1 мкм, називається зносостійкістю опор  $C$ .

Знаючи значення  $C$  можна визначити погрішність обробки, пов'язану з зносом опор, при заданому числі установок  $N$ , або оцінити допустиму кількість установок  $i$  до необхідності заміни опор. Для цього потрібно визначити допустимий знос опор  $u_{\text{доп}}$ . Значення  $u_{\text{доп}}$  буде похибкою  $\varepsilon_{и}$ , яку приймаємо

$$\varepsilon_{и} = 0,05 \text{ мм.}$$

4) Погрішність виготовлення пристрою  $\varepsilon_{y,c}$  залежить, в основному, від точності виготовлення деталей верстатного пристрою. Допуски відповідальних розмірів нестандартних деталей зазвичай складають 10-30% від допуску на відповідний оброблюваний розмір заготовки.

Як правило,  $\varepsilon_{y,c} < 0,01 \dots 0,005 \text{ мм.}$

Приймаємо  $\varepsilon_{y,c} = 0,003 \text{ мм.}$

5) Складова  $\varepsilon_c$  виникає через переміщення та перекося корпусу пристрою на верстатному столі. В масовому та великосерійного виробництві, при одноразовому та незмінному закріпленні верстатного пристрою на верстаті, цю величину зводять до мінімуму шляхом вивірки, вважаючи її постійною протягом експлуатації пристрою. В окремих випадках складову  $\varepsilon_c$  можна усунути за допомогою налаштування верстату. У серійному виробництві, де часто відбувається періодична заміна пристроїв на верстатах,  $\varepsilon_c$  стає випадковою величиною, що змінюється в певних межах.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		74

На величину  $\epsilon_c$  впливають знос та можливі пошкодження поверхонь з'єднання в процесі регулярної зміни верстатних пристроїв. Якщо дотримуватися оптимальних умов заміни пристроїв і правильно обирати зазори в з'єднаннях, величину  $\epsilon_c$  можна знизити до 0,01 - 0,02 мм. Приймаємо  $\epsilon_c = 0,02$  мм.

$$\epsilon_y = \sqrt{0,0125^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0,003^2 + 0^2} = 0,013 \text{ мм.}$$

Можна зробити висновок, що потрібна точність пристрою досягнута, оскільки похибка базування менша поля допуску оброблюваної поверхні.

Пристрій спеціальний призначений для встановлення на фрезерувальному верстаті моделі Haas UMC-500, базування та закріплення в ньому заготовки. Технічні характеристики наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Технічні характеристики

Оброблювана деталь	Циліндр бензопили Forte FGS 52-18
Привід затискуючого механізму	пневматичний
Розвиваюча сила закріплення, Н	4292,7
Габаритні розміри пристрою	
Довжина, мм	327,46
Ширина, мм	300
Висота, мм	250,82
Маса, кг	48,88

Спеціальний верстатний пристрій кріпиться до столу за допомогою чотирьох кріпильних болтів.

### 3.2 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

У сучасному машинобудуванні для підвищення точності технічних вимірювань активно впроваджуються контрольно-вимірювальні пристрої. Це спеціальні виробничі засоби, що поєднують базуючі, затискні, передавальні та вимірювальні елементи. Базуючі пристрої гарантують правильне розташування перевірених деталей відносно засобів вимірювання, а затискні пристрої

забезпечують точне фіксування деталі в пристрої для досягнення високої точності вимірів.

Контрольно-вимірювальні пристрої використовуються для перевірки різних параметрів деталей та вузлів машин, таких як:

- лінійні розміри (діаметри отворів і валів, довжина, висота, глибина);
- взаємне розташування поверхонь;
- відхилення від правильної геометричної форми;
- нелінійні параметри (пружність, твердість, герметичність стінок і зварювальних швів);
- випробування працездатності складальних вузлів та машин у реальних або подібних умовах експлуатації.

Конструкція кожного контрольного пристрою повинна відповідати кільком ключовим вимогам:

- забезпечення оптимальної точності та продуктивності вимірювання;
- технологічність виготовлення;
- зносостійкість;
- зручність в експлуатації.

Конструкція самого контрольного пристрою, а також усіх його складових, має бути такою, щоб вона не лише повною мірою задовольняла вимоги щодо виконання контрольних операцій, а й забезпечувала економічну доцільність використання.

Для отвору  $\varnothing 44$  Н6 потрібно використовувати калібр-пробку. У стандарті [15] прийняті наступні позначення розмірів та допусків:

$D$  – номінальний розмір виробу;

$D_{\min}$  – мінімальний граничний розмір виробу;

$D_{\max}$  – максимальний граничний розмір виробу;

$T$  – допуск виробу;

$H$  – допуск на виготовлення калібрів (за винятком калібрів з сферичними вимірювальними поверхнями) для отвору;

$H_s$  – допуск на виготовлення калібрів з сферичними вимірювальними поверхнями для отвору;

$H_1$  – допуск на виготовлення калібрів для валу;

$H_p$  – допуск на виготовлення контрольного калібру для скоби;

$Z$  – відхилення середини поля допуску на виготовлення прохідного калібру для отвору відносно найменшого граничного розміру виробу;

$Z_1$  – відхилення середини поля допуску на виготовлення калібру для валу відносно найбільшого граничного розміру виробу;

$Y$  – допустимий вихід зношеного прохідного калібру для отвору за межу допуску розміру виробу;

$Y_1$  – допустимий вихід зношеного прохідного калібру для валу за межу калібру за межу допуску розміру виробу;

$\alpha$  – величина для компенсації похибки контролю калібрами отворів з розмірами вище 180 мм;

$\alpha_1$  – величина для компенсації похибки контролю калібрами валів з розмірами вище 180 мм.

Згідно [15] для  $\varnothing 44$  Н6:

$$Z = 2,5 \text{ мкм}$$

$$Y = 2 \text{ мкм}$$

$$\alpha, \alpha_1 = 0^\circ$$

$$Z_1 = 3,5 \text{ мкм}$$

$$Y_1 = 3 \text{ мкм}$$

$$H, H_s = 2,5 \text{ мкм}$$

$$H_1 = 4 \text{ мкм}$$

$$H_p = 1,5 \text{ мкм}$$

Проведемо розрахунки:

1. Прохідна сторона нова:

$$PP_{\text{min}} = d_{\text{min}} + Z = 44 + 0,0025 = 44,0025 \text{ мм}$$

2. Прохідна сторона зношена:

$$PP_{\text{зн}} = d_{\text{min}} - Y = 44 - 0,002 = 43,998 \text{ мм}$$

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

3. Непрохідна сторона ( $d_{\max} \pm H_1$  або  $H_s$ ):

$$HE = d_{\max} \pm H_1 = 44,016 \pm 0,002 \text{ мм}$$

$$HE_{\min} = 44,016 - 0,0025 = 44,0135 \text{ мм}$$

$$HE_{\max} = 44,016 + 0,0025 = 44,0185 \text{ мм}$$

Конструкція та розміри за [16]. Ручка для калібр-пробки по [17]. Технічні вимоги за [18]. Матеріал за [19].

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>78</i>

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Техніка безпеки за токарним верстатом

Обов’язкове використання спецодягу: комбінезон з міцної тканини, закриті взуття з металевими носками (для захисту від падіння заготовок) та захисні окуляри з бічними щитками.

Заборона рукавичок та одягу з довгими рукавами під час роботи: рукавички, або довгі рукави можуть зачепитися за обертові частини верстата, що призведе до травми, або летального випадку [5].

Зона роботи має бути позбавлена мастила, стружки та сторонніх предметів. Захисний щиток (екран), або кожух навколо верстата запобігає розльоту стружки на 1,5–2 м [6]. Екран зображено на рис. 4.1, а кожух на рис. 4.2.



Рисунок 4.1 – Захисний екран для токарного верстату



Рисунок 4.2 – Захисний кожух

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 79
------	------	----------	--------	------	---------------------	------------

Встановлення тривожних кнопок у доступному місці для екстреної зупинки.

Якщо заготовка (пруток) довга і випирає з шпинделя (рис. 4.3), тому потрібно поставити огороження.

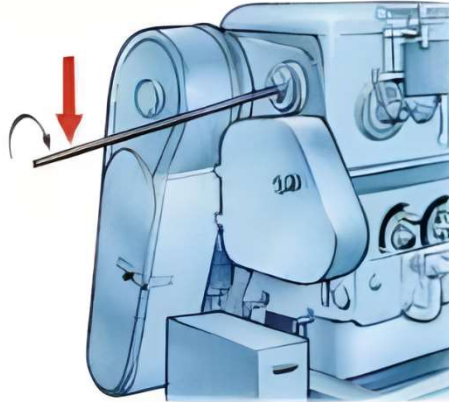


Рисунок 4.3 – Довгий пруток

Перед включенням перевіряти:

- надійність закріплення заготовки у патроні (використовувати гайковий ключ зі стандартизованим моментом затягування);
- наявність заземлення верстата (відповідно до ПУЕ-7, п. 1.7.55) [7];

Після зупинки вимикати двигун та виймати ключ з патрона (для запобігання випадковому запуску).

Використання захисних щитків під час обточування матеріалів з високою швидкістю різання (наприклад, чавун).

Для подачі заготовок застосовувати гідравлічні/пневматичні пристрої.

Очищення робочої зони

Видаляти стружку лише спеціальними щітками та ганчірками. Використання стисненого повітря заборонено через ризик попадання дрібних частинок в очі [8].

#### 4.2 Техніка безпеки за фрезерним верстатом

Використання протишумових навушників (при рівні шуму понад 85 дБ, згідно з ДСН 3.3.6.037-99) [9].

Застосування масок для обличчя при фрезеруванні токсичних матеріалів (наприклад, текстоліту).

Перевірка відцентрового балансу фрези перед установкою (небаланс понад 0,1 мм викликає вібрацію та руйнування інструмента) [10].

Використання гідравлічних або механічних затисків для фіксації заготовки.

Встановлення захисного кожуха над фрезою для блокування іскр та стружки.

Під час шліфування прибрати руки з робочої зони, для охолодження круга використовувати пристрій (рис. 4.4).

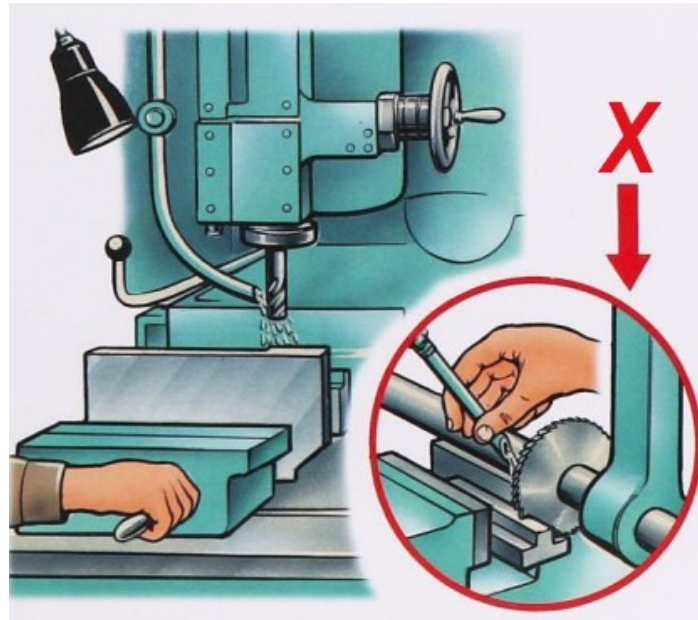


Рисунок 4.4 – Пристрій для охолодження інструменту

Для збору дрібних частинок потрібно використовувати магнітні уловлювачі стружки.

#### 4.3 Техніка безпеки на внутрішньо-шліфувальному верстаті

Використання пилозахисних респіраторів класу FFP3 при роботі зі шліфувальними кругами (відповідно до ДСТУ EN 149:2010) [11].

Контроль швидкості обертання круга, перевищення межі призводить до розриву (максимальна швидкість вказана на маркуванні круга) [12].

Тестування круга на цілісність методом простукування (наявність тріщин - викликає глухий звук).

Під час шліфування прибрати руки з робочої зони. При замірах відвести круг від деталі.

Система подачі МОР (мастило-охолоджувальні рідини на водній основі) має забезпечувати безперервний потік для запобігання перегріву круга.

#### 4.4 Освітлення на робочому місці

Виробниче освітлення повинно відповідати таким вимогам:

- забезпечувати освітленість на робочій поверхні, що відповідає виду зорової діяльності та не нижче за встановлені норми;
- гарантувати достатню рівномірність і стабільність освітленості в приміщеннях, щоб уникнути частих адаптацій зору;
- не викликати засліплення як від джерел світла, так і від предметів, що знаходяться в полі зору;
- запобігати утворенню різких і глибоких тіней на робочій поверхні, зокрема рухомих;
- забезпечувати необхідний контраст для чіткого розрізнення деталей;
- не створювати небезпечних чи шкідливих чинників виробничого середовища (шум, теплові випромінювання, загроза ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпека від світильників);
- бути надійним, простим в експлуатації, економічним та естетичним.

Для точних операцій (наприклад, вимірювання мікрометром) додаткове локальне освітлення з інтенсивністю 750–1000 люкс (відповідно до СНиП II-4-79) [13].

Світильники з матовими плафонами або поляризаційними фільтрами для зменшення відблисків на металевих поверхнях.

Використання LED-світильників з коефіцієнтом пульсації менше 5% (відповідно до ДСТУ ІЕС 62493:2018) [14].

Автономні акумуляторні світильники з тривалістю роботи не менше 1 години для евакуації.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		82

## ВИСНОВКИ

Цей дипломний проєкт зосереджується на технології виготовлення циліндрів та способам підвищення їхнього ресурсу, що є основним чинником їхньої надійності та тривалої служби в механічних системах. У ньому розглянуто конструкційні особливості, матеріали, з яких виготовлений циліндр, та технологічні процеси, що забезпечують його високу зносостійкість. Актуальність теми підкреслюється необхідністю підвищення надійності та довговічності циліндрів у промисловості, що сприятиме підвищенню продуктивності і зниженню витрат на технічне обслуговування та ремонт обладнання.

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>83</i>

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Яковенко І. Е., Пермяков О. А., Фесенко А. В. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 –Галузеве машинобудування / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А.В. Фесенко – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 421с.
2. Нормування праці : навчально-наочний посібник для студентів денної та заочної форм навчання. – Вид. 2-ге, доп. - Дніпропетровськ: Дніпропетровська державна фінансова академія, 2013. – 158 с.
3. Патент №61216.
4. ДСТУ 2839-94.
5. Модульне середовище для навчання MOODLE. Доступ до ресурсу: <https://msn.tup.km.ua/course/view.php?id=801>.
6. ДСТУ 8981-2020.
7. Наказ Міністерства охорони праці України № 45 «Про затвердження Правил охорони праці під час роботи на верстатах» (2021).
8. ДСТУ EN ISO 12100:2019 «Безпека машин. Загальні принципи конструювання».
9. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ-7).
10. ДСТУ 9052:2020 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Автономні дихальні апарати на хімічно зв'язаному кисні для евакуації та аварійно-рятувальних робіт під час пожежі. Класифікація, технічні вимоги та методи випробування».
11. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму».
12. ISO 16089:2015 «Безпека металорізальних верстатів».
13. ДСТУ EN 149:2010 «Засоби індивідуального захисту органів дихання».
14. ISO 603-15:2017 «Характеристики шліфувальних кругів».
15. СНиП II-4-79 «Природне та штучне освітлення».
16. ДСТУ ІЕС 62493:2018 «Вимоги до світлових приладів щодо електромагнітної сумісності».

					ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ	Арк. 84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



# ДОДАТКИ

					<i>ДП.ПМ.ФІТА.25.27 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>86</i>